

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON LA IMPLEMENTACIÓN
DE BIOFILTRO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE
KALLUTACA.**

Por:

Ismael Roque Calle

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2016

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON LA IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO EN
LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero en
Ingeniería Agrónomica*

Ismael Roque Calle

Asesores:

Ing. Ph D. Humberto N. Sainz Mendoza

Ing. Edwin Guarachi Laura

Tribunal Revisor:

Ing. M. Sc. Genaro Serrano Coronel

Dra. Carla Patricia Ibáñez Luna

Ing. Gabriel Pari Flores



APROBADA

Presidente Tribunal Examinador:

Ing. Eddy Diego Gutiérrez Gonzales

DEDICATORIA:

A mis padres (Gregorio y Alejandra), quienes son la razón de mi vida que con su ejemplo, sacrificio y amor me han guiado en la vida y me han servido para seguir adelante. A mi esposa Ruth e hijos, por ser la razón, el motivo y la fuerza que me permite alcanzar, todos y cada uno de mis objetivos.

Ismael Roque Calle

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco A Dios por darme la vida y la fortaleza para poder alcanzar todos mis sueños y objetivos esperando que este solo sea uno de tantos.

A mis padres (Gregorio y Alejandra) por apoyarme en mis estudios, por sus sacrificios y todo lo que me han dado para terminar la carrera y el trabajo de investigación, y a mis hermanos Juan, Wilde y Sara Duran, Beatriz, Norma y Uvaldina, y a mis cuñados por apoyarme moral y material en las buenas y en las malas.

A mi esposa Ruth, por el apoyo, sacrificio y dedicación que me dio para realizar este trabajo de investigación, y a mis hijos Azair, Imer e Hilda por ser la razón de mi vida.

A la Universidad Pública de El Alto y la Carrera Ingeniería Agronómica por mi formación y abrirme las puertas para un mejor mañana y a todos los docentes de la Carrera de Agronomía por sus enseñanzas y los consejos que marcan el camino de muchos de nosotros.

A la institución SWISSCONTACT (Dra. Ximena Ayo), por el financiamiento y apoyo que me brindaron para realizar y culminar este trabajo de investigación.

A la Iglesia Velen la Primera, Ptor. Freddy Choque, a Hno. Anacleto Alberto, Hna. Felipa Alcon y a todos los hermanos de la Iglesia, por apoyarme moral y espiritualmente en todos los momentos de mi vida.

A mi Tutor Ing. Ph.D. Humberto N. Sainz Mendoza por ser partícipe de este trabajo, por los consejos, la orientación, el tiempo brindado y por su experiencia profesional, que permitió la culminación de la presente investigación.

A mi Asesor Ing. Edwin Guarachi Laura por la orientación, los consejos, por su colaboración y el tiempo dedicado incondicionalmente a la revisión de este trabajo.

A Ing M. Sc. Genaro Serrano Coronel, Ph D. Carla Patricia Ibáñez Luna e Ing. Gabriel Pari Flores, Revisores del presente trabajo de investigación por la colaboración incondicional, por facilitarme material bibliográfico y por la enseñanza que deja en quienes lo necesitamos y por ser grandes personajes.

A mis primos, Wilson Roque y María, Ronald Roque y Gabriela, Claudia y Juan, Katherin Katari, y a todos mis familiares por brindarme su apoyo incondicional en toda la trayectoria de mis estudios en la universidad y para culminar la tesis.

A mis mejores amigos; Ing. Víctor Arteaga, Ing. Roberto Butrón, Ing. Soledad Chávez, Ing. José L. Escobar, Ing. Nelly Huallpa, Ramón Tancara, Mario Paz, David Tancara y Romil Travieso a todos mis amigos que compartí desde mi niñez con quienes compartí dentro y fuera de la Carrera por el apoyo, la amistad y el cariño que me brindaron mostrando gran solidaridad en los momentos que los necesité.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Antecedentes.....	15
1.1.1. Identificación del Problema.....	16
1.2. Justificación.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Usos del agua.....	18
2.2. Uso consuntivo	18
2.2.1. Uso doméstico.....	18
2.2.2. Uso Público.....	18
2.2.3. Uso en agricultura y ganadería.....	19
2.3. Uso no consuntivo	19
2.3.1. Uso del agua como fuente de energía.....	19
2.3.2. Uso del agua como vía de comunicación.....	19

2.3.3. Uso del agua para recreación.	19
2.4. Aguas Residuales.	20
2.4.1. Clasificación de aguas residuales.	20
2.5. Características de aguas residuales.	21
2.5.1. Características Físicas	21
2.5.2. Características Químicas.	23
2.5.3. Características Biológicas.	26
2.6. Tratamiento de aguas residuales	28
2.7. Etapas del tratamiento del agua residual.	28
2.7.1. Etapa preliminar.	29
2.7.2. Etapa primaria.	29
2.7.3. Etapa secundaria.	30
2.7.4. Etapa terciaria.	31
2.8. Principales pasos del tratamiento de aguas residuales.	31
2.8.1. Desinfección.	31
2.8.2. Tratamiento de los fangos.	32
2.8.3. Deshidratación de los fangos.	33
2.8.4. Tratamiento de aguas residuales por procesos biotecnológicos.	33
2.9. Tratamiento con biofiltros o lombrifiltro.	34
2.10. Los componentes básicos.	35
2.10.1. Cámara de sedimentación.	35
2.10.2. Aparatos de distribución del agua.	35
2.10.3. La zona de biofiltración.	36
2.11. Construcción del Biofiltro o lombrifiltro.	36
2.12. Sistema Tohá de tratamientos de aguas residuales.	37
2.12.1. Funcionamiento del sistema.	38

2.13. Ventajas del Biofiltro en relaciones a sistemas convencionales.	39
2.13.1. Cuadro comparativo entre sistema séptico y sistema tohá (biofiltro).	41
2.14. La lombriz roja californiana.	43
2.15. Marco legal Aplicable.	44
3. LOCALIZACIÓN.	45
3.1. Descripción de la zona.	45
3.1.1. Clima.	46
3.1.2. Topografía.	46
3.1.3. Vegetación.	47
4. MATERIALES Y MÉTODOS	48
4.1. Materiales.	48
4.1.1. Material biológico.	48
4.1.2. Material de campo.	48
4.1.3. Material de gabinete	48
4.2. Metodología.	48
4.2.1. Construcción del biofiltro.	48
4.2.2. Colocado de las capas filtrantes.	49
4.2.3. Inoculación de Lombrices.	50
4.2.4. Distribución de agua al biofiltro.	51
4.3. Recolección de aguas tratadas.	52
4.4. Preservación de Muestras.	53
4.5. Análisis de las Muestras.	54
4.6. Forma de recolección de las muestras.	55
4.6.1. Toma de muestra del agua del Afluyente.	55
4.6.2. Toma de muestra del Efluente.	56
4.6.3. Procesamiento de datos.	56

4.7. Evaluación estadística.....	57
4.7.1. Modelo estadístico.....	57
4.7.2. Variables de Respuesta.....	57
5. RESULTADOS.....	59
5.1. Resultados de parámetros físico.....	59
5.1.1. Conductividad.....	59
5.1.2. Temperatura.....	61
5.1.3. Turbidez.....	63
5.2. Resultados de parámetros químicos.....	66
5.2.1. pH.....	66
5.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO).....	68
5.2.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅).....	70
5.2.4. Carbono orgánico total (COT).....	73
5.2.5. Fosforo total.....	74
5.2.6. Sólidos suspendidos.....	77
5.2.7. Sólidos totales.....	79
5.2.8. Calcio, magnesio y potasio.....	80
5.3. Resultados de parámetros microbiológicos.....	81
5.3.1. Coliformes fecales.....	81
5.3.2. Coliformes totales.....	84
6. CONCLUSIONES.....	87
7. RECOMENDACIONES.....	90
8. BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grado de eficiencia de los biofiltros	40
Cuadro 2. Cuadro comparativo entre Sistema Séptico y Sistema Tohá	42
Cuadro 3. Numero de parámetros analizados del afluente y del efluente	57
Cuadro 4. Parámetros físicos	57
Cuadro 5. Parámetros químicos.....	58
Cuadro 6. Parámetros biológicos	58
Cuadro 7. Comportamiento de la conductividad de los diferentes tratamientos.....	59
Cuadro 8. Comparación de Datos estadísticos en conductividad	60
Cuadro 9. Prueba de muestras relacionadas.....	61
Cuadro 10. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos	61
Cuadro 11. Comparación de datos estadísticos en temperatura	62
Cuadro 12. Prueba de muestras relacionadas	63
Cuadro 13. Comportamiento de la turbidez de los diferentes tratamientos	64
Cuadro 14. Comparación de Datos estadísticos en Turbidez	65
Cuadro 15. Prueba de muestras relacionadas	65
Cuadro 16. Comportamiento del pH de los diferentes tratamientos	66
Cuadro 17. Comparación de Datos estadísticos en el pH.....	67
Cuadro 18. Prueba para muestras relacionadas	67
Cuadro 19. Comportamiento del DQO de los diferentes tratamientos.....	68
Cuadro 20. Comparación de datos estadísticos en DQO.....	69
Cuadro 21. Prueba de muestras relacionadas	70
Cuadro 22. Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno	71
Cuadro 23. Comparación de Datos estadísticos en DBO	72
Cuadro 24. Prueba de muestras relacionadas	73
Cuadro 25. Comportamiento del carbono orgánico total en los tratamientos	73

Cuadro 26. Concentración de fosforo en los diferentes tratamientos	75
Cuadro 27. Comparación de Datos estadísticos en Fosforo Total.....	76
Cuadro 28. Prueba de muestras relacionadas	76
Cuadro 29. Presencia de sólidos suspendidos en los diferentes tratamientos.....	77
Cuadro 30. Comparación de Datos estadísticos en Sólidos Suspendidos	78
Cuadro 31. Prueba de muestras relacionadas	78
Cuadro 32. Concentración de sólidos totales en los diferentes tratamientos	79
Cuadro 33. Comparación de Datos estadísticos en Coliformes Fecales	82
Cuadro 34. Prueba de muestras relacionadas	82
Cuadro 35. Concentración de coliformes fecales en los diferentes tratamientos	83
Cuadro 36. Comparación de Datos estadísticos en Coliformes Totales.....	84
Cuadro 37. Prueba de muestras relacionadas	85
Cuadro 38. Concentración de coliformes totales en los diferentes tratamientos.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del tratamiento de aguas residuales	37
Figura 2. Capas del biofiltro.....	38
Figura 3. Sustrato con lombriz californiana.....	43
Figura 4. Localización del área de estudio.....	45
Figura 5. Construcción del ambiente atemperado	49
Figura 6. Forma del biofiltro.....	49
Figura 7. Colocado de capas filtrantes.....	50
Figura 8. Inoculación de lombrices.....	50
Figura 9. Agua filtrada que alimento de aguas servidas al biofiltro	51
Figura 11. Estanque de recolección o efluente.....	52
Figura 10. Distribución de aguas servidas por micro.....	52
Figura 12. Toma de muestras de agua del afluente	53
Figura 14. Traslado de las muestras.....	54
Figura 13. Muestras colectadas listas para su transporte a SPECTROLAB	54
Figura 15. Medición de pH y conductividad	55
Figura 16. Flujograma de procedimiento experimental	56
Figura 17. Comportamiento de la conductividad en los tratamientos	60
Figura 18. Comportamiento de la temperatura durante los días de proceso.....	62
Figura 19. Variación de turbidez en los días en proceso.....	64
Figura 20. pH registrado según el tiempo de tratamiento de las aguas residuales	66
Figura 21. Datos de determinación por medio de DQO	69
Figura 22. Datos de determinación por medio de DBO.....	72
Figura 23. Concentración de carbonatos en los diferentes tratamientos.....	74
Figura 24. Comportamiento del fosforo.....	75
Figura 25. Sólidos suspendidos en los diferentes tratamientos	77

Figura 26. Concentración de sólidos totales por tratamiento	79
Figura 27. Concentración de calcio por tratamiento	80
Figura 28. Concentración de magnesio por tratamiento.....	81
Figura 29. Concentración de potasio por tratamiento.....	81
Figura 30. Coliformes fecales en los diferentes tratamientos.....	83
Figura 31. Cantidad de coliformes totales en los diferentes tratamientos.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de muestras del Laboratorio.....	97
Anexo 2. Materiales para análisis microbiológico	98
Anexo 3. Equipo de DBO, Cabeza Gasométrica	98
Anexo 5. Visualización del Agua a Tratar	99
Anexo 4. Determinación de Fosfatos	99
Anexo 6. Construcción de la cámara de sedimentación.....	100
Anexo 7. Techado de la Carpa.....	100
Anexo 8. Construcción de capas filtrantes (viruta)	101
Anexo 9. Capa filtrante (aserrín)	101
Anexo 10. Medio de hábitat para lombrices (estiércol).....	102
Anexo 11. Inoculación de lombrices.....	102
Anexo 12. Lombrices actuando en la biofiltración	103
Anexo 13. Lombrices que se adaptaron al medio.....	103
Anexo 14. Reproducción de lombrices.....	104
Anexo 15. Toma de muestra del afluente	104
Anexo 16. Toma de muestra del afluente para 5 días	105
Anexo 17. Toma de muestra del afluente para 10 días.....	105
Anexo 18. Toma de muestra del Efluente.....	106
Anexo 19. Envasado de muestras para transportar	106
Anexo 20. Limpieza del estanque (agua residual a tratar).	107
Anexo 21. Informe de Ensayos	108
Anexo 22. Informe de ensayos.....	109
Anexo 23. Informe de ensayos.....	110
Anexo 24. Informe de ensayos.....	111
Anexo 25. Informe de ensayos.....	112

Anexo 26. Informe de ensayos.....	113
Anexo 27. Informe de ensayos.....	114
Anexo 28. Informe de ensayos.....	115

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

COT	Carbono Orgánico Total
°C	Grados Celsius
DBO5	Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días.
DP	Temperatura del punto de rocío
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
mg/L	Miligramos por Litro.
ml	Mililitro.
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar.
MAB-01	Muestra de Agua del Biofiltro (Afluente Testigo)
MAB-02	Muestra de agua del Biofiltro (Efluente Testigo)
MAB-03	Muestra de agua del biofiltro (Afluente 5 días)
MAB-04	Muestra de agua del biofiltro (Efluente 5 Días)
MAB-05	Muestra de agua del biofiltro (Afluente 10 Días)
MAB-06	Muestra de agua del biofiltro (Efluente 10 Días)
NaOH	Hidróxido de Sodio
NMP	Número más probable.
NO3	Nitratos.
NTK	Nitrógeno total Kjeldahl
pH	Potencial hidrógeno
PO ₄ ³⁻	Fosfatos
SD	Sólidos Disueltos
SPD	Velocidad del viento primera aproximación
SPD max	Velocidad del viento máxima
Ss	Sólidos Sedimentables
STD/TDS	Sólidos Totales Disueltos
ST	Sólidos Totales
T°	Temperatura
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
µS/cm	Microsiemens por centímetro.

RESUMEN

En los municipios y poblaciones rurales del País los efluentes del alcantarillado desembocan muchas veces a los ríos contaminando el medio ambiente como la flora y fauna de los ríos, estas aguas en su mayoría no son tratadas, por estas razones fue el objetivo de realizar la investigación de tratamiento de agua residual con la implementación de lombrifiltro en la estación experimental de Agronomía.

En el presente trabajo de investigación se propuso evaluar el tratamiento de aguas residuales con la implementación de un biofiltro o lombrifiltro tipo Sistema Tohá, para este propósito se utilizó del agua residual que desemboca de las aguas servidas de la Universidad que se encuentra en la Comunidad de Kallutaca, siendo uno de sus componentes principales que ayudaron en la remoción y reducción de contaminantes las lombrices californianas (*Eisenia foetida*) y donde el agua residual fue sometida a dos tiempos diferentes de tratamiento 5 y 10 días de permanencia en los biofiltros.

Los resultados obtenidos no fueron del todo satisfactorios, debido a que algunos de los parámetros obtenidos de la calidad del agua después del tratamiento están fuera de los rangos permisibles contemplados en la Ley del Medio Ambiente N°.1333, como también algunos parámetros se encuentran dentro del rango permisible, pero se puede destacar que los resultados microbiológicos, de coliformes fecales con una media de 107,67 UFC y coliformes totales con una media de 190 UFC estos fueron muy satisfactorios aparte que se encuentran dentro de los parámetros permisibles según la ley 1333 y el DS 24176 en su art. 4 cuadro N° 1 y Anexo A, en comparación con otros estudios no existe diferencias, porque se alcanzo a reducir en un 96% de coliformes. Estos resultados obtenidos se debe a varios factores ya sean climáticos entres otros, porque hasta el momento no se tiene referencias de este tipo de estudios en estas condiciones del altiplano.

ABSTRACT

In the municipalities and rural populations of the country the sewage system effluents flow many times to the rivers contaminating the environment like the flora and the fauna of rivers, these waters in the main are not processed, by these reasons it was the objective to accomplish the investigation of waste water treatment with the implementation of lombrifiltro in the experiment station of Agronomy.

In the present research work the guy System Tohá intended to evaluate the treatment of sewage waters with the implementation of a biofiltro or lombrifiltro, for the purpose it was used of the wastewater that flows of the sewage of the University that is in the Community of Kallutaca, being one of his main components that helped in the removal and reduction of contaminants the Californian earthworms (*Reddish Earthworm Found In Decaying Matter And Manure And Used As Bait By Anglers*) and where the wastewater was subjected to two different times of treatment 5 and 10 days of permanence in the biofiltros.

The obtained results were not satisfactory at all, because some of the parameters obtained of the water quality after the treatment are out of the permissible status examined in the Law of the Environment N,1333, as some parameters also find within the permissible status, but he can stand out than the microbiological, faecal coliforms results with a stocking of 107.67 UFC and total coliform bacteria with 190 UFC'S stocking these were very satisfying separate that they find within the permissible parameters according to the law 1333 and the DS 24176 in its art. 4 I square N 1 and Annex To, as compared with other education there is not differences, because him I manage to reduce in 96 % of coliform bacteria. These obtained results is due to several factors already be climatic enter other ones, because until now he does not have suchlike references of education in these conditions of the high plateau.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre. Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.

El uso que se hace del agua va en aumento en relación con la cantidad de agua disponible. Los seis mil millones de habitantes del planeta ya se han adueñado del 54 por ciento del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. En el 2025, el hombre consumirá el 70 por ciento del agua disponible. Esta estimación se ha realizado considerando únicamente el crecimiento demográfico (AGUAMARKET, 2008).

La extracción anual de agua para el uso humano se destina a la agricultura y ganadería (principalmente para riego); consumo doméstico, (hogar, agua para beber, saneamiento), uso público, industria, medio de comunicación (navegación), deporte y ocio, etc.

Después del uso del agua en diferentes actividades, esta pierde su calidad denominándose aguas residuales, la calidad se ve afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas domésticas y urbanas, y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación (Robie y Harenberg, 1987).

El tratamiento de aguas residuales domésticas e Industriales por métodos convencionales hoy en día están siendo reemplazados por tecnologías más favorables por el medio

ambiente y de fácil acceso desde el punto de vista económico. La reutilización de los efluentes se hace cada vez más necesaria, la combinación de tecnologías convencionales con métodos no tradicionales permite abrir un campo de estudio donde se puede obtener un sistema de tratamiento que permita mejorar la calidad de los efluentes de tal forma que estos sean reutilizados en diferentes actividades (Rodríguez, 2004)

La situación descrita se torna mucho más crítica en las pequeñas ciudades y comunidades rurales concentradas, donde la agricultura es una de las actividades tradicionales y las aguas residuales sin tratamiento son utilizadas para fines de riego. A ello hay que agregar que los remanentes son conducidos a los ríos más próximos, lo que ocasiona la contaminación de la cuenca. Los altos índices de enfermedades diarreicas en estas zonas son consecuencia de este problema (Brikké, 2006).

La protección del medio ambiente se ha constituido, en todo el mundo, en un aspecto primordial del desarrollo global e integral de los países, formándose mayor conciencia de que debemos cuidarlo y protegerlo. Dentro del ámbito de protección del medio ambiente, tiene un lugar destacado, referente a los recursos hídricos, sean estos mares, lagos, ríos, canales, napas subterráneas, etc., su conservación ausente de cualquier tipo de contaminación, permite asegurar la supervivencia de la población y de sus actividades productivas (Salazar, 2005).

Las aguas contaminadas no sólo afectan a los habitantes del lugar sino que, escurriendo tanto por los arroyos como por el subsuelo, vuelcan en las riberas de los ríos, ampliando el área de contaminación y afectando esta importante fuente de agua dulce. Para tener una idea de la dimensión local del problema, en las zonas suburbanas y rurales del lugar de estudio la población en general no conoce del tratamiento de aguas residuales en los municipios rurales (Salazar, 2005).

1.1. Antecedentes.

En América Latina, sólo el 13.7% de las aguas residuales recolectadas son tratadas en sistemas de tratamiento antes de descargarse en los ambientes acuáticos o usarse en riego agrícola. Además de perjudicar la salud de la población, este hecho impide reutilizar el recurso hídrico (Brikké, 2006).

Para realizar el tratamiento de aguas residuales existen varios sistemas o mecanismos de tratamiento de aguas residuales, desde sencillos o caseros hasta industriales, tales como en los países desarrollados existen grandes industrias de tratamiento de aguas residuales. Entre los mecanismos o proceso físicos podemos mencionar: desengrasado, decantación, sedimentación, adsorción y filtración mecánica. Entre los mecanismos químicos podemos mencionar: floculación y coagulación, oxidación y reducción, intercambio iónico, neutralización y precipitación química (Salazar, 2005).

Entre los mecanismos biológicos se hace mención a sistemas de tratamiento en que la diferencia sustancial, para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, consiste en el medio de cultivo empleado, por ejemplo, sistemas de lodos activados utilizan cultivo biológico en suspensión, en tanto que los biofiltros, cultivo biológico adherido (A.V.F., 2003)

Como se puede ver existen muchos factores o procesos que pueden intervenir en un sistema de tratamiento de aguas, quedando determinada la elección del proceso por las características del afluente a tratar y/o del efluente a conseguir. Sin embargo, un mismo sistema de tratamiento de aguas puede estar compuesto por varios procesos, ya sea físicos, químicos o biológicos, teniendo lugar en reactores separados o en uno que los conjugue (Salazar, 2005).

1.1.1. Identificación del Problema.

La Estación Experimental de Kallutaca por la ubicación del lugar cuenta con bofedales, destinado al consumo animal, y áreas de producción agrícola y uno de los problemas es la contaminación de las áreas de pastoreo por las aguas residuales que desembocan del uso sanitario de la Universidad, que afecta a la salud de los animales por el consumo del agua y esto puede causar efectos secundarios con el tiempo, aunque no se hayan realizado estudios en ello. Las aguas residuales no solo afecta a los animales sino también al cultivo agrícola y a la humanidad por diferentes medios de asimilación.

El tratamiento de las aguas residuales debe ser entendido, como una necesidad, a fin de mantener las condiciones adecuadas de la salud e higiene para la población, conservar la

calidad de las fuentes de agua, proponer un uso racional sustentable de los recursos hídricos y acuáticos.

1.2. Justificación.

El tratamiento de aguas residuales es muy importante en cualquiera de las poblaciones o comunidades pequeñas, como en las ciudades del país, ya que estas si no son tratados tienen efectos directos e indirectos en la humanidad.

Con la implementación de biofiltro en el tratamiento de agua residual en la Estación Experimental de Kallutaca, se trata de realizar este estudio para resolver los problemas de contaminación en las aguas residuales posteriormente con los resultados obtenidos replicar en las poblaciones y municipios rurales, con la investigación de tratamiento del agua residual procedente de la Universidad se trata de descontaminar el agua, al menos que cumpla las normas de la ley del medio ambiente y agua, posteriormente destinar al reúso por lo menos para riego de cultivos de estas aguas descontaminadas.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

- Evaluar el tratamiento de agua residual con la implementación de biofiltro en la Estación Experimental de Kallutaca.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar los parámetros físico-químico y biológico según la norma establecida.
- Comparar los resultados de los parámetros físico-químicos y biológicos del afluente y efluente.
- Determinar la eficiencia del sistema de biofiltro en las condiciones del altiplano.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Usos del agua.

El uso que se hace del agua va en aumento en relación con la cantidad de agua disponible. Los seis mil millones de habitantes del planeta ya se han adueñado del 54 por ciento del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. En el 2025, el hombre consumirá el 70 por ciento del agua disponible. Esta estimación se ha realizado considerando únicamente el crecimiento demográfico (Aguamarket, 2008).

Sin embargo, si el consumo de recursos hídricos por capital sigue creciendo al ritmo actual, dentro de 25 años el hombre podría llegar a utilizar más del 90 por ciento del agua dulce disponible, dejando sólo un 10 por ciento para el resto de especies que pueblan el planeta. Actualmente, a escala mundial, el 69 por ciento de la extracción anual de agua para uso humano se destina a la agricultura (principalmente para riego); la industria representa el 23 por ciento y el consumo doméstico (hogar, agua para beber, saneamiento) representa aproximadamente el 8 por ciento (Agua Centro Fibrogen, 2011).

Estos promedios mundiales varían mucho de una región a otra. En África, por ejemplo, la agricultura se lleva el 88 por ciento de toda el agua extraída para uso humano, mientras que el consumo doméstico representa el 7 por ciento y la industria el 5 por ciento. En Europa, la mayor parte del agua se utiliza para la industria (el 54 por ciento), mientras que la agricultura representa el 33 por ciento y el consumo doméstico el 13 por ciento (Agua Centro Fibrogen, 2011).

2.2. Uso consuntivo

2.2.1. Uso doméstico.

Comprende el consumo de agua en nuestra alimentación, en la limpieza de nuestras viviendas, en el lavado de ropa, la higiene y el aseo personal.

2.2.2. Uso Público.

En la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques y jardines, otros usos de interés comunitario, etc.

2.2.3. Uso en agricultura y ganadería.

En agricultura, para el riego de los campos. En ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.

2.3. Uso no consuntivo

2.3.1. Uso del agua como fuente de energía.

Se aprovecha el agua para producir energía eléctrica (en centrales hidroeléctricas situadas en los embalses de agua). En algunos lugares se aprovecha la fuerza de la corriente de agua de los ríos para mover máquinas (molinos de agua, aserraderos, etc.).

2.3.2. Uso del agua como vía de comunicación.

Desde muy antiguo, el hombre aprendió a construir embarcaciones que le permitieron navegar por las aguas de mares, ríos y lagos. En nuestro tiempo, utilizamos enormes barcos para transportar las cargas más pesadas que no pueden ser transportadas por otros medios.

2.3.3. Uso del agua para recreación.

En los ríos, en el mar, en las piscinas y lagos, en la montaña... practicamos un gran número de deportes: vela, submarinismo, windsurf, natación, esquí acuático, waterpolo, piragüismo, ráfting, esquí, patinaje sobre hielo, jockey. Además pasamos parte de nuestro tiempo libre disfrutando del agua en las piscinas, en la playa, en los parques acuáticos o, simplemente, contemplando y sintiendo la belleza del agua en los ríos, las cascadas, los arroyos, las olas del mar, las montañas nevadas, etc.

Generalmente después de hacer uso del agua, en muchas actividades antrópicas lo que quedan son aguas residuales, las mismas en muchos casos no pueden ser aprovechadas directamente por su grado de contaminación.

2.4. Aguas Residuales.

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas domésticas y urbanas, y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación (Robie y Harenberg, 1987).

También puede definirse el agua residual, como el agua suministrada a una población que habiéndose aprovechado para diversos usos, ha quedado impurificada. La contaminación de las aguas es un término que está relacionado con el uso específico del agua y su origen puede ser, desde totalmente natural o producto de descarga de sistemas de alcantarillado doméstico o industrial. Hay muchas otras fuentes de contaminación de las aguas, tales como la contaminación del aire (lluvia ácida), determinadas prácticas agrícolas, aguas lluvias, etc. (Salazar, 2005).

Las aguas residuales urbanas son generalmente conducidas por sistemas de alcantarillado y tratadas en una planta de tratamiento de aguas para su depuración antes de su vertido, aunque no siempre es así en todos los países. Las aguas residuales generadas en áreas o viviendas sin acceso a un sistema de alcantarillado centralizado se tratan en el mismo lugar, generalmente en fosas sépticas, y más raramente en campos de drenaje séptico, y a veces con biofiltros (Salazar, 2005).

2.4.1. Clasificación de aguas residuales.

El origen de las aguas residuales determina la composición y concentración de las sustancias presentes en ella. A continuación se detallan algunos aspectos generales del origen de las aguas residuales más comunes (Salazar, 2005).

a) Aguas residuales domésticas

Son las aguas de origen principalmente residencial y otros usos similares que en general son recolectados por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades

(comercial, servicios, industria). Contiene principalmente desechos humanos, animales y otros de tipo casero, además deben agregarse las aguas provenientes de infiltraciones subterráneas (Lacrampe, 1992).

b) Aguas residuales industriales

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc). Así esta agua pueden variar desde aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería, otras Industrias), (Salazar, 2005).

c) Aguas residuales pluviales

Proviene de escurrimientos superficiales de aguas lluvias, tales como los techos, pavimentos, y otras superficies naturales del terreno. La escorrentía generada por aguas lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales (Salazar, 2005).

2.5. Características de aguas residuales.

2.5.1. Características Físicas

- **Temperatura.**

La temperatura, tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se llevan a cabo en el agua, por ejemplo, en la solubilidad de los gases, el efecto de la viscosidad sobre la sedimentación y en las reacciones biológicas, que tienen una temperatura óptima para poder realizarse (Salazar, 2005).

La actividad biológica es mayor a temperaturas más altas, hasta los 30 °C aproximadamente. A medida que aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, obteniendo como resultado una mayor sedimentación (Salazar, 2005).

Al aumentar la temperatura del agua producto de la descarga de las aguas servidas, disminuye la solubilidad del oxígeno en ésta, lo que asociado al desarrollo bacteriano, ocasiona un agotamiento acelerado del oxígeno disuelto. El problema se agudiza cuando el flujo es lento y la temperatura ambiente alta (Salazar, 2005).

- **Olor.**

La evacuación de las aguas residuales frescas, son prácticamente inodoras. Los olores a podrido tales como: el ácido sulfúrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado), indol, escatol, u otros productos de descomposición, indican claramente que las aguas están en estado de descomposición o aguas sépticas (Lacrampe, 1992).

- **Color.**

Generalmente, la coloración es indicadora de la composición y concentración de las aguas residuales, variando del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Las aguas residuales normales y muy frescas se caracterizan por su color gris. Ahora, si su color es negro o demasiado oscuro, podría indicar que están alteradas o son sépticas y con mayor razón si desprenden olores sépticos. Esto afecta a la difusión de la radiación en el medio (y por tanto a la fotosíntesis) a la vez que provoca una mayor absorción de energía solar, por lo que la temperatura puede aumentar ligeramente respecto a la esperable (Salazar, 2005).

- **Turbidez.**

La turbidez es debida a la existencia en el agua de materia en suspensión de pequeño tamaño: limos, arcillas, etc.; y cuanto mayor es, mayor es la contaminación del agua (Salazar, 2005).

2.5.2. Características Químicas.

- **Materia Orgánica.**

La materia orgánica es el factor característico de las aguas residuales domésticas debido a las proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas procedentes de excretas y residuos domésticos vertidos. Su característica principal y más importante es la reducción del contenido en oxígeno disuelto, lo que provoca:

- Desaparición de especies exigentes en oxígeno disuelto.
- Evolución de condiciones aeróbicas a anaerobias. Esto además afecta a la composición química del agua además de la biológica, pues según qué tipo de poblaciones de seres vivos se encuentren en el agua. (Salazar, 2005).

La forma habitual de evaluar el grado de contaminación por materia orgánica es a través de la medición del oxígeno necesario para conseguir la oxidación de la materia orgánica, bien por “vía biológica” (DBO) o por “vía química” (DQO) (Salazar, 2005)

- **pH.**

Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua, teniendo valores que van desde 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino), siendo $\text{pH} = 7$ el valor neutro. Si es bajo, indica la acidificación del medio, por el contrario, un pH elevado indica una baja concentración de estos iones, y por tanto, una alcalinización del medio (Salazar, 2005).

El pH es un factor clave en el crecimiento de los microorganismos, siendo un estrecho rango el ideal para el crecimiento de éstos. El agua con una concentración adversa de ion de hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de las aguas naturales (Salazar, 2005).

- **Alcalinidad.**

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH (Quezada, 2001).

Normalmente, el agua residual es bastante alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea y los materiales añadidos en los usos domésticos. La alcalinidad presente se expresa en términos de carbonato de calcio, CaCO_3 (Quezada, 2001).

- **Cloruro.**

Responsable por el sabor salobre en el agua; es un indicador de posible contaminación del agua residual debido al contenido de cloruro de la orina. El sabor se hace presente con 250-500 (mg/L), aunque una concentración de hasta 1500 (mg/L) es poco probable que sea dañina para consumidores en buen estado de salud (Quezada, 2001).

- **Compuestos tóxicos.**

Es frecuente que en las aguas residuales domésticas aparezcan pequeñas cantidades de tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos, y que provienen de su uso como tales en la vida cotidiana (desinfectantes, insecticidas y biocidas en general) o por formar parte de sustancias vertidas o puestas en contacto con el agua, como suele ocurrir con ciertos metales y tóxicos inorgánicos. Estos metales y compuestos inorgánicos, son necesarios para el desarrollo de la vida, pero a partir de ciertas concentraciones pueden inhibirla (Salazar, 2005).

- **Nitrógeno total.**

Es un elemento importante, ya que las reacciones biológicas solo pueden realizarse en presencia de suficiente nitrógeno (Salazar, 2005).

- **Oxígeno Disuelto.**

El oxígeno es poco soluble en el agua y es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Para mantener las formas superiores de vida su presencia es esencial. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con Oxígeno Disuelto (OD), pero la demanda de oxígeno de los desechos puede ser consumido rápidamente (Quezada, 2001).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La demanda biológica 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, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO_5), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l) (Salazar, 2005).

El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU EPA, 2011).

Es un método que constituye un medio válido para el estudio de los fenómenos naturales de destrucción de la materia orgánica, representando la cantidad de oxígeno consumido por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición, dentro de condiciones bien especificadas, de las materias orgánicas contenidas en el agua a analizar.

El método pretende medir en principio, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de nitritos y de las sales

amoniacaes, susceptibles de ser también oxidadas por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-alitiourea como inhibidor, además influyen las necesidades de oxígeno originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células (Ramalho, 1996).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l). Aunque este método pretende medir exclusivamente la concentración de materia orgánica, puede sufrir interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.). La DQO está en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc. Por eso la obtención de los resultados y su interpretación no serán satisfactorios más que en condiciones metodológicas bien definidas y estrictamente respetadas (Ramalho, 1996).

2.5.3. Características Biológicas.

El análisis bacteriológico de los abastecimientos de agua es el parámetro más sensible. Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos: el agua servida contiene más de 10⁶ col/ml, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua servida, el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas de las aguas superficiales naturales. Los tipos y números de los diferentes grupos de microorganismos están relacionados con la calidad del agua y otros factores ambientales (Arango, 2003).

La característica de la mayoría de las aguas residuales es que contienen una amplia variedad de microorganismos que forman un sistema ecológico balanceado. Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos.

- **Bacterias.**

Éstas componen la mayor parte de los microorganismos presentes en las aguas residuales. Las bacterias para su desarrollo necesitan alimento como todos los organismos, éstas cuando se encuentran en las aguas residuales obtienen dicho alimento de las distintas sustancias presentes en el agua dando origen a compuestos más estables.

Existen diversos tipos de bacterias que pueden ser: parásitas (provienen de las materias excrementicias que se vierten a las aguas residuales) se les conoce como patógenas porque producen enfermedades (cólera, tifoidea, disentería, e infecciones de carácter intestinal); o saprófitas son las que se alimentan de materia orgánica muerta, degradando los sólidos orgánicos, estas no son de origen patógeno y son de vital importancia en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

- **Organismos Microscópicos.**

Existen en las aguas residuales, además de bacterias otros organismos vivos de tamaño microscópico, pero que representan una menor densidad dentro de la composición biológica de las aguas. Algunos son animales y otros vegetales, todos provienen del suelo o de los desechos orgánicos que van a formar parte de las aguas servidas. Algunos son capaces de moverse y otros no, todos requieren alimentos, oxígeno y humedad. Pueden ser del tipo aerobio, anaerobio o facultativo, y participan también en la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

- **Organismos Macroscópicos.**

Además de los microorganismos presentes en las aguas residuales, también pueden existir organismos de mayor tamaño que forman parte en la descomposición de la materia orgánica, a éstos se le denomina **macroscópicos**, es decir, visible a simple vista. Se encuentran en su mayoría en aguas residuales densamente contaminadas (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

- **Virus.**

Son microorganismos de origen patógeno causantes de enfermedades como la hepatitis y la poliomielitis. Estos más que participar en el proceso de la descomposición de las aguas residuales son indicadores de índices de contaminación microbiana.

2.6. Tratamiento de aguas residuales

Toda agua servida o residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo (Salazar, 2003).

Una Estación depuradora de aguas residuales tiene la función de eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna, de manera que se pueda devolver el agua al medio ambiente en condiciones adecuadas.

El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta, una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90 % de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella (Salazar, 2003).

2.7. Etapas del tratamiento del agua residual.

Según COREMA (2002), El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pre tratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

2.7.1. Etapa preliminar.

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones:

1. Medir y regular el caudal de agua que llega a la planta
2. Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

Normalmente las plantas están diseñadas para tratar un volumen de agua constante, lo cual debe adaptarse a que el agua servida producida por una comunidad no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor, por lo que deben instalarse sistemas de regulación de forma que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

Asimismo, para que el proceso pueda efectuarse normalmente, es necesario filtrar el agua para retirar de ella sólidos y grasas. Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores (a veces), desgrasadores y desarenadores. En esta etapa también se puede realizar la pre aireación, cuyas funciones son: a) Eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes, y b) Aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

2.7.2. Etapa primaria.

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes, así para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos (sales de hierro, aluminio y polielectrolitos floculantes) con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloides.

Las estructuras encargadas de esta función son los estanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios, habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Asimismo, el período de

retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70 % de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

2.7.3. Etapa secundaria.

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario.

Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar un medio de eliminarlos.

En el decantador secundario, hay un flujo tranquilo de agua, de forma que la biomasa es decir, los flóculos bacterianos producidos en el reactor sedimentan. El sedimento que se produce y que como se dijo, está formado fundamentalmente por bacterias, se denomina fango activo, los microorganismos del reactor aireado pueden estar en suspensión en el agua (procesos de crecimiento suspendido o fangos activados), adheridos a un medio de suspensión (procesos de crecimiento adherido) o distribuidos en un sistema mixto (procesos de crecimiento mixto).

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

2.7.4. Etapa terciaria.

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en cursos de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona, no todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará.

2.8. Principales pasos del tratamiento de aguas residuales

2.8.1. Desinfección.

Las aguas servidas tratadas normalmente contienen microorganismos patógenos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento. Las cantidades de microorganismos van de 10 000 a 100 000 coliformes totales y 1000 a 10 000 coliformes fecales por 100 ml de agua, como también se aíslan algunos virus y huevos de parásitos, por tal razón es necesario proceder a la desinfección del agua (Clean World Hispania, 2014)

Esta desinfección es especialmente importante si estas aguas van a ser descargadas a aguas de uso recreacional, aguas donde se cultivan organismos acuáticos o aguas que pudieran usarse como fuente de agua para consumo humano.

Los métodos de desinfección de las aguas servidas son principalmente la cloración y la iozonización, pero también se ha usado la bromación y la radiación ultravioleta. El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva, sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a dechloración antes de disponerla a cursos de agua natural.

Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1000 coliformes totales por 100 ml y con una DBO inferior a 50 mg/L. según la Ley 1333.

La estructura que se usa para efectuar la cloración es la cámara de contacto, consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos.

2.8.2. Tratamiento de los fangos.

Los sedimentos que se generan en las etapas primaria y secundaria se denominan fangos. Estos fangos contienen gran cantidad de agua (99 %), microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos, se han desarrollado varios métodos para el tratamiento de los fangos e incluyen: digestión anaerobia, digestión aerobia, compostaje, acondicionamiento químico y tratamiento físico. El propósito del tratamiento de los fangos es destruir los microbios patógenos y reducir el porcentaje de humedad (Glynn y Heinke, 1999).

La digestión anaerobia se realiza en un estanque cerrado llamado digestor y no requiere la presencia de oxígeno pues se realiza por medio de bacterias que se desarrollan en su ausencia. Para el óptimo crecimiento de estos microorganismos se requiere una temperatura de 35 °C.

Las bacterias anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua servida, en una primera fase, a ácido propiónico, ácido acético y otros compuestos intermedios, para posteriormente dar como producto final metano (60-70 %), anhídrido carbónico (30 %) y trazas de amoníaco, nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrógeno. El metano y el anhídrido carbónico son inodoros; en cambio, el ácido propiónico tiene olor a queso rancio y el ácido acético tiene olor a vinagre.

La digestión aerobia se realiza en un estanque abierto y requiere la presencia de oxígeno y por tanto la inyección de aire u oxígeno, en este caso la digestión de la materia orgánica es efectuada por bacterias aerobias, que realizan su actividad a temperatura ambiente, el producto final de esta digestión es anhídrido carbónico y agua, no se produce metano, este proceso bien efectuado no produce olores.

El compostaje es la mezcla del fango digerido aeróbicamente con madera o llantas trituradas, con el objetivo de disminuir su humedad para posteriormente ser dispuesto en un relleno sanitario.

El acondicionamiento químico se puede aplicar tanto a los fangos crudos como digeridos e incluye la aplicación de coagulantes tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y los polímeros, los que tienen como función ayudar a la sedimentación de las materias en suspensión y solución en el fango; la elutriación o lavado del fango, la cloración y la aplicación de floculante.

Una vez concluida la etapa de digestión microbiana, ya sea aerobia o anaerobia, los fangos aún contienen mucha agua (alrededor de un 90 %) por lo que se requiere deshidratarlos para su disposición final. Para ello se han diseñado dos métodos principales: secado por aire y secado mecánico.

2.8.3. Deshidratación de los fangos.

Se han hecho diversas estructuras para el secado por aire de los fangos, entre ellas están: lechos de arena, lechos asistidos de arena, lagunas de fangos, lechos adoquinados y eras de secado.

Para el secado mecánico existen filtros banda, filtros prensa, filtros de vacío y centrifugas. Los fangos deshidratados deben disponerse en una forma ambientalmente segura, para ello según el caso, pueden llevarse a rellenos sanitarios, ser depositados en terrenos agrícolas y no agrícolas o incinerados.

La aplicación en terrenos agrícolas requiere que el fango no presente sustancias tóxicas para las plantas, animales y seres humanos. Lo habitual es que sí las contengan por lo que lo normal es que sean dispuestos en rellenos sanitarios o incinerados.

2.8.4. Tratamiento de aguas residuales por procesos biotecnológicos.

El proceso natural de la limpieza del agua se consigue gracias a una bacteria que se alimenta de los desechos que contienen las aguas servidas. Gracias a esta bacteria aparecen los sistemas de tratamiento de aguas por biodigestión, donde por medio de

diversos métodos se pone en contacto esta bacteria con el agua para acelerar el proceso natural (Metcalf & Eddy, 1998).

Utilizando una película fija de bacteria en diversas piezas de ingenierías distintas (estudiadas para tener mejor contacto con el agua a la hora de limpiarla) el agua se pone en contacto con la bacteria para provocar una biodigestión mucho más rápida que el proceso natural.

En presentación de rodillos, empaques, módulos o molinos la película fija tiene el mismo propósito, la diferencia entre las tecnologías radica en la forma en la que se acelera el propio proceso natural y desde luego en el espacio necesario para construir una planta de tratamiento de aguas con estas características.

En comparación con otras tecnologías y métodos para la limpieza de las aguas residuales, la película fija es sin duda una de las opciones más fuertes gracias a su tamaño, fácil utilización, coste y espacio necesario para su construcción.

Las aguas residuales también pueden ser tratadas por medio de biofiltros, cuyas características hace que se conviertan en una opción viable para el tratamiento de aguas.

2.9. Tratamiento con biofiltros o lombrifiltro.

Los biofiltros o lombrifiltros, también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido (aire o agua) mediante un proceso biológico (Portal del Mantenimiento Industrial: Empresas, Servicios y Suministros, 2014).

El tratamiento de biofiltración del agua es el proceso de limpieza de agua de tormenta o de desecho para quitar los contaminantes dañinos y la materia orgánica al hacer pasar el agua a través de un sistema de plantas, suelos y microbios.

Este ambiente de filtración natural filtra y absorbe los componentes que podrían contaminar el ecosistema local. La biofiltración es una tecnología innovadora y los científicos están investigando continuamente usos más efectivos y eficientes de las

bacterias para mejorar el proceso, esto incluye los materiales de fijación artificial o biofiltración, como las bacterias y otros microbios, o una superficie artificial como una pantalla polimérica (Salazar, 2005).

El tratamiento de biofiltración del agua ha sido utilizado por los humanos desde antes de su documentación oficial. El primer biofiltro, un filtro equipado con el medio natural para filtrar los contaminantes, fue introducido en Inglaterra en 1893. Desde entonces, la biofiltración ha sido usada para el aire, el agua y el agua de desecho. Los inventores comenzaron a patentar artefactos de biofiltración en la década de 1950 y los científicos continúan trabajando para perfeccionar los sistemas que aparecieron hace 100 años (Salazar, 2005).

2.10. Los componentes básicos.

Los sistemas de biofiltración de agua, como cualquier sistema de tratamiento de aguas, requieren un área de afluencia y una de egreso. El tamaño de la afluencia, donde ingresa el agua, determina cuán grande será el área de biofiltración. Cuanta más agua ingresa, más medio filtrante y superficie son necesarios. También hay una cámara de sedimentación, estructuras para distribuir el flujo de agua y la cámara principal de biofiltración (Texas A&M University System, 2015).

2.10.1. Cámara de sedimentación.

La cámara de sedimentación es para la distribución de pre-filtración e inicial del agua que ingresa. Las plantas apropiadas para el hábitat específico local son instaladas a intervalos en la cámara de sedimentación. Esto hará que el agua fluya a una velocidad que los técnicos han determinado como la mejor para el proceso de tratamiento. Estas plantas también proveen resistencia al flujo de agua para evitar que fluya demasiado rápido, luego comienza el proceso de biofiltración junto con las actividades aeróbicas de los microbios del suelo.

2.10.2. Aparatos de distribución del agua.

El proceso de biofiltración depende de que el agua sea distribuida en forma pareja a través de la zona de biofiltración, y el flujo del agua es regulado, demasiada agua

aumentará la erosión; muy poca agua hará que las plantas filtradoras se marchiten y posiblemente mueran. Los artefactos de distribución de agua actúan como separador entre las zonas de sedimentación y biofiltración, también ayudan a mover el agua por lo que cubren uniformemente cubren el suelo en la zona de biofiltración, se recomienda utilizar piedras como separadores por su longevidad y disponibilidad (Gonzales, 2011).

2.10.3. La zona de biofiltración.

La zona de biofiltración está conformada por plantas, suelos de alta capacidad y microbios sanos, las plantas deben crecer vigorosamente y ser aptas para una carga media a intensa en el suelo. El suelo en sí mismo debe tener una alta capacidad de retener y filtrar el agua para permitir una máxima absorción de los contaminantes, es un delicado equilibrio poder tener a los microbios, el agua, el suelo y las plantas trabajando en conjunto, pero cuando son manejadas correctamente las instalaciones de tratamiento de biofiltración del agua pueden producir natural y efectivamente agua limpia (Universidad de Chile, 2008).

2.11. Construcción del Biofiltro o lombrifiltro.

El biofiltro consiste en una piscina compuesta por diferentes capas filtrantes. En la capa superficial se agregan lombrices, las cuales tienen excelentes características degradadoras de residuos sólidos orgánicos. Las etapas en las que se degradan los residuos sólidos y líquidos es el siguiente:

- El Ril o Agua servida es regada sobre un lecho compuesto por distintos estratos porosos, conteniendo en los superiores un alto número de lombrices.
- El Ril o agua servida escurre por el medio filtrante, quedando retenida en éste la materia orgánica.
- La materia orgánica del efluente es consumida por las lombrices, oxidándola a anhídrido carbónico y agua, pasando una parte menor de ella a constituir masa corporal de las lombrices y otra mayor a deyecciones de las mismas; estas últimas constituyen el llamado humus de lombriz.
- Los microorganismos presentes en el agua servida son reducidos en dos órdenes de magnitud: uno por las lombrices y el otro por los demás microorganismos

consumidores de materia orgánica que viven junto con las lombrices (Salazar, 2005).

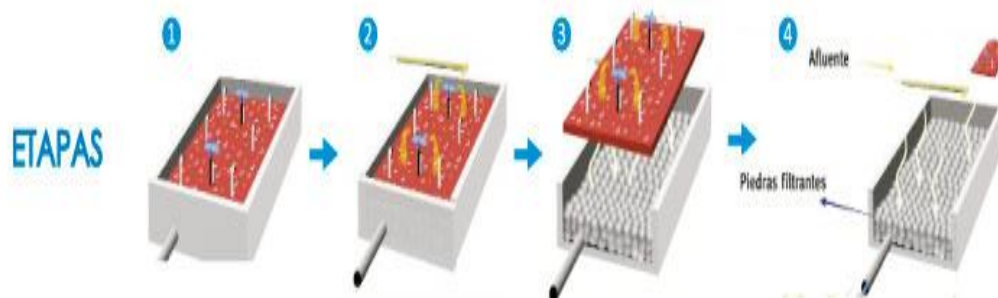


Figura 1. Etapas del tratamiento de aguas residuales

2.12. Sistema Tohá de tratamientos de aguas residuales.

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin (Universidad de Sevilla)

Es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales. Las primeras investigaciones se limitaron a usar las lombrices no en el tratamiento de aguas, sino que en el tratamiento de lodos que resultaban de la depuración de las aguas (Salazar, 2005).

Actualmente se postula que las lombrices deben estar en una función directa en el tratamiento de las aguas, especialmente en la etapa de oxidación biológica, incluidas en el biofiltro de una planta de tratamiento de aguas residuales. De esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el *Sistema Tohá* (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003. Citado por Salazar, 2005).

El Biofiltro o sistema Toha, es un filtro percolador de baja tasa por el cual se hace pasar el agua a tratar. Las capas de distintos materiales que lo componen retienen el material contenido en el agua permitiendo que la flora bacteriana y las lombrices oxiden la materia orgánica y dejen pasar solo el agua libre de contaminación. Los microorganismos y lombrices se encuentran especialmente adaptados para el tratamiento de aguas (Salazar, 2005).

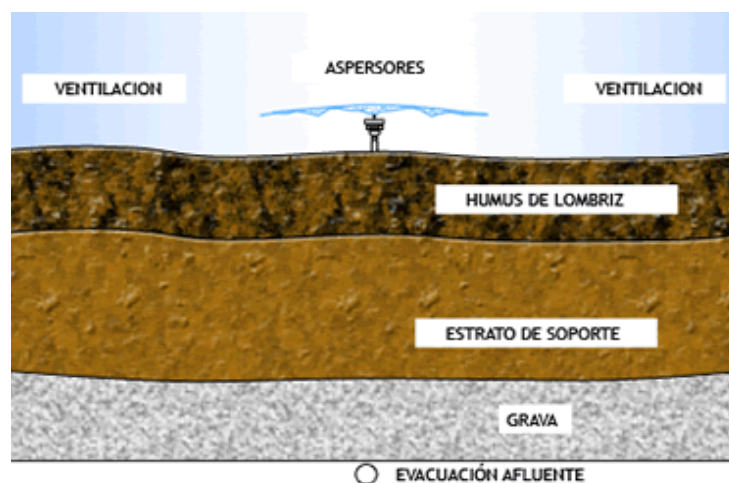


Figura 2. Capas del biofiltro
(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

2.12.1. Funcionamiento del sistema.

Esta tecnología se caracteriza por su sencillez de tratamiento y su independencia de tratamientos previos, así como la no necesidad de adicionar nutrientes, coagulantes, floculantes u otro aditivo. Solo requiere que el afluente llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, entre ellos pH no inferior a 4,5 y no mayor a 8 (García, 2009).

Los Lombrifiltros pueden ser considerados como el único sistema de tratamiento de riles y aguas servidas que proporciona un ingreso, esto por la generación de lombrices, humus y agua, los que tienen un valor en el mercado.

- a) El agua residual es regada o asperjada sobre la superficie del Biofiltro compuesto por distintos estratos y cuya superficie es un lecho que contiene un alto número de lombrices.
- b) El agua residual o Ril escurre por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica.
- c) La materia orgánica del agua residual es consumida por las lombrices y pasa a constituir por un lado masa corporal de las lombrices y por otro, las deyecciones de las mismas llamadas humus de lombriz.
- d) Los microorganismos presentes en el agua servida, son reducidos en dos órdenes de magnitud, debido a sustancias que son generadas por las lombrices y los demás microorganismos consumidores de materia orgánica que viven junto con las lombrices.
- e) En el caso de coliformes fecales, éstos son reducidos en un orden de magnitud debido a sustancias que son generadas por las lombrices y los demás microorganismos consumidores de materia orgánica que viven junto con las lombrices (Cueva, 2013).

2.13. Ventajas del Biofiltro en relaciones a sistemas convencionales.

- a) **No produce lodos inestables:**

Este nuevo sistema de tratamiento degrada la totalidad de sólidos orgánicos presentes en las aguas residuales o Riles, sin producir lodos inestables como el resto de los sistemas de tratamiento, sólo es necesario instalar cámaras de rejas o canastillos para retener sólidos inorgánicos, que puedan ser erróneamente descargados en las aguas residuales y sólidos grandes que puedan obstruir el sistema de riego (Marín, 2010).

b) Altos índices de eficiencia:

Se ha comprobado científicamente que el sistema de biofiltro posee grados altos de eficiencia en reducir una serie de parámetros, como son: los sólidos suspendidos totales y volátiles, DBO5 y Coliformes fecales (Arango y Zarate, 2008).

Cuadro 1. Grado de eficiencia de los biofiltros para el tratamiento de coliformes fecales

PARÁMETROS	EFICIENCIA
Coliformes fecales	99 %
DBO5	95 %
Sólidos totales	95 %
Sólidos suspendidos volátiles	93 %
Nitrógeno total	60 – 80 %
Aceite y grasas	80 %
Fosforo total	60 – 70 %

(Fuente: INPI Chile, 2010)

c) El lecho filtrante no se impermeabiliza:

El Biofiltro tiene una diferencia muy importante respecto de otros sistemas de filtros, no se colmata o impermeabiliza. Esta característica se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su incansable movimiento, crean túneles y canales que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro. Los materiales sólidos orgánicos presentes en el agua residual, que colmatan o tapan otros filtros, en este caso son digeridos por las lombrices (Soto, 2009).

d) Bajos costos operacionales, mantención y limpieza:

En general el biofiltro solo requiere de la construcción de las obras civiles e instalación del relleno. Los costos operacionales son mínimos (energía para funcionamientos de bombas) y su mantención es muy simple. Los costos de operación, mantención y limpieza, se reducen a 1/3 respecto a los sistemas existentes en el mercado.

e) **Sistema modulares ampliables:**

El sistema funciona por unidad de superficie, sistema modular, por lo que se puede ir ampliando de acuerdo a las necesidades.

f) **Sistema ecológico, que reutiliza el agua tratada:**

El sistema de biofiltro dinámico y aeróbico permite reutilizar el agua tratada para regadío, lo cual, en un escenario donde el agua sea escasa, puede ser un importante ahorro para los usuarios. El proceso de tratamiento de riles y aguas servidas es natural, por tanto no incorpora elementos químicos. Como no utiliza químicos ni sustancias tóxicas, no existe riesgo en dañar el medio ambiente.

g) **Produce un subproducto que puede ser utilizado como abono natural:**

Debido a que la materia orgánica de las aguas residuales es convertida en masa corporal de lombrices y en humus de lombriz, cada cierto tiempo puede extraerse los excesos de humus, y así reconstituir la estratigrafía inicial del biofiltro, y ser utilizados como excelente abono agrícola cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos. Adicionalmente, se puede destacar que las lombrices pueden ser utilizadas como alimento de aves o como fuente de materia rica en proteínas y el agua tratada también puede ser utilizada para riego (Castañeda, 2013).

El biofiltro se considera como uno el único sistema de tratamiento de aguas servidas y riles que genera un ingreso debido a que genera: lombrices, agua y humus, los cuales tienen un valor en el mercado.

2.13.1. Cuadro comparativo entre sistema séptico y sistema tohá (biofiltro).

En la siguiente tabla, a modo de resumen, se presentan diferentes parámetros de tal forma de poder comparar ambos sistemas, ya estudiados anteriormente.

Cuadro 2. Cuadro comparativo entre Sistema Séptico y Sistema Tohá

PARAMETRO	SISTEMAS	
	SEPTICO.	TOHÁ (biofiltro).
Consumo de Energía Eléctrica.	No requiere de energía eléctrica.	Su gasto energético es bajo: costo operacional de los equipos de bombeo y de la cámara de radiación.
Calidad del efluente.	No apto para riego. El efluente no cumple con la norma de riego, debido a que el efluente cuenta con una alta tasa de presencia bacteriana, no eliminable con la aplicación de cloro. En consecuencia existe un alto riesgo, al contaminar las napas subterráneas.	Apto para riego. El efluente cumple con la norma de riego, por lo tanto puede ser vertido encauses de tipo superficial.
Contaminación de napas.	Si.	No.
Generación de residuos.	Lodo contaminante, el cual debe ser retirado por un camión limpia fosas de manera periódica.	Humus, el cual puede ser utilizado como abono natural.
Mantenimiento.	Si. Requiere de la inspección del usuario de la planta para verificar del estado de ésta, y de la utilización de un limpia fosas para el retiro del lodo acumulado.	Si. Requiere de un operario a cargo de la planta para realizar las labores de mantención como por ejemplo: horqueto superficial, extracción de sólidos retenidos en el canastillo, limpieza de regadores, etc.
Capacidad de Infiltrar las Aguas al Suelo.	No se garantiza la permeabilidad del suelo a lo largo del tiempo, ya que es un índice extremadamente inestable, depende de las características del suelo, de las condiciones de operación y mantención de la planta, por lo tanto, son de exclusiva responsabilidad del usuario de la misma.	No requiere de infiltrar el agua al suelo.
Requiere Desinfección de Efluente.	No.	Si.
Visibilidad en el Emplazamiento.	Baja. Las fosas sépticas se ubican generalmente enterradas.	Alta. Requiere más espacio para el emplazamiento del sistema (lombrifiltro, cámara UV, planta elevadora, etc.).

(Fuente: Salazar, 2005)

2.14. La lombriz roja californiana.

La lombriz roja californiana es una de las muchas variedades de lombrices obtenidas mediante cruces para su empleo en lombricultura.

La especie es *Eisenia foetida*, de la familia Lumbricidae. A pesar de ser una especie europea, se le llama “californiana” porque fue en California donde se empezó a prestar atención a su efecto beneficioso para el mantillo.

Son criadas en cualquier lugar donde las temperaturas no superen los 40 °C y se dé al menos una temporada con un promedio inferior, siendo los climas templados los ideales para su reproducción.



Figura 3. Sustrato con lombriz californiana

Estas lombrices alcanzan la máxima capacidad de reproducción entre los 14 y los 27 °C; se reproducirán menos durante los meses más cálidos y durante los más fríos. Cuando la temperatura es inferior a 7 °C, las lombrices no se reproducen; pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad de lo habitual. El compost (humus de lombriz) que produce sirve como excelente fertilizante para praderas, huertas y árboles frutales.

Las lombrices adultas pesan de 0,24 hasta 1,4 gramos, comiendo una ración diaria que tiende a su propio peso; de ella, un 55% se traduce en abono, lo que hace muy interesante en su caso la lombricultura (incluso si consideramos la carne de lombriz producida a partir de desperdicios).

Las lombrices de tierra tienen un importante interés práctico por muchos aspectos. Por ejemplo:

- Uso como cebo vivo para pesca deportiva y recreativa.
- Utilización como alimento animal (y humano) en vivo o en forma de harinas.
- Tratamiento y valorización de residuos. Transformando residuos que se desecharían e irían a vertedero en abonos para la fertilización de suelos.

2.15. Marco legal Aplicable.

Se evaluó la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual en la estación experimental de Agronomía, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Ley N° 1333 de 27 de abril de 1992 (Ley y Reglamento del Medio Ambiente y Agua), el Decreto supremo N° 24176, del 8 de diciembre de 1995 y Reglamento en materia de contaminación hídrica (Ley 1333, 1992).

3. LOCALIZACIÓN.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca dependiente de la Carrera de Ingeniería Agronómica del Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Pública de El Alto, ubicado en el Municipio de Laja Provincia Los Andes del Departamento de La Paz. Geográficamente se encuentra entre 16°32'27" Latitud Sur y 68°18'32" Longitud Oeste, a una altitud de 3908 m.s.n.m. El Centro Experimental de Kallutaca se encuentra a una distancia de 26 km de la Ciudad de La Paz (SENAMHI, 2010).

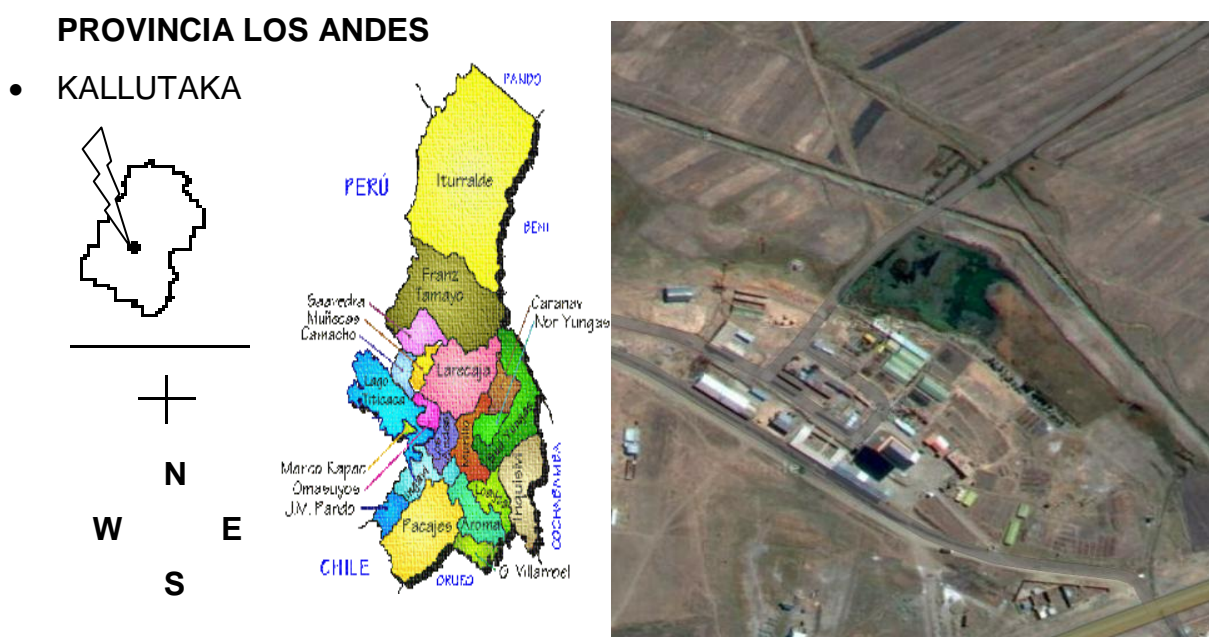


Figura 4. Localización del área de estudio
(Fuente Google heart)

3.1. Descripción de la zona.

De acuerdo a las características fisiográficas, Kallutaca se encuentra distribuida en las siguientes zonas comunales de acuerdo a su vocación productiva (CESA, 1999).

I- Comunidades estrictamente ganaderas. Ganadería de altura: ovinos.

II- Comunidades mixtas, agro pastorales. Ganadería de altura: ovinos, Agricultura de secano.

III- Comunidades mixtas, agro pastorales, Agricultura de secano más extendida que la de riego. Ganadería de altura: ovinos.

IV- Comunidades mixtas, agro pastorales. Ganadería vacuna lechera. Agricultura irrigada en potreros cercados.

V- Se caracteriza por una superficie pedregosa con vertiente a media ladera es una zona poco cultivable, se observan escasas parcelas. La incidencia de heladas es alta.

VI- Es la zona de pastoreo de ganado. Presenta praderas nativas estos terrenos no se han cultivado por muchos años.

3.1.1. Clima.

El clima de la zona es frío y semi-árido. La temperatura media anual es de 8,7°C siendo la temperatura máxima de 17°C, durante los meses de junio y julio la mínima es de -6°C, en el invierno. La precipitación Anual alcanza a los 613,1mm. La velocidad de viento promedio anual es de 9,6 Km. /h. (Fuente: Centro Experimental de Kallutaka, 2007).

El Centro Experimental se Kallutaca tiene un comportamiento de la temperatura media de 7.1 °C, también se cuentan con temperaturas extremas mínimas de -11.0 °C en los meses de junio y julio indicando temperaturas bajo cero; en los meses de noviembre y diciembre se observa el comportamiento de las temperaturas máximas de 21.6 a 23.3 °C, Guarachi a la vez señala que la humedad relativa en los meses de diciembre a marzo registra valores entre 64.5 a 71.0 % (verano), en meses de junio a agosto se evidencia valores promedios de 40.0 % (invierno). Por otro lado, SENAMHI (2013), señala que la precipitación promedio anual del lugar es de 500 mm/año. Según (Guarachi, 2011).

3.1.2. Topografía.

La comunidad de Kallutaka presenta una topografía con lomas y hoyadas y riachuelos dando lugar una amplia variabilidad topográfica, se caracteriza por presentar lomas redondeadas, lomas escarpadas (frecuentemente con afloraciones rocosas), laderas con pendiente fuerte, laderas con pendiente moderada y planicies (CESA, 1999).

3.1.3. Vegetación.

El Centro Experimental de Kallutaca de acuerdo a las características de la zona se encuentra una variedad de especies vegetales nativas, tiene la vegetación natural conformada en su mayor parte por: paja brava (*Achnatherum ichu*), tólares (*Parastephia sp*), añawayas (*Adesmia miraflorensis*), Chilligua (*Paspalum pignaeron*), cebadilla (*Bromus inermis*), diente de león (*Taraxacum officinalis*). Entre los principales cultivos se encuentran la papa (*Solanum tuberosum*) y la Cebada (*Hordium sativum*) (Moñocopa, 2012).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales.

4.1.1. Material biológico.

El material biológico que se utilizó en el presente trabajo de investigación fueron tres kilogramos de lombrices rojas californiana (*Eisenia foetida*) y microorganismos que viven en el medio, las cuales se encargaron del proceso de remoción de contaminantes y/o purificación del agua contaminada.

4.1.2. Material de campo.

Los materiales de campo que se emplearon son: Envases esterilizados para la recolección de muestras, caja para transportar las muestras, guantes, barbijo, tablero de campo, libreta de campo, marcadores, cámara fotográfica, planillas de registro.

4.1.3. Material de gabinete

Los materiales usados en gabinete fueron: Material de escritorio en general (papel bond, lápices bolígrafos, etc.), calculadora, computadora e impresora.

4.2. Metodología.

4.2.1. Construcción del biofiltro.

La infraestructura para el presente trabajo de investigación fue básicamente un estanque con una entrada y una salida del agua tratada y con diferentes capas filtrantes (grava y aserrín). El biofiltro fue construido dentro un ambiente atemperado (carpa solar) para favorecer el desarrollo de las lombrices.



Figura 5. Construcción del ambiente atemperado



Figura 6. Forma del biofiltro

4.2.2. Colocado de las capas filtrantes.

Una vez construido el estanque destinado al biofiltro, comenzó el proceso de formación de las diferentes capas del material filtrante que conforman el biofiltro, como se puede observar en la figura 7 colocado de la viruta, estas capas se conformó de la siguiente manera:

- Una primera capa de 0.5 m de altura de grava de 3/4.
- Malla milimétrica; separación entre la grava y la viruta
- Una capa de viruta o ripio de 0.2 m de altura.
- Una última capa de aserrín de 0.1 m altura.

La malla milimétrica se tendió con el objetivo de evitar que las lombrices se pasen a la grava y acaben dispersándose.



Figura 7. Colocado de capas filtrantes

4.2.3. Inoculación de Lombrices.

Una vez que el biofiltro fue concluido con sus diferentes capas, se inoculo las lombrices rojas californianas en sus respectivas cajas con estiércol, Posteriormente recién se hizo ingresar el agua residual que se utilizó para el riego del sustrato de las lombrices y la distribución de nutrientes que se constituye en el alimento para las lombrices, (ver figura 8 y anexo 10).



Figura 8. Inoculación de lombrices

4.2.4. Distribución de agua al biofiltro.

Una vez establecido el biofiltro e inoculadas las lombrices, se procedió a llenar el biofiltro con las aguas servidas desde un estanque ubicado cerca del biofiltro, para este propósito se utilizó una bomba de agua de 1 HP de capacidad y aspersores para distribuir el agua uniformemente. El agua residual utilizada, previamente fue filtrada en estanques con grava para separar los residuos sólidos, como se observa en la figura 9.



Figura 9. Agua filtrada que alimento de aguas servidas al biofiltro

La distribución del agua residual en el biofiltro se realizó por aspersion, esto con el objetivo de realizar una distribución uniforme y no afectar a las lombrices, ya que distribuir el agua por inundación o en exceso puede matar a las lombrices y además rebasar la capacidad y principios de funcionamiento del biofiltro.

Para este propósito, se instalaron microaspersores o nebulizadores, que además de humedecer el sustrato incorpora y distribuye los nutrientes del agua servida en el sustrato (ver figura 10), la cual pasara primeramente por el organismo de las lombrices luego se irá infiltrando en los horizontes o capas del biofiltro, este paso del agua por los diferentes estratos o capas del biofiltro, purifica el agua residual.



Figura 10. Distribución de aguas servidas por micro Aspersión en el biofiltro

4.3. Recolección de aguas tratadas.

Una vez que el agua residual pasó por el biofiltro, el agua tratada fue colectada en un estanque de recolección como se puede observar en la figura 11 y anexo 18, que en nuestro caso fue denominado efluente y estas aguas fueron colectadas o muestreadas y enviadas al laboratorio (ESPECTROLAB) cumpliendo las normas de seguridad, en el cual se evaluó la calidad del agua tratada, de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis que se realizó en el laboratorio.



Figura 11. Estanque de recolección o efluente

a) Toma de Muestras.

Antes y después del tratamiento de las aguas servidas en el biofiltro, fue muy importante realizar el control de la calidad de las aguas residuales, para ello se tomaron las muestras siguiendo los protocolos establecidos por ESPECTROLAB, laboratorio especializado que se encargó de realizar el análisis físico, químico y biológico del agua.

Los muestreos se empezaron a tomar el día “cero” de la introducción de las aguas servidas al biofiltro, a los cinco y diez días respectivamente de permanencia del agua en el biofiltro. El muestreo se realizó de acuerdo a la Norma NTE INEN 2176:1998, para el afluente como para el efluente del biofiltro como se observar en el anexo 15 y 18, y en la figura 12.



Figura 12. Toma de muestras de agua del afluente

4.4. Preservación de Muestras.

Para asegurar un adecuado manejo de las muestras se aplicó la cadena de custodia de las muestras (ver figura 13). Para este propósito fue necesario el uso de una conservadora con gel-hielo, que permitió que las muestras no se alteren y que las mismas no entren en contacto con la luz, evitando la alteración de resultados de ciertos parámetros que se analizaron.



Figura 13. Muestras colectadas listas para su transporte a SPECTROLAB

4.5. Análisis de las Muestras.

Las muestras recolectadas fueron transportadas vía terrestre, hasta la ciudad de Oruro donde se encuentra el laboratorio especializado SPECTROLAB, dependiente de la Universidad Técnica de Oruro, el muestreo se realizó de acuerdo al tiempo de tratamiento de las aguas servidas en el biofiltro. Para la toma de muestras, el personal cumplió con las medidas básicas de bioseguridad, como se observa en el anexo 15, 16 ,17 y 19.

Las muestras se colectaron en frascos bien esterilizados proporcionados por SPECTROLAB (ver anexo 19), las muestras fueron transportadas en una caja conservadora (ver figura 14), el traslado se realizó en un tiempo menor a las 12 horas desde la colecta y de acuerdo a las normas establecidas.



Figura 14. Traslado de las muestras al laboratorio de SPECTROLAB

Mientras se realizaba el trabajo de campo se realizó un análisis preliminar de algunos parámetros como el pH, conductividad, Temperatura, etc., para ello se utilizaron un equipo digital (ver figura 15).



Figura 15. Medición de pH y conductividad

4.6. Forma de recolección de las muestras.

La toma de muestras se realizó tanto del afluente como del efluente, bajo el siguiente detalle:

4.6.1. Toma de muestra del agua del Afluente.

Se realizó la toma de muestra en un número de dos muestras a los cinco días y a los diez días en diferentes horarios, el muestreo se realizó de la siguiente forma (ver anexo 15 y 17):

(A) Para la determinación de Sólidos, pH, conductividad, etc.; en un frasco de PE o PP de 1 L esterilizado sin preservante y sin filtrar.

(B) Para la determinación de DBO₅; un frasco de PE o PP de 1 litro sin preservante y sin filtrar.

(C) Para determinación de metales; un frasco de PE o PP de 500 ml, sin filtrar ni preservante.

(D) Para la determinación de Amonio y DQO; un frasco de PE o PP de 250 ml, sin filtrar y preservado con ácido sulfúrico 8 gotas de H₂SO₄.

(E) Para la determinación de parámetros microbiológicos; un frasco de PE o PP de 250 ml, esterilizado.

4.6.2. Toma de muestra del Efluente.

La toma de muestras para este punto se realizó a los cinco y diez días, siguiendo los mismos pasos que se describe para el afluente (ver anexo 18).

4.6.3. Procesamiento de datos.

Se evaluaron y analizaron los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación mediante la tabulación en un ordenador utilizando herramientas como el Excel, programas estadísticos como el SPSS y otros que fueron los más adecuados para el presente estudio.

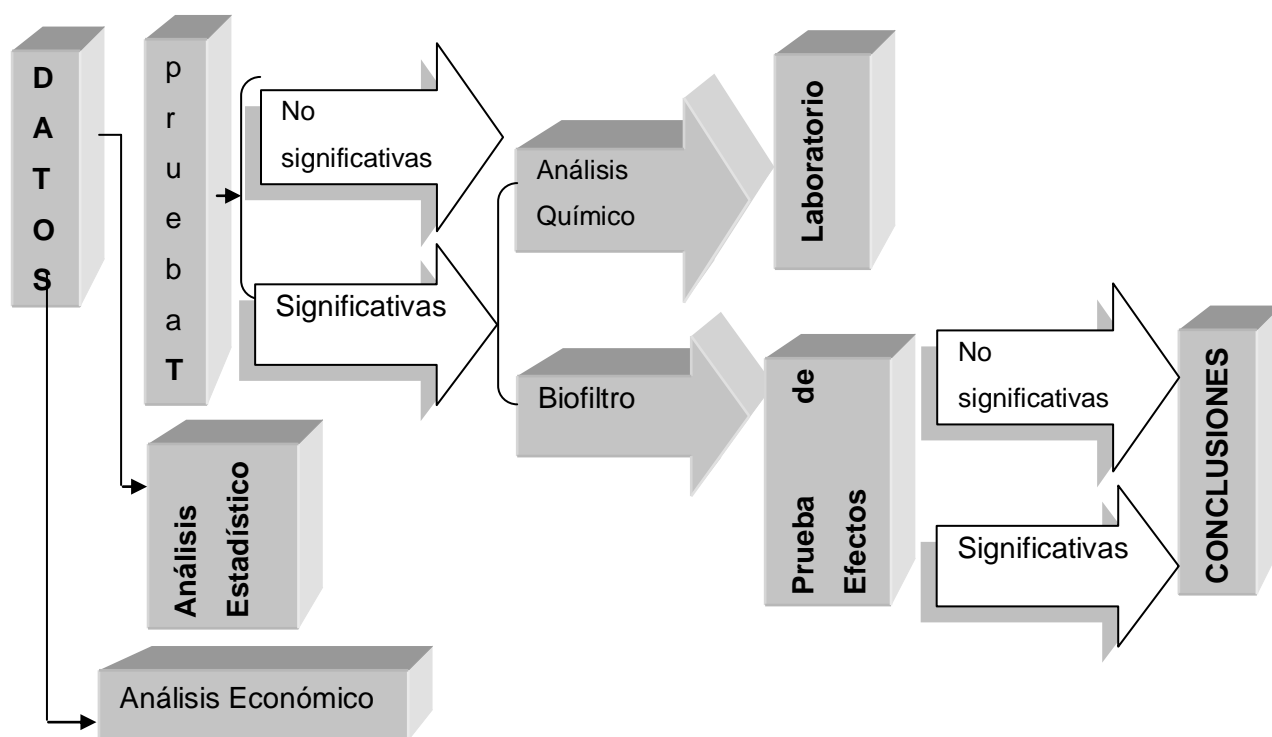


Figura 16. Flujograma de procedimiento experimental

4.7. Evaluación estadística.

El presente trabajo de investigación se valuó mediante estadística descriptiva y para determinar la significancia de los tratamientos se utilizó la prueba de “T” Student para varianzas homogéneas ya que el número de elementos de las muestras son iguales.

Cuadro 3. Numero de parámetros analizados del afluente y del efluente

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
T1 22 parámetros	A Afluente (Agua residual, Testigo)
T2 22 parámetros	B Efluente (agua tratada a los 5 y 10 días)

4.7.1. Modelo estadístico

Modelo de “t” estadístico

$$t_c = \frac{\bar{Y}_i - \bar{Y}_j}{S\bar{Y}_i - \bar{Y}_j} \sim \frac{t_\alpha}{2(\eta_j + \eta_i) - 2gl}$$

4.7.2. Variables de Respuesta.

a) Parámetros Físicos:

Cuadro 4. Parámetros físicos

PARÁMETRO	LIMITE DE DETECCIÓN
Temperatura	±0,1 °C
Conductividad	5 μS/cm
Turbidez	0,05 NTU

b) Parámetros Químicos:

Cuadro 5. Parámetros químicos

PARÁMETRO	LIMITE DE DETECCIÓN	DE
pH	±0,01	
Oxígeno disuelto	0,01 ppm	
Sólidos Disueltos	5 ppm	
Sólidos Totales	1 ppm	
Sólidos Sedimentables	0,1 ml	
Sólidos Suspendidos	1 ppm	
Nitrógeno Total	1 ppm	
Amoníaco Total	0,01 ppm	
Sodio	0,03 mg/L	
Potasio	0,01 mg/L	
Calcio	0,01 mg/L	
Magnesio	0,01 mg/L	
Fosfato Total	0,04 ppm	
Sulfatos	0,2 mg/L	
Carbonatos	0,1 mg/L	
DQO micro	2 ppm	
DBO5 (con diluciones)	5 ppm	

c) Parámetros Biológicos:

Cuadro 6. Parámetros biológicos

PARÁMETRO	LIMITE PERMISIBLE mg/l
Coliformes Fecales MNP/100 ml	1000
Coliformes Totales MNP/100 ml	1000

5. RESULTADOS.

Después de haber realizado los respectivos análisis de las muestras colectadas en el laboratorio de Spectrolab Oruro, los resultados obtenidos del tratamiento de aguas residuales de la estación Experimental de Kallutaca con la aplicación de un biofiltro como se observa en el anexo 1, son los siguientes:

5.1. Resultados de parámetros físico

5.1.1. Conductividad.

La conductividad eléctrica hace referencia a la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. Esta determinación indica la concentración total de componentes ionizados en las distintas soluciones.

De acuerdo a la Ley de medio ambiente 1333, en su artículo 2, Capítulo II, nos indica que la conductividad eléctrica es proporcional al contenido de sales disueltas y por tanto, está directamente relacionada con la suma de cationes o aniones que se determinan químicamente y en general, presenta una estrecha correlación con los sólidos totales disueltos. Las medidas varían dependiendo de la temperatura, por lo que se estandariza a 25°C.

En el cuadro 7 y la figura 17 se muestran el comportamiento de la conductividad de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 7. Comportamiento de la conductividad de los diferentes tratamientos.

Tiempo	Conductividad	
	Afluente	Efluente
Día - 0	2127	1525
Día - 5	1943	1524
Día - 10	1862	1532

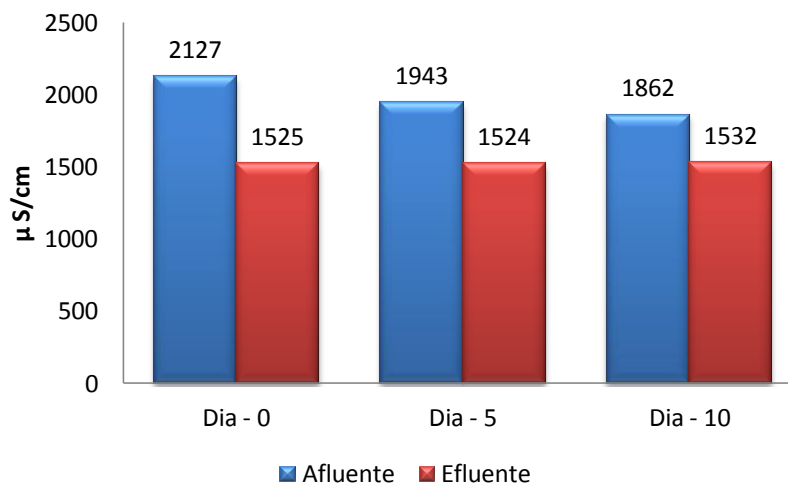


Figura 17. Comportamiento de la conductividad en los tratamientos

Cuadro 8. Comparación de Datos estadísticos en conductividad

Demostración de datos "T"		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Afluente	Media	1977,33	,00	,00	1977,33	1977,33
	N	3				
	Desviación típ.	135,795	,000	,000	135,795	135,795
	Error típ. de la media	78,401				
Efluente	Media	1527,00	,00	,00	1527,00	1527,00
	N	3				
	Desviación típ.	4,359	,000	,000	4,359	4,359
	Error típ. de la media	2,517				

La conductividad en las muestras de laboratorio tiene una media de 1527,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, según los límites de rangos establecidos por la Ley de Medio Ambiente esto datos están considerados fuera de los límites permisibles para consumo en agua potable, para el uso agrícola, esta agua es considerada como agua dura.

Según Infoagro (2014), señala que la unidad de medición utilizada miliSiemens, ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el Agua pura: 0.055 $\mu\text{S}/\text{cm}$, agua de uso doméstico 500 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Cuadro 9. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas							Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	
				Inferior	Superior			
Afluente - Efluente	450,333	138,681	80,067	105,831	794,835	5,624	2	,030

La conductividad registrada nos muestra estadísticamente $T = 5,6 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nos indica que todos los tratamientos son iguales.

5.1.2. Temperatura.

La temperatura, se relaciona directamente con el contenido de oxígeno disuelto. A mayor temperatura menor contenido de oxígeno disuelto. Para medir la temperatura se emplean termómetros o sondas.

La determinación de temperatura es un parámetro importante en el tratamiento de aguas residuales, porque es el factor que determina el desarrollo de la actividad bacteriana, influyendo en el metabolismo, productividad, respiración y descomposición de la materia orgánica.

En el cuadro 10 y la figura 18 se muestran el comportamiento de la temperatura de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 10. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos

Tiempo	Temperatura	
	Afluente	Efluente
Día - 5	19,6	21,2
Día - 10	21	21,8
Día - 15	21,2	20,7

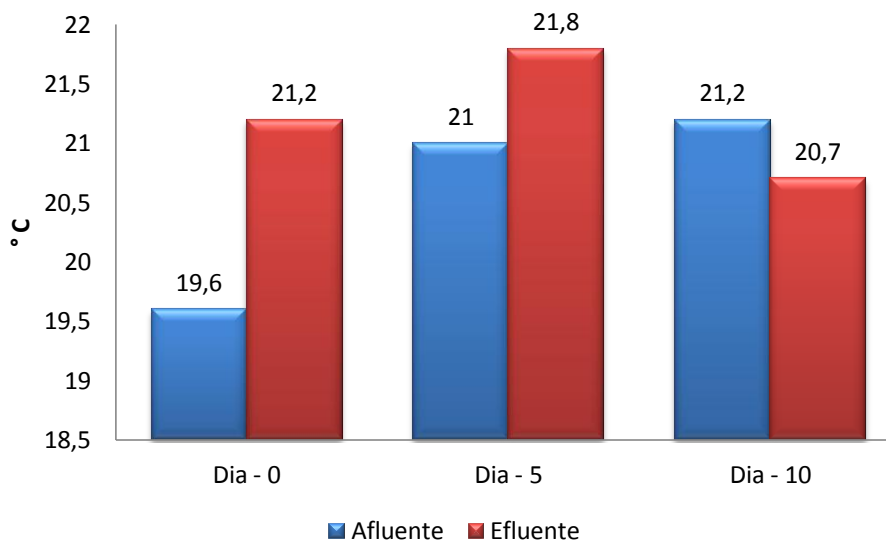


Figura 18. Comportamiento de la temperatura durante los días de proceso

La temperatura en el agua no muestra la absorción en las capas superiores del líquido, ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Donde experimenta secuencia cíclica caracterizada, en este sentido según la Ley 1333 de Medio Ambiente, de nuestro país, está considerado como aguas para uso agrícola.

Cuadro 11. Comparación de datos estadísticos en temperatura

		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
Inferior	Superior					
Afluente	Media	20,600	,000	,000	20,600	20,600
	N	3				
	Desviación típ.	,8718	,0000	,0000	,8718	,8718
	Error típ. de la media	,5033				
Efluente	Media	21,233	,000	,000	21,233	21,233
	N	3				
	Desviación típ.	,5508	,0000	,0000	,5508	,5508
	Error típ. de la media	,3180				

La temperatura en el estanque de tratamiento esta con una media de 21,2 donde nos indica que las colonias microbianas no han actuado de manera recurrente durante el proceso de estudio.

En la valoración de rangos de aceptación para un buen desarrollo de microorganismos, el cuadro demuestra que el tratamiento de agua residual, según parámetros de manejo es “T”; -1,035. No es adecuado para el desarrollo de colonias microbianas.

Cuadro 12. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas		Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.		Inferior	Superior			
Efluente - Afluente	-,6333	1,0599	,6119	-3,2662	1,9995	-1,035	2	,409

La temperatura óptima para el desarrollo de las colonias microbianas se encuentra entre los 25° y 35°C, pero este rango puede variar dependiendo del lugar en donde sea implementado el biofiltro, es así que la temperatura para el crecimiento bacteriano en el lugar del proyecto fue de 7 a 18°C por ser considerado como región fría, aunque dentro del ambiente protegido la temperatura se incrementa por la presencia de lecho filtrante permitiendo que aumente de manera intermitente la actividad de los microorganismos.

5.1.3. Turbidez.

La turbidez es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, cuantas más partículas en suspensión, el agua más sucia parecerá.

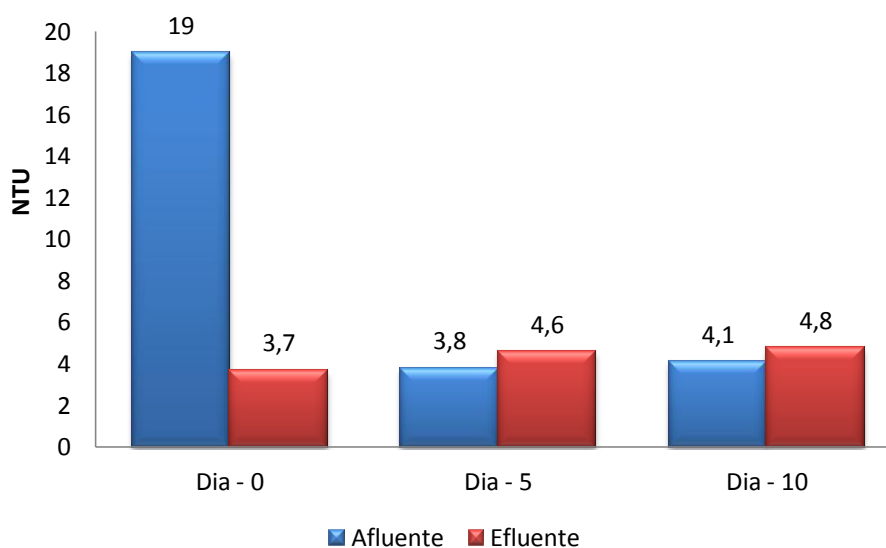
También se puede decir que la turbidez, es la decreciente habilidad del agua para transmitir la luz y es causada por materia particulada en suspensión con dispersión desde muy pequeña hasta muy gruesa. Este parámetro puede estar asociado a la presencia de:

- partículas: arcillas, sedimentos por escurrimiento,
- materia orgánica: que es materia vegetal en descomposición,
- plancton: por presencia de fertilizantes.

En el cuadro 13 y la figura 19 se muestran el comportamiento de la turbidez de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 13. Comportamiento de la turbidez de los diferentes tratamientos

Tiempo	Turbidez	
	Afluente	Efluente
Día - 0	19	3,7
Día - 5	3,8	4,6
Día - 10	4,1	4,8

**Figura 19. Variación de turbidez en los días en proceso**

Estadísticamente la presencia de materias diversas en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plantón y otros organismos microscópicos dan lugar a la turbidez en el agua. Estadísticamente la turbidez media fue de 4,3 NTU, por efectos de profundidad y fenómenos de sedimentación natural provocaron el descenso del valor turbidez.

Cuadro 14. Comparación de Datos estadísticos en Turbidez

		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Afluyente	Media	8,967	,000	,000	8,967	8,967
	N	3				
	Desviación típ.	8,6904	,0000	,0000	8,6904	8,6904
	Error típ. de la media	5,0174				
Efluente	Media	4,367	,000	,000	4,367	4,367
	N	3				
	Desviación típ.	,5859	,0000	,0000	,5859	,5859
	Error típ. de la media	,3383				

En la muestra hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua como el vermicompost, partículas del suelo, sedimentos depositados en el material utilizado como la descomposición de la materia orgánica en el biofiltro, escorrentía, etc.

Cuadro 15. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas						
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior		
Afluyente - Efluente	4,6000	9,2666	5,3501	-18,4195	27,6195	,860	2,481

La turbidez en el agua es parte de lo estético, las partículas en suspensión, nos muestra que el grado de suspensión de partículas en el estanque esta con 4,6 NTU, Esta en un grado permisible según la ley de medio ambiente 1333 para el consumo humano, animal y riego.

5.2. Resultados de parámetros químicos.

5.2.1. pH.

La determinación del pH en el agua indica la tendencia a su acidez o alcalinidad. La determinación de la acidez o alcalinidad de un efluente, además permite establecer la corrosividad del efluente. Además, el pH es un indicador de la capacidad trófica de la masa de agua.

En el cuadro 16 y la figura 20 se muestran el comportamiento del pH de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 16. Comportamiento del pH de los diferentes tratamientos

Tiempo	pH	
	Afluente	Efluente
Día - 0	8,1	6,6
Día - 5	8	7,1
Día - 10	8	7,1

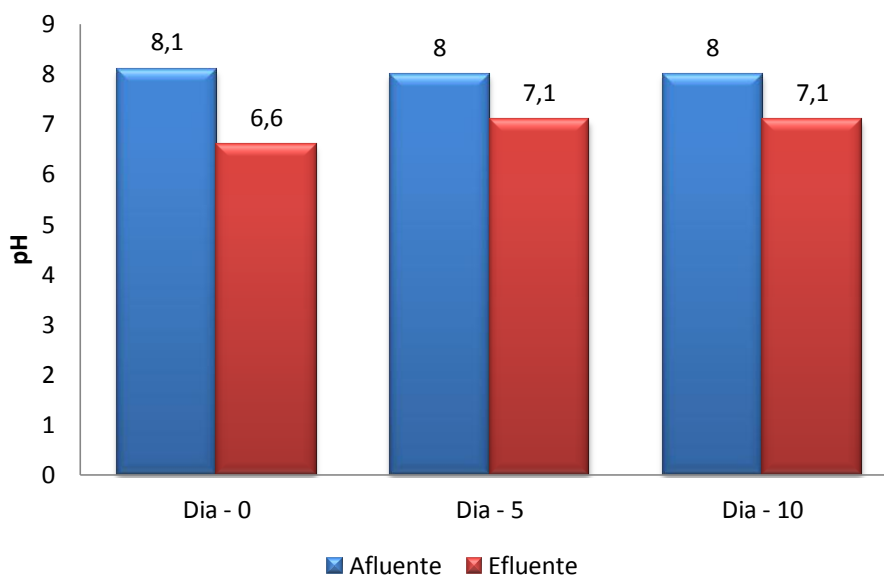


Figura 20. pH registrado según el tiempo de tratamiento de las aguas residuales

Las aguas ácidas se conocen como oligotróficas y las alcalinas como eutróficas. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos.

Cuadro 17. Comparación de Datos estadísticos en el pH

Prueba de "T"		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Afluente	Media	8,033	,000	,000	8,033	8,033
	N	3				
	Desviación típ.	,0577	,0000	,0000	,0577	,0577
	Error típ. de la media	,0333				
Efluente	Media	6,933	,000	,000	6,933	6,933
	N	3				
	Desviación típ.	,2887	,0000	,0000	,2887	,2887
	Error típ. de la media	,1667				

Cuadro 18. Prueba para muestras relacionadas

Comparación de Datos para la prueba de "T"	Diferencias relacionadas							Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Superior		t	gl	
				Inferior	r			
Afluente - Efluente	1,1000	,3464	,2000	,2395	1,9605	5,500	2	,032

De acuerdo a la prueba de t. no existen diferencias entre los diferentes tratamientos en lo referente al pH.

El pH constituye un parámetro primordial en el análisis de aguas residuales, considerando como rango óptimo de 6.5 y 8.5, valores en los que se favorece al crecimiento de

microorganismos, caso contrario valores menores a 6 y mayores a 9 dificultan el tratamiento mediante procesos biológicos.

Es importante tener en cuenta que si el pH del agua residual no es ajustado al rango óptimo antes de ser vertido al tratamiento este puede ser alterado, y cambiar las características del efluente. En nuestro caso el pH se encuentra dentro el rango permisible de la Ley 1333 con una media de 6,933 estadísticamente, para todos los tiempos de tratamiento de las aguas residuales con el biofiltro.

5.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO).

Es una medida de la materia orgánica e inorgánica en el agua que puede ser oxidada por un agente químico oxidante y es expresada en mg/L; también se puede decir que es la cantidad de oxígeno disuelto requerida para la oxidación química completa de contaminantes.

En el cuadro 19 y la figura 21 se muestran el comportamiento del **DQO** de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 19. Comportamiento del DQO de los diferentes tratamientos

DQO		
Tiempo	Afluente	Efluente
Día - 0	111	285
Día - 5	210	385
Día - 10	93	72

En los análisis de la DQO de las muestras de agua, se observa que esta se incrementa con el aumento de la concentración de la materia orgánica, lo que implicaría que una medición normal podría ser < 10 mg/L, mientras una lectura de 60 mg/L puede ser considerada como rica.

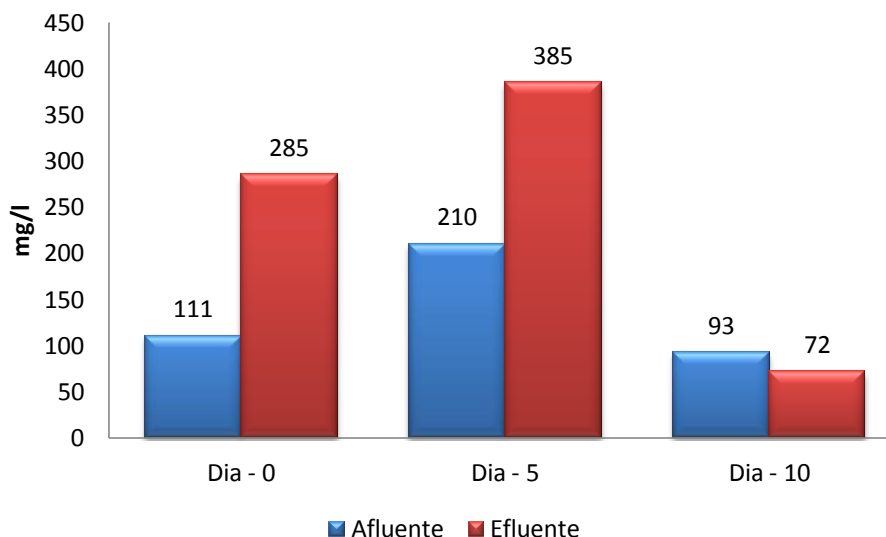


Figura 21. Datos de determinación por medio de DQO

Para favorecer la oxidación de la materia orgánica, se puede utilizar un estanque relleno de diferentes medios sólidos porosos (1-5 cm), con el fin de tratar materia orgánica. En el medio poroso, el cual se mantiene inmóvil dentro del lecho, se crea una biopelícula de bacterias por la que pasa el agua residual ya sea de forma ascendente o descendente. Son utilizados para altas cargas orgánicas (DQO entre 5000-15000 ppm por día), sin embargo no aceptan una alta carga de sólidos suspendidos en el agua residual. (Sponza, 2003).

Cuadro 20. Comparación de datos estadísticos en DQO

		Muestra				
		Intervalo de confianza al 95%				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Inferior	Superior
Afluente	Media	8,033	,000	,000	8,033	8,033
	N	3				
	Desviación típ.	,0577	,0000	,0000	,0577	,0577
	Error típ. de la media	,0333				
Efluente	Media	6,933	,000	,000	6,933	6,933
	N	3				
	Desviación típ.	,2887	,0000	,0000	,2887	,2887
	Error típ. de la media	,1667				

Uno de los parámetros primordiales para medir la calidad de aguas residuales así como la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas resultantes del uso doméstico constituye la demanda química de oxígeno.

El proyecto de tratamiento de aguas residuales implementado en el Centro Experimental de Agronomía, debería de contar con especies vegetales en el biofiltro, la presencia de raíces densas proporciona una mayor cantidad de sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y a su vez actúan como filtros de material particulado en la remoción de DQO₅.

La disposición legal como es la Ley del Medio Ambiente N° 1333 del 27 de abril de 1992, en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sostenible, el ARTICULO 6° considera como PARÁMETRO BÁSICO la (DQO).

Cuadro 21. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas							
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilater al)
				Inferior	Superior			
Afluente - Efluente	1,1000	,3464	,2000	,2395	1,9605	5,500	2	,032

Los valores de DQO obtenidos del laboratorio, nos muestra que el agua resultante del tratamiento nos muestra estadísticamente $T = 5,5$ mg /L esto nos indica que las muestras son iguales y una media de 6,9 mg/L el cual no es un valor adecuado para su uso según la Ley 1333 de Medio Ambiente, en su reglamento en materia de contaminación hídrica, con el biofiltro implementado se alcanzo a reducir el 22% de DQO, mientras que Arango con el mismo sistema llegó a reducir el 82% de DQO en las condiciones del nivel del mar, estos valores nos indica que pueden ser por diferentes factores climáticos u otros como; altitud, temperatura, otros.

5.2.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅).

Estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar por acción biológica la materia orgánica presente en el agua y establece la rapidez con la que este material va a ser

metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en los efluentes residuales.

Uno de los parámetros primordiales para medir la calidad de aguas residuales así como la concentración de contaminantes orgánicos en las aguas resultantes del uso doméstico constituye la demanda biológica de oxígeno o (DBO).

La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. (GUEST, 2013)

La figura 22 demuestra el porcentaje de remoción de DBO considerado como parámetro principal en la determinación de la calidad del agua tratada, el laboratorio muestra el 18% destacando como parámetro demostrativo (ver anexo 3).

Las aguas residuales tienen como promedio, una DBO_5 de 250 mg/L y los sólidos suspendidos totales una concentración de 200 mg/L las descargas de agua residual con concentraciones mayores a estas cifras, estarán sujetas a una tarifa adicional en relación a las cargas en toneladas por mes, tanto de DBO_5 como de sólidos suspendidos totales.

En el cuadro 22 y la figura 22 se muestran el comportamiento de la demanda biológica de oxígeno de los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 22. Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno

Tiempo	DBO	
	Afluente	Efluente
Día - 0	77	214
Día - 5	158	270
Día - 10	69	54

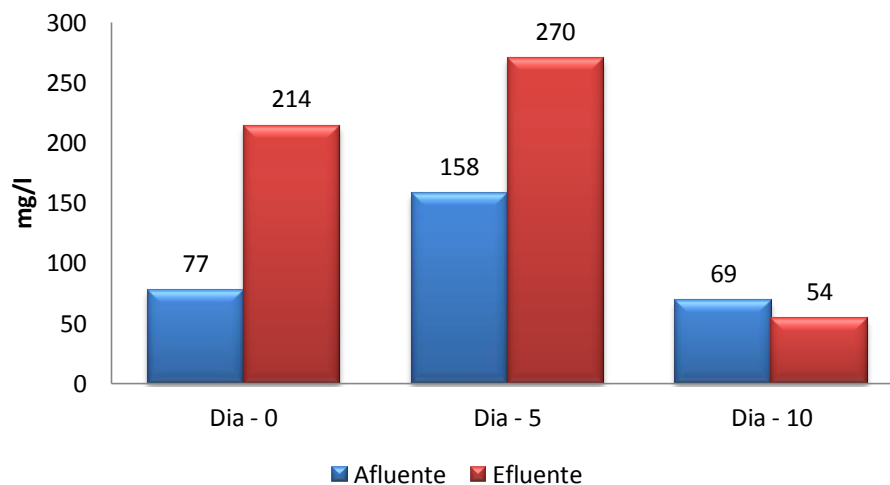


Figura 22. Datos de determinación por medio de DBO

La DBO, nos muestra estadísticamente una media 179,3 mg /L, determinando la poca presencia de microorganismos, por los factores ya mencionados, como la T°, DQO, y puede ser otros factores, para su mejor actuación del microorganismos.

Cuadro 23. Comparación de Datos estadísticos en DBO

		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Afluyente	Media	101,33	,00	,00	101,33	101,33
	N	3				
	Desviación típ.	49,238	,000	,000	49,238	49,238
	Error típ. de la media	28,427				
Efluente	Media	179,33	,00	,00	179,33	179,33
	N	3				
	Desviación típ.	112,095	,000	,000	112,095	112,095
	Error típ. de la media	64,718				

Los diferentes estudios realizados en cuanto a la DBO determinan que este parámetro se ve afectado por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media. (*dspace.espol.edu*. 2016).

Cuadro 24. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas						Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	
				Inferior	Superior		
Afluente - Efluente	-78,000	81,505	47,057	-280,469	124,469	-1,658	2 ,239

La media obtenida de las muestras para el DBO₅ nos indica T= -78,000, este valor estadístico está fuera de los límites permisibles de valor aceptable para la DBO, por tanto los resultados de las muestras de laboratorio muestran que los microorganismos presentes no tuvieron efecto considerable.

Los valores obtenidos en el laboratorio se encuentran fuera de los límites de permisibilidad según la ley 1333 en su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica cuadro N° A-1 y cuadro N° 1, con la implementación del biofiltro se llegó a reducir el 21% de DBO, a comparación del mismo sistema en Chile por Arango y Fundación Chile llegaron a reducir el 95,77%, según estos resultados se puede notar que hay mucha diferencia, esto puede ser por varios factores ya sean climáticos u otros.

5.2.4. Carbono orgánico total (COT).

El carbono orgánico total, hace referencia a la cantidad de materia orgánica presente en una muestra. Dado que los contaminantes más comunes son de naturaleza orgánica, este parámetro permitiría conocer el grado de contaminación de aguas residuales. Así mismo se puede evaluar el grado de mineralización de compuestos orgánicos en una muestra de forma rápida y confiable.

Cuadro 25. Comportamiento del carbono orgánico total en los tratamientos

Tiempo	COT	
	Afluente	Efluente
Día - 0	37,8	<0,1
Día - 5	42,6	<0,1
Día - 10	14,4	<0,1

La dureza del agua se expresa como cantidad equivalente de carbonato, se calcula genéricamente a partir de la suma de concentraciones de calcio y magnesio existentes en (miligramos), por cada muestra de agua.

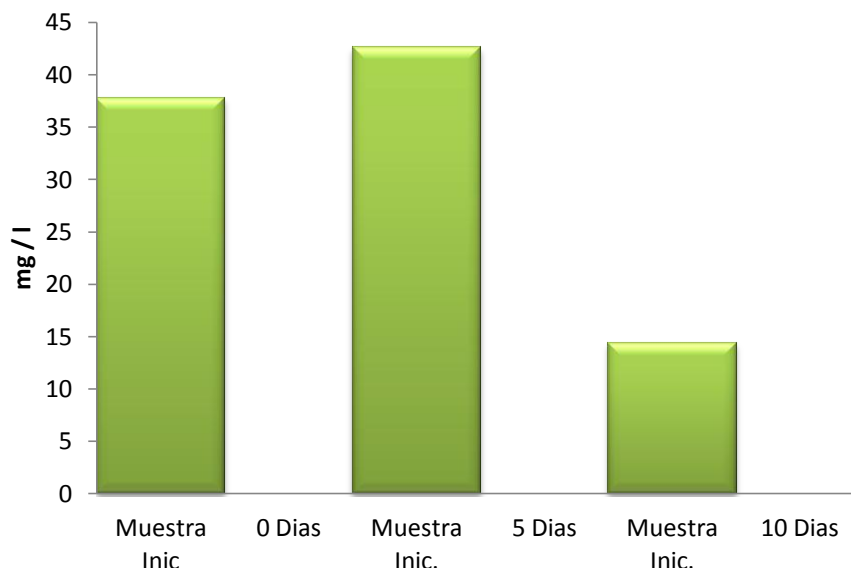


Figura 23. Concentración de carbonatos en los diferentes tratamientos

Según los resultados obtenidos de acuerdo al laboratorio el carbono fue reducido en un 99,9% esto nos indica que tuvo buena eficiencia en la reducción de este elemento.

5.2.5. Fosforo total.

El fósforo presente en las aguas residuales grises proviene de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenidos en los detergentes y los productos de limpieza con compuestos fosforados como principios activos (30-50%). El fósforo se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas).

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, según la APHA, 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.

En el cuadro 26 y la figura 24 se muestra el comportamiento de la presencia de fosforo en los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio (ver anexo 4).

Cuadro 26. Concentración de fosforo en los diferentes tratamientos

Tiempo	Concentración de fosforo	
	Afluente	Efluente
Día - 0	4,82	4,56
Día - 5	7,82	6,93
Día - 10	8,04	4,36

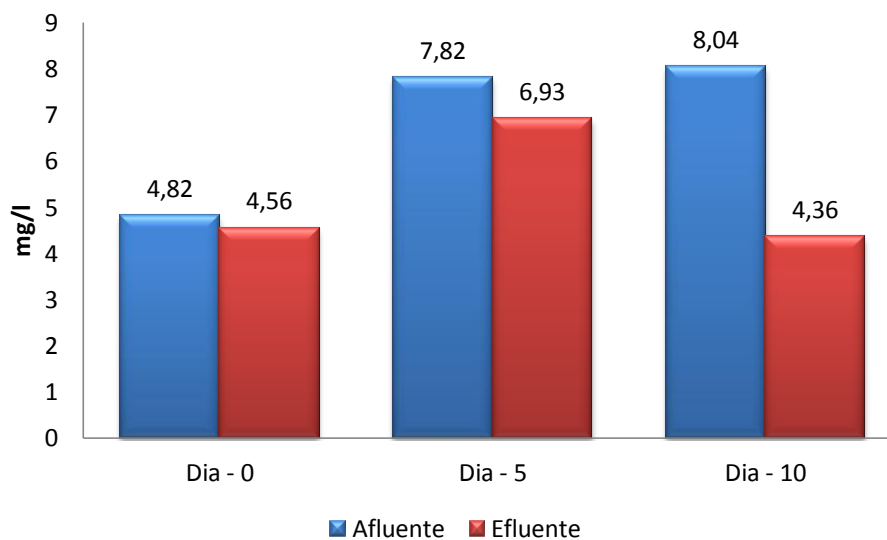


Figura 24. Comportamiento del fosforo

El fosforo presente en el biofiltro de tratamiento muestra estadísticamente una media 5,3 mg/L en un nivel casi considerable para la actuación de microorganismos, ya que estas se controlan a sí mismo la “eutrofización”.

Cuadro 27. Comparación de Datos estadísticos en Fosforo Total

		Muestra				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Afluente	Media	6,893	,000	,000	6,893	6,893
	N	3				
	Desviación típ.	1,7989	,0000	,0000	1,7989	1,7989
	Error típ. de la media	1,0386				
Efluente	Media	5,283	,000	,000	5,283	5,283
	N	3				
	Desviación típ.	1,4296	,0000	,0000	1,4296	1,4296
	Error típ. de la media	,8254				

Según la APHA, 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.

Cuadro 28. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas							
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Afluente - Efluente	1,6100	1,8201	1,0509	-2,9115	6,1315	1,532	2	,265

Los resultados obtenidos en laboratorio nos muestra un T = 1,5 mg/L donde nos indica que el fosforo total presente, son de aguas casi no contaminadas según la ley 1333 de Medio Ambiente en su reglamento en Materia de Contaminación Hídrica cuadro N° A-1 donde indica que según su parámetro oficial 0,4 a 1,0 mg/L agua natural no contaminada aunque con el biofiltro nos encontramos fuera del límite de permisibilidad, ccon el presente estudio se llegó a reducir el 45,77% de fosfato total, según la comparación con otros estudios no estamos muy lejos de los resultados como; Arango 4,10% y Fundación Chile 60%.

5.2.6. Sólidos suspendidos.

Es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento, son principalmente de naturaleza orgánica, pero también comprenden sales inorgánicas como las formadas con calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, que están disueltas en el agua y se mide en ppm, partes por millón (Arias, 2003).

Los SST (sólidos suspendidos totales) incluyen algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual, entre ellos encontramos células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua y partículas de materiales inertes que adsorben sustancias orgánicas en su superficie (Faris, & Uribe, 2003).

En el cuadro 29 y la figura 25 se muestran la presencia de sólidos suspendidos en los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 29. Presencia de sólidos suspendidos en los diferentes tratamientos

Tiempo	Sólidos suspendidos	
	Afluente	Efluente
Día - 0	15	1
Día - 5	2	1
Día - 10	4	1

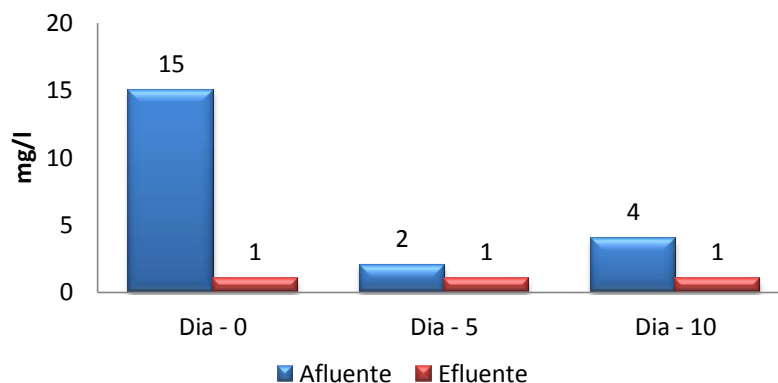


Figura 25. Sólidos suspendidos en los diferentes tratamientos

Los sólidos suspendidos son materias en suspensión, como la arcilla, limos, coloides orgánicos provenientes de ríos, erosión de suelos y rocas, estas suelen estar revestidas de restos orgánicos (Cueva, 2013)

Cuadro 30. Comparación de Datos estadísticos en Sólidos Suspendidos

		Muestra				
		Intervalo de confianza al 95%				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Inferior	Superior
Afluente	Media	7,000	,000	,000	7,000	7,000
	N	3				
	Desviación típ.	7,0000	,0000	,0000	7,0000	7,0000
	Error típ. De la media	4,0415				
Efluente	Media	1,000	,000	,000	1,000	1,000
	N	3				
	Desviación típ.	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
	Error típ. De la media	,0000				

Los datos obtenidos de laboratorio demuestran estadísticamente una media de 1.00 mg/L que indica la materia en suspensión según la Ley de Medio Ambiente 1333 está dentro los parámetros permisibles para el uso agrícola y pecuario.

Cuadro 31. Prueba de muestras relacionadas

Diferencias relacionadas									
		Desviación		Error típ.	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	típ.	De la media	Inferior	Superior			
Afluente – Efluente		6,0000	7,0000	4,0415	-11,3890	23,3890	1,485	2	,276

Las muestras registran T= 1,4 mg /l. esto da una determinación de ley del Medio Ambiente 1333, según el artículo 4 del reglamento en materia de contaminación hídrica. Lo cual nos indica que las partículas en suspensión están en un nivel permisible para el uso Agropecuario. Con la implementación del biofiltro se llego a reducir en 75% SS, mientras que Arango redujo el 95%SS y Fundación Chile el 93% SS.

5.2.7. Sólidos totales.

Las aguas residuales contienen materiales sólidos por lo que se torna importante analizarlos, ya que al hablar de sólidos totales engloba a los sólidos disueltos y sólidos sedimentables, si no se analiza estos detenidamente pueden existir problemas en el desarrollo del tratamiento del agua residual (García, 2012).

La determinación de sólidos nos da a conocer el desempeño del biofiltro y el control del mismo, ya que su presencia puede ocasionar depósitos de lodos y olores desagradables, disminuyendo la eficiencia en la remoción de contaminantes.

En el cuadro 32 y la figura 26 se muestran la concentración de sólidos totales en los diferentes tratamientos y cuyos valores fueron registrados en laboratorio.

Cuadro 32. Concentración de sólidos totales en los diferentes tratamientos

Sólidos _T	Sólidos totales	
	Afluente	Efluente
Día - 0	693	1143
Día - 5	666	1141
Día - 10	716	1137

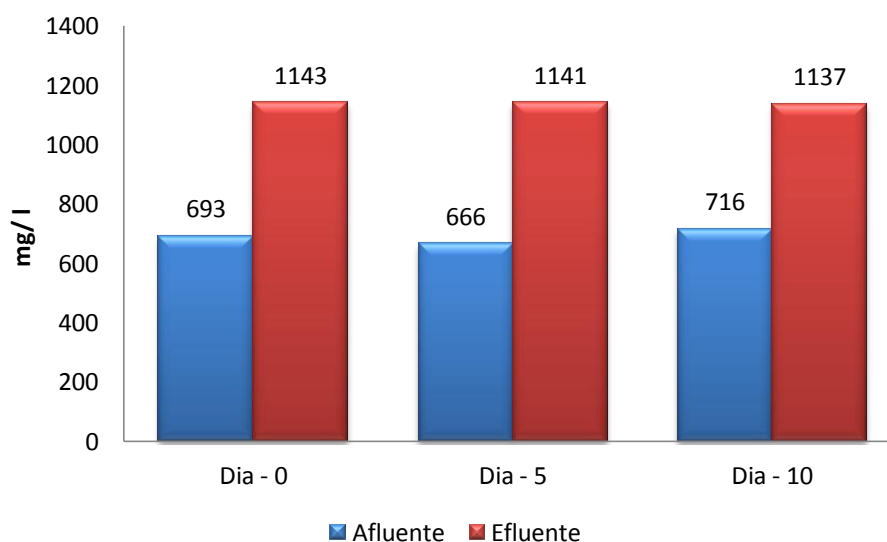


Figura 26. Concentración de sólidos totales por tratamiento

Este incremento en la cantidad de sólidos totales, se debe principalmente a la actividad de las lombrices y sus productos generados como el vermicompost, esto hace que aumente esta concentración al entrar en contacto con el agua servida durante el riego, pero según la ley 1333 en su artículo 4º en su reglamento en materia de contaminación hídrica nos indica que estos resultados se encuentra dentro del rango permisible de la clase “C” (clasificación de cuerpos de agua según su aptitud) que sirve para el consumo animal, recreación y uso industrial.

5.2.8. Calcio, magnesio y potasio

Estos elementos son el resultado de la mineralización de la materia orgánica en nuestro caso el efluente de los dos tratamientos (5 y 10 días de permanencia) es mediante la descomposición de la materia orgánica y la acción de las lombrices en el biofiltro como resultado se tiene el té de humos, esto sabemos que es rico en nutrientes para la asimilación de las plantas, estos elementos en los resultados del ensayo del laboratorio aumentaron como se puede observar en la figura 27, 28 y 29 según el análisis estadístico se tiene lo siguiente: Calcio con una media de 50,81 mg/L, magnesio con una media 18,92 mg/L, potasio con una media de 100,97 mg/L. Estos resultados según la clasificación de aguas se encuentran en la clase “C” dentro el rango de permisibilidad de la Ley 1333 en su reglamento en Materia de Contaminación Hídrica cuadro N° A-1 clasificación de cuerpos de agua según su aptitud, lo cual nos indica que se puede usar para abastecimiento de agua potable, para el riego de cultivos agrícolas (hortalizas y frutales), ganadería y otros.

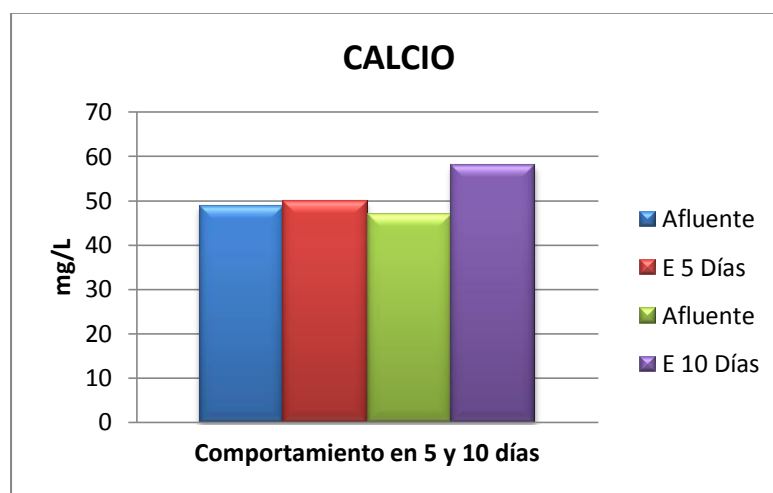


Figura 27. Concentración de calcio por tratamiento

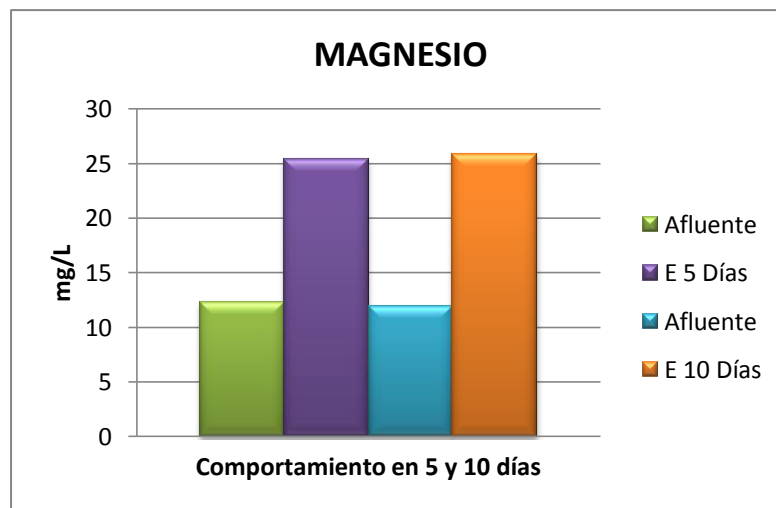


Figura 28. Concentración de magnesio por tratamiento

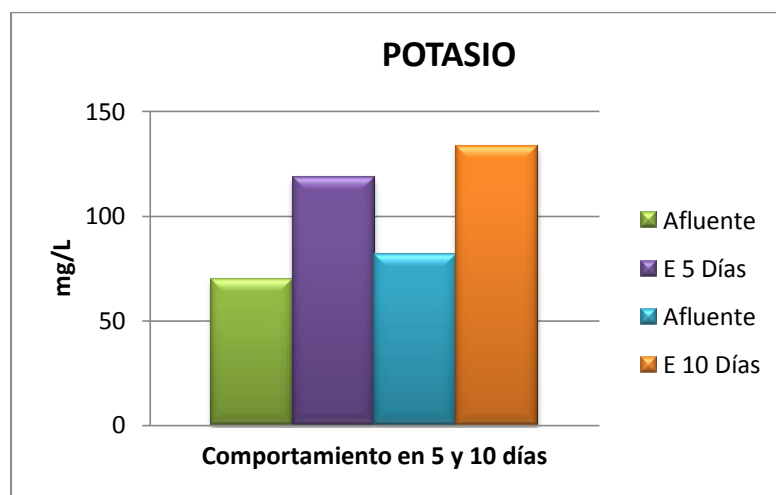


Figura 29. Concentración de potasio por tratamiento

5.3. Resultados de parámetros microbiológicos.

5.3.1. Coliformes fecales.

En la práctica, dentro del grupo de los coliformes totales se incluye una gran diversidad de microorganismos que pueden adaptarse, sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no se pueden utilizar como un indicador de agentes patógenos fecales, puesto que por lo expuesto con anterioridad no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y generalmente la proporción de coliformes totales es muy elevada en los climas cálidos.

Cuadro 33. Comparación de Datos estadísticos en Coliformes Fecales

		Muestra				
		Intervalo de confianza al 95%				
	Estadística	Sesgo	Típ. Error	Inferior	Superior	
Afluente	Media	2410,000	,000	,000	2410,000	2410,000
	N	3				
	Desviación típ.	2605,0528	,0000	,0000	2605,0528	2605,0528
	Error típ. de la media	1504,0279				
Efluente	Media	107,667	,000	,000	107,667	107,667
	N	3				
	Desviación típ.	99,0774	,0000	,0000	99,0774	99,0774
	Error típ. de la media	57,2024				

Cuadro 34. Prueba de muestras relacionadas

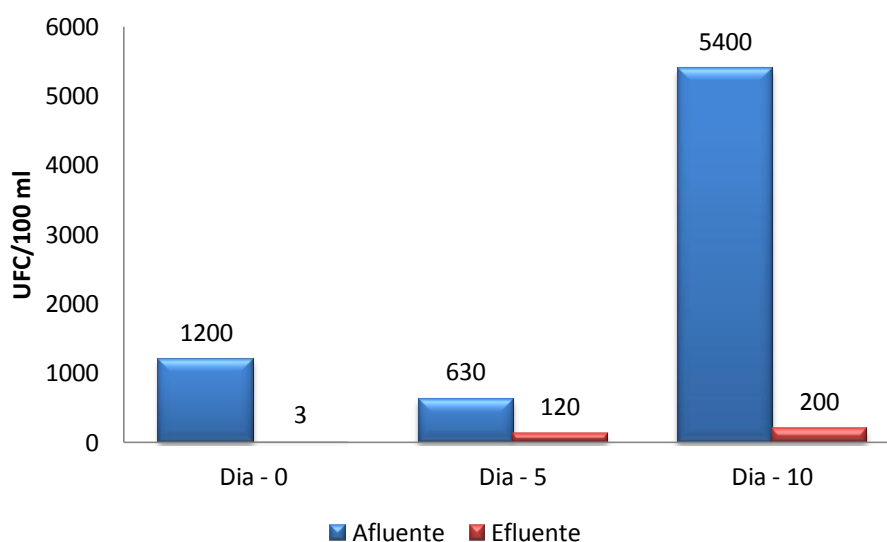
	Diferencias relacionadas							
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Efluente - Afluente	2302,3333	2532,8534	1462,3436	-3989,6233	8594,2900	1,574	2	,256

Los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente confiables de la presencia de agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general sus características de persistencia en el medio ambiente y su índice de eliminación sea este instantáneo o paulatino en los procesos de tratamiento son similares.

En el cuadro 35 y la figura 27 se muestran la concentración de coliformes fecales y cuyos valores fueron registrados en laboratorio como se observa en el (anexo 2).

Cuadro 35. Concentración de coliformes fecales en los diferentes tratamientos

Tiempo.	Concentración de coliformes fecales	
	Afluente	Efluente
Día - 0	1200	3
Día - 5	630	120
Día - 10	5400	200

**Figura 30. Coliformes fecales en los diferentes tratamientos**

El método de filtración para la detección de coliformes es altamente reproducible, ya que se puede estudiar volúmenes de muestras relativamente grandes y proporciona resultados con rapidez. Los análisis de coliformes se realizó de acuerdo al AWWA Standard Methods 9223 A. (Arias, 2003).

De acuerdo con los resultados obtenidos estadísticamente se tiene una media de 107,7UFC y una T = 1,57 UFC lo cual nos indica según el DS 24176 de la ley del medio ambiente 1333 en el artículo 4º en su cuadro N° 1 anexo A del reglamento en materia de contaminación hídrica, que el agua es apto para riego, ganadería, recreacional y abastecimiento industrial, con este sistema de tratamiento de biofiltro se llegó a reducir el 96,29% Coliformes Fecales, mientras que Arango y Fundación Chile llegaron a reducir el 99% de CF, esto nos indica que el biofiltro tuvo eficiencia en la reducción de coliformes.

5.3.2. Coliformes totales.

El tratamiento de aguas residuales tiene como misión la eliminación de este tipo de agentes patógenos para su aprovechamiento posterior en este caso nos enfocamos a reutilizarla como agua de riego. Las coliformes es un componente normal de la flora y fauna del intestino humano, donde se encuentran en grandes cantidades ya que la mayoría no son patógenos. Las coliformes totales constituye el 90% de las excretas humanas e incluye al género *Escherichia coli*. Son microorganismos indicadores ya que su presencia en el agua revela contaminación por heces fecales y por tanto la posible existencia de patógenos (Marin, 2010).

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos como indicadores de contaminación son los Coliformes totales.

Nos muestra que las diferencia de resultados con un alto grado de contaminación que presenta el agua tratada con biofiltros.

Cuadro 36. Comparación de Datos estadísticos en Coliformes Totales

		Muestra				
		Intervalo de confianza al 95%				
		Estadística	Sesgo	Típ. Error	Inferior	Superior
Afluente	Media	4206,667	,000	,000	4206,667	4206,667
	N	3				
	Desviación típ.	3039,7588	,0000	,0000	3039,7588	3039,7588
	Error típ. de la media	1755,0055				
Efluente	Media	190,000	,000	,000	190,000	190,000
	N	3				
	Desviación típ.	157,1623	,0000	,0000	157,1623	157,1623
	Error típ. de la media	90,7377				

En la práctica, dentro del grupo de los coliformes totales se incluye una gran diversidad de microorganismos que pueden adaptarse, sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no se pueden utilizar como un indicador de agentes patógenos fecales, puesto que por lo expuesto con anterioridad no todos los coliformes son exclusivamente

de origen fecal y generalmente la proporción de coliformes totales es muy elevada en los climas cálidos.

Cuadro 37. Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
Afluente - Efluente	4016,6667	3086,9780	1782,2676	-3651,8119	11685,1452	2,254	2	,153	

El grado de aceptación de $T = 2,254$ nos demuestra que está en un rango permisible en los datos proporcionados de coliformes totales. Con un intervalo de aceptación de 55 %

Varias fuentes bibliográficas expresan como un factor incidente el análisis de las coliformes totales puesto que al ser aguas grises, lo óptimo es una ausencia de coliformes fecales por la naturaleza del agua pero en la práctica no siempre resulta así. Es por esta razón que consideramos la determinación de este parámetro como un indicador de la eficacia del tratamiento utilizado y también para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas.

Cuadro 38. Concentración de coliformes totales en los diferentes tratamientos

Coliforme _T	Concentración de coliformes totales	
	Afluente	Efluente
Día - 0	5600	10
Día - 5	720	260
Día - 10	6300	300

Las bacterias fecales forman parte del total del grupo coliforme. Son definidas como bacilos Gram negativos. Uno de los mayores coliformes fecales es el *Escherichia Coli* (CEPIS, 1983).

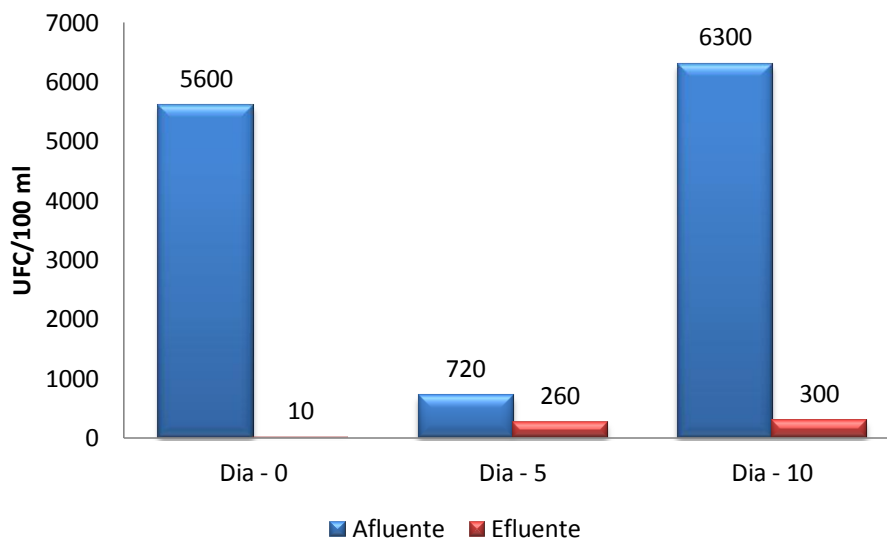


Figura 31. Cantidad de coliformes totales en los diferentes tratamientos

Como se observa los resultados obtenidos con una media de 190,00 UFC y T = 2,254 UFC, estos resultados estadísticamente no existe diferencias, nos indica que se encuentra dentro de los rangos de permisibilidad según la ley 1333 DS 24176 en su art. 4 cuadro N° 1 anexo A del reglamento en materia de contaminación hídrica, que el agua es apto para riego, ganadería, recreacional y abastecimiento industrial, con la implementación del biofiltro se llegó a reducir el 95,24% de coliformes totales, estos resultados comparados con Arango y Fundación Chile casi se asemejan no muestran mucha diferencia.

6. CONCLUSIONES.

- En el presente trabajo de investigación, se observa que el proceso de depuración del agua residual procedente de las aguas servidas de la Universidad en el biofiltro se representa en tres fases, una fase de adaptación, una fase de crecimiento y remoción, de 5 y 10 días con el incremento de la DBO_5 , con una duración de 5 días, y la fase de remoción, fueron analizados de las muestras colectadas en ESPECTROLAB, los parámetros analizados fueron entre físico, químico y microbiológico, de los cuales se muestran los mas exigidos según la Ley del medio ambiente 1333.
- La determinación de sólidos nos indica que la concentración de estos en el biofiltro puede ocasionar depósitos de lodos y olores desagradables, disminuyendo la eficiencia del biofiltro en la remoción de contaminantes. Los datos obtenidos de laboratorio demuestran estadísticamente una media de 1.00 mg/l. que indica la materia en suspensión según el artículo 4 anexo A cuadro N° 1 del reglamento en materia de contaminación hídrica de la Ley de Medio Ambiente 1333, se encuentra dentro los parámetros permisibles para el uso agrícola y pecuario.
- Según los resultados obtenidos en el trabajo nos muestra un $T = 1,5$ mg/L nos indica que el fosforo total presente, corresponde a aguas poco o nada contaminadas según la ley 1333 de Medio Ambiente (1,00 mg/L), con el resultado obtenido esta fuera del rango de aceptación según la clasificación de cuerpos de agua según su aptitud, con el biofiltro se llevo a reducir el 45,77% FT.
- La turbidez en el agua es parte de lo estético, las partículas en suspensión, nos muestra que el grado de suspensión de partículas en el estanque esta con 4,6 NTU, la misma que se encuentra en un grado permisible según la ley de medio ambiente 1333 en su D.S. 24176 anexo A y cuadro 1 que el agua es para el consumo humano, animal y riego.
- Los resultados obtenidos de temperatura en el biofiltro, muestran que el tratamiento de agua residual, según parámetros de manejo y por la prueba de "T"; es -1,035, lo que indica que no es adecuada o favorable para el desarrollo de

colonias microbianas, ya que la temperatura óptima para el desarrollo de las colonias microbianas se encuentra entre los 25° y 35°C.

- Según la Ley de Medio Ambiente en su reglamento de contaminación hídrica, la conductividad registrada de las muestras en laboratorio tiene una media de 1527,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto es considerado fuera de los límites para el consumo de agua potable y para el uso agrícola esto es considerado como un agua dura.
- El pH registrado después del agua tratada, se encuentra dentro el rango permisible de la Ley 1333 en su artículo 4 anexo A cuadro N° 1 del reglamento en materia de contaminación hídrica, calcificación de cuerpos de agua según su aptitud, se encuentra en la clase A para todos los tiempos de tratamiento del agua residual en el biofiltro, valor de 7,1 pH neutro.
- La media obtenida de las muestras para el DBO_5 nos indica $T = 78,000$, este valor estadístico esta fuera de los límites permisibles del valor aceptable para la DBO en la Ley 1333 en su reglamento en materia de contaminación hídrica anexo A cuadro N° 1, por tanto los resultados de las muestras de laboratorio muestran que los microorganismos presentes no tuvieron efectos considerables, con el presente estudio se llego a reducir solo el 21% de DBO_5 , por debajo de otros estudios en Chile.
- Los valores de DQO obtenidos del laboratorio, nos muestra que el agua resultante del tratamiento estadísticamente $T = 5,5 \text{ mg/L}$ el cual no es un valor adecuado para su uso según el artículo 4 anexo A cuadro N° 1 del reglamento de contaminación hídrica de la Ley 1333 de Medio Ambiente, con este estudio se llegó a reducir el 22% de DQO, comparando con otros estudios es muy bajo, se puede notar que influye diferentes factores en nuestro medio.
- Según los datos del laboratorio, estadísticamente los coliformes fecales CF con una $T = 2,254 \text{ UFC}$ y una media de 107,67 UFC, y los coliformes totales son; $T = 1,574 \text{ UFC}$ y una media de 190 UFC, lo cual nos indica según el DS 24176 en su art. 4 reglamento en materia de contaminación hídrica cuadro N° 1 anexo A de la ley 1333, que el agua tratada se encuentra dentro los parámetros permisibles y es

apto para riego, ganadería, recreacional y abastecimiento industrial, y comparando con otros estudios en Chile son similares, que la lombrices tuvieron eficiencia en la reducción de CF y CT en un 96%.

- El tratamiento de agua residual con la implementación del sistema de biofiltro o lombrifiltro (con lombrices *Eisenia foetida*) fue eficiente en la depuración, remoción y reducción de contaminantes aunque en un nivel bajo en algunos parámetros de acuerdo a la ley del medio ambiente 1333, Decreto Supremo 24176 y el reglamento en materia de contaminación hídrica, pero se debe considerar que el presente trabajo de investigación se realizó en las condiciones del altiplano, sabemos que hasta el momento no se tiene investigaciones referentes a este tema en estas condiciones (altiplano). Durante la investigación tuvo que influir varios factores entre climáticos sobre todo como temperatura, altitud, humedad, precipitación, toros.
- La aplicación del lombrifiltros o biofiltro sistema Tohá es muy eficaz; económicamente, ambiental, social y sostenible, para el proceso de depuración y remoción de aguas residuales, adecuado para poblaciones rurales, empresas, municipios, otros, a comparación con otros sistemas de tratamientos convencionales.
- La inoculación de lombrices en el tratamiento de agua residual mejora la eficiencia del proceso de remoción y depuración de contaminantes, también se observa la influencia de la densidad de siembra o la población de lombrices en el proceso, que permite mejorar el nivel de remoción de la materia orgánica.

7. RECOMENDACIONES.

- El trabajo de investigación de tratamiento de aguas residuales implementado en el Centro Experimental de Agronomía, no tuvo mucho éxito como se esperaba, esto por varios factores ya sean climáticos, social, económico, entre otros.
- A futuros trabajos de investigación se recomienda adecuar el lombrifiltro de acuerdo al sistema de tratamiento (sistema Tohá) y a las condiciones del lugar en este caso, separar el humedal y el biofiltro de forma independiente, para ver y comparar los resultados obtenidos hasta el momento.
- Se recomienda aumentar la población de lombrices mayor a tres kilogramos en el biofiltro para tener mayor eficiencia de remoción de contaminantes.
- Se recomienda implementar focos de rayos UV en el efluente, para la desinfección e inactivación de patógenos para seguir mejorando la investigación y buscar más eficiencia en la reducción de contaminantes en los futuros trabajos de investigación.
- A futuro en los trabajos de investigación se debe realizar ajustes en el tiempo de permanencia del agua servida en el biofiltro mayores a 10 días de permanencia, para obtener mejores resultados.
- Como Universidad se debe compartir y replicar estas investigaciones con los municipios, gobernaciones, empresas, y la sociedad, con el propósito de evitar y mitigar la contaminación del medio ambiente por los efluentes, cuidando el recurso agua para las futuras generaciones.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- A.V.F. INGENIERÍA AMBIENTAL, 2003. “Programa de Descontaminación de Aguas Biofiltro” Fundación para la Transferencia Tecnológica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
Disponible en Internet: <http://www.biofiltro.cl>.
- AGUAMARKET. Productos y Servicios para la Industria del Agua en Latino América,
Disponible en Internet: citado enero 2016,
http://www.aguamarket.com/temas_interes/003.asp.
- AGUA CENTRO FIBROGEN. Fosas Sépticas. Disponible en Internet:
<http://www.fibrogen.cl/fosas%20septicas.htm>. citado enero 2016.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE.UU. (EPA). Folleto Informativo de Sistemas Descentralizados. Tanque Séptico Sistemas de Absorción al Suelo.
Disponible en Internet: <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-075.pdf>. citado febrero 2016.
- ARANGO J. E. 2003. Tesis. “Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la Remoción de Salmonella en aguas servidas Domésticas”. Santiago Universidad de Chile Departamento de Postgrado y Postítulo, Programa Interfacultades.
- ARIAS, C. 2003. Revista Redalyc, Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, 13 ed, Bogotá – Colombia, Pp 17-24 Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=9110130266> citado diciembre 2015.
- BRIKKÉ, F. 2006. WSP “Water and Sanitation Program”. Para América Latina y el Caribe, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE).
- CASTAÑEDA, A. 2013. Revista de Tecnología y Sociedad Paakat, Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, 5ta ed, Guadalajara - México, Pp 1-13. Recuperado de:

<http://www.udgvirtual.udg.mx/paakat/index.php/paakat/article/view/208>, citado enero 2016.

COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (COREMA). 2002. Resolución de Calificación Ambiental. "Estudio y Diseño de Servicio Público de Alcantarillado de Planta de Tratamiento de Aguas servidas sin generación de Lodos para la localidad de Cancura.

CLEAN WORLD HISPANIA, 2014. Corporación de Biotecnología Aplicada España, Mantenimiento Fosas y Pozos Sépticos, Disponible en Internet: http://www.ctv.es/clean_world_hispania/fosassepticaspozossepticos.htm, citado diciembre 2015.

CUEVA, E. 2013. Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea, Santo Domingo, Facultad de ciencias de la vida, Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Escuela Superior Politécnica del Ejército. Santo Domingo Ecuador, TESIS. Pp 6, 17. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6543/1/T-ESPE-STO%20D.-002470.pdf> 67, citado enero 2016.

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. 1964 "Manual de Tratamiento de aguas Negras". Editorial Limusa Wiley, S.A. México, D.F.

FUNDACION CHILE. Tecnología de Biofiltros, Tecnología no Convencional de tipo Biológico, GOBIERNO DE CHILE CONAMA, citado marzo 2016, recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_07.pdf

GARCÍA, D. 2009. Fitodepuración sostenible de aguas residuales mediante la utilización de humedales artificiales, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca Ecuador. TESIS Pp17, 23. 33, 35. 38, 39. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2399/1/tq1028.pdf>, citado enero 2016.

- GARCÍA, Z. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú. TESIS. Pp 11-18.
E-books: http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf, citado febrero 2016.
- GONZALEZ, F. 2011. Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial, Universidad San Francisco de Quito, Quito-Ecuador. TESIS Pp8-16.
Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1238/1/101772.pdf>, citado enero 2016.
- GLYNN, H. y HEINKE, G. 1999. "Ingeniería Ambiental". Editorial Prentice Hall, México. 107 p
- Guarachi, E. 2011. Balance Hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en Suka kollus. Tesis de grado. Universidad Pública de El Alto. Carrera de Ingeniería Agronómica. La Paz, Bolivia. 115 p.
- LACRAMPE, G. 1992. Apuntes "Aguas Servidas".
- LEY Nº 1333, 1992. Ley y Reglamento del Medio Ambiente. D.S. Nº 24176 1995, Reglamento en Materia de contaminación Hídrica.
- LOMBRICULTURA S.C.I.C. 2013. Centro de Investigación y Desarrollo en la Ciudad de Quito Ecuador. Disponible en Internet: <http://www.lombricultura.net>. Citado diciembre 2015.
- MARIN, J. 2010. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira – Colombia. TESIS. Pp 9-14, 19-20.

- METCALF & EDDY, 1998. "Ingeniería de Aguas residuales, Redes de Alcantarillado y Bombeo". Editorial McGraw-Hill. Madrid.
- PORTAL DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. EMPRESAS, SERVICIOS Y SUMINISTROS, 2014. Mantenimiento de Pozos Sépticos. Disponible en Internet: http://www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm, citado febrero 2016.
- QUEZADA, P. 2001. Tesis: "Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Lácteos". Temuco, Universidad de la Frontera Chile.
- RAMALHO, R. 2006. Tratamiento de aguas residuales, 2da ed, Barcelona España. Editorial Reverté. Pp 437.
E-books: <http://es.scribd.com/doc/65356088/R-S-Ramalho-Tratamiento-de-Aguas-Residuales>, citado febrero 2016.
- ROBIE, B. y HARENBERG, 1987. *Tratamiento de Aguas Residuales*, Ingeniería Sanitaria Ed. Continental S.A de C.V. México D.F.
- RODRÍGUEZ, T. 2004. "Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales", Facultad de Ingeniería, Universidad Militar "Nueva Granada", Bogotá Colombia.
- SALAZAR, M. P. 2005. "Sistema Tohá". Una Alternativa Ecológica Para El Tratamiento De Aguas Residuales En Sectores Rurales". Universidad Austral de Chile Facultad de ciencias de la ingeniería.
- SENAMHI, 2013. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Centro de Información Meteorológico. La Paz, Bolivia. Citado en febrero 2016. Disponible en: <http://www.senamhi.org.bo>
- SOTO, M. 2009. Revista Redalyc, Efecto de la presencia de hidrofitas (*Typha latifolia*) sobre los potenciales redox en columnas empacadas a escala de laboratorio. Vol. 24, Núm. 1, Distrito Federal México. Pp 6-11.
E-books: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48212169003>, citado enero 2016.

TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM, 2015. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Recuperado de: <http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/L-5227S>. Citado diciembre 2015.

UNIVERSIDAD DE CHILE, 2008. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Recuperado de: <http://www.tamarugo.cec.uchile.cl>, citado febrero 2016.

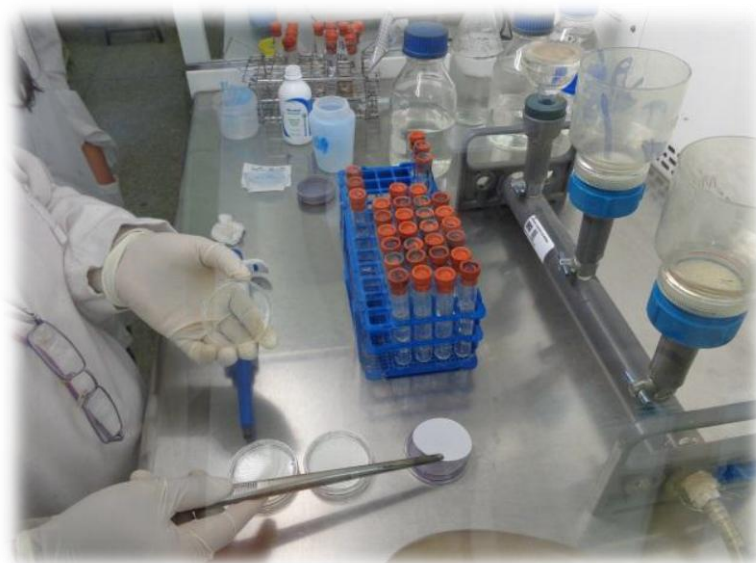
ZARATE, A. 2008. Revista Redalyc., Remoción de contaminantes en un sistema modelo de humedales artificiales a escala de laboratorio. Vol. 23, núm. 1 Distrito Federal México. Pp 15-22.
Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223103>, citado enero 2016

ANEXOS

Anexo 1. Datos de muestras del Laboratorio.

PARÁMETROS	T. TESTIGO		T. 5 DIAS		T. 10 DIAS	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
pH	8,1	6,6	8	7,1	8	7,1
Conductividad	2127	1525	1943	1524	1862	1532
Temperatura	19,6	21,2	21	21,8	21,2	20,7
Sólidos Sedimentables	0,5	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1
Sólidos Disueltos	918	1142	664	1140	712	1136
Sólidos Suspendidos	15	1	2	1	4	1
Sólidos Totales	693	1143	666	1141	716	1137
Turbidez	19	3,7	3,8	4,6	4,1	4,8
Oxígeno Disuelto	0,1	1,5	0,3	0,1	0,2	0,6
Calcio Ca	55,2	57,86	48,8	49,9	46,71	57,86
Magnesio Mg	19,47	26,75	12,35	25,44	12	25,92
Sodio Na	207,5	168,35	165,53	167,22	163,27	175,15
Potasio K	109,49	128,75	69,96	118,64	81,84	133,45
Amonio NH4	99,25	13,2	109,02	18,01	100,41	8,64
Carbonatos CO3	37,8	<0,1	42,6	<0,1	14,4	<0,1
Cloruros Cl	271,1	318,2	273,9	339,3	226,3	243,4
Fosforo Total PT	4,82	4,56	7,82	6,93	8,04	4,36
Sulfatos SO4	45,69	51,6	20,2	44,9	19,5	61,7
DBO5	77	214	158	270	69	54
DQO	111	285	210	385	93	72
Coliformes Fecales	1200	3	630	120	5400	200
Coliformes Totales	5600	10	720	260	6300	300

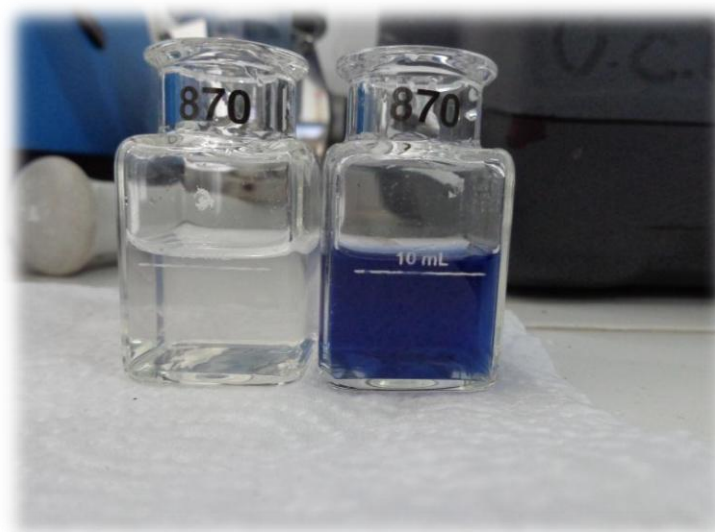
Anexo 2. Materiales para análisis microbiológico



Anexo 3. Equipo de DBO, Cabeza Gasométrica



Anexo 4. Determinación de Fosfatos



Anexo 5. Visualización del Agua a Tratar



Anexo 6. Construcción de la cámara de sedimentación



Anexo 7. Techado de la Carpa



Anexo 8. Construcción de capas filtrantes (viruta)



Anexo 9. Capa filtrante (aserrín)



**Anexo 10. Medio de hábitat para lombrices (estiércol)
Para la fase de adaptación**



Anexo 11. Inoculación de lombrices



Anexo 12. Lombrices actuando en la biofiltración**Anexo 13. Lombrices que se adaptaron al medio**

Anexo 14. Reproducción de lombrices



Anexo 15. Toma de muestra del afluente



Anexo 16. Toma de muestra del afluente para 5 días**Anexo 17. Toma de muestra del afluente para 10 días**

Anexo 18. Toma de muestra del Efluente**Anexo 19. Envasado de muestras para transportar**

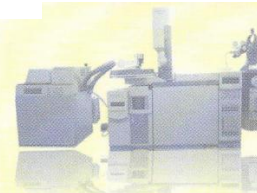
Anexo 20. Limpieza del estanque (agua residual a tratar).



Anexo 21. Informe de Ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

Nº.: 35307

<i>NOMBRE DEL CLIENTE</i>	SWISSCONTACT		
<i>DIRECCION DEL CLIENTE</i>	UPEA - El Alto - La Paz		
<i>PROCEDENCIA</i>	La Paz - El Alto**		
<i>CARACTERISTICAS</i>	Agua		
<i>RESPONSABLE MUESTREO</i>	Ing. Edwin Guarachi**	<i>FECHA DE MUESTREO</i>	2015-10-02**
<i>FECHA RECEPCION</i>	2015-10-02	<i>FECHA DE ENSAYO</i>	Según detalle
<i>PAGINA</i>	1/2	<i>FECHA DE ENTREGA</i>	2015-10-26

PARAMETRO	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma/Método	Código Cliente Código Laboratorio LD/ppm	MAH-02	MAB-01
					6587	6588
pH		2015-10-05	ASTM D 1293-99		8,0	8,1
Conductividad	µS/cm	2015-10-05	ASTM D 1125-95	5	1650	2127
Temperatura	°C	2015-10-05			19,8	19,6
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-10-07	DIN 38409 T9	0,1	0,2	0,5
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-10-07	STM 2540 C	5	670	918
Sólidos Suspendedos	mg/l	2015-10-07	DIN 38409 T2	1	11	15
Sólidos Totales	mg/l	2015-10-07	DIN 38409 H1	1	681	693
Turbidez	NTU	2015-10-10	DIN 38404 T2	0,05	7,60	19,00
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-10-12	ASTM D-888	0,1	0,1	0,1
Calcio	Ca mg/l	2015-10-08	ASTM D 511-03	0,2	43,7	55,2
Magnesio	Mg mg/l	2015-10-08	ASTM D 511-03	0,01	11,68	19,47

REFERENCIAS

**Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

Conductividad Electrica = microsiemens /cm = micromhos/cm, medida a 21,2 °C

T.S. Rosmary Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

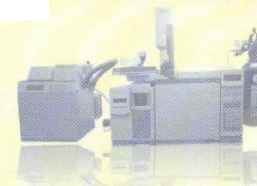
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Telf/Fax.: (591-2)5260008
5262983
5264666

Anexo 22. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

Nº.: 35307

NOMBRE DEL CLIENTE
DIRECCION DEL CLIENTE
PROCEDENCIA
CARACTERISTICAS
RESPONSABLE MUESTREO
FECHA RECEPCION
PAGINA

SWISSCONTACT
UPEA - El Alto - La Paz
La Paz - El Alto**
Agua
Ing. Edwin Guarachi**
2015-10-02
2/2

FECHA DE MUESTREO 2015-10-02**
FECHA DE ENSAYO Según detalle
FECHA DE ENTREGA 2015-10-26

RESULTADOS:

PARAMETRO	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma/Método	Código Cliente		LD/ppm	MAH-02 6587	MAB-01 6588
				Código Laboratorio				
Sodio	Na mg/l	2015-10-06	ASTM D 3561-02		0,1	172,2	207,5	
Potasio	K mg/l	2015-10-07	ASTM D 4192-03		0,01	68,32	109,49	
Amonio	NH ₄ mg/l	2015-10-10	ASTM D 1426-03		0,05	82,61	99,25	
Carbonatos	CO ₃ ⁼ mg/l	2015-10-10	ASTM D 3875-03		0,1	31,8	37,8	
Cloruros	Cl ⁻ mg/l	2015-10-10	DIN 38 408 G4-1		0,1	196,6	271,1	
Fósforo Total	P _T mg/l	2015-10-12	EPA 365.2		0,01	4,73	4,82	
Sulfatos	SO ₄ ⁼ mg/l	2015-10-10	ASTM D 516-02		0,02	37,53	45,69	
DBO ₅	mg/l	2015-10-07	DIN 38409 T 51 mod.		5	36	77	
DQO	mg/l	2015-10-05	ASTM D 1252-00		2	52	111	
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	2015-10-14	SM 9222 B		0	200	1200	
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2015-10-14	SM 9221 B		0	3900	5600	

REFERENCIAS

**Responsabilidad del Cliente
LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .
Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.
DQO = Demanda Química de Oxígeno
DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
UFC/100 = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml

T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

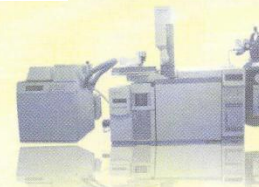
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Tel/Fax.: (591-2)5260008
5262983
5264666

Anexo 23. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

Nº: 35564

NOMBRE DEL CLIENTE
PROYECTO

SWISSCONTACT
Tratamiento de aguas residuales con la instalación de
humedales artificiales

DIRECCIÓN DEL CLIENTE
PROCEDENCIA

Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz
Agronomía UPEA - El Alto - La Paz**

CARACTERISTICAS

Agua Residual

RESPONSABLE MUESTREO

Ing. Edwin Guarachi**

FECHA DE MUESTREO 2015-11-09**

FECHA RECEPCION

2015-11-09

FECHA DE ENSAYO Según detalle

PAGINA

1/2

FECHA DE ENTREGA 2015-12-09

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente				
					MAB-02	MAB-03	MAH-03	MAH-04	
					Código Laboratorio	7887	7888	7889	7890
pH		2015-11-13	ASTM D 1293-99		6,6	8,0	7,4	8,4	
Temperatura	°C	2015-11-13			21,2	21,0	21,1	21,2	
Conductividad	µS/cm	2015-11-13	ASTM D 1125-95	5	1525	1943	1716	1962	
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-11-17	DIN 38409 T9	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-11-17	STM 2540 C	5	1142	664	660	696	
Sólidos Suspendidos	mg/l	2015-11-17	DIN 38409 T2	1	1	2	1	12	
Sólidos Totales	mg/l	2015-11-17	DIN 38409 H1	1	1143	666	661	708	
Turbidez	NTU	2015-11-15	DIN 38404 T2	0,05	3,70	3,80	7,20	28,60	
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-11-16	ASTM D-888	0,1	1,5	0,3	0,2	0,2	
Calcio Ca	mg/l	2015-11-18	ASTM D 511-03	0,01	57,86	48,80	62,60	21,26	
Magnesio Mg	mg/l	2015-11-17	ASTM D 511-03	0,01	26,75	12,35	15,09	8,07	

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Limite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

Conductividad Eléctrica = microsiemens /cm = micromhos/cm, medida a 21,2 °C

T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

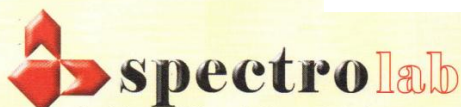
- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

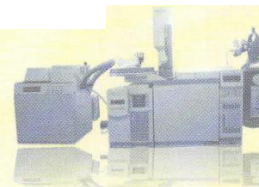
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Tel/Fax: (591-2)5260008
5262983
5264666

Anexo 24. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

N°: 35564

NOMBRE DEL CLIENTE
PROYECTO

SWISSCONTACT
Tratamiento de aguas residuales con la instalación de
humedales artificiales

DIRECCIÓN DEL CLIENTE
PROCEDENCIA

Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz
Agronomía UPEA - El Alto - La Paz**

CARACTERISTICAS

Agua Residual

RESPONSABLE MUESTREO

Ing. Edwin Guarachi**

FECHA DE MUESTREO

2015-11-09**

FECHA RECEPCION

2015-11-09

FECHA DE ENSAYO

Según detalle

PAGINA

2/2

FECHA DE ENTREGA

2015-12-09

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente				
					MAB-02	MAB-03	MAH-03	MAH-04	
					Código Laboratorio	7887	7888	7889	7890
Potasio	K	mg/l	2015-11-17	ASTM D 4191-03	0,01	128,75	69,96	55,84	82,18
Sodio	Na	mg/l	2015-11-17	ASTM D 3561-02	0,03	168,35	165,53	145,34	144,23
Amonio	NH ₄ ⁺	mg/l	2015-11-11	ASTM D 1426-03	0,05	13,20	109,02	85,18	158,91
Cloruro	Cl ⁻	mg/l	2015-11-17	ASTM D 512-04B	0,1	318,2	273,9	205,2	185,8
Carbonatos	CO ₃ ⁼	mg/l	2015-11-13	ASTM D 3875-03	0,1	<0,1	42,6	<0,1	121,2
Fósforo Total	P _T	mg/l	2015-11-17	EPA 365.2	0,01	4,56	7,82	7,63	9,60
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	2015-11-15	ASTM D 516-02	0,2	51,6	20,2	8,9	36,7
DQO		mg/l	2015-11-17	ASTM D 1252-00	2	285	210	177	310
DBO ₅		mg/l	2015-11-16	DIN 38409 T 51 mod.	5	214	158	133	233
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	2015-11-12	SM 9222 B	0	3	630	540	72000	
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2015-11-12	SM 9221 B	0	10	720	810	81000	

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

UFC/100 = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml

T.S. Rosmary Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

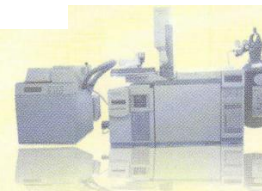
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Telf/Fax.: (591-2)5260008
5262983
5264666

Anexo 25. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

N°: 35563

NOMBRE DEL CLIENTE

SWISSCONTACT

PROYECTO

Tratamiento de aguas residuales con la instalación de humedales artificiales

DIRECCIÓN DEL CLIENTE

Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz

PROCEDENCIA

**

CARACTERÍSTICAS

Agua

RESPONSABLE MUESTREO

Ing. Edwin Guarachi Laura**

FECHA DE MUESTREO 2015-11-11**

FECHA RECEPCIÓN

2015-11-12

FECHA DE ENSAYO Según detalle

PÁGINA

1/2

FECHA DE ENTREGA 2015-12-09

RESULTADOS:

Código Cliente MAB-04
Código Laboratorio 7933

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	
pH		2015-11-16	ASTM D 1293-99		7,1
Temperatura	°C	2015-11-16			21,8
Conductividad	µS/cm	2015-11-16	ASTM D 1125-95	5	1524
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-11-20	DIN 38409 T9	0,1	0,1
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-11-20	STM 2540 C	5	1140
Sólidos Suspendidos	mg/l	2015-11-20	DIN 38409 T2	1	1
Sólidos Totales	mg/l	2015-11-20	DIN 38409 H1	1	1141
Turbidez	NTU	2015-11-16	DIN 38404 T2	0,05	4,60
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-11-19	ASTM D-888	0,1	0,1
Calcio Ca	mg/l	2015-11-18	ASTM D 511-03	0,01	49,90
Magnesio Mg	mg/l	2015-11-17	ASTM D 511-03	0,01	25,44

REFERENCIAS


** Responsabilidad del Cliente


LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

Conductividad Eléctrica = microsiemens /cm = micromhos/cm, medida a 21,2 °C


T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor


Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio


Ing. Jehny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

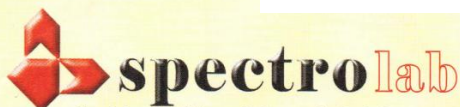
- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

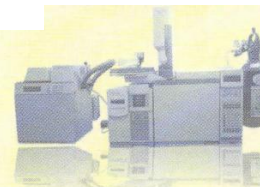
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Tel/Fax.: (591-2)5260008
5262983
5264666

Anexo 26. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

N°: 35563

NOMBRE DEL CLIENTE
PROYECTO

SWISSCONTACT
Tratamiento de aguas residuales con la instalación de humedales artificiales

DIRECCIÓN DEL CLIENTE
PROCEDENCIA

Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz
**

CARACTERÍSTICAS

Agua

RESPONSABLE MUESTREO

Ing. Edwin Guarachi Laura**

FECHA DE MUESTREO 2015-11-11**

FECHA RECEPCIÓN

2015-11-12

FECHA DE ENSAYO Según detalle

PÁGINA

2/2

FECHA DE ENTREGA 2015-12-09

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente	MAB-04
					Código Laboratorio	7933
Potasio	K	mg/l	2015-11-17	ASTM D 4191-03	0,01	118,64
Sodio	Na	mg/l	2015-11-17	ASTM D 3561-02	0,03	167,22
Amonio	NH ₄ ⁺	mg/l	2015-11-16	ASTM D 1426-03	0,05	18,01
Carbonatos	CO ₃ ⁼	mg/l	2015-11-16	ASTM D 3875-03	0,1	<0,1
Cloruro	Cl ⁻	mg/l	2015-11-20	ASTM D 512-04B	0,1	339,3
Fósforo Total	P _T	mg/l	2015-11-20	EPA 365.2	0,01	6,93
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	2015-11-15	ASTM D 516-02	0,2	44,9
DBO ₅		mg/l	2015-11-24	DIN 38409 T 51 mod.	5	270
DQO		mg/l	2015-11-20	ASTM D 1252-00	2	385
Coliformes Fecales	UFC/100 ml		2015-11-16	SM 9222 B	0	120
Coliformes Totales	UFC/100 ml		2015-11-16	SM 9221 B	0	260

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

UFC/100 = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml

T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

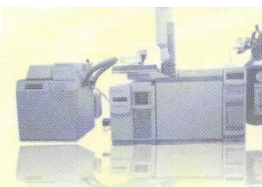
Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Anexo 27. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

N°: 35659

NOMBRE DEL CLIENTE	Agronomía UPEA	FECHA DE MUESTREO	2015-11-13**
DIRECCIÓN DEL CLIENTE	El Alto - La Paz	FECHA DE ENSAYO	Según detalle
PROCEDENCIA	Kallutaca - El Alto**	FECHA DE ENTREGA	2015-12-15
CARACTERISTICAS	Agua		
RESPONSABLE MUESTREO	Sr. Ismael Roque**		
FECHA RECEPCIÓN	2015-11-16		
PÁGINA	1/4		

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente		
					MAB-05 Código Laboratorio 7981	MAB-06 7982	MAH-05 7983
pH		2015-11-16	ASTM D 1293-99		8,0	7,1	7,6
Temperatura	°C	2015-11-16			21,2	20,7	20,6
Conductividad	µS/cm	2015-11-16	ASTM D 1125-95	5	1862	1532	1685
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-11-23	DIN 38409 T9	0,1	0,1	<0,1	<0,1
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-11-23	STM 2540 C	5	712	1136	670
Sólidos Suspendidos	mg/l	2015-11-23	DIN 38409 T2	1	4	1	1
Sólidos Totales	mg/l	2015-11-23	DIN 38409 H1	1	716	1137	671
Turbidez	NTU	2015-11-21	DIN 38404 T2	0,05	4,10	4,80	3,90
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-11-19	ASTM D-888	0,1	0,2	0,6	0,1
Calcio Ca	mg/l	2015-11-18	ASTM D 511-03	0,01	46,71	57,86	65,56
Magnesio Mg	mg/l	2015-11-17	ASTM D 511-03	0,01	12,00	25,92	16,04

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Limite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

Conductividad Electrica = microsiemens /cm = micromhos/cm, medida a 21,2 °C

T.S. Rosmary Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenny Al Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

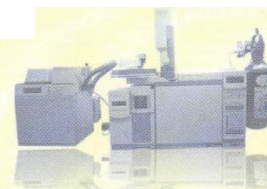
e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Tel/Fax: (591-2)526008
5262983
5264666

Anexo 28. Informe de ensayos



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

Nº: 35659

NOMBRE DEL CLIENTE	Agronomía UPEA	FECHA DE MUESTREO	2015-11-13**
DIRECCIÓN DEL CLIENTE	El Alto - La Paz	FECHA DE ENSAYO	Según detalle
PROCEDENCIA	Kallutaca - El Alto**	FECHA DE ENTREGA	2015-12-15
CARACTERISTICAS	Agua		
RESPONSABLE MUESTREO	Sr. Ismael Roque**		
FECHA RECEPCIÓN	2015-11-16		
PÁGINA	2/4		

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente		
					Código Laboratorio	MAB-05 7981	MAB-06 7982
Potasio	K	2015-11-17	ASTM D 4191-03	0,01	81,84	133,45	50,30
Sodio	Na	2015-11-17	ASTM D 3561-02	0,03	163,27	175,15	142,56
Amonio	NH ₄ ⁺	2015-11-25	ASTM D 1426-03	0,05	100,41	8,64	81,51
Carbonatos	CO ₃ ⁼	2015-11-19	ASTM D 3875-03	0,1	14,40	<0,1	<0,1
Cloruro	Cl ⁻	2015-11-23	ASTM D 512-04B	0,1	226,3	234,4	192,5
Fósforo Total	P _T	2015-11-23	EPA 365.2	0,01	8,04	4,36	6,15
Sulfatos	SO ₄ ⁼	2015-11-20	ASTM D 516-02	0,2	19,5	61,7	7,5
DQO		2015-11-23	ASTM D 1252-00	2	93	72	93
DBO ₅		2015-11-24	DIN 38409 T 51 mod.	5	69	54	69
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	2015-11-18	SM 9222 B	0	5400	200	4500
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2015-11-18	SM 9221 B	0	6300	300	6300

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .
Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.
DQO = Demanda Química de Oxígeno
DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
UFC/100 = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml

T. S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor

Ing. Jorge W. Fuentes A.
Jefe de Laboratorio

Ing. Jenry A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
Oruro - Bolivia

Tel/Fax: (591-2)5260008
5262983
5264666