

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



TESIS DE GRADO

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL ATRAVES DE
ESTANQUES ARTIFICIALES EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
DE KALLUTACA**

Por:

Exalto Quispe Nina

EL ALTO – BOLIVIA

Julio, 2017

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

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL ATRAVES DE ESTANQUES
ARTIFICIALES EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

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

Exalto Quispe Nina

Asesores:

Ing. Ph.D. Humberto Nelson Sainz Mendoza

Ing. Edwin Guarachi Laura

Tribunal Revisor:

Dra. Carla Patricia Ibáñez Luna

Ing. M.Sc. Cristóbal Riquelme Molina

Ing. M.Sc. Roberto Aruquipa Amaru

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Esta tesis está dedicada a dos personas muy especiales a las cuales debo todo a mis padres: Adelio (†) y Marcelina con todo mi amor, segundo a mi esposa Sonia, por su constante apoyo y motivación. A mis hijos: Adriana y José. Como también a mis hermanos: Maria, Josefina, Ángela, Gerardo y Genaro.

A mis hermanos políticos Rosendo y Rosa. A mis sobrinos: Maribel, Richard, Jhoselyn, Evelyn, Noelia, Jose, Julia, Agustina y Juan. Quiénes me apoyaron para seguir y lograr todo este trabajo, mis sinceros amigos.

Y con especial cariño a docentes de la carrera quienes han sido los artífices de mi formación profesional, pues con sus enseñanzas y orientación supieron encaminarme hacia el logro de mis objetivos.

A mis amigos y compañeros por alertarme a seguir adelante siempre.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecerle a Dios, Nuestro padre celestial, por permitirme vivir con salud y darme sabiduría, además de brindarme las fuerzas necesarias todo los días, para alcanzar mis sueños y metas.

En segundo instancia, a la Universidad Pública de El Alto; en especial a la Dirección de carrera Ingeniería Agronómica, por conformar el convenio con la Institución SWISSCONTACT, que mi brindo el espacio del trabajo de investigación con la planta de tratamiento de agua residual para que este trabajo sea concluido.

De manera muy especial a la Dra. Ximena Ayo Zulzer Asesora del Proyecto Ecovecindario de la Institución SWISSCONTACT por su confianza a mi persona como tesista. También al laboratorio ESPECTROLAB (UTO - Oruro), quien me colaboro con el laboratorio especializado en análisis de aguas.

A mis tutores Ing. Ph.D. Humberto Nelson Sainz Mendoza y al Ing. Edwin Guarachi Laura, desde principio me colaboraron con su sugerencias y apoyo incondicional asesoramiento y sus experiencias en el tema de tratamiento de agua residual y el manuscrito de la presente tesis.

A los miembros del tribunal, revisor Ph.D. Carla Patricia Ibáñez Luna, Ing. M.Sc. Cristóbal Riquelme Molina y al Ing. M.Sc. Roberto Aruquipa Amaru, por las correcciones realizadas pacientemente dedicando parte de su tiempo su experiencia y profesionalismo al presente documento.

A todos los docentes que estuvieron durante la etapa de mi formación académica brindándome sus conocimientos y experiencias.

A toda mi familia; deseo expresar un profundo agradecimiento a mis padres políticos Mario y Genara, también a mis tíos y primos. A los Ing. Laoreano Coronel Q., Ing. Genaro Serrano. A mis Amigos y compañeros Mario Q. Julián A. Finalmente un agradecimiento sincero a todas las personas que me han ayudado directa o indirectamente durante tiempo de realización y redacción de esta tesis.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. El Agua.....	4
2.2. Las Aguas Residuales	4
2.3. Características de Aguas Residuales	5
2.3.1. Características Físicas	5
• Temperatura	5
• Conductividad eléctrica	5
• Sólidos	5

• Olor	6
• Color.....	6
• Turbidez	6
2.3.2. Características Químicas	6
• Potencial hidrógeno (pH).....	6
• Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO ₅)	7
• Demanda química de oxígeno (DQO).....	7
• Relación entre la DBO ₅ y la DQO	7
• Nitrógeno (N)	8
• Fósforo (P)	8
2.3.3. Características Biológicas	8
2.4. Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (STAR).....	8
2.5. Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) en Bolivia	9
2.6. Presencia de planta de tratamiento de agua residual (PTAR) por departamentos	9
2.7. Presencia de PTAR por región.....	9
2.8. Poblaciones de estudio.....	9
2.9. Principales usos del agua residual en Bolivia	9
2.10. El reúso del agua residual en la agricultura	10
2.11. Tipos de planta de tratamiento de agua residual (PTAR).....	11
a) Tratamiento primario.....	11
b) Tratamiento secundario	11
c) Tratamiento terciario	11
2.12. Componentes del sistema de tratamiento de agua residual	11
3.12.1. Agua.....	11
3.12.2. Sustrato (medio granular).....	12
3.12.3. Microorganismos	12

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1.	Localización	14
3.1.1.	Ubicación Geográfica	14
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	15
3.1.2.1.	Clima.....	15
3.1.2.2.	Suelo.....	15
3.1.2.3.	Flora.....	15
3.2.	Materiales.....	16
3.2.1.	Material de construcción	16
3.2.2.	Material de campo	16
3.2.3.	Material de gabinete	16
3.3.	Metodología	16
3.3.1.	Construcción de estanques artificiales	16
3.3.2.	Construcción del sistema de alimentación de los estanques artificiales	21
3.3.3.	Llenado de estanques artificiales de ensayo.....	22
3.3.4.	Tiempo de tratamiento de aguas servidas.....	24
3.3.5.	Control de la calidad de las aguas tratadas.....	25
3.4.	Evaluación del sistema de tratamiento.....	26
	• Porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes	26
	• Análisis comparativo.....	27
3.5.	Factores de estudio	27
3.6.	Variables de respuesta	28
3.6.1.	Caudal de afluente y efluente de agua residual para los estanques artificiales de tratamiento (Q).....	28
3.6.2.	Puntos de muestreo.....	28
3.6.3.	Parámetros físicos, químicos y biológicos	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

4.1. Parámetros Físicos	29
4.1.1. Caudal	29
4.1.2. Turbidez	29
4.2. Parámetros Químicos	31
4.2.1. pH.....	31
4.2.2. Sólidos Sedimentables	34
4.2.3. Sólidos Disueltos	36
4.2.4. Sólidos Suspendidos	37
4.2.5. Sólidos Totales.....	39
4.2.6. Oxígeno Disuelto	41
4.2.7. Calcio	43
4.2.8. Magnesio.....	45
4.2.9. Sodio	47
4.2.10. Amonio.....	48
4.2.11. Cloruro	50
4.2.12. Fosforo total.....	52
4.2.13. Sulfatos	54
4.2.14. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	57
4.2.15. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	59
4.3. Parámetros Biológicos	62
4.3.1. Coliformes Fecales	62
4.3.2. Coliformes Totales	64
5. CONCLUSIONES	67
6. RECOMENDACIONES.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA	71
8. ANEXOS	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Colores utilizados en las clasificaciones físicas, químicas y biológicas.....	27
Cuadro 2. Tratamientos en estudio.....	27
Cuadro 3. Muestras comparativas de turbidez del afluyente y efluente.....	31
Cuadro 4. Muestras comparativas del pH del afluyente y efluente.....	33
Cuadro 5. Muestras comparativas de sólidos sedimentables del afluyente y efluente.....	35
Cuadro 6. Muestras comparativas de sólidos disueltos del afluyente y efluente.....	37
Cuadro 7. Muestras comparativas de sólidos suspendidos del afluyente y efluente.....	39
Cuadro 8. Muestras comparativas de sólidos totales del afluyente y efluente.....	41
Cuadro 9. Muestras comparativas de oxígeno disuelto del afluyente y efluente.....	43
Cuadro 10. Muestras comparativas de calcio del afluyente y efluente.....	45
Cuadro 11. Muestras comparativas de magnesio del afluyente y efluente.....	46
Cuadro 12. Muestras comparativas de sodio del afluyente y efluente.....	48
Cuadro 13. Muestras comparativas de amonio del afluyente y efluente.....	50
Cuadro 14. Muestras comparativas de cloruros del afluyente y efluente.....	52
Cuadro 15. Muestras comparativas de fosforo total del afluyente y efluente.....	54
Cuadro 16. Muestras comparativas de sulfatos del afluyente y efluente.....	56
Cuadro 17. Muestras comparativas de DQO del afluyente y efluente.....	58
Cuadro 18. Muestras comparativas de DBO ₅ del afluyente y efluente.....	61
Cuadro 19. Muestras comparativas de coliformes fecales del afluyente y efluente.....	63
Cuadro 20. Muestras comparativas de coliformes totales del afluyente y efluente.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nivelación del terreno donde se instalaron los estanques artificiales de ensayo.....	17
Figura 2. Forma de los estanques artificiales de ensayo construidos	17
Figura 3. Detalle del armado de los tablonos de los estanques artificiales de ensayo .	18
Figura 4. Estanques artificiales de ensayo recubierto con la geomembrana	18
Figura 5. Rellenado de los estanques artificiales de ensayo con grava de $\frac{3}{4}$	19
Figura 6. Nivelado manual de la grava de los estanques artificiales de ensayo	19
Figura 7. Detalle de los tubos de aireación mostrando las perforaciones de los mismos	20
Figura 8. Estanques artificiales de ensayo terminados de construir y instalado de tubos de aireación.....	20
Figura 9. Detalle de las cámaras de distribución de agua residual a los estanques artificiales de ensayo	21
Figura 10. Detalle de las cámaras desarenadoras (retención de residuos sólidos)	21
Figura 11. Detalle de las cámaras de sedimentación	22
Figura 12. Colocado de los tubos de distribución de las aguas residuales a los estanques artificiales de ensayo	22
Figura 13. Tubos de distribución instalados en los estanques artificiales de ensayo	23
Figura 14. Proceso de llenado de los estanques artificiales de ensayo	23
Figura 15. Estanques artificiales de ensayo en pleno funcionamiento	24
Figura 16. Cámara colectora de aguas tratadas	24
Figura 17. Toma de muestra de agua en la entrada de los estanques artificiales de ensayo.....	25
Figura 18. Uso de conservadora de plastofomo para el traslado de muestras.....	25
Figura 19. Traslado y entrega de las muestras al laboratorio Spectrolab	26
Figura 20. Comparación de Turbidez a los 5 días de proceso	30

Figura 21. Comparación de Turbidez a los 10 días de proceso	30
Figura 22. Comparación de pH a los 5 días de proceso	32
Figura 23. Comparación de pH a los 10 días de proceso	32
Figura 24. Comparación de Sólidos Sedimentables a los 5 días de proceso	34
Figura 25. Comparación de Sólidos Sedimentables a los 10 días de proceso	34
Figura 26. Comparación de Sólidos Disueltos a los 5 días de proceso.....	36
Figura 27. Comparación de Sólidos Disueltos a los 10 días de proceso.....	36
Figura 28. Comparación de Sólidos Suspendedos a los 5 días de proceso	38
Figura 29. Comparación de Sólidos Suspendedos a los 10 días de proceso	38
Figura 30. Comparación de Sólidos Totales a los 5 días de proceso.....	40
Figura 31. Comparación de Sólidos Totales a los 10 días de proceso.....	40
Figura 32. Comparación de Oxígeno Disuelto a los 5 días de proceso.....	42
Figura 33. Comparación de Oxígeno Disuelto a los 10 días de proceso.....	42
Figura 34. Comparación de Calcio a los 5 días de proceso	44
Figura 35. Comparación de Calcio a los 10 días de proceso	44
Figura 36. Comparación de Magnesio a los 5 días de proceso.....	45
Figura 37. Comparación de Magnesio a los 10 días de proceso.....	46
Figura 38. Comparación de Sodio a los 5 días de proceso	47
Figura 39. Comparación de Sodio a los 10 días de proceso	47
Figura 40. Comparación de Amonio a los 5 días de proceso	49
Figura 41. Comparación de Amonio a los 10 días de proceso	49
Figura 42. Comparación de Cloruros a los 5 días de proceso.....	51
Figura 43. Comparación de Cloruros a los 10 días de proceso.....	51
Figura 44. Comparación de Fosforo total a los 5 días de proceso	53
Figura 45. Comparación de Fosforo total a los 10 días de proceso	53
Figura 46. Comparación de Sulfatos a los 5 días de proceso	55

Figura 47. Comparación de Sulfatos a los 10 días de proceso	55
Figura 48. Comparación de DQO a los 5 días de proceso	57
Figura 49. Comparación de DQO a los 10 días de proceso	57
Figura 50. Comparación de DBO ₅ a los 5 días de proceso	60
Figura 51. Comparación de DBO ₅ a los 10 días de proceso	60
Figura 52. Comparación de Coliformes Fecales a los 5 días de proceso	62
Figura 53. Comparación de Coliformes Fecales a los 10 días de proceso	63
Figura 54. Comparación de Coliformes Totales a los 5 días de proceso	65
Figura 55. Comparación de Coliformes Totales a los 10 días de proceso	65

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del experimento (estanques artificiales de ensayo)	79
Anexo 2.	Parámetros considerados en el estudio	80
Anexo 3.	Sistema de retención de sólidos gruesos en la rejilla	81
Anexo 4.	Las cuotas para sistema de alimentación del agua residual a los estanques artificiales de ensayo	82
Anexo 5.	Plano general del proceso constructivo de los estanques artificiales de ensayo y de las tomas del agua residual para el tratamiento.....	84
Anexo 6.	Detalle general de los materiales	87
Anexo 7.	Resultados de análisis de Spectrolab	89

ABREVIATURAS

AR	Agua Residual
TAR	Tratamiento de Aguas Residuales
PTAR	Planta Tratamiento de Aguas Residuales
ART	Agua Residual Tratada
CA	Contaminación Ambiental
CA	Contaminación del Agua
CC	Cambios Climáticos
RMCH	Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial hidrógeno
SD	Sólidos Disueltos
CF	Coliformes Fecales
CE	Conductividad Eléctrica
ST	Sólidos Totales
SS	Sólidos Sedimentables
SS	Sólidos Suspendidos
OD	Oxígeno Disuelto
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado, en el Centro Experimental de Kallutaca de la Universidad Pública de El Alto, municipio de Laja del departamento de La Paz. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual mediante estanques artificiales, para este propósito se implementó una batería de 4 estanques artificiales de geomembrana con un sustrato de grava de $\frac{3}{4}$ como primera etapa.

Para tal efecto, se realizaron: análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluentes; en la primera etapa del tratamiento en proceso de estabilización, o aclimatación con el complementario de la segunda etapa de Biofiltro a partir de la implementación de estos sistemas es posible la descontaminación de agua residual para su reutilización para riego puede ayudar a mitigar los problemas de escasez de agua y reducir la contaminación ambiental, se han establecido a los parámetros permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley del Medio Ambiente N° 1333.

Se determinó los resultados del comportamiento en la primera fase de estabilización en el efluente de DQO el cual fue reducido por el sistema de los estanques artificiales de ensayo a 57, 9% a los 5 días de proceso y 86, 5%, a los 10 días de proceso, la DBO₅ tuvo una disminución del 43,8% a los 5 días de proceso y 86% a los 10 días de proceso 93,46%, en los coliformes fecales se redujo de 55, 9% a los 5 días de proceso y 95, 6% a los 10 días de proceso, en coliformes totales, de 55, 1% a los 5 días de proceso y 92, 9% a los 10 días de proceso. Durante el tiempo de investigación (septiembre - 2015) donde se evaluó durante en la fase de estabilización en los estanques artificiales de ensayo, funcionó bajo un tiempo de retención de 5 a 10 día de permanencia, se adaptó a las condiciones climáticas del altiplano.

El sistema de tratamiento de agua residual mediante estanques artificiales de ensayo tiene una eficiencia de depuración de la contaminación del agua residual y es eficiente en la remoción de materias orgánicas y nutrientes.

ABSTRACT

The present research work was realized, in the Experimental Center of Kallutaca of the Public University of The High place, municipality of Sandstone of the department of La Paz. The target of this work was to evaluate the efficiency of the system of treatment of waste water by means of artificial ponds, for this intention there was implemented a battery of 4 artificial ponds of geomembranawith a gravel substratum of $\frac{3}{4}$ like the first stage.

For such an effect, they were realized: analyses of the physical, chemical and biological parameters of the tributary and effluent; in the first stage of the treatment in stabilization process, or acclimation with the complementary one of the second stage of Biofilter from the implementation of these systems is possible the waste water decontamination for its recycling for irrigation can help to mitigate the problems of water scarcity and reduce the environmental contamination, there have been established to the permissible parameters as D. S. N° 24176 (Dec 8. of 1995) RMCH and the Law of the Environment N ° 1333.

One determined the results of the behavior in the first stabilization phase in the effluent one of DQO which was limited by the system of the artificial ponds of essays to 57, 9% to 5 process days and 86, 5%, to 10 process days, the DBO_5 had a decrease of 43, 8% to 5 process days and 86% to 10 process days 93,46 %, in the fecal coliforms it diminished of 55, 9 % to 5 process days and 95, 6% to 10 process days, in coliforms entire, it is 55, 1% to 5 process days and 92, 9% to 10 process days. During the time of investigation (September - 2015) where it was evaluated during in the stabilization phase in the artificial essay ponds, it worked under a time of retention of 5 to 10 day, adapted itself to the climatic conditions of the plateau.

The system of treatment of waste water by means of artificial essays ponds has an efficiency of treatment of the residual water pollution and it is efficient in the removal of organic matters and nutrients.

1. INTRODUCCIÓN

En la tierra hay alrededor de unos 38 millones de km^3 de agua dulce, de los cuales: 29 millones de km^3 se encuentran en estado sólido en los casquetes polares, aunque son de difícil acceso, constituyen las grandes reservas de agua dulce en el mundo, aproximadamente 4 millones de km^3 corresponden a aguas subterráneas y 5 millones de km^3 a aguas superficiales (UNLAM, 2008).

El agua ha sido, desde su formación un elemento indispensable para los seres vivos, fuente y sustento de vida, base del desarrollo de muchas actividades importantes para los seres humanos. A medida que la población ha ido en aumento, demanda y el uso de este recurso se han vuelto desordenados e insostenibles. Aunque la cantidad de agua existente ha sido la misma desde su contaminación con diversas sustancias lo que provoca la pérdida de sus propiedades que la hacían utilizable, a estas aguas se les denomina aguas residuales. Es por eso que la cantidad de agua disponible para el consumo va en disminución (CONAGUA, 2011).

Según Torres (2009), afirma que desde la existencia del ser humano y con el transcurso del tiempo, se han generado problemáticas ambientales respecto a su manejo, retiro y disposición de los desechos producidos por las actividades humanas, especialmente los relacionados con las aguas residuales de origen agropecuario, doméstico, industrial y comercial. El agua utilizada retorna a las fuentes hídricas como agua residual sin tratarse en la mayoría de los casos, generando contaminación y disminuyendo la calidad de la vida de las comunidades con sus consiguientes impactos económicos, sociales y ambientales (Galvis, 1986).

La situación de manejo de aguas residuales en las zonas rurales es crítica, debido a que existe una cobertura muy reducida de sistemas de alcantarillado, esto conlleva a que la mayoría de aguas contaminadas sean descargadas al suelo o a fuentes hídricas superficiales y subterráneas ocasionando graves problemas ambientales (Restrepo, 1995).

De acuerdo estudios realizados han demostrado que existe daños a la salud en el consumo de hortalizas y otros vegetales regados con aguas de ríos que estén contaminadas por agua residual especialmente por la parte bacteriológica, el agua

residual no puede ser vertida a cauces de ríos sin tener un tratamiento previo y un análisis de laboratorio según parámetros ya establecidos por la Ley 1333, (Ley y Reglamento del Medio Ambiente) normativa boliviana.

Según MMAyA (2013), formuló una política para el uso eficiente del agua que propone la implementación de planta de tratamiento de agua residual (PTAR) con enfoque de reúso. Es necesario incentivar el reúso de aguas en la agricultura y un adecuado tratamiento de éstas haciendo uso de diversas tecnologías disponibles para disminuir los niveles de contaminación existentes, permitiendo contar con agua apta para riego de cultivos, precautelando la salud de productores y consumidores; además, coadyuvar en el incremento de agua para consumo humano.

1.1. Antecedentes

Según MMAyA (2013), sistematización sobre tratamiento y reúso de agua residual la planta de tratamiento de Puchukollo del municipio de El Alto La Paz, garantiza un tratamiento biológico y está en el rango permisible en la clase "D".

Mamani (2012), indica en su trabajo de investigación de sistema de rizofiltración con el empleo de *Phragmites australis*, para el tratamiento de agua residual urbana del distrito 7 de la ciudad de El Alto, reporta una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales, en las que se requiera eliminar nutrientes y carga orgánica, alcanzando eficiencias del 96,16% a 3959 m.s.n.m.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los grandes problemas en nuestro país, las aguas residuales (AR) son descargadas a los ríos, lagunas y al lago sin tratamiento previo, la consecuencia es la Contaminación Ambiental (CA), causadas por las diferentes actividades humanas, dañando los cursos de agua superficial, suelos y acuíferos subterráneos, que causa la enfermedad tanto para la salud, agricultura y ganadería. Los daños más importantes ocurren en área rural por sus descargas de estas aguas.

1.3. Justificación

Frente a esta situación nace la idea de tratar el agua residual, juntamente con la ayuda de la Institución SWISSCONTACT, mediante un convenio con la carrera Ingeniería Agronómica, como un tema de investigación con el sistema de tratamiento de agua residual conformada por estanques artificiales de geomembrana con un grava de $\frac{3}{4}$, como primera etapa en la fase de estabilización y complementario con segunda etapa de biofiltro. A partir de la implementación del sistema es posible la descontaminación de agua residual para su reutilización y usarlas para riego que puede ayudar a mitigar los problemas de escasez de agua y reducir la contaminación de la misma; lo cual ha ocasionado que estas aguas sean mal empleadas y generen diferentes tipos de contaminación.

El presente trabajo de investigación muestra el aporte de nueva tecnología alternativa para el reutilización de agua residual para el riego agrícola, por otro lado este trabajo aportará una experiencia más para la población rural.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el sistema de tratamiento del agua residual a través de estanques artificiales.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos en el afluente y en los efluentes del agua residual.
- Evaluar los tiempos de retención en los estanques artificiales de ensayo en la fase de estabilización propuestos para la zona.
- Determinar el cumplimiento de la calidad del efluente tratado con los parámetros permisibles según Decreto Supremo N° 24176 (8 de diciembre de 1995) Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) y Ley 1333.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El agua

El agua es el elemento más abundante del planeta y es vital para todos los seres vivos. Los océanos, mares, lagos, ríos quebradas y además cuerpos de agua cubren las dos terceras partes del mundo, lo que significa un 70%; sin embargo, de toda el agua que existe en la naturaleza la mayoría es salada y solo un pequeño porcentaje (1%) es agua dulce. La mayor parte del agua disponible para el uso del ser humano se encuentra en los ríos, lagos y capas glaciares, lamentablemente el agua limpia es un recurso cada vez menos disponible, mientras que las necesidades de todo los seres humanos son cada vez mayores (Arce y Leiva, 2009).

2.2. Las Aguas Residuales

El agua residual (AR) es aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes como residuos sólidos, biológicos, químicos, municipales, industriales, agrícolas etc., afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno. Las aguas residuales provienen del sistema de abastecimiento de una población, por esta razón son líquidos de composición variada que pueden clasificarse según su origen en aguas residuales domesticas (ARD), industriales, de infiltración y pluviales (Cardona, 2008).

Las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- **Industriales:** son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que

son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

- **Pluviales:** son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo (Cardona, 2008).

2.3. Características de aguas residuales

2.3.1. Características Físicas

- **Temperatura**

La temperatura es una magnitud física que expresa el nivel de calor y está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura). La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura de los efluentes urbanos no plantea grandes problemas, ya que oscila entre 10 y 20°C; facilitando así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en época seca como en lluviosa, y en cualquier tipo de tratamiento biológico (Arellano y Guzmán, 2011).

- **Conductividad eléctrica**

Refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Arellano y Guzmán, 2011).

- **Sólidos**

Toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, es considerada como materia sólida. La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo de evaporación y secado bajo una temperatura entre 103 – 105°C, generalmente estas aguas contienen sólidos disueltos, sólidos sedimentables los cuales son partículas muy gruesas que se depositan por gravedad en el fondo de cuerpos receptores. Material flotante como trozos de vegetales,

animales, basuras, entre otros y aquellas que son visibles constituyen los sólidos en suspensión y sólidos en flotación (Arellano y Guzmán, 2011).

- **Olor**

El olor de un agua residual fresca y bien tratada es inofensivo, razonablemente soportable, similar al del moho. Pero cuando el proceso de degradación de contaminantes se realiza en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno), existe una amplia gama de olores desagradables que son liberados (San Vicente, 2003).

- **Color**

El color en aguas es causado por los sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias en solución (Crites y Tchobanoglous, 2000). Asimismo, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. (Café claro) agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. (Gris claro) agua que ha sufrido algún grado de descomposición y que ha permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. (Gris oscuro o negro) aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno).

- **Turbidez**

Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua (Cárdenas, 2005). Este material puede consistir en arcillas, limos, algas, etcétera, que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre de la corriente o a su naturaleza coloidal.

2.3.2. Características Químicas

El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias. Su grado de concentración determina la calidad de agua, los principales son:

- **Potencial hidrógeno (pH)**

El pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua, definiéndose como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. La importancia dentro del agua

residual radica en determinar la acidez de esta y tiende a ser muy corrosiva, la cual puede atacar químicamente tanto a los sistemas de distribución como a los órganos de las plantas de tratamiento y un agua residual básica provoca incrustaciones tanto en los sistemas de distribución como en las plantas de tratamiento. (Santiago, 1996). El rango de pH para la vida biológica es muy estrecho y crítico. Un agua residual con valores adversos de pH puede tener dificultades para su tratamiento biológico. Se considera como rango adecuado de pH para el desarrollo normal de la actividad microbiana un valor comprendido entre 6 y 8 (Barrera, 2000).

- **Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅)**

Es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo (cinco días) se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables (Arellano, 2008).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno es la medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica susceptible de oxidación por medio de un agente químico oxidante fuerte. En otros términos, es la cantidad de oxígeno que requiere el agua para descomponer toda la materia orgánica que contiene (Guevara, 2012).

- **Relación entre la DBO₅ y la DQO**

El valor de la (DQO), siempre será superior al de la (DBO₅), debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente.

La diferencia es que los gramos o miligramos de oxígeno se refieren, en el caso de la (DBO₅), a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la (DQO), representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica.

La relación entre la DBO₅ y la DQO nos da una idea del nivel de contaminación de las aguas. (DBO₅/DQO), si la relación (DBO₅/DQO) <0,2 entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza industrial, poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico - químicos, si la relación (DBO₅/DQO) >0,5 entonces hablamos de unos vertidos de

naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor. Estas aguas residuales, pueden ser tratadas mediante tratamientos biológicos (Dibujes, 2016).

- **Nitrógeno (N)**

Se presenta en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco y, en menor cantidad, de nitratos y nitritos. Para su cuantificación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos, las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos (Romero, 2000).

- **Fósforo (P)**

Aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Al igual que las distintas formas nitrogenadas, su determinación se realiza mediante métodos espectrofotométricos. El fósforo en aguas superficiales genera un crecimiento incontrolado de algas, acelerando el proceso de eutrofización (Rodier, 1981).

2.3.3. Características Biológicas

Las aguas residuales contienen gran número de organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentación, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Su importancia radica, en la existencia en residuos humanos, patogenicidad, uso como indicadores de contaminación y función como ejecutores del tratamiento biológico (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.4. Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (STAR)

La planta de tratamiento de Agua Residual es un conjunto integrado de equipos e instalaciones que cumple procesos físicos, químicos y biológicos, adecuados para depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final. La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos establecidos para el efluente resultante (Arellano y Guzmán, 2011). En el diseño de una planta de tratamiento hay que considerar, como objetivos importantes, la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo, sustancias inorgánicas disueltas, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos.

2.5. Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) en Bolivia

En Bolivia se ha realizado estudios a 105 centros poblados, contemplando departamentos y 98 municipios, donde se puede apreciar la presencia de PTAR, problemas, riesgos, áreas de reúso y diferentes aspectos que muestran cómo se lleva a cabo esta práctica (MMAyA, 2013).

2.6. Presencia de planta de tratamiento de agua residual (PTAR) por departamentos

Chuquisaca, La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí, Tarija y Santa Cruz (MMAyA, 2013).

2.7. Presencia de PTAR por región

Según MMAyA (2013), altiplano, Chaco, Valles y Llanos. Se identifica que los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba y Santa Cruz son los que tienen mayor presencia de planta de tratamiento de agua residual (PTAR), y el departamento de La Paz es el departamento con mayor falta de PTAR. En la región de valles se observa que la presencia de PTAR es mayor, pero también se puede apreciar que es la región con mayor cantidad de centros poblados sin PTAR.

2.8. Poblaciones de estudio

Se observa que el 72% de los centros poblados estudiados tienen una población mayor a 2.000 habitantes que es el número establecido para la diferenciación de zona rural a zona urbana, por lo que se prevé que exista un sistema de alcantarillado y una generación de aguas residuales y, al presentarse una relación urbano y rural mucho más estrecha, se puede observar que estas aguas son aprovechadas en riego. El 28% restante de los centros poblados tiene una población menor a 2.000 habitantes (MMAyA, 2013).

2.9. Principales usos del agua residual en Bolivia

Según MMAyA (2013), la necesidad de contar con información que muestre la situación actual de Bolivia en el tema de reúso de aguas residuales es de gran importancia, ya que es un país que cada vez enfrenta de diferente manera a los efectos del Cambio Climático, principalmente los relacionados a las sequías.

En ese marco, que se ve ahora agravado por los efectos del Cambio Climático, el reúso de aguas residuales tratadas representa una importante fuente alternativa de agua no

solamente para pelear el déficit hídrico, sino también para mejorar las condiciones de salubridad en la producción de alimentos con base en una mejor y más eficiente gestión del agua, además del beneficio colateral que mediante el tratamiento de las aguas residuales se puede obtener abundantes abonos naturales para la agricultura.

2.10. El reúso del agua residual en la agricultura

Las aguas residuales de tipo doméstico pueden ser utilizadas en muchas áreas tanto económicas como cotidianas, por ejemplo, para el riego agrícola, riego de árboles y plantas en corredores de transporte, procesos industriales, cría de peces, relleno de acuíferos, etc. (Salazar, 2003).

Según MMAyA (2013), el agua disponible para la agricultura en el país no es suficiente para regar los terrenos cultivables, aumentando así la necesidad de utilización de aguas residuales urbanas, que además, en su composición química, contienen elevados valores de nutrientes beneficiosos para el desarrollo de los cultivos, reduciendo la necesidad de la adquisición de fertilizantes.

Actualmente existen organizaciones de regantes establecidas en torno al uso de aguas residuales. Estas organizaciones son la base social con las cuales se debe trabajar en el diseño de mecanismos y modalidades de aprovechamiento que aseguren la utilización de una buena calidad del agua, garantizando condiciones de depuración de contaminantes para su uso agropecuario reduciendo los riesgos de salubridad, asegurando condiciones para el adecuado mantenimiento de las plantas de tratamiento de las aguas residuales, incidiendo así positivamente en la producción agropecuaria, generando impactos positivos en lo económico y armonizados con la preservación ambiental y equidad social.

El uso o reúso de aguas residuales tratadas es cada vez más importante por las potencialidades expuestas, siendo necesario establecer políticas y estrategias para efectuar un aprovechamiento integral de estos recursos que son parte importante del ciclo del agua. Finalmente, el reúso se constituye en una importante medida de adaptación al Cambio Climático al promover un uso más eficiente del agua y coadyuvar en la reducción de niveles de conflicto entre los sectores de agua potable y riego, respecto a la competencia por el aprovechamiento del recurso (MMAyA, 2013).

2.11. Tipos de planta de tratamiento de agua residual (PTAR)

Del 74% del total de PTAR identificado en el estudio, existen diversas tecnologías de tratamiento como ser: Lagunas de Estabilización, Tanques Imhoff, Reactores Anaeróbicos, Filtros, Tanques Sépticos, Humedales, además de sistemas mixtos como tanques o reactores con lagunas, así como también fosas y otros (MMAyA, 2013).

Según López (2015), los diferentes tipos de tratamiento de agua se pueden clasificar por la naturaleza de diferentes formas:

a) Tratamiento primario

Remoción de sólidos de mayor tamaño.

b) Tratamiento secundario

Reducción de la materia orgánica.

Calidad suficiente para su reutilización del agua tratada

Riego, recarga artificial de mantos acuíferos, agua de enfriamiento, etc.

c) Tratamiento avanzado

Eliminación de patógenos, metales pesados y contaminantes químicos.

2.12. Componentes del sistema de tratamiento de agua residual

2.12.1. Agua

Lo más probable es que se formen humedales en donde exista acumulación de agua directamente sobre el terreno y en donde exista una capa del subsuelo que sea relativamente impermeable para evitar la filtración. La hidrología es uno de los factores más importantes en un humedal ya que reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del mismo (García, 2012).

La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales, sin embargo difiere en aspectos relevantes como por ejemplo, pequeños cambios en esta característica pueden tener importancia en la efectividad del tratamiento,

debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (García, 2012).

2.12.2. Sustrato (medio granular)

En los sistemas artificiales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el sistema debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos.

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los sistemas artificiales son importantes por varias razones: 1 (Soportan a muchos de los organismos vivientes en él). 2 (La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua). 3 (Muchas transformaciones químicas y biológicas sobre todo microbianas tienen lugar dentro del sustrato). 4 (Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes). 5 (La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el estanque). La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas (Lara, 1999).

2.12.3. Microorganismos

En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Los principales microorganismos presentes en la Biopelícula de los sistemas artificiales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad

biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara, 1999).

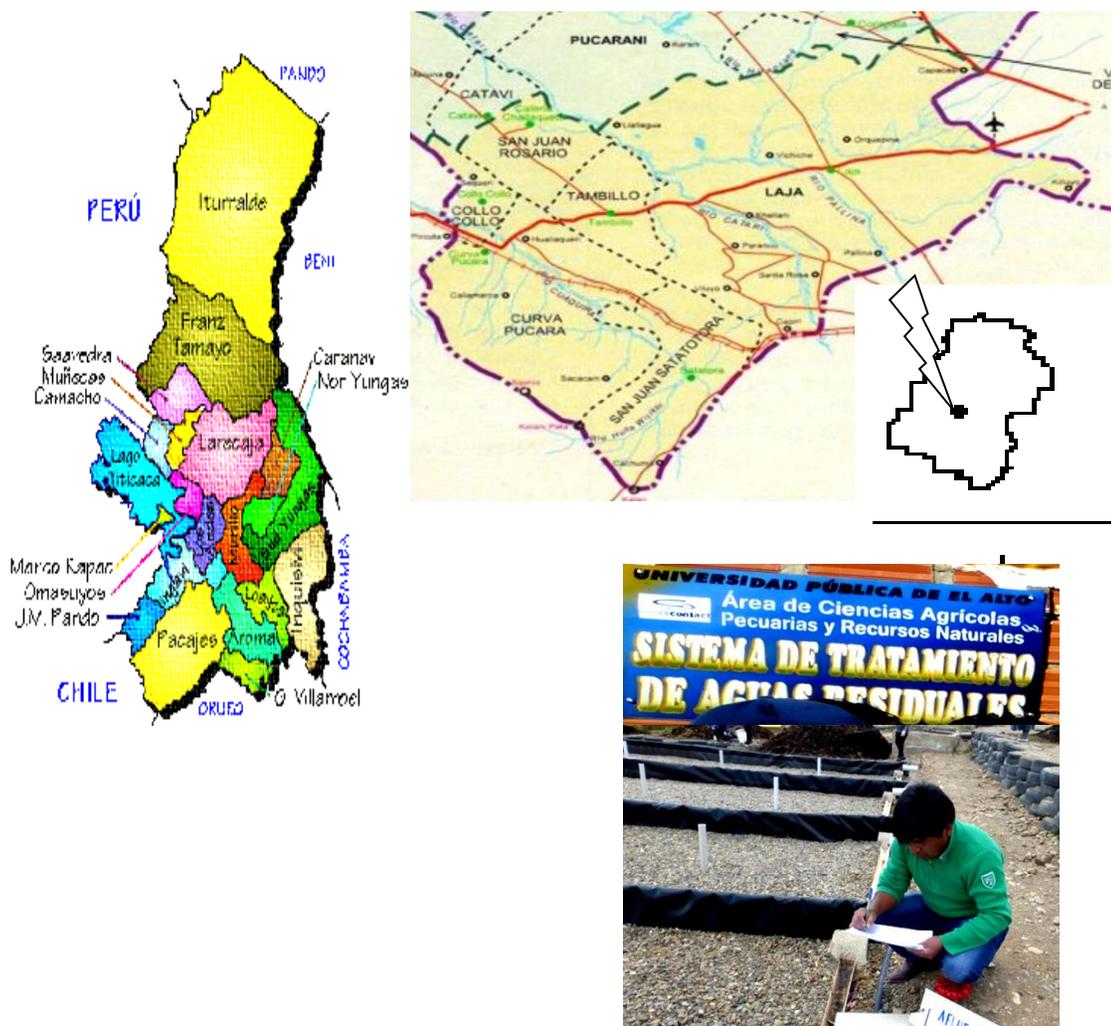
Como en todo sistema de tratamiento biológico, en los sistemas artificiales se requiere de un sustrato para el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso depurador y que el agua permanezca por un tiempo para que se desarrolle esta masa microbiana, además el funcionamiento del sistema depende de una serie de factores ambientales, siendo los más importantes: la disponibilidad del oxígeno y la temperatura (Baca, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca dependiente de la Universidad Pública de El Alto, perteneciente al municipio de Laja, Provincia Los Andes del Departamento de La Paz. Geográficamente se sitúa a $16^{\circ}32'27''$ Latitud Sur y $68^{\circ}18'32''$ Longitud Oeste, a una altitud de 3908 m.s.n.m, distante a 26 km de la Ciudad de La Paz (SENAMHI, 2010).



3.1.2. Características Edafoclimaticas

3.1.2.1. Clima

Guarachi (2011), indica que el Centro Experimental de Kallutaca tiene un comportamiento de la temperatura media de 7.1°C, también se cuentan con temperaturas extremas y mínimas de -10.8 a -11.0°C, en los meses de junio y julio se registran temperaturas bajo cero. En los meses de noviembre y diciembre se observa el comportamiento de las temperaturas máximas de 21.6 a 22.3°C. Además la misma fuente menciona, que la humedad relativa en los meses de diciembre a marzo oscila entre 64.5 y 71.0% (verano), entre tanto de junio a agosto se evidencia valores promedios de 40.0% (invierno) y con una precipitación promedio de 435 mm.

3.1.2.2. Suelo

Huanca (1996) y Guarachi (2011), aseveran que los suelos del Centro Experimental de Kallutaca, de acuerdo al análisis físicos y químicos de los suelos bajo del respaldo del laboratorio de Calidad Ambiental (LCA - UMSA) y laboratorio de suelos (UMSS), presentan suelos con textura Franco – Arcilloso, cuya densidad aparente oscila entre 1.32 y 1.11 g/cm³ respectivamente. En cuanto al pH el suelo reporta un valor de 7.4 y una conductividad eléctrica de 2280 µS/cm. Así mismo presentan una acumulación de 4.4% de materia orgánica.

3.1.2.3. Flora

Moñocopa (2012), señala que el Centro Experimental de Kallutaca, tiene la vegetación natural conformada en su mayor parte por: paja brava (*Achnaterum ichu*), tólares (*Parastephia sp*), añawayas (*Adesmia miraflorensis*), Chilligua (*Festuca dolichophylla*), cebadilla (*Bromus inermis*), diente de león (*Taraxacum officinalis*). Entre los principales cultivos se encuentran la papa (*Solanum tuberosum*) y la Cebada (*Hordium sativum*).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de construcción

El material de construcción utilizado fue: cemento, madera, grava, arena corriente y fina, palas, picotas, niveles, tubos PVC E – 40 de \varnothing 4", 3" y 2" y tubos normal PVC de \varnothing 4", martillos, clavos, flexo, carretillas y geobembrana etc. Todo este material fue utilizado para la construcción de los estanques de tratamiento de agua residual.

3.2.2. Material de campo

Los materiales de campo que se emplearon son: pipeta 10 ml, frasco para muestras de 250 ml, 500 ml y 1000 ml, vaso de precipitados 500 ml, preservarte como el ácido sulfúrico al 0.5 M, tablero de campo, libreta de campo, marcadores, cámara fotográfica, planillas de registro, envases esterilizados para la recolección de muestras y guantes.

3.2.3. Material de gabinete

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

3.3. Metodología

Para llevar adelante el presente trabajo de investigación, se desarrollaron las siguientes actividades, cuyo detalle es el siguiente:

3.3.1. Construcción de estanques artificiales

El proceso de construcción de estanques artificiales, se inició realizando un levantamiento topográfico de toda el área donde se ubicaron los estanques artificiales de ensayo y la posterior nivelación del terreno con una pendiente del 1% para favorecer la escorrentía de las precipitaciones pluviales (ver figura 1).

Nivelación del terreno se realizó con la ayuda de una retroexcavadora, retirando toda la tierra excedentaria del área de instalación de estanques de ensayo. El área aplanada destinada para este propósito alcanzo a los 75 m².



Figura 1. Nivelación del terreno donde se instalaron los estanques artificiales de ensayo

Una vez nivelado el terreno, se procedió al armado de los estanques artificiales de ensayo dándole la forma de una piscina (rectangulares). Para el armado se utilizaron tablonces de madera de 7.5 m de largo por 2,5 m de ancho con un espesor de 1 pulgada (ver figura 2).



Figura 2. Forma de los estanques artificiales de ensayo construidos

Los tablonces fueron asegurados en vigas de 1,5 m de largo por de 5 x 2 pulgadas, las cuales forman las esquinas de los estanques artificiales de ensayo (piscina) y fueron enterradas en el suelo a una profundidad de 0.50 cm (ver figura 3).



Figura 3. Detalle del armado de los tablonces de los estanques artificiales de ensayo

Finalmente una vez que se armó los estanques artificiales de ensayo con maderas y antes de colocar la geomembrana, se colocó sobre el suelo una capa de tierra cernida de 5 cm de altura, para evitar que la geomembrana sufra algún tipo de daño por la presencia de piedras, raíces, etc.

La geomembrana se colocó con la ayuda de un especialista, dándole a los estanques artificiales de ensayo la forma de una piscina de 2.5 m de ancho por 7.5 m de largo y con una profundidad de 1m (ver figura 4).



Figura 4. Estanques artificiales de ensayo recubiertos con la geomembrana

Una vez construido los estanques artificiales de ensayo, se colocó grava de $\frac{3}{4}$ de pulgada hasta una altura de 80 cm de la profundidad de los estanques, este proceso se realizó con la ayuda de una retroexcavadora (ver figura 5).



Figura 5. Rellenado de los estanques artificiales de ensayo con grava de $\frac{3}{4}$

En cada estanques artificiales de ensayo se colocó 15 m^3 de grava la misma que fue adquirida de la planta de áridos (chancadora) de Vilaque (ver figura 6).

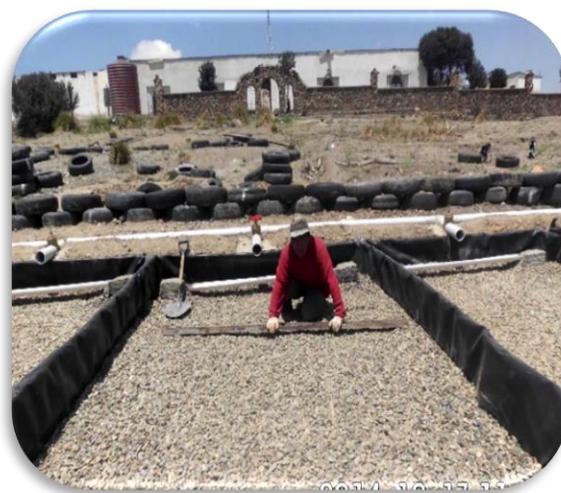


Figura 6. Nivelado manual de la grava de los estanques artificiales de ensayo

En cada estanques artificiales de ensayo se colocaron 3 tubos de aireación de 2" de diámetro y de 1 m de largo, el cual fue enterrado en la grava a una profundidad de 50 cm quedando los restantes 50 cm al aire, el tubo tiene perforaciones de ½ cm en la parte que se entierra en la grava (ver figura 7).



Figura 7. Detalle de los tubos de aireación mostrando las perforaciones de los mismos

Este tubo sirve para airear la grava y al mismo tiempo permite controlar el nivel de llenado de agua en los estanques artificiales de ensayo (ver figura 8).



Figura 8. Estanques artificiales de ensayo terminados de construir y instalado de tubos de aireación

3.3.2. Construcción del sistema de alimentación de los estanques artificiales

El sistema de alimentación de los estanques artificiales de ensayo con las aguas servidas, está basado principalmente en la instalación de tuberías de distribución de estas aguas servidas, desarenadores, cámaras de sedimentación, cámaras individuales de recepción de aguas tratadas y estanque de almacenamiento de aguas tratadas (ver figura 9).



Figura 9. Detalle de las cámaras de distribución del agua residual a los estanques artificiales de ensayo

El agua servida antes de ser introducidas en el estanques artificiales de ensayo fue previamente tratada en el desarenador, en este proceso se retiraron los residuos sólidos (basura) como bolsas plásticas, envases de champú, etc., las mismas que pueden tapar las tuberías de distribución del agua residual (ver figura 10).



Figura 10. Detalle de las cámaras desarenadoras (retención de residuos sólidos)

Como parte de este proceso de tratamiento previo, el agua pasa por dos cámaras de sedimentación, cuya función es evitar que al estanques artificiales de ensayo entren partículas en suspensión (tierra) lo que afectaría el normal funcionamiento de los estanques por la pérdida de porosidad de la grava (ver figura 11).



Figura 11. Detalle de las cámaras de sedimentación

3.3.3. Llenado de estanques artificiales de ensayo

Para el llenado de estanques artificiales de ensayo con las aguas servidas, se utilizó tubos plásticos de PVC E – 40 de $\text{Ø } 4''$, los cuales se utilizaron de manera independiente para llenar el estanques de ensayo (ver figura 12).



Figura 12. Colocado de los tubos de distribución de las aguas residuales a los estanques artificiales de ensayo

La altura de llenado de los estanques artificiales de ensayo, fue de 10 cm por debajo de la superficie de la grava, es decir 70 cm de altura. Se utilizó esta altura para evitar la emanación de malos olores y además es una recomendación técnica que se realiza para este tipo de sistema de tratamiento de aguas servidas (ver figura 13).



Figura 13. Tubos de distribución instalados en los estanques artificiales de ensayo

El caudal registrado de agua residual en la Estación Experimental de Kallutaca fue de 0,1 a 0.12 l/s, con este caudal cada estanque artificial de ensayo tardó en llenarse entre 2 y 3 días, cada estanque de ensayo se llenó con 5328.75 litros (ver figura 14).



Figura 14. Proceso de llenado de los estanques artificiales de ensayo

3.3.4. Tiempo de tratamiento de aguas servidas

Una vez llenados los estanques artificiales de ensayo con las aguas servidas, esta permaneció en los estanques de ensayo 5 días en el primer tratamiento y 10 días en el segundo tratamiento (ver figura 15).



Figura 15. Estanques artificiales de ensayo en pleno funcionamiento

Una vez que las aguas servidas fueron tratadas, estas se colectaron en cámaras individuales de cemento para realizar el respectivo control de la calidad del agua tratada, antes de ser liberada para su uso en diferentes propósitos (ver figura 16).



Figura 16. Cámara colectora de aguas tratadas

3.3.5. Control de la calidad de las aguas tratadas

Después del tratamiento de la agua servida en los estanques artificiales de ensayo en proceso de estabilización, es muy importante realizar el control de la calidad de las aguas tratadas, para este propósito los puntos de muestreo establecidos fueron el ingreso de aguas a los estanques de ensayo y las cámaras individuales recolectoras de las aguas tratadas de cada estanques de ensayo, en cada punto se tomaron 2 muestras de aguas. Para la toma de muestras se utilizaron recipientes plásticos de color blanco y café de 1 l y de 500 ml para los parámetros físicos y químicos y frascos de 250 ml para muestras químicas y microbiológicas (ver figura 17).



Figura 17. Toma de muestra de agua en la entrada de los estanques artificiales de ensayo

Las muestras se transportaron vía terrestre en una conservadora de plastroformo tipo heladero con hielo seco hasta la ciudad de Oruro, donde se realizó el análisis de las muestras en un laboratorio especializado para este propósito (ver figura 18).



Figura 18. Uso de conservadora de plastroformo para el traslado de muestras

Para el análisis de las muestras, se contrataron los servicios de SPECTROLAB (UTO – Oruro), que es un laboratorio especializado en análisis de aguas y todas las muestras que se tomaron se realizó siguiendo los protocolos establecidos por SPECTROLAB y para asegurar un adecuado manejo de las muestras se aplicó la cadena de custodia de las muestras (ver figura 19).



Figura 19. Traslado y entrega de las muestras al laboratorio Spectrolab

3.4. Evaluación del sistema de tratamiento

Para este trabajo se utilizó la interpretación de los resultados obtenidos del sistema de tratamiento se realizó de dos maneras. Un análisis estadístico descriptiva y la aplicación de graficas comparativas de los diferentes factores físicas, químicas y biológicas de datos de cada parámetro de estudio. En el análisis comparativo, se realizaron comparaciones de los valores de los parámetros medidos con los establecidos por el reglamento en materia de contaminación hídrica (RMCH) y la Ley 1333, se determinaron cuales de estos parámetros excedían los valores estipulados en dicho reglamento. Bajo el siguiente detalle:

- **Porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes**

Se calculó la eficiencia de remoción para cada parámetro que depende de la unidad de tratamiento, en base a la siguiente ecuación: (ver en cada parámetro de los resultados).

$$\text{Eficiencia de Remoción } E(\%) = \frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} * 100$$

- **Análisis comparativo**

Los resultados del análisis obtenido por laboratorio, se compararon con los límites permisibles de la clasificación de aguas, estipulado por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) de la Ley 1333 de Medio Ambiente, basada en su aptitud de uso y de acuerdo a políticas ambientales vigentes en Bolivia.

Se resaltaron los valores de los parámetros analizados con colores establecidos de acuerdo a los rangos admisibles para cada clase de calidad de aguas, normados en el RMCH. Los colores aplicados a las clases de calidad se utilizan a nivel internacional y se observa en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Colores utilizados en las clasificaciones físicas, químicas y biológicas

Clase	A	B	C	D	FUERA DE LÍMITES
Color	Azul	Verde	Amarillo	Anaranjado	Rojo

Fuente: Bellot J., citado por (Mamani, 2012).

Para determinar a qué clase corresponde la muestra se realizaron la comparación de los valores obtenidos de cada parámetro analizado (ver en cada parámetros de los resultados).

3.5. Factores de estudio

El factor en estudio se realizo, bajo un tiempo de retención de 5 y 10 días de permanencia en los estanques artificiales de ensayo.

Cuadro N° 2. Tratamientos en estudio

Tratamientos (t)	Repeticiones (r)	Descripción
T0	Dos	0 Días (Testigo)
T1	Dos	5 Días de permanencia
T2	Dos	10 Días de permanencia

Elaborado propia

Dónde:

T0 R1		T0 R2	
T1 R1 5 días de permanencia	T1 R2 5 días de permanencia	T2 R1 10 días de permanencia	T2 R2 10 días de permanencia

Área neta de unidad experimental (7,50 m de largo x 2,50 m de ancho, cada estanque artificial de ensayo)

Área total del experimento (7,50 x 10) 75 m²

3.6. Variables de respuesta

3.6.1. Caudal de afluente y efluente de agua residual para los estanques artificiales de tratamiento (Q)

Se midió el caudal del afluente y efluente en l/s.

3.6.2. Puntos de muestreo

En el diseño de los estanques artificiales de ensayo se tiene puntos de muestreo definidos, un punto que comprende el ingreso del afluente y los puntos de muestreo de los efluentes son individuales, estos se encuentran en las cámaras individuales que tiene cada estanque artificial de ensayo.

3.6.3. Parámetros físicos, químicos y biológicos

Se consideraron los parámetros establecidos en la Ley N° 1333 (Ley y Reglamento del Medio Ambiente), (Decreto Supremo N° 24176, de 8 de diciembre de 1995, Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) que indica una calidad de agua que satisfagan los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas (artículos 4°, 5° y 6°), (ver en cada parámetros de los resultados).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los estanques artificiales de ensayo construidos del sistema fueron implementados en las instalaciones de centro experimental de kallutaca como una planta de tratamiento de agua residual desde el año 2013 de octubre al mes de mayo de 2015, seguido por su aclimatación durante tres meses (junio – agosto de 2015) y finalmente, se dio inicio a su monitoreo en el mes de septiembre del año 2015. La investigación, donde se evaluaron durante en la fase de estabilización en los estanques artificiales de ensayo, funcionó bajo un tiempo de retención de 5 a 10 días de permanencia, los cuales se conservaron mediante el control del caudal aplicado y el nivel del agua dentro de cada unidad de tratamiento son los siguientes:

4.1. Parámetros Físicos

4.1.1. Caudal

Durante el tiempo de funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual, el caudal diario del afluente tuvo diferentes descargas, las horas picos variaron entre (0.1 a 0.12 l/s) entre 8 a 11 de la mañana, mientras avanza el día estas actividades van disminuyendo, el caudal del efluente tiene un promedio de (1l/s).

4.1.2. Turbidez

Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua (Cárdenas, 2005). Este material puede consistir en arcillas, limos, algas, etc., que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre de la corriente o a su naturaleza coloidal. Se expresa en (NTU o UNT unidad nefelometricas de turbiedad).

Queralt, citado por Delgadillo *et al.*, (2010), afirma que el material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa. La mayor turbidez está asociada con el tamaño de partículas: a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua.

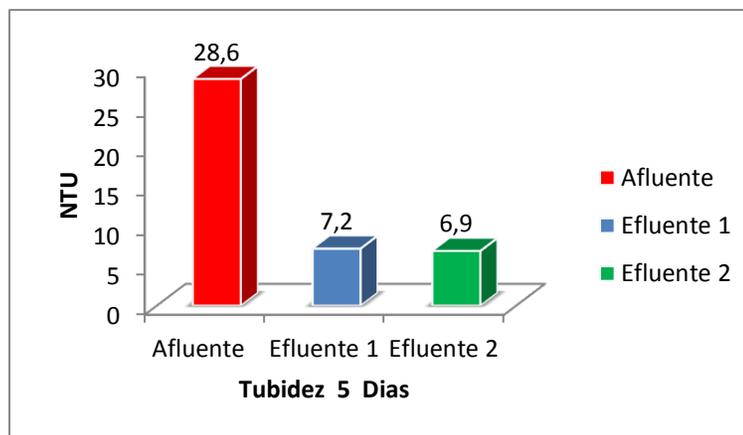


Figura N° 20. Comparación de turbidez a los 5 días de proceso

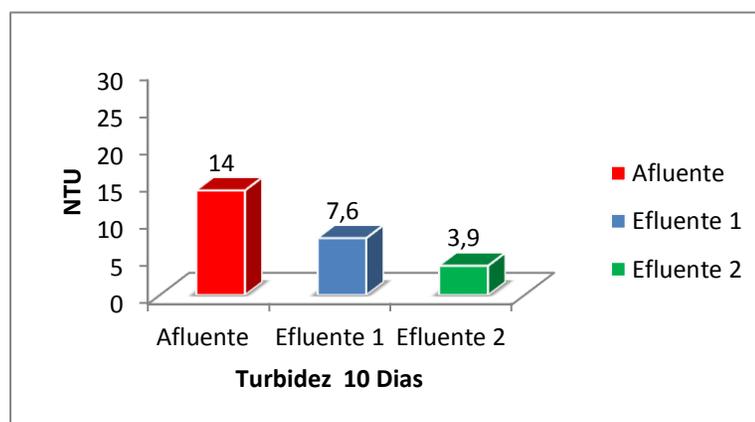


Figura N° 21. Comparación de turbidez a los 10 días de proceso

Según las figuras 20 y 21, se pueden apreciar claramente a los resultados del turbidez el afluyente de 28,6 NTU y seguidos por los efluentes bajaron considerablemente de 7,2 a 6,9 NTU a los 5 días de proceso y el afluyente de 14 NTU también bajaron los efluentes de 7,6 a 3,9 NTU a los 10 días de proceso, esto se debe a la profundidad y fenómenos de sedimentación natural, por tanto los resultados nos muestra que están en los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Turbidez	UNT	NO	<10	<50	<100 <2000***	<200 – 10000***

Cuadro N° 3. Muestras comparativas de turbidez del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Turbidez	Días	Unidad					
Afluentes	0	NTU	28.6				
	0		14				
Efluentes	5		7.2				
			6.9				
	10		7.6				
			3.9				

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 3, el comportamiento de turbidez nos muestra claramente que el grado de suspensión de partículas en el estanque artificial de ensayo, tienen un promedio de los efluentes 7,05 NTU a los 5 días de proceso y 5,75 NTU a los 10 días de proceso, todos los resultados del efluente bajaron consideradamente. Está en el grado de permisible según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Se considera apta para su uso en riego, consumo humano y animal.

García (2000), menciona en un estudio realizado en Lima Perú donde se midió la eficiencia de tres plantas macrófitas para reducir la turbidez en aguas residuales se logró demostrar un alto el porcentaje de remoción por parte de Lemna Minor en un 72% y un 65% por parte del Jacinto de agua; sin embargo hubo remoción sin plantas acuáticas en un 52%. Es decir la remoción de este parámetro tratando con plantas acuáticas no sería significativa al no utilizar plantas acuáticas.

En la investigación realizada para el tratamiento del agua residual con un sistema de estanques artificiales de flujo subsuperficial horizontal, se puede mencionar que la remoción de eficiencia de la turbidez, en la primera fase de estabilización en el efluente fue de 75,3%, a los 5 días de proceso y 58,9%, a los 10 días de proceso. Los resultados obtenidos son superiores al de García. Gracias a la capa de grava que se ha implementado en los estanques artificiales de ensayo, a las condiciones climáticas del altiplano.

4.2. Parámetros Químicos

4.2.1. pH

En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5. Valores elevados (mayores a 9,2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de *Escherichia coli*. Cuando los

valores están comprendidos entre 5 y 9 (situándose los más favorables entre 6,5 y 8,5) la vida de especies acuáticas es favorecida. En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (Cartró, citado por Delgadillo *et al.*, 2010).

Según Metcalf y Eddy (1991), el intervalo normal para el pH de un agua residual municipal se sitúa entre 6,5 y 8,5 todo y que la presencia de agua residual industrial puede modificar el pH de forma significativa.

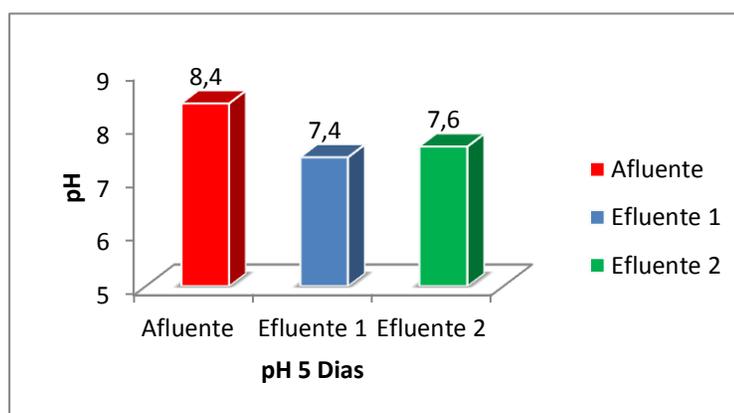


Figura N° 22. Comparación de pH a los 5 días de proceso

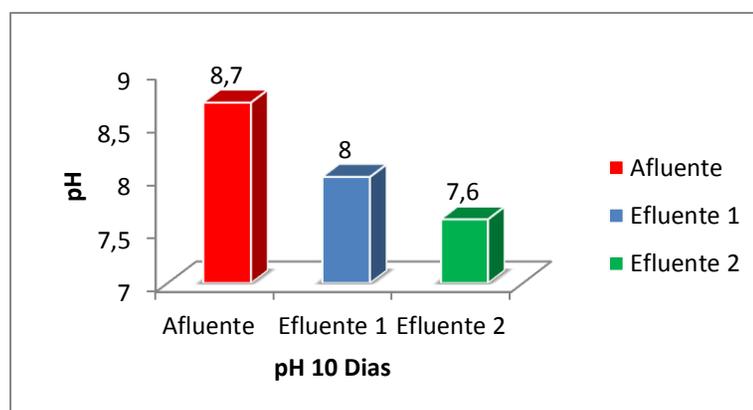


Figura N° 23. Comparación de pH a los 10 días de proceso

Según las figuras 22 y 23, los parámetros del pH en el afluente como testigo es de 8,4 bajaron considerablemente en los efluentes de 7,4 a 7,6 a los 5 días de proceso y el afluente de 8,7 también bajaron los efluentes de 8 a 7,6 a los 10 días de proceso, por los

resultados obtenidos por el laboratorio nos muestran claramente que están en los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
pH		NO	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0

Cuadro N° 4. Muestras comparativas del pH del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
pH	Días	Unidad					
Afluentes	0	pH		8.4			
	0			8.7			
Efluentes	5		7.4				
			7.6				
	10		8.0				
			7.6				

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 4, si puede apreciar claramente los resultados de los efluentes del pH de los tratamientos, de manera general los valores promedios de pH del agua residual tratada a través de estanques artificiales de ensayo, los efluentes tiene un promedio de 7,5 a los 5 días de proceso y 7,8 a los 10 días de proceso. El pH llega a estabilizarse probablemente debido a la acción de la población de microorganismos en la grava. El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de Bolivia y la Ley 1333, establece como valores admisibles de pH a los comprendidos entre 6 a 9, se considera apta para su uso en riego, consumo humano y animal.

Quipuzco (2001), indica que el comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* oscilan el pH entre 7,1 a 7,24.

Por otro lado Mamani (2012), indica en su investigación realizada para el tratamiento de aguas residuales con un sistema de rizofiltración de flujo vertical, obtuvo un promedio de pH entre 6,88 a 7,52.

Los resultados de los estanques artificiales de ensayo, tiene un promedio de 7,5 a los 5 días de proceso y 7,8 a los 10 días de proceso, por tanto se asemejan a los resultados de Quipuzco y Mamani.

4.2.2. Sólidos Sedimentables

Generalmente, la concentración de compuestos orgánicos y contaminantes biológicos es más elevada en las materias en suspensión y en los sedimentos que en el agua. Las arcillas y las partículas orgánicas con una gran superficie de adsorción constituyen un soporte para iones, moléculas y los agentes biológicos. A causa de esto, pueden llegar a ser un vector para la penetración de estos productos en las cadenas tróficas (UNLAM, 2008).

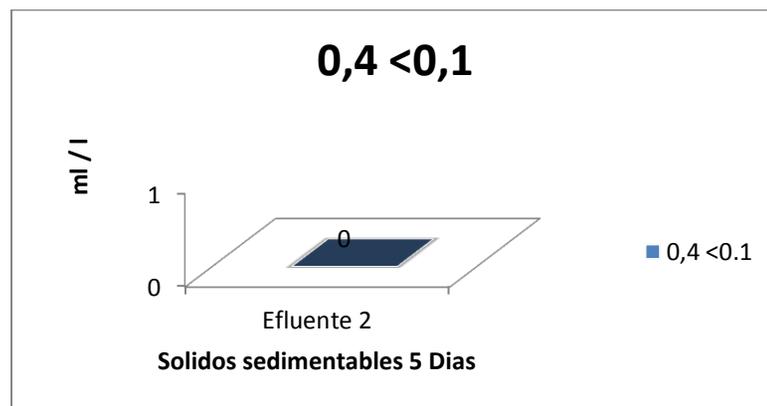


Figura N° 24. Comparación de Sólidos Sedimentables a los 5 días de proceso

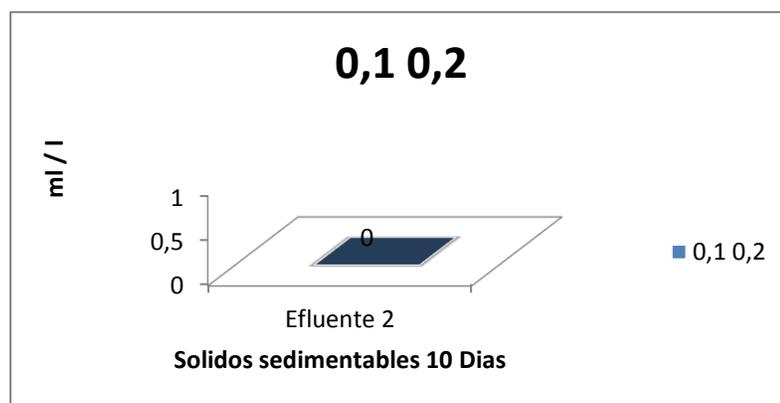


Figura N° 25. Comparación de Sólidos Sedimentables a los 10 días de proceso

Según las figuras 24 y 25, los parámetros de sólidos sedimentables el afluente es de 0,4 ml/l y seguidos por los efluentes <0,1 ml/l a <0,1 ml/l a los 5 días de proceso y de 0,1 ml/l afluente y seguidos por los efluentes 0,2 ml/l a <0,1 ml/l a los 10 días proceso, por los resultados obtenidos por el laboratorio nos muestran claramente que están en los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sólidos	mg/l	-	NO	<10 mg/l	<30mg/l-	<50mg/l-
Sedimentables	ml/l			0.1ml/l	<1ml/l	100- <1ml/l

**Cuadro N° 5. Muestras comparativas de sólidos sedimentables del afluente y
efluente**

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Sólidos Sedimentables	Días	Unidad					
Afluentes	0	ml/l			0.4		
	0			0.1			
	5				< 0.1		
Efluentes					< 0.1		
	10				0.2		
					< 0.1		

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 5, los resultados obtenidos de los efluentes en los sólidos sedimentables del agua residual tratada a través de estanques artificiales de ensayo, los efluentes tiene un promedio de <0.1 ml/l a los 5 días de proceso y 0,15 ml/l a los 10 días de proceso, estos resultados está en un grado permisible según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333. Gracias a las arcillas y las partículas orgánicas dentro de la grava a disminuyendo de forma muy significativa como agua de buena calidad para el riego.

Mamani (2012), indica los sólidos sedimentables del efluente presentó una media de 0,11 mg/l teniendo un mínimo y un máximo de 1,00 mg/l, llegando a disminuir de un 93,75% a 100%, caracterizándolo como agua de buena calidad.

Por otro lado Da Cámara *et al.*, (2003), indican en estudios realizados en Barcelona, que este parámetro se utiliza para conocer el volumen y la densidad que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Su análisis se realiza por volumetría y gravimetría, previa decantación y tamizado. Los tamaños de estos sólidos son mayores de 0,01 mm. Los sólidos sedimentables pueden ser expresados en unidades de ml/l o mg/l.

El sistema de tratamiento de agua residual en los estanques artificiales de ensayo, la eficiencia de remoción de sólidos sedimentables se obtuvo en los efluentes de 75% a los

5 días y 50% a los 10 días de proceso, estos resultados nos indican que no hay mucha diferencia con los resultados del Mamani.

4.2.3. Sólidos Disueltos

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua.

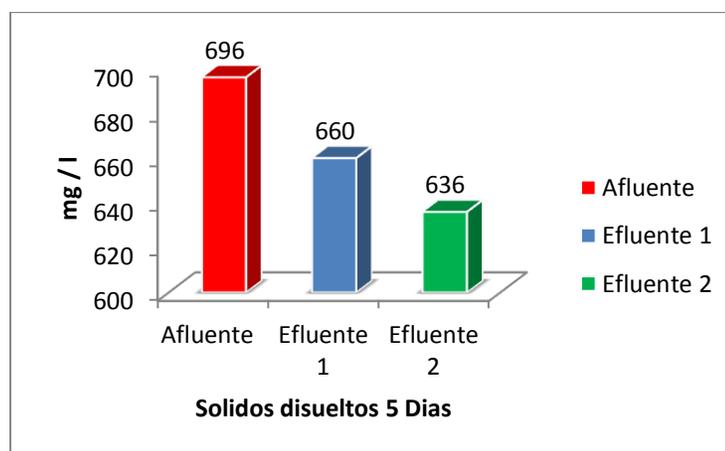


Figura N° 26. Comparación de Sólidos Disueltos a los 5 días de proceso

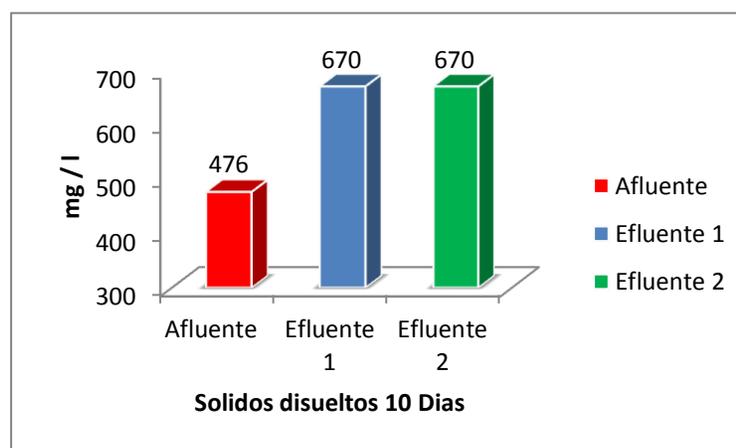


Figura N° 27. Comparación de Sólidos Disueltos a los 10 días de proceso

Según las figuras 26 y 27, del parámetro de sólidos disueltos el afluente es de 696 mg/l y seguidos por los efluentes 660 mg/l a 636 mg/l a los 5 días de proceso y de 476 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 670 mg/l a 670 mg/l a los 10 días proceso, por tanto los resultados obtenidos por el laboratorio nos muestran claramente que están debajo de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sólidos disueltos	mg/l		1000	1000	1500	1500

Cuadro N° 6. Muestras comparativas de sólidos disueltos del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Afluentes	0	mg/l		696			
	0			476			
	5			660			
Efluentes				636			
	10			670			
				670			

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 6, se observa las muestras de los sólidos disueltos obteniendo un promedio de 648 mg/l del efluente a los 5 días de proceso y 670 mg/l a los 10 días de proceso, por lo tanto están debajo de los parámetros permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Los sólidos disueltos afectan la penetración de la luz.

Mamani (2012), indica que las diferencias de los sólidos disueltos, el sistema de tratamiento por rizofiltración propuesto, es una alternativa para la remoción de dicho parámetro teniendo una eficiencia de 29,30 a 48,99% de remoción.

El sistema de tratamiento diseñado de flujo subsuperficial horizontal donde los estanques artificiales de ensayo retienen en su mayoría al total de sólidos disueltos, tiene una eficiencia de remoción 6,9% a los 5 días de proceso y 40,7%, a los 10 días de proceso, gracias a la capa de grava que se ha implementado en los estanques artificiales de ensayo, por lo tanto se asemeja al resultado del Mamani, con el 10 días de proceso.

4.2.4. Sólidos Suspendidos

Los 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 (Arias, 2003).

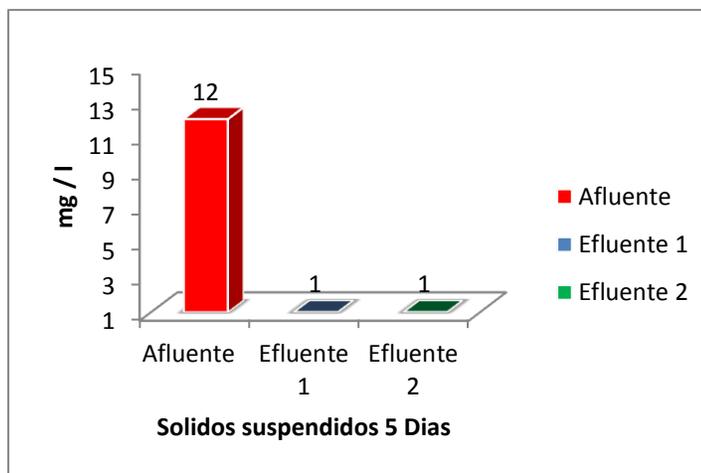


Figura N° 28. Comparación de Sólidos Suspendidos a los 5 días de proceso

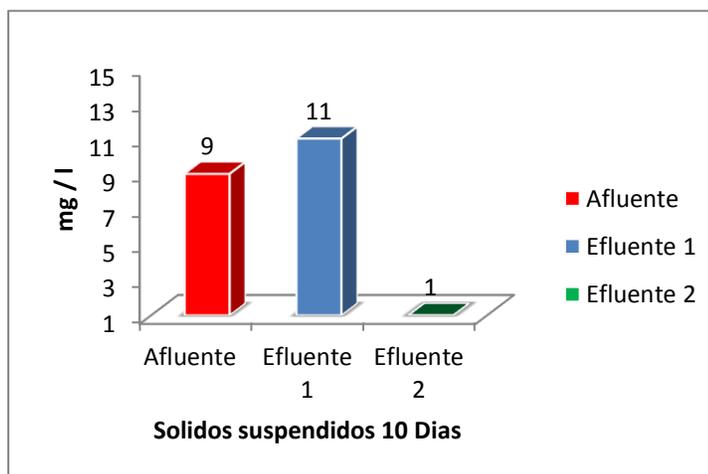


Figura N° 29. Comparación de Sólidos Suspendidos a los 10 días de proceso

A través de las figuras 28 y 29, se puede apreciar las muestras de laboratorio la cantidad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada a los 5 y 10 días de proceso, no están dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sólidos suspendidos	mg/l		1000	1000	1500	1500

Cuadro N° 7. Muestras comparativas de sólidos suspendidos del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Sólidos suspendidos	0	mg/l					12
	0						9
	5						1
Efluentes							1
	10						11
							1

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 7, los parámetros evaluados por el laboratorio están por debajo de los parámetros. Y el promedio de los sólidos suspendidos de los efluentes es de 1 mg/l a los 5 días de proceso y 6 mg/l, a los 10 días de proceso, por lo tanto están fuera de los parámetros permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Según Chará y Pedraza (2002), en Colombia describe que la carga contaminante de las aguas residuales, medida en términos de Sólidos Suspendidos Totales SST se reduce en un 60 a 90%, dependiendo del tiempo que permanezca el residuo dentro del mismo y de la temperatura.

Por otro lado Quipuzco (2001), indica sus resultados obtenidos el pantano horizontal posee una eliminación de SST 97,2%. En esta etapa los SST fueron probablemente removidos por filtración, seguido por degradación aeróbica en la superficie o anaeróbica dentro de la matriz del suelo. En pantano vertical presentó una pobre capacidad de eliminación de SST (7,5%).

El sistema tratamiento, a través de estanques artificiales de ensayo retienen en su mayoría de sólidos suspendidos gracias a la capa de grava, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 91,7% a los 5 días de proceso y 33,3% a los 10 días de proceso. Por lo tanto se asemejan a los resultados de Chará y Pedraza y del Quipuzco.

4.2.5. 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 tratamiento de agua 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.

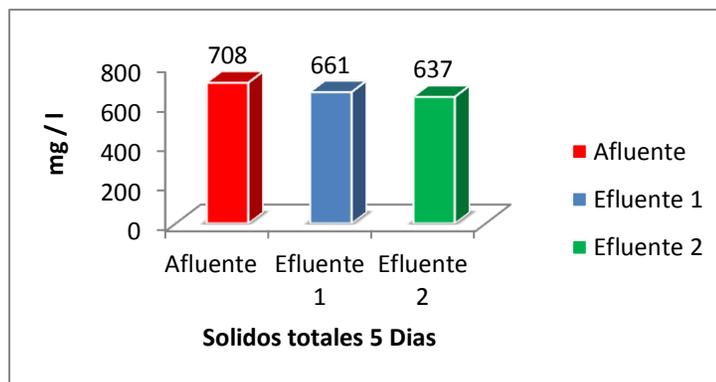


Figura N° 30. Comparación de Sólidos Totales a los 5 días de proceso

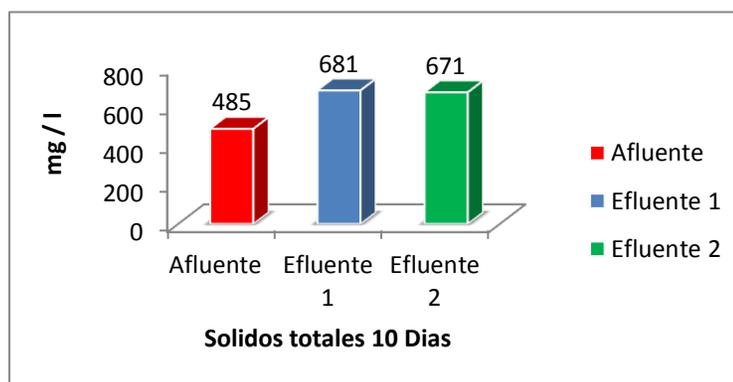


Figura N° 31. Comparación de Sólidos Totales a los 10 días de proceso

Según las figuras 30 y 31, se observa los parámetros de sólidos totales el afluente es de 708 mg/l y seguidos por los efluentes 661 mg/l a 637 mg/l a los 5 días de proceso y de 485 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 681 mg/l a 671 mg/l a los 10 días proceso, los resultados nos indica que esta debajo de los límites permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Por lo tanto es apto para el uso del riego.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sólidos totales	mg/l		1000	1000	1500	1500

Cuadro N° 8. Muestras comparativas de sólidos totales del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Sólidos totales							
Afluentes	0	mg/l		708			
	0			485			
	5			661			
Efluentes				637			
	10			681			
				671			

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 8, nos muestra la concentración de los sólidos totales de los tratamientos de 5 y 10 días de proceso, comparados con los valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores. Los cuyos valores registrados están en los parámetros permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Mamani (2012), indica en su investigación realizada en el sistema de tratamiento por rizofiltración demostró una eficiencia de remoción que oscilo entre 43,16 a 59,81% de sólidos totales.

Los estanques artificiales de ensayo implementados retienen en su mayoría de sólidos totales gracia a la capa de grava, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 8,3% a los 5 días de proceso y 39.4%, a los 10 días de proceso. Por lo tanto no hay mucha diferencia con los resultados del Mamani. Estos valores nos indican que puede ser por deferentes factores ya sea climáticos u otros.

4.2.6. Oxígeno Disuelto

El oxígeno que contiene el agua se conoce como oxígeno disuelto y proviene de muchas fuentes, siendo la principal el oxígeno absorbido desde la atmósfera. El movimiento de las olas permite que el agua incremente su absorción. Otra fuente de oxígeno son las plantas acuáticas, incluyendo las algas, puesto que durante la fotosíntesis eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno (Mendonca, 2000).

El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como de otras formas de vida (como ser peces, anfibios, algas, etcétera). A medida que la concentración de oxígeno disuelto aumenta, la velocidad de crecimiento microbiano también lo hace. El agua generalmente tiene una concentración de OD de 8 mg/l (Cartró, 2003).

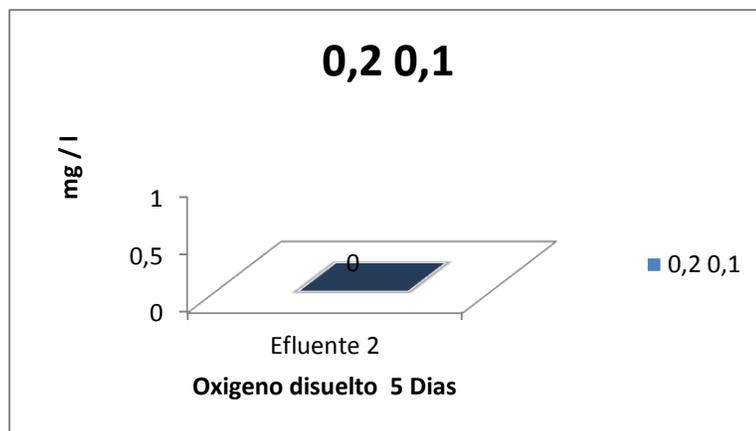


Figura N° 32. Comparación de Oxígeno Disuelto a los 5 días de proceso

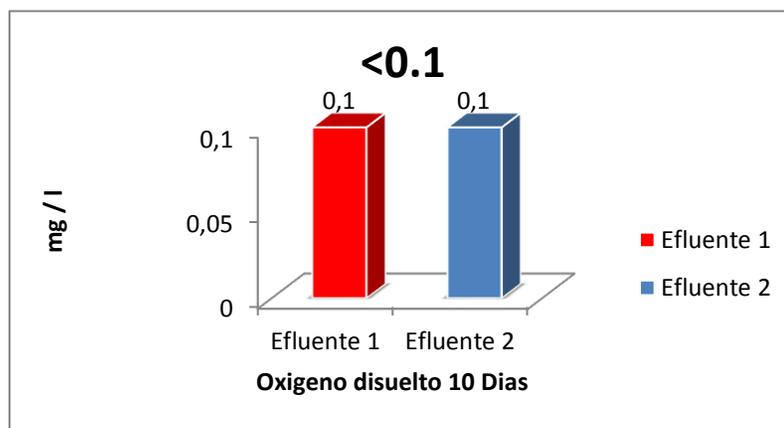


Figura N° 33. Comparación de Oxígeno Disuelto a los 10 días de proceso

Según las figuras 32 y 33, los parámetros del oxígeno disuelto el afluente es de 0,2 mg/l y seguidos por los efluentes 0,2 mg/l a <0,1 mg/l a los 5 días de proceso y de <0,1 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 0,1 mg/l a 0,1 mg/l a los 10 días proceso, existe bajo remoción de oxígeno disuelto por lo tanto los cuyos valores no se encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Oxígeno disuelto	mg/l	NO	>80% sat.	>70% sat.	>60% sat	>50% sat.

Cuadro N° 9. Muestras comparativas de oxígeno disuelto del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Oxígeno disuelto	0	mg/l					0.2
	0						< 0.1
	5						0.2
Efluentes							< 0.1
	10						0.1

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 9, se puede observar claramente los resultados del oxígeno disuelto, tanto para 5 y 10 días de proceso, que ha acido poca remoción por el parte de los microorganismo en la capa de grava por lo tanto los cuyos valores no se encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Mamani (2012), indica en sistema de rizofiltración, realiza una adición de O₂ pasando de una agua anoxia a una agua hipoxia, la adición de O₂ oscilo de 0,57 a 5,07 mg/l, esta adición de oxigeno podría ser a causa de la fotosíntesis realizado o por la macrófita "*Phragmites australis*" y aunque la adición de O₂ no contribuye a la vida acuática, podemos afirmar que se llegaría a lograr una adición de O₂ aceptable.

Al respecto UNLAM (2008), menciona que el oxígeno disuelto (OD) es un parámetro que determina la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuánto contaminada está el agua y cuál bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.

Por lo tanto los resultados de los estanques artificiales de ensayo, nos muestran una baja remoción por parte del oxígeno disuelto. Se encuentra fuera de los valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores.

4.2.7. Calcio

El ion calcio Ca, forma sales generalmente poco solubles, en algunos casos de solubilidad muy moderada pero la mayoría son muy insolubles. Se puede decir que este elemento se puede precipitarse fácilmente.

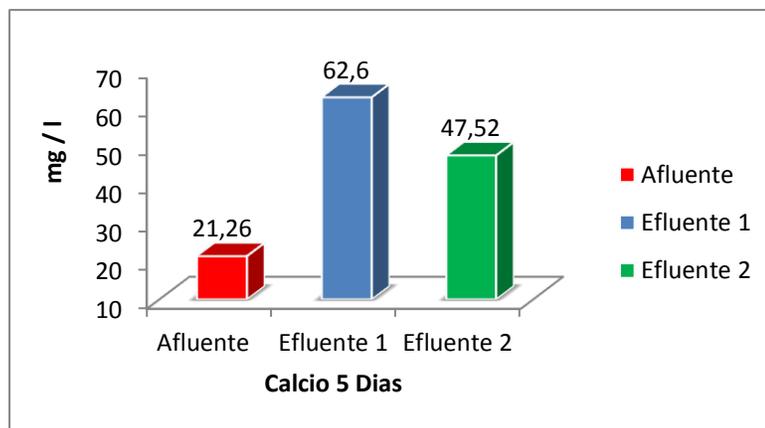


Figura N° 34. Comparación de Calcio a los 5 días de proceso

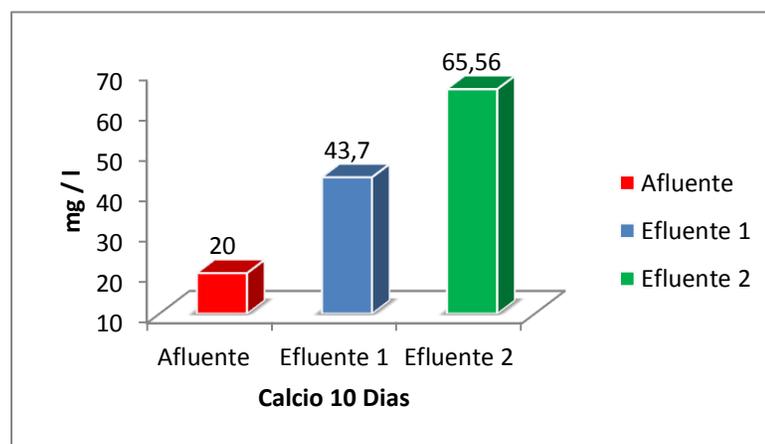


Figura N° 35. Comparación de Calcio a los 10 días de proceso

Según las figuras 34 y 35, se observan a los procesos del calcio en el tratamiento este parámetro muestra los resultados de los tratamientos el afluente es de 21,26 mg/l y seguidos por los efluentes 62,6 mg/l a 47,52 mg/l a los 5 días de proceso y de 20 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 43,7 mg/l a 65,56 mg/l a los 10 días proceso, existe bajo remoción de calcio, por lo tanto se encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Calcio	mg/l	NO	200	300	300	400

Cuadro N° 10. Muestras comparativas de calcio del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Calcio	Días	Unidad					
Afluentes	0	mg/l	21.2				
	0		22				
	5		62.6				
Efluentes			47.5				
	10		43.7				
			65.5				

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 10, las muestras se observan de 5 y 10 días de proceso del tratamiento del agua, tiene un promedio de 55,1 mg/l a los 5 de proceso y 54,6 mg/l a los 10 de proceso contiene bajas concentraciones de calcio, por lo tanto están en los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El agua de mar alrededor de 400 ppm.

4.2.8. Magnesio

El ion magnesio Mg, tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, aunque sus sales son solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es uno, sin embargo menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm. El de mar contiene alrededor de 1.300 ppm.

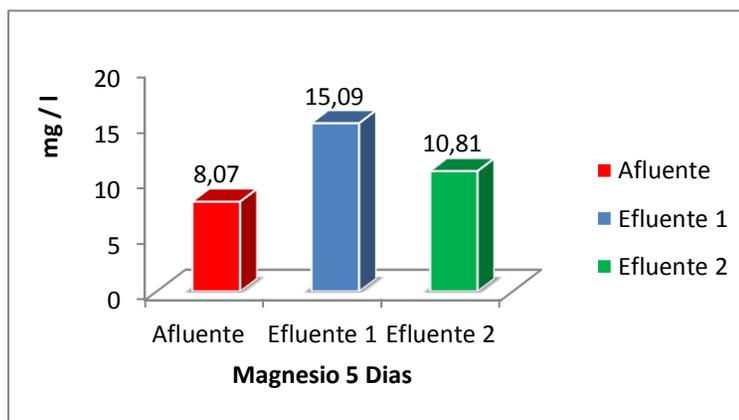


Figura N° 36. Comparación de Magnesio a los 5 días de proceso

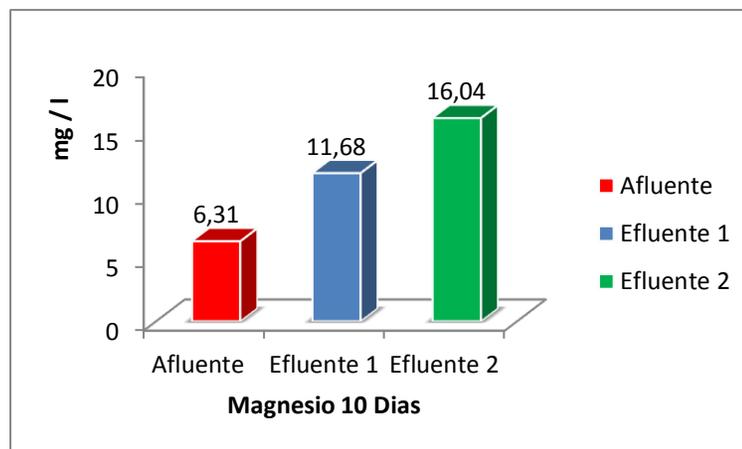


Figura N° 37. Comparación de Magnesio a los 10 días de proceso

Según las figuras 36 y 37, se puede apreciar el comportamiento del magnesio en los efluentes a los 5 días de proceso y a los 10 días de proceso, los resultados obtenidos por laboratorio nos indica que tiene baja remoción por parte del magnesio, por lo tanto no se encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Magnesio	mg/l	NO	100 c. Mg	100 c. Mg	150 c. Mg	150 c. Mg

Cuadro N° 11. Muestras comparativas de magnesio del afluyente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Magnesio	0	mg/l					8.07
							0
Efluentes	5						15.9
	10						10.81
							16.04

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al cuadro 11, se puede apreciar las comparaciones de datos a los 5 y 10 días de proceso de magnesio en los efluentes nos muestra, que están fuera de límites permisibles para el uso agropecuario. Según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

4.2.9. Sodio

El ion sodio Na, el primero de los componentes catiónicos que vamos tratar corresponde a sales de solubilidad muy elevada y muy difíciles de precipitar; suele estar asociado en el ion cloruro Cl, el contenido en aguas dulces está entre 1 y 150 ppm. Pero se puede encontrar en aguas de mar entre 11.000 ppm.

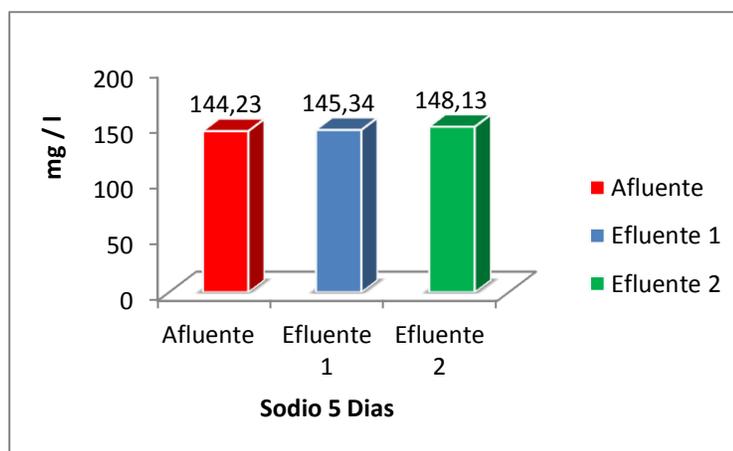


Figura N° 38. Comparación de Sodio a los 5 días de proceso

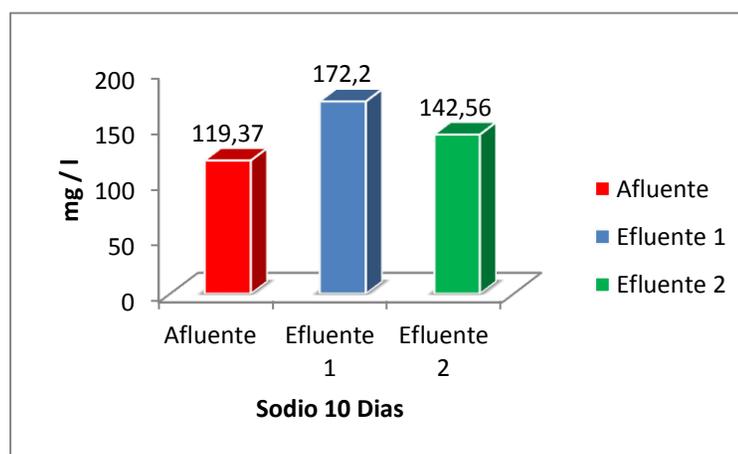


Figura N° 39. Comparación de Sodio a los 10 días de proceso

En las figuras 38 y 39, los datos expuestos por laboratorio los componentes de sodio tiene el afluente de 144,23 mg/l y seguidos por los efluentes 145,34 mg/l a 148,13 mg/l a los 5 días de proceso y de 119,37 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 172,2 mg/l a 142,56 mg/l a los 10 días proceso, existe bajo remoción de sodio, por lo tanto se

encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sodio	mg/l	NO	200	200	200	200

Cuadro N° 12. Muestras comparativas de sodio del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles					
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites	
Sodio	Días	Unidad						
			Afluentes	0	mg/l			144.2
				0				119.3
Efluentes	Días	Unidad						
				5				145.3
				10				148.1
							172.2	
							142.5	

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 12, los datos expuestos por laboratorio los componentes de sodio, tiene un promedio en los efluentes a los 5 días de proceso es de 146,7 mg/l y a los 10 días de proceso es de 157,4 mg/l, los efluentes, están en el grado de permisible según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333. Por lo tanto se considera apta para su uso en riego.

Los estanques artificiales de ensayo retienen gracia a la capa de grava implementada en el sistema, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 1,7% a los 5 días de proceso y 31,8% a los 10 días de proceso, por cual se puede decir que ha acido poca remoción por parte de los microorganismos vivientes en la capa de grava implementada en el sistema de tratamiento de agua residual.

4.2.10. Amonio

La concentración de amonio es un factor determinante en las aguas residuales, se encuentran en forma de urea y compuestos proteicos luego pasa a la descomposición bacteriana.

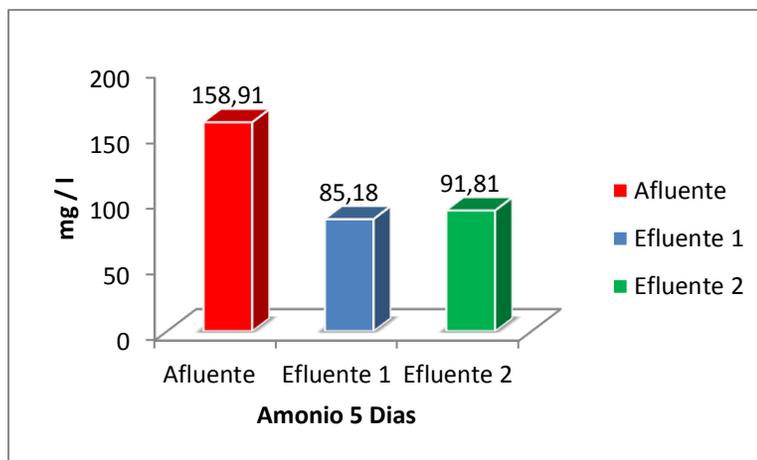


Figura N° 40. Comparación de Amonio a los 5 días de proceso

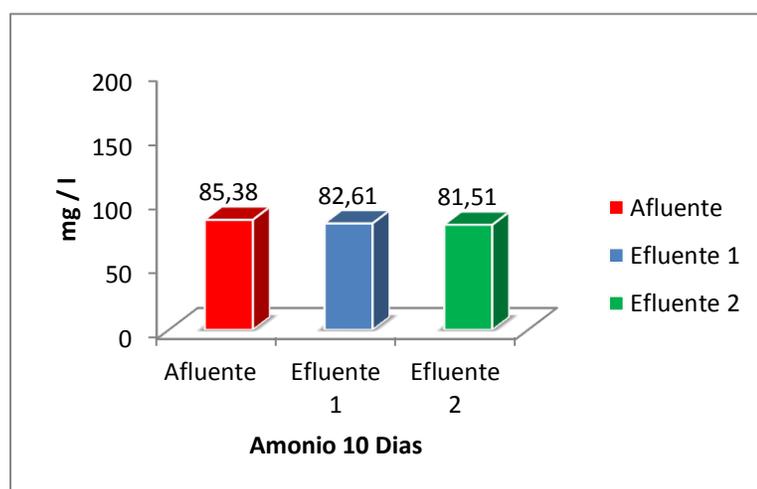


Figura N° 41. Comparación de Amonio a los 10 días de proceso

En las figuras 40 y 41, las concentraciones de amonio en el agua residual los efluentes registrados por laboratorio tanto para 5 y 10 días de proceso, nos indican que están fuera de los límites permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333. Por lo tanto existe alta concentración de amonio en los estanques artificiales de ensayo.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Amonio	mg/l	NO	0.05c.NH3	1.0c.NH3	2c. NH3	4c. NH3

Cuadro N° 13. Muestras comparativas de amonio del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Amonio	Días	Unidad					
Afluentes	0	mg/l					158.9
	0						119.37
	5						85.18
Efluentes							91.81
	10						82.61
							81.51

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 13, según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, especifica como forma de amoniaco no como amonio. Los estanques artificiales de ensayo retienen el amonio gracia a la capa de grava, la eficiencia de remoción de los efluentes promedio es de 88,5 mg/l a los 5 días de proceso y 82,1 mg/l a los 10 días de proceso, existe alta concentración de amonio en los estanques de ensayo por lo tanto se concederá fuera de los límites permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Mamani (2012), indica que la remoción del amónico total oscilo entre 4,00 a 84,00 mg/l de una concentración del AR de 163,85 mg/l obteniendo una eficiencia de 59,78 a 83,97%, debido a la asimilación del protoplasma celular de la macrófita, se puede estimar que incrementaría la eficiencia de remoción según la propagación y desarrollo vegetativo de la macrófita.

Por otro lado para Metcalf y Eddy (1995), mencionan para aguas residuales muestran contenidos típicos del 60% para el nitrógeno amoniacal y del 40% para el nitrógeno orgánico.

Los estanques artificiales de ensayo retiene el amonio gracia a la capa de grava implementada en el sistema de tratamiento, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 44,3% a los 5 días de proceso y 3,8% a los 10 días de proceso. Por lo tanto con el resultado de 5 días de proceso, se asemeja a los resultados de Metcalf y Eddy.

4.2.11. Cloruro

Los cloruros interfieren en el ensayo de la DQO, y en concentraciones mayores a 15.000 mg/l son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional (Romero, 1999).

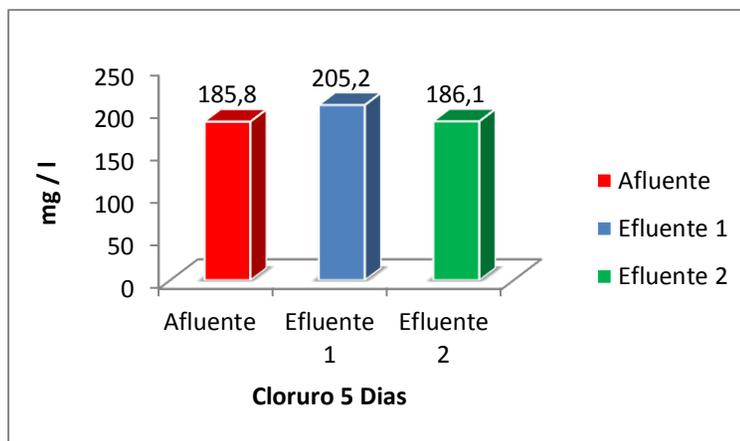


Figura N° 42. Comparación de Cloruro a los 5 días de proceso

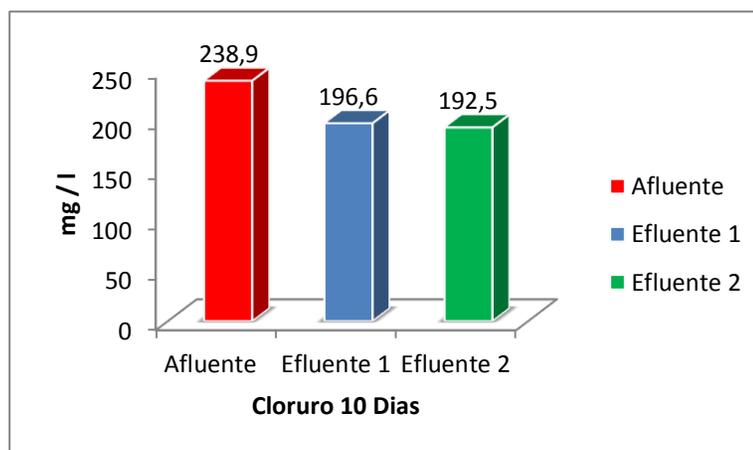


Figura N° 43. Comparación de Cloruro a los 10 días de proceso

Según las figuras 42 y 43, los datos expuestos por laboratorio los componentes de cloruro tiene el afluente de 185,8 mg/l y seguidos por los efluentes 205,2 mg/l a 186,1 mg/l a los 5 días de proceso y de 238,9 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 196,6 mg/l a 192,5 mg/l a los 10 días proceso, existe bajo remoción de cloruro, por lo tanto se encuentra dentro los límites permisibles según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333. Gracia a la capa de grava implementada en el sistema de tratamiento de agua.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Cloruros	mg/l	NO	250c. Cl	300c. Cl	400c. Cl	500c. Cl

Cuadro N° 14. Muestras comparativas de cloruro del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Cloruro	Días	Unidad					
Afluentes	0	mg/l	185.8				
	0		238.9				
	5		205.2				
Efluentes			186.1				
	10		196.6				
			192.5				

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 14, nos muestra los datos obtenidos por el laboratorio existe variación en cloruro tiene un promedio en los efluentes a los 5 días de proceso es de 195,6 mg/l y a los 10 días de proceso es de 194,5 mg/l, que está en los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333, por tanto está destinado para el riego y consumo animal.

Fernández (2012), indica a las aguas con alto contenido de oxidabilidad, de cloruros tienen ese origen eso reflejado en los análisis físicos y químicos que se realizaron para diferencias y cumplimiento de los parámetros requeridos.

Los estanques artificiales de ensayos retienen el cloruro gracias a la capa de grava implementada en el sistema, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 5,3% a los 5 días de proceso y 18,6%, a los 10 días de proceso. Por lo tanto se considera apta para su uso en riego.

4.2.12. Fosforo total

El fósforo total generalmente se encuentra en aguas naturales, subterráneas y residuales tratadas, como diversos fosfatos, especialmente como ortofosfato $PO_4 - 3$ (Cartró, 2003). En las aguas naturales el fósforo aparece en tres formas: ortofosfato inorgánico disuelto, compuestos orgánicos de fósforo disuelto y fósforo en partículas (ligado a la biomasa o depositado en partículas).

Según Cárdenas (2005), el fósforo como nutriente es esencial para el desarrollo de diversos organismos; por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento, especialmente, de organismos fotosintéticos en grandes cantidades, causando eutrofización de las aguas.

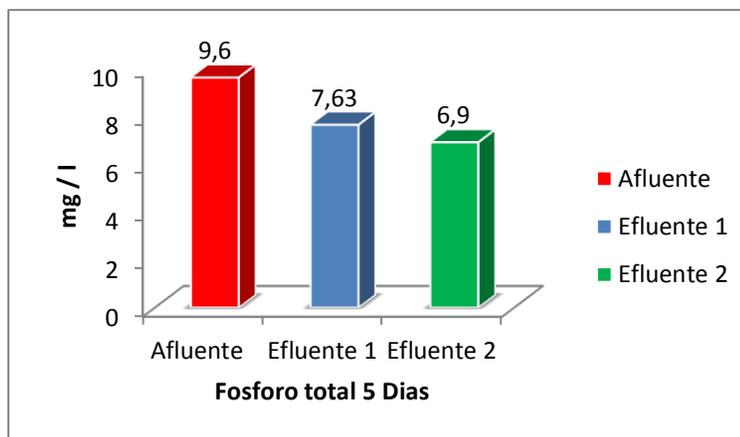


Figura N° 44. Comparación de Fosforo total a los 5 días de proceso

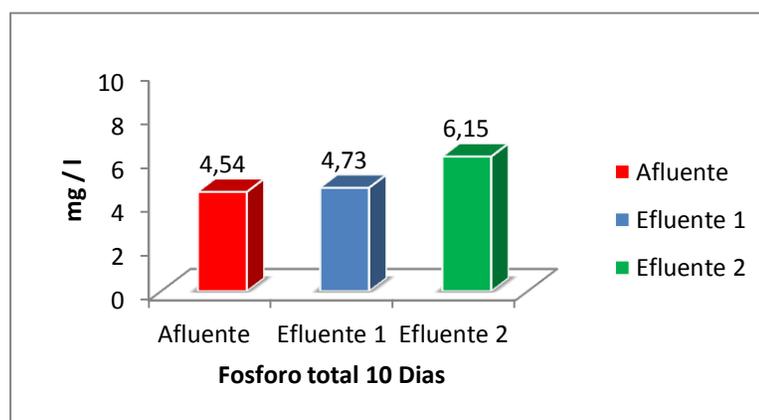


Figura N° 45. Comparación de Fosforo total a los 10 días de proceso

Según las figuras 44 y 45, las concentraciones del fosforo total el agua residual tratada tiene el afluente de 9,6 mg/l y seguidos por los efluentes 7,63 mg/l a 6,9 mg/l a los 5 días de proceso y de 4,54 mg/l afluente y seguidos por los efluentes 4,73 mg/l a 6,15 mg/l a los 10 días proceso, el fosforo se ve incrementando debido a que no existe una eliminación de este elemento, parte de los microorganismos. Por esta razón no están en los límites permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Fosforo total	mg/l	NO	0.4c. Orthofosf	0.5c. Orthofosf	1.0c. Orthofosf	1.0c. Orthofosf

Cuadro N° 15. Muestras comparativas de fosfato total del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Fosforo total	Días	Unidad					
Afluentes	0	mg/l					9.6
	0						4.5
	5						7.6
Efluentes							6.9
	10						4.7
							6.1

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 15, según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, especifica como forma de fosfato total no como fosforo total, las concentraciones del fosforo total para el agua residual en los efluentes se registran un valor de promedio de 7,3 mg/l a los 5 días de proceso y 5,4 mg/l a los 10 días de proceso los efluentes contiene alto concentraciones del fosforo total en el agua residual, no existe una buena eliminación parte de los microorganismo presentes en la capa de grava en los estanques artificiales de ensayo, por esta razón se encuentra fuera de los límites permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y la Ley 1333.

Según García y Corzo (2008), indican que en los sistemas de depuración biológicos convencionales, la eliminación de fósforo en los humedales es complicada. En general no se suele eliminar más del 10 - 20%, y sin haber grandes diferencias entre sistemas horizontales y verticales.

Por otro lado Salazar y Sánchez (2007), mencionan que el fosforo total en el efluente, representa una eficiencia de remoción, es de 41% de eficiencia obtenida en sistemas experimentales a pequeña escala en Colombia.

Los estanques artificiales de ensayo retienen el fosforo total gracia a la capa de grava implementada en el sistema, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 23,9% a los 5 días de proceso y 18,9%, a los 10 días de proceso. Por lo tanto es superior a los resultados de García y Corzo.

4.2.13. Sulfatos

El origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a la disolución de los yesos, dependiendo su concentración de los terrenos drenados. Se encuentra disuelto en las aguas debido a su estabilidad y resistencia a la reducción, aunque en agua pura se

satura a unos 1500 ppm, como sulfato de calcio, la presencia de otras sales aumenta su solubilidad. Tiende a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, y debido a que el valor del producto de solubilidad de dichas sales es muy bajo, contribuye muy eficazmente a disminuir su toxicidad (Madueño y Salvador, 2009). Los sulfatos son las sales o los ésteres del ácido sulfúrico, estos contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro del tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno; el ión de sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales (Madueño y Salvador, 2009).

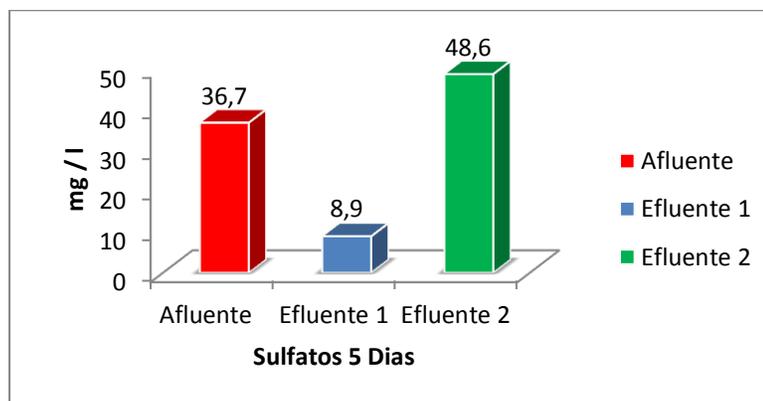


Figura N° 46. Comparación de Sulfatos a los 5 días de proceso

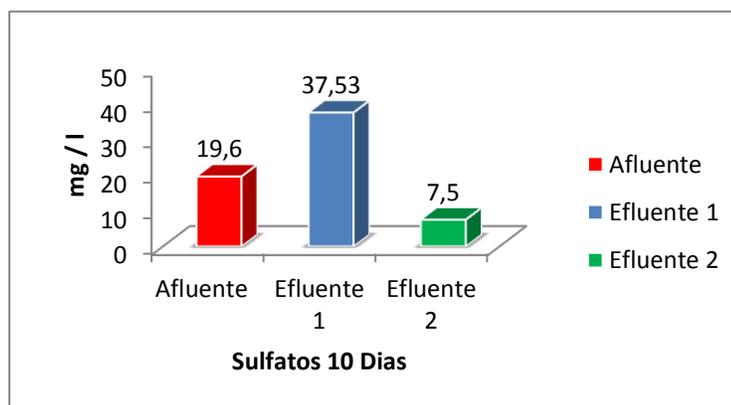


Figura N° 47. Comparación de Sulfatos a los 10 días de proceso

Según las figuras 46 y 47, los resultados del comportamiento de sulfatos nos muestran a los 5 y 10 días de proceso en los efluentes, que están debajo del parámetro. Por lo tanto se encuentra fuera de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Sulfatos	mg/l	NO	300c. SO4	400 c. SO4	400c. SO4	400c. SO4

Cuadro N° 16. Muestras comparativas de sulfatos del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Sulfatos Afluentes	0	mg/l					36.7
	0						19.6
	5						8.9
Efluentes							48.6
	10						37.5
							7.5

Fuente: elaboración propia

Según el cuadro 16, según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, especifica las concentraciones del sulfatos para el agua residual de 300 mg/l y 400 mg/l como límite máximo tolerable, los resultados obtenidos por laboratorio y haciendo una comparación con el cuadro de valores máximos admisibles de parámetro, tiene una baja remoción por el parte del sulfato, por lo tanto nos indican que están fuera de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Valderrama (2005), afirma que los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/l, afortunadamente estas concentraciones no son comunes. El sulfuro presenta riesgo de formación de gas sulfhídrico, el que en baja concentración genera olor desagradable y en alta concentración puede ser muy tóxico. Las aguas para el riego es de 500,0 mg/l, la concentración inicial es de 6,4 mg/l y final es de 5,7 mg/l, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad exigida por la norma.

Los estanques artificiales de ensayo se puede mencionar que la remoción de los sulfatos, la eficiencia de remoción de los efluentes es de 21,8% a los 5 días de proceso y 14,8%, a los 10 días de proceso. Por lo tanto se puede mencionar que ha acido poca remoción por el parte delos microorganismos vivientes en la capa de grava implementada en el sistema del tratamiento.

4.2.14. Demanda Química de Oxígeno DQO

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente, la materia orgánica degradable y biodegradable en un periodo de tres horas (Queralt, 2003).

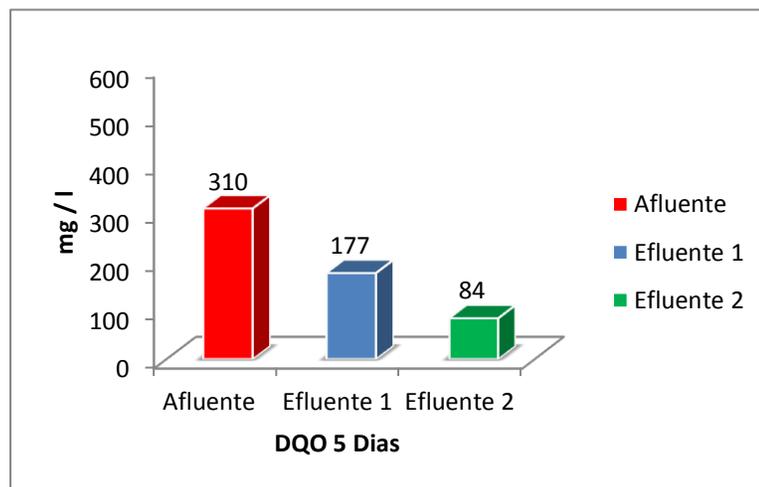


Figura N° 48. Comparación de DQO a los 5 días de proceso

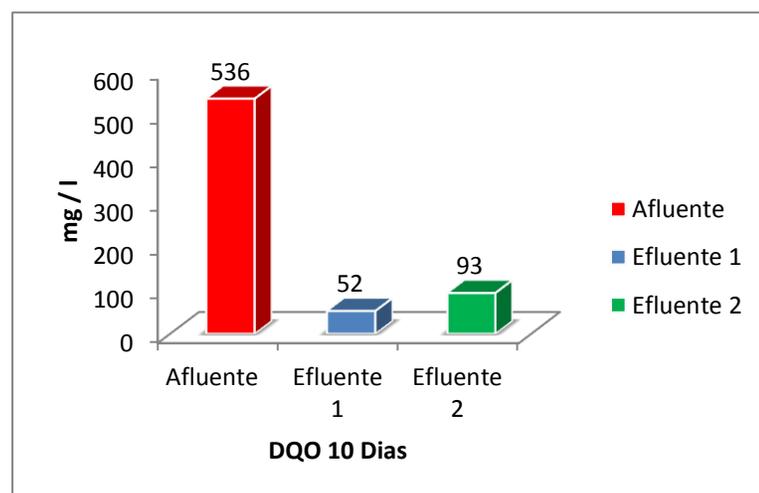


Figura N° 49. Comparación de DQO a los 10 días de proceso

Según las figuras 48 y 49, los resultados del comportamiento de DQO en los efluentes a los 5 días de proceso, se sobrepasaron a los parámetros admisibles y a los 10 días de proceso de tratamiento del agua, el efluente 1 con 52 mg/l nos muestra que está dentro

de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
DQO	mg/l	NO	<5	<10	<40	<60

Cuadro N° 17. Muestras comparativas de DQO del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
			clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
DQO	Días	Unidad					
Afluentes	0	mg/l					310
	0						536
	5						177
Efluentes							84
	10					52	
							93

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 17, se muestran comportamiento del DQO el efluente 1 de 10 días de proceso, en la primera muestra logró disminuir, por lo tanto está dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Por lo tanto se considera apta para su uso en riego.

García (2013), indica que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) está definida como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de oxígeno equivalente. La evaluación de la DQO es sugerida dentro de los análisis de aguas, ya que sirve inicialmente como base para la estimación de la DBO; el parámetro puede dar información sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuos industriales o domésticos, así como al estar correlacionado con otros parámetros de interés ambiental, puede proveerse como indicador de contaminación en fuentes de agua.

Según Andreo (2014), señala en una evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas, que no debe superarse una DQO de 125 mgO₂/l, o conseguir un porcentaje de reducción del 75 %. En general, los valores de DQO en el humedal subsuperficial HF donde el porcentaje de reducción fue del 69,3 %.

Al respecto Otálora (2011), menciona la eficiencia de remoción de la DQO para todo el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales, se observaron remociones entre el 77% y 95%, eficiencias obtenidas posiblemente por procesos de degradación de los microorganismos de la materia orgánica contenida en el agua residual.

La eficiencia en la remoción de este parámetro es muy notoria donde podemos indicar de manera general que la eficiencia de los estanques artificiales de ensayo, durante el periodo de funcionamiento alcanzó a 57,9% a los 5 días de proceso y 86,5%, a los 10 días de proceso. Superando a los resultados de Andreo, con 10 días de proceso y asemejando a los resultados de Otálora.

4.2.15. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅

Sawyer y McCarty (2001), denominan a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) como aquella medida que cuantifica la cantidad de oxígeno necesaria ó consumida para la descomposición microbiológica (oxidación) de la materia orgánica en el agua. Es un indicador importante para el control de la contaminación de las corrientes donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto, por otra parte la CAN (2005), asegura que el aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno, provocando que algunas especies de peces y otras especies acuáticas deseables ya no puedan vivir en las aguas donde están presentes dichos microorganismos. Es útil para medir la capacidad de purificación de las corrientes monitoreadas y sirve para orientar normas de control de calidad de los efluentes descargados a estas aguas.

Freire (2001), asegura que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes.

Lahora (2001), menciona que el rendimiento total del conjunto de lechos de turba - humedal, alcanza porcentajes de reducción superiores a los exigidos en la directiva española, obteniendo una media superior a 25 mg/l, ya que sufre un aumento durante los meses invernales, volviendo a bajar por debajo de esa cifra a partir de mayo.

Según la EPA (2000), la verdadera eliminación de la DBO₅ sólo se produce cuando la materia orgánica (responsable de la DBO₅) es convertida completamente mediante

procesos biológicos aerobios y anaerobios a productos finales gaseosos. Las dos vías anaerobias más probables son la fermentación de metano y la reducción de sulfato. La fermentación de metano está severamente inhibida a temperaturas inferiores a 10°C, por lo que probablemente predomina la reducción del sulfato para la remoción de DBO₅ soluble durante los meses más fríos.

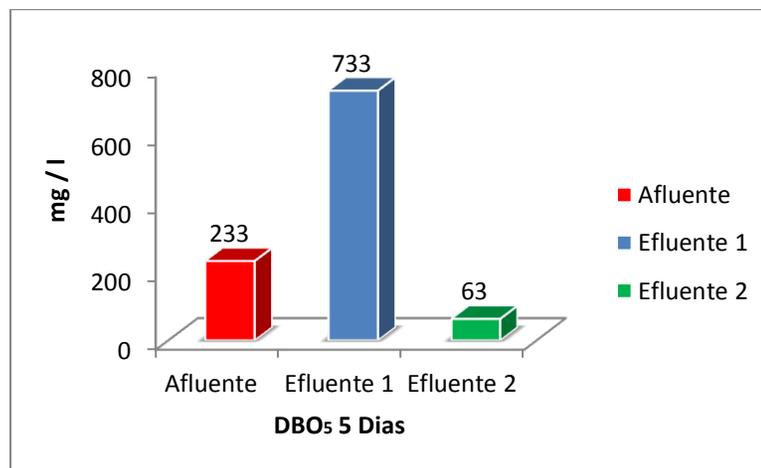


Figura N° 50. Comparación de DBO₅ a los 5 días de proceso

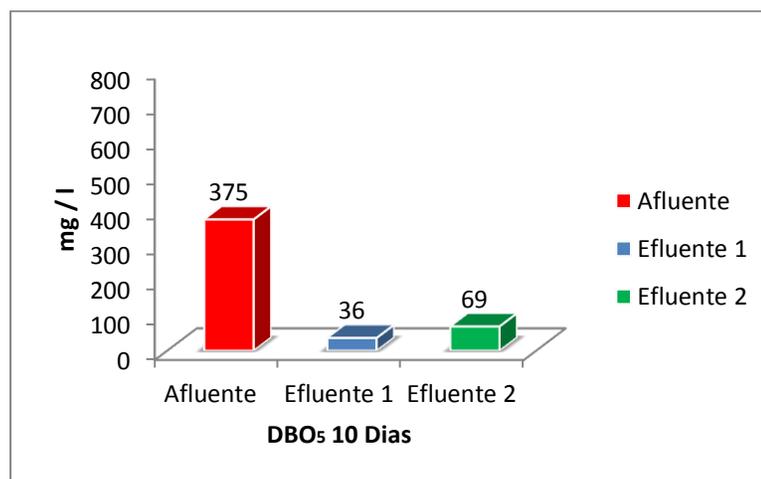


Figura N° 51. Comparación de DBO₅ a los 10 días de proceso

Según las figuras 50 y 51, la comparación de DBO₅ a los 5 días de proceso nos muestran en los efluentes sobrepasaron a los parámetros admisibles y a los 10 días de proceso nos muestran en los efluente, que se acerca a los parámetros admisibles, por tanto nos indica que está fuera de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
DBO ₅	mg/l	NO	<2	<5	<20	<30

Cuadro N° 18. Muestras comparativas de DBO₅ del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Afluentes	0	mg/l					233
	0						375
	5						733
Efluentes							63
	10						36 69

Fuente: elaboración propia

Según el cuadro 18, nos muestran el comportamiento del DBO₅ los resultados de los efluentes, nos muestra que no está dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Se logró disminuir gracias a la capa de grava implementada en los estanques artificiales de ensayo, la demanda bioquímica de oxígeno, lo cual nos indica que aunque no se obtuvo una calidad de agua optima según la norma, si se logró un cambio significativo en el agua residual tratada por el sistema.

Baca (2012), indica los humedales artificiales piloto en Perú, para un tiempo de retención de 6.5 días, el sistema utilizando papiros sembrados sobre piedra chancada, pueden reduce la DBO₅ en el efluente de 90.71% de remoción y en la (laguna de Oxidación), el efluente es de 65 % de remoción con el tiempo de retención de 5 días y con tratamiento preliminar (Secundaria) el efluente es de 86 % de remoción con un tiempo de retención de 7 días.

Por otro lado Crites y Tchobanoglous (1998), reportan los datos de porcentajes de eliminación de DBO₅ en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal comprendidos entre el 42 y el 90 %.

En los estanques artificiales de ensayo, implementados para el sistema de tratamiento de agua residual, la eficiencia de remoción del DBO₅ es de 43,8% a los 5 días de proceso y 86% a los 10 días de proceso. Estos valores del sistema de tratamiento, es útil para tratar el agua residual en estudio, por tanto se asemejan a los resultados de Baca.

4.3. Parámetros Biológicos

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica.

4.3.1. Coliformes Fecales

Con este término, se identifica a una amplia gama de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos y no esporulante; estos microorganismos tienen la capacidad de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35 – 37°C y están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Dentro del grupo de los coliformes totales se incluyen especies fecales y ambientales, (Marín, 2010).

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 totales constituyen 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.

Según San Vicente (2003), menciona el total de coliformes fecales presentes en las heces humanas, entre el 90% y el 100% corresponden a *Escherichia Coli* y que un gramo de excremento humano contiene entre cinco mil millones y cincuenta mil millones de coliformes fecales; es decir que más del 40% del peso húmedo de los excrementos humanos son células bacterianas.

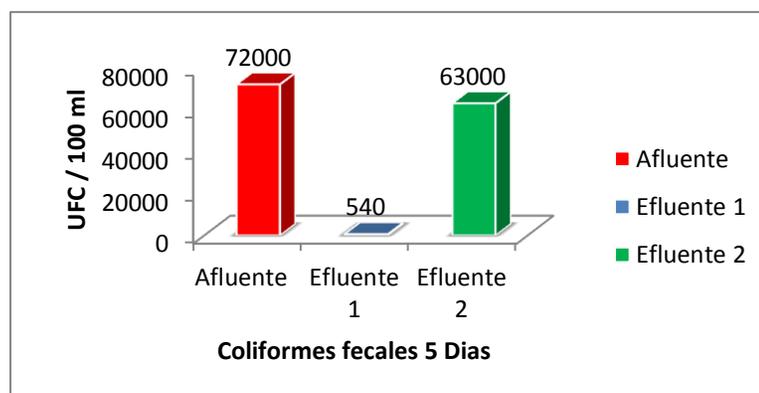


Figura N° 52. Comparación de Coliformes Fecales a los 5 días de proceso

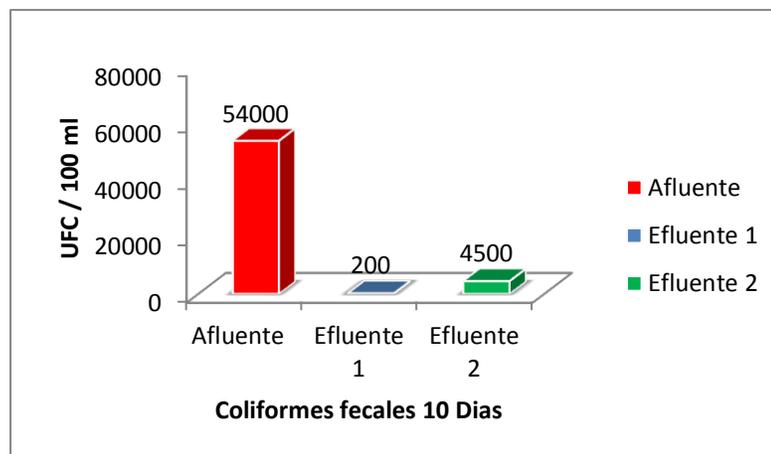


Figura N° 53. Comparación de Coliformes Fecales a los 10 días de proceso

Según las figuras 52 y 53, se muestran los comportamientos de coliformes fecales a los 5 días de proceso el efluente 1 con 450 mg/l, nos muestra que está dentro de los parámetros permisibles y a los 10 días de proceso el efluente 1 con 200 mg/l y el efluente 2 con el 4500 mg/l, estos resultados nos muestran que están dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Por lo tanto se considera apto para el uso en riego.

Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Coliformes fecales	mg/l	NO	<50 y <5 en 80% de muestras	<1000 y <200 en 80%de muestras	<5000 y <1000 en 80%de muestras	<50000 y <5000en 80%de muestras

Cuadro N° 19. Muestras comparativas de coliformes fecales del Afluente y Efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Coliformes fecales							
Afluentes	0	mg/l					72000
	0						54000
Efluentes	5			540			
	10			200			63000
						4500	

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 19, nos muestra comportamiento de coliformes fecales a los 5 días de proceso el efluente 1 nos muestra que está dentro de los parámetros permisibles y a los

10 días de proceso el efluente 1 y 2 nos muestran que está dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Es considerado apto para reutilizar en el riego.

Mendonca (2000), indica que los coliformes fecales. Constituyen un subgrupo de los coliformes totales, son de tipo bastoncitos de 0.0002 - 0.0003 mm por 0.002 a 0.003 mm, son aerobios y anaerobios facultativos no esporulados. Se diferencian de los coliformes totales por ser tolerantes a temperaturas elevadas (creciendo a 44,5°C), lo que les permite estar mejor adaptados a la vida al interior del animal.

Por otro lado Mamani (2012), indica en su trabajo de investigación del sistema de tratamiento de agua residual urbano por rizofiltración la remoción de los coliformes fecales alcanzó porcentajes de 99,97% y 99,74%.

En los estanques artificiales de ensayo implementados para el sistema de tratamiento, alcanzó a una eficiencia de remoción de los coliformes fecales de 55,9% a los 5 días de proceso y 95,6% a los 10 días de proceso. Estos valores del sistema de tratamiento, se asemejan a los resultados del Mamani con 10 días de proceso.

4.3.2. Coliformes Totales

Los Coliformes totales, que son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente), es favorecida por las condiciones adecuadas de temperatura, materia orgánica, pH y humedad. También se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable (Mendonca, 2000).

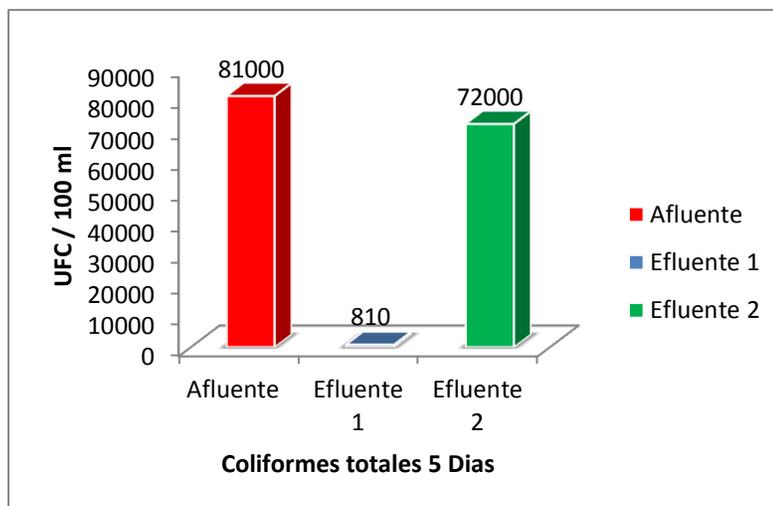


Figura N° 54. Comparación de Coliformes Totales a los 5 días de proceso

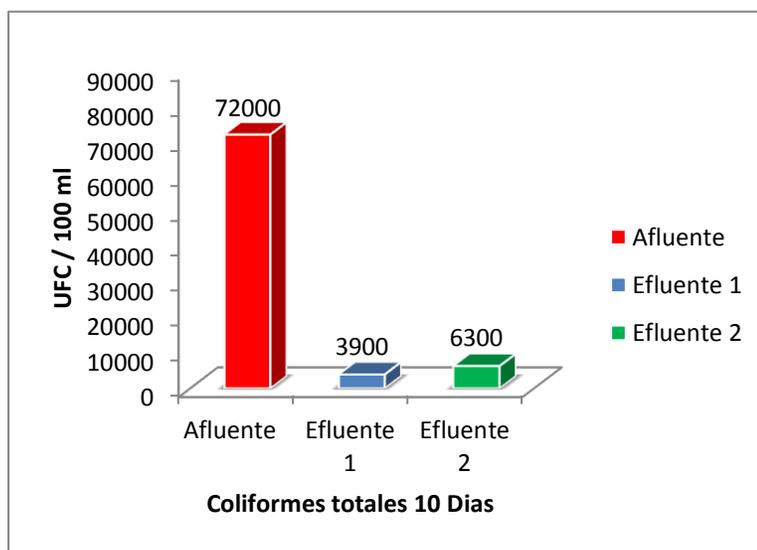


Figura N° 55. Comparación de Coliformes Totales a los 10 días de proceso

Según las figuras 54 y 55, se muestran los comportamientos de coliformes totales a los 5 días de proceso el efluente 1 con 810 mg/l, nos muestra que está dentro de los parámetros permisibles y a los 10 días de proceso el efluente 1 con 3900 mg/l y el efluente 2 con el 6300 mg/l, nos muestran estos resultados que están dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Es considerado apto para el riego.

**Cuadro de valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores,
según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.**

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"
Coliformes totales	mg/l	NO	<50 y <5 en 80% de muestras	<1000 y <200 en 80% de muestras	<5000 y <1000 en 80%de muestras	<50000 y <5000en 80%de muestras

Cuadro N° 20. Muestras comparativas de coliformes totales del afluente y efluente

Parámetros	Descripción		Límites permisibles				
	Días	Unidad	clase "A"	clase "B"	clase "C"	clase "D"	Fuera de límites
Coliformes totales	0	mg/l					81000
	0						72000
	5			810			
Efluentes	10				3900		63000
						6300	

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 20, el comportamiento de coliformes totales a los 5 y 10 días de proceso del efluente 1 y 2 nos muestra claramente que está dentro de los parámetros permisibles, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. Tiene un promedio de 31905 UFC/100 ml a los 5 días de proceso y 5100 UFC/100 ml a los 10 días de proceso. Es considerado apto para su uso en riego.

Otálora (2011), indica en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales en la Universidad Nacional de Colombia la eficiencia de remoción de coliformes totales obtuvo un promedio de 89%.

En la investigación realizada para el tratamiento del agua residual con un sistema de estanques artificiales de ensayo con flujo subsuperficial horizontal, se puede mencionar que la remoción de eficiencia de coliformes totales, en la primera fase de estabilización en el efluente es de 55,1% a los 5 días de proceso y 92,9% a los 10 días de proceso. Con 10 días de proceso se puede mencionar que es superior del resultado del Otálora. Gracias a la capa de grava que se ha implementado en los estanques artificiales de ensayo en las condiciones climáticas del altiplano.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se evaluó la eficacia del proceso de depuración de agua residual mediante un sistema de tratamiento a través de estanques artificiales de ensayo construidos de flujo subsuperficial horizontal, con dimensiones: de 7,50 m de largo, 2,50 m de ancho y 0,80 m de profundidad, durante el tiempo de investigación de muestra una adaptación a las condiciones climáticas del altiplano. Es una alternativa y posible obtener buenos tasas de eficiencia en la depuración de agua residual en la fase de estabilización o aclimatización.
- Los parámetros evaluados fueron (físicos, químicos y microbiológicos) y el agua residual tratada por el sistema de tratamiento construidos cumplió con los parámetros exigidos por el D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333, para vertido del agua tratada destinadas para uso de riego agrícola. La turbidez alcanzó a una eficiencia de remoción de 75,3% a los 5 días de proceso y 58,9% a los 10 días de proceso, es considerado para el uso en riego agrícola.
- En el estudio el pH nos muestran en los efluentes de 5 y 10 días de proceso, cuyos promedios son de 7,5 a los 5 días de proceso y 7,8 a los 10 días de proceso, cumplen con los criterios de calidad para el riego tanto como para consumo humano y animal, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.
- Los análisis del tratamiento del agua de residual, Sólidos Sedimentables, Disuelto, Suspendidos y Totales, Oxígeno disuelto, Calcio, Sodio, Amonio, Cloruros, Fosforo total, Sulfatos, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅, algunos parámetros no cumplieron con los criterios de calidad, según D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333.
- La eficiencia de remoción de coliformes fecales tiene una eficiencia de remoción de 55,9% a los 5 días de proceso y 95,6% a los 10 días de proceso y en coliformes totales tiene una eficiencia de remoción de 55,1% a los 5 días de proceso y 92,9% a los 10 días de proceso, cumple con los criterios de calidad que establece la norma en materia de vertimientos a un cuerpo de agua receptor.

- Durante las actividades de muestreo en el sistema no se percibieron malos olores ni presencia de vectores (mosquitos). El sistema de estanques artificiales de ensayo construidos cumplió con los parámetros exigidos por el D. S. N° 24176 (8 de dic. de 1995) RMCH y Ley 1333. para verter y reutilizar para el riego.

6. RECOMENDACIONES

Culminada la investigación, se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

- Continuar los trabajos de mantenimiento en los estanques artificiales de ensayo implementados en la Estación Experimental de Kallutaca para evitar la contaminación de los cuerpos receptores de agua en la zona, porque pueden causar daños colaterales a los estudiantes y a la colectividad en general.
- Para una nueva investigación se debe realizar un número más alto de análisis del afluente y efluentes para obtener un promedio de concentración de contaminantes más ajustado, que permita discernir mejor los resultados obtenidos.
- Es necesario realizar aforamientos del caudal con el fin de tener mayor control en la medición del agua que ingresa al sistema en época seca y lluvia, que puede afectar el normal funcionamiento del sistema de tratamiento del agua, por las precipitaciones pluviales.
- Se debe realizar talleres de concientización a la comunidad universitaria y a los pobladores de diferentes municipios en el área rural, para que conozcan y desarrollen, sistemas de tratamientos de agua ya que en las áreas rurales no existen sistemas de alcantarillados, y las aguas residuales son evacuadas a pozos sépticos o directamente a cuerpos de agua dulce.
- Tratar y recuperar el agua residual mediante estanques artificiales de ensayo de flujo subsuperficial horizontal para su uso de riego agrícola o simplemente para ser descargados en un cuerpo de agua.
- Es imprescindible la limpieza periódica para las unidades de retención de sólidos y trampa de grasas, mediante la remoción física de sólidos retenidos en estas unidades, a fin de evitar la obstrucción de tuberías y conexiones, y poder garantizar la adecuada circulación del agua a través del sistema.
- Completar con plantas acuáticas a los estanques artificiales de ensayo construidos para que cumpla con un tratamiento adecuado.

- Se sugiere hacer trabajos de investigación con estanques artificiales. Y se debe calcular en investigaciones posteriores el volumen de agua residual que se puede tratar por día de manera eficiente, considerando la población actual de la comunidad universitaria de la Estación Experimental de Kallutaca.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andreo D. 2014. Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Murcia, pp. 185.
- Arellano D. J. y Guzmán P. J. 2011. Ingeniería Ambiental 1ra. ed. México: Alfa omega. Grupo editor S. A. de CV. 148 p.
- Arellano A. 2008. Documento de clase Tratamiento de Aguas Residuales. Ecuador, pp. 25.
- Arce M. y Leiva M. 2009. Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo. Tesis. Universidad Técnica Particular de Loja Escuela de Ciencias Biológicas y Ambientales Gestión Ambiental. Loja - Ecuador, pp. 4.
- Arias O. 2004. Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Tesina, Barcelona.
- Arias C. 2003. Revista Redalyc, humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales., 13 ed., Bogotá – Colombia, pp. 17 – 24. Disponible en <http://www.Redalyc.Org/articulo.Oa?id=91101302>. Consultado 20 ago. 2016.
- Baca M. 2012. Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona. Tesis de Grado, Callao – Perú, pp. 36 - 83.
- Barrera A. 2000. Tratamiento de aguas residuales. Cuenca, Ecuador: Camaren.
- CAN 2005. (Comunidad Andina), indicadores de los aspectos Ambientales del Desarrollo Sostenible., Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, pp. 31 – 45.
- Conagua 2011. (Comisión Nacional del Agua), situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2011. México, D. F. subdirección general de agua potable, drenaje y saneamiento, pp. 96.

- Cárdenas A. 2005. Calidad del agua, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Caldas.
- CartróJ. 2003. Tratamiento de aguas industriales. Depuración biológica de las aguas residuales, Ed. Fundación Universitaria Iberoamericana – Universidad de Catalunya, Barcelona.
- Cardona J. 2008. Evaluación del efecto de los microorganismos Eficaces (EM®) sobre la Calidad de un Agua Residual Domestica. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Microbiología Industrial. Bogotá D.C, pp. 3.
- Chará J. y Pedraza G. 2002. Instalación y mantenimiento de biodigestores plásticos. En: Chará, J.D. (ed.). Biodigestores plásticos de flujo continuo, investigación y transferencia en países tropicales. CIPAV. Cali, Colombia, pp. 26 - 35.
- CritesR. y Tchobanoglous G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, McGraw Hill Interamericana, Santafé de Bogotá. 135p.
- Crites R. y Tchobanoglous G. 1998. Small and decentralized wastewater management systems. Water Resources and Environmental Engineering, 1. WCB/McGraw - Hill, Boston, pp. 1084.
- Da Cámara L. Hernández M. y Paz L. 2003. Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias, Ed. M.Gómez, Barcelona. 44 p.
- Delgadillo O. Camacho A. Pérez L. y Andrade M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Agronomía. Proyecto humedal. Cochabamba, Bolivia: centro AGUA. 102 p.
- Dibujes D. 2016. Evaluación de funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua residual del cantón San Miguel de Urququí, para garantizar la calidad del agua de acuerdo a la Normativa Ambiental. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables y Ambiente, Ibarra – Ecuador. Universidad Técnica del Norte, pp. 25.

- EPA 2000. (United States Environmental Protection Agency), Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R – 99/010, USEPA Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- Fernández M. 2012. Validación de los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en el agua tratada y cruda en la planta de tratamiento de empocabal. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías Escuela de Química Programa de Química Industrial Pereira.
- Freire M. 2001. Demanda Biológica de Oxígeno. Calidad del agua. México, México D.F.
- Galvis A. 1986. El Modelo SWMM y el sistema de drenaje urbano. XXXIX Congreso Nacional de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL. Manizales.
- García R. 2000. Manual de prácticas de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. Aspectos básicos de aguas tratadas. México, México D.F.
- García J. y Corzo A. 2008. Depuración con humedales construidos, guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya, pp. 11.
- 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 de Grado. E - books: http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf, pp. 11 - 18.
- García M. 2013. Protocolo para la determinación de DQO. Universidad de la Guajira, Colombia, la Guajira, pp. 3.
- 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.

- Guevara O. 2012. Tratamiento de aguas residuales. Santafé - Bogotá. Colombia, pp. 16 - 33.
- Huanca R. 1996. Estudio microclimático de los Suka kollu y su influencia en la protección contra las heladas. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía – Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Lahora A. 2001. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almeira). Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S. A. GALASA.
- Lara B. 1999. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña - Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona.
- Ley Nº 1333. 1992. Ley y Reglamento del Medio Ambiente. Decreto Supremo Nº 24176 (8 de dic. de 1995), RMCH (reglamento en materia de contaminación hídrica).
- López J. 2015. Tratamiento de aguas residuales, aplicación de humedales artificiales. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería División de Ingeniería Mecánica e Industria, pp. 11.
- Madueño J. y Salvador C. 2009. Evaluación del uso de la planta acuática Lemna Minor L. para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna secundaria de la planta CITRAR. Tesis. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, pp. 123 – 125.
- Mendonca S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización: Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío, Mc. Graw Hill, Santafé de Bogotá.
- Moñocopa L. 2012. Adaptabilidad de veinticinco líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en condiciones del altiplano norte del departamento de La Paz. Tesis de Grado. Universidad Pública de El Alto. Ingeniería Agronómica. La Paz, Bolivia, pp. 13.

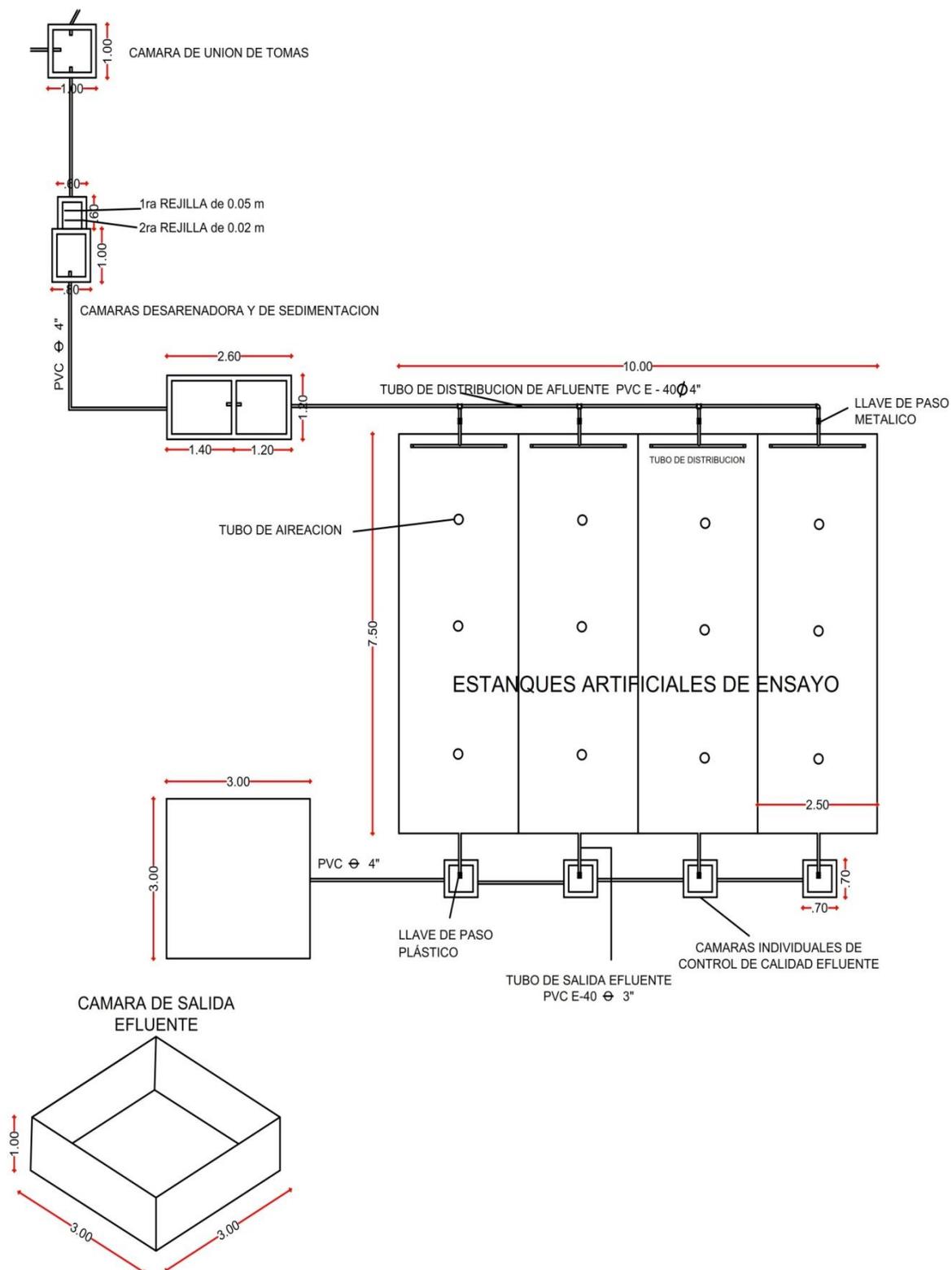
- Mamani S. 2012. Sistema de rizofiltración para el tratamiento de agua residual urbana del distrito 7 de la ciudad de El Alto. Tesis de Grado. Universidad Pública de El Alto. Carrera de Ingeniería Agronómica. La paz, Bolivia. 247 p.
- MMAyA 2013. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua), sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. 338 p.
- Marin J. 2010. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua angustifolia Kunth. Tesis de Grado. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira., Pereira – Colombia, pp. 9 - 14 y 19 - 20.
- Metcalf y Eddy 1995. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª Ed., McGraw - Hill. Madrid.
- Metcalf y Eddy, INC. 1991. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Ed. Labor. 2ª Ed., Barcelona. 970 p.
- Otálora A. 2011. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño gandul. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Bogotá, pp. 39 - 43.
- Queralt R. 2003. Tratamiento de aguas industriales: Generalidades, Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona.
- Quipuzco L. 2001. Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis*. Para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Disponible en: [www. Bvs de. Opsomos. Org / bvsair / e / repindex / repi84 /.../ pantanos. pdf](http://www.Bvs.de.Opsomos.Org/bvsair/e/repindex/rep84/.../pantanos.pdf). Consultado 20 ago. 2016.
- Restrepo I. 1995. Modelo para planeación de inversiones en agua y saneamiento para zona rural de Cali. Tesis de Maestría. Maestría en Ingeniería de Sistemas Universidad del Valle. Colombia.
- Rodier J. 1981. Análisis de las aguas. Barcelona, España: Ediciones Omega.

- Romero J. 2000. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero J. A. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería 3ª ed. Editorial Alfa omega. Bogotá, Colombia, pp. 231.
- Salazar D. 2003. Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales: enfoque centro América. Guatemala: PROARCA / SIGMA.
- Salazar R. y Sánchez I. 2007. Infraestructura hidráulica para acuicultura. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia, pp. 351.
- Santiago F. 1996. Sistemas de colectores y tratamiento de residuales; Primer taller de tecnologías del Agua y Saneamiento en Polos turísticos. Cuba.
- San Vicente C. 2003. Tratamiento de aguas industriales: Aguas litorales. Herramientas de gestión y control de la calidad, Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona.
- Sawyer C. y McCarty P. 2001. Química para Ingeniería Ambiental. 4ta edición. Mc Graw Hill: Colombia, pp. 586.
- SENAMHI 2010. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, BO). Información meteorológica anual. La Paz, BO. s.p. Disponible en: [http // www. Senamhi. org. bo](http://www.Senamhi.org.bo). Consultado 10 sept. 2015.
- Torres E. 2009. Propuesta de gestión del uso y manejo de las aguas de rio la vega de la Ciudad de Tunja departamento de Boyacá. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible [http: // repository. Javeriana. edu. co / bitstream / 10554 / 721 / 1 / eam40. pdf](http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/721/1/eam40.pdf). Consultado 29 Sep. 2015.
- UNLAM 2008. (Universidad Nacional Agraria la Molina) I Curso Básico de análisis de Agua, Suelos Agrícolas, Fertiriego, Hidroponía y Calidad de Alimentos. MÓDULO 1: Análisis del Agua. TEMA 3: Los Parámetros Físicos y Químicos, pp. 29 - 49.

Valderrama L. 2005. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia, pp. 3 - 7.

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis del experimento (estanques artificiales de ensayo)



Anexo 2. Parámetros considerados en el estudio

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos	Parámetros Microbiológicos
Temperatura (°C)	pH	Coliformes fecales
Conductividad Eléctrica	Sólidos sedimentables	Coliformes total
Turbidez	Sólidos disueltos	
	Sólidos suspendidos	
	Sólidos totales	
	Oxígeno disuelto (OD)	
	Calcio (Ca)	
	Magnesio (Mg)	
	Potasio (K)	
	Sodio (Na)	
	Amonio (NH ₄)	
	Cloruro (Cl)	
	Carbonatos (CO ₃)	
	Fosforo total	
	Sulfatos (SO ₄)	
	DQO	
	DBO ₅	

Anexo 3. Sistema de retención de sólidos gruesos en la rejilla



Foto 1. Sólidos gruesos en la cámara de rejilla.



Foto 2. Cámara de rejilla con elementos gruesos como ser bolsas plásticas, envases de champú, preservativos y toallas femeninas.



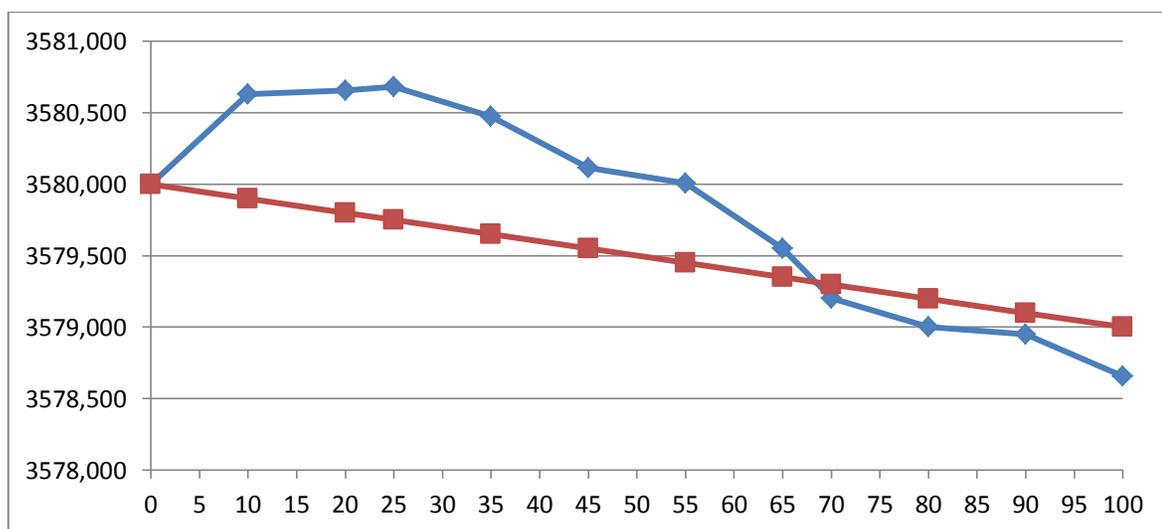
Foto 3. Desarenador con elementos sedimentables y cámaras de sedimentación.

Anexo 4. Las cuotas para sistema de alimentación del agua residual a los estaques artificiales de ensayo

Primera toma y sus cuotas: detrás de la biblioteca antigua

	MODIF		m	cm	
PROG.	C. TERRENO	C. RAS1	EXC	EXC	Obs.
0	3580,000	3580,000	0,000	0,000	
10	3580,631	3579,900	0,731	73,100	corte
20	3580,657	3579,800	0,857	85,700	corte
25	3580,683	3579,750	0,933	93,300	corte
35	3580,474	3579,650	0,824	82,400	corte
45	3580,114	3579,550	0,564	56,400	corte
55	3580,008	3579,450	0,558	55,800	corte
65	3579,549	3579,350	0,199	19,900	corte
70	3579,203	3579,300	-0,097	-9,700	terraplen
80	3579,001	3579,200	-0,199	-19,900	terraplen
90	3578,949	3579,100	-0,151	-15,100	terraplen
100	3578,657	3579,000	-0,343	-34,300	terraplen
110	3578,272	3578,900	-0,628	-62,800	terraplen

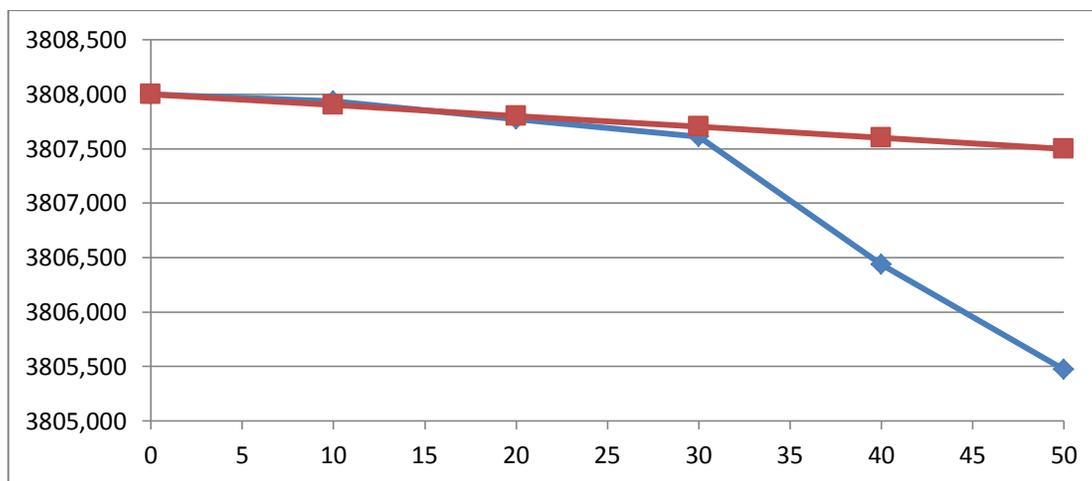
DESN. = -1,728



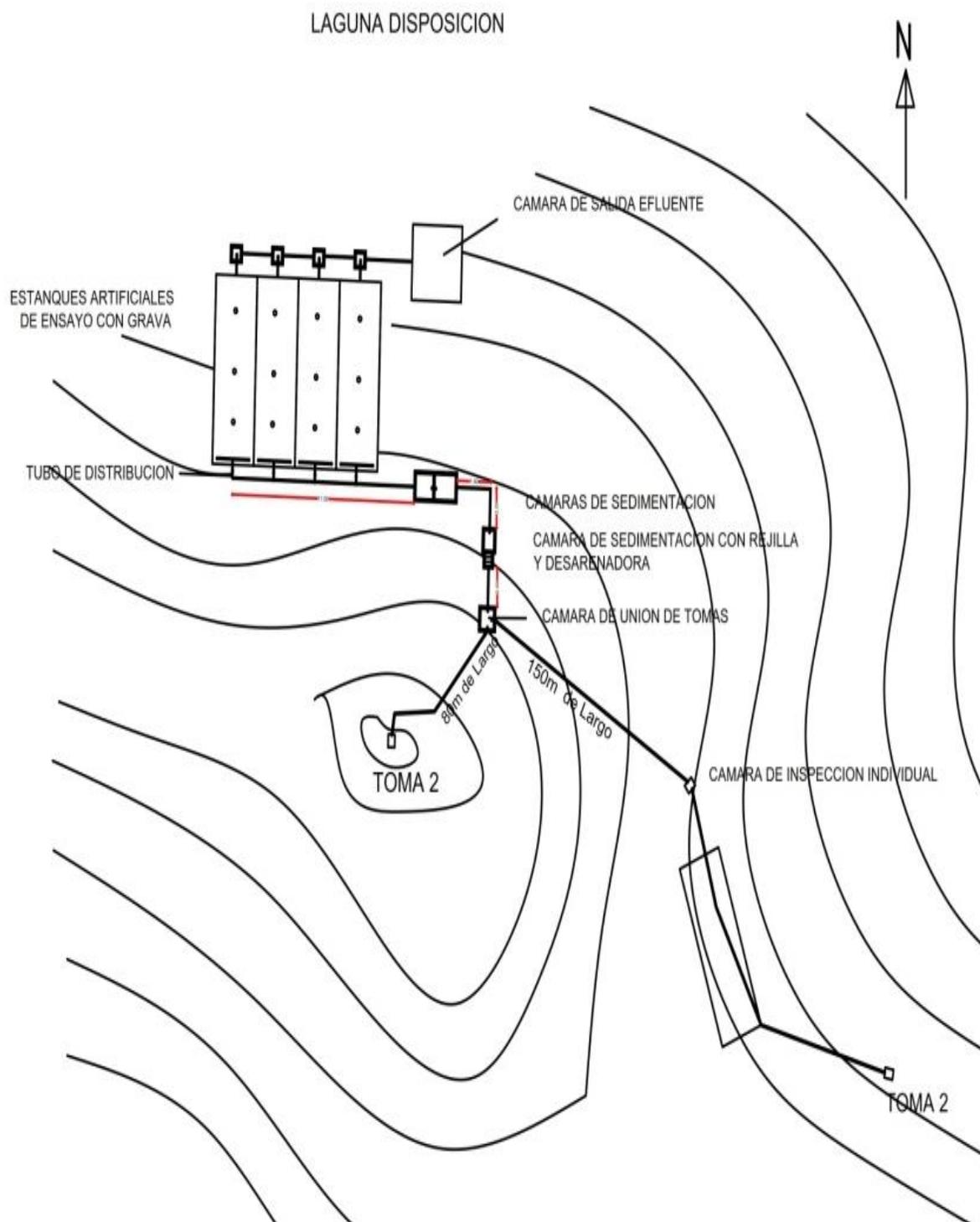
Segunda toma y sus cuotas: baño de veterinaria

	MODIF		m	cm	
PROG.	C. TERRENO	C. RAS1	EXC	EXC	obs.
0	3808,000	3808,000	0,000	0,000	
10	3807,934	3807,900	0,034	3,400	corte
20	3807,771	3807,800	-0,029	-2,900	relleno
30	3807,611	3807,700	-0,089	-8,900	relleno
40	3806,438	3807,600	-1,162	-116,200	relleno
50	3805,474	3807,500	-2,026	-202,600	relleno

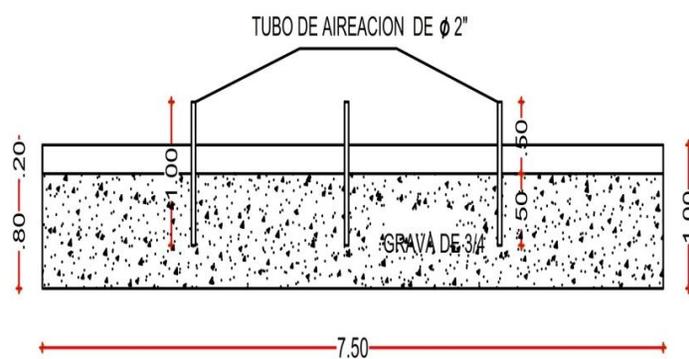
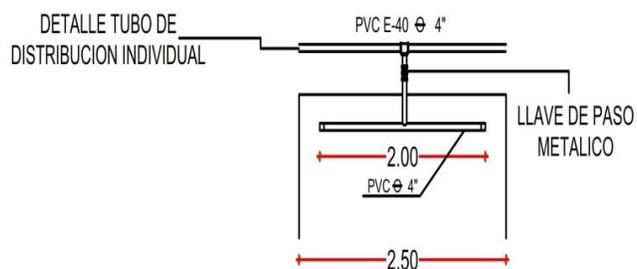
DESNIV. = -2,526



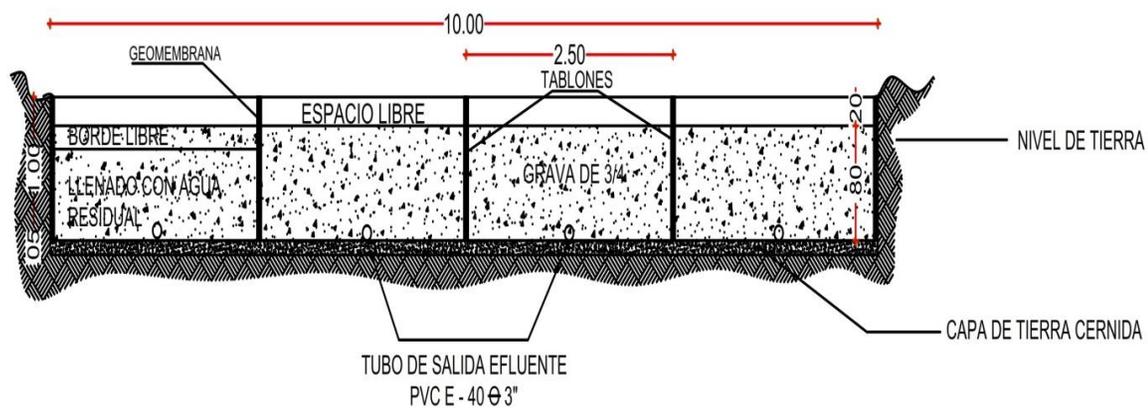
Anexo 5. Plano general del proceso constructivo de los estanques artificiales de ensayo y de las tomas del agua residual para el tratamiento.



Corte lateral del estanque artificial

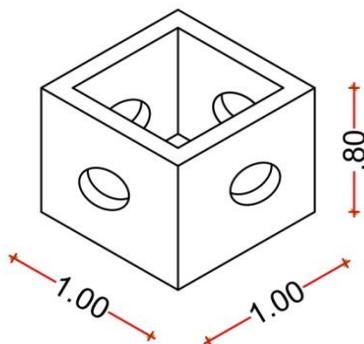


CORTE LATERAL DE ESTANQUES ARTIFICIALES DE ENSAYO CON GRAVA

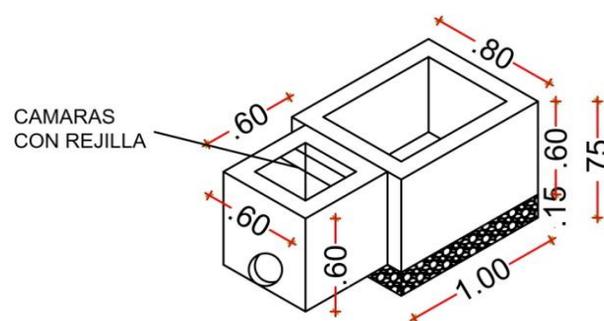


Corte lateral de las cámaras

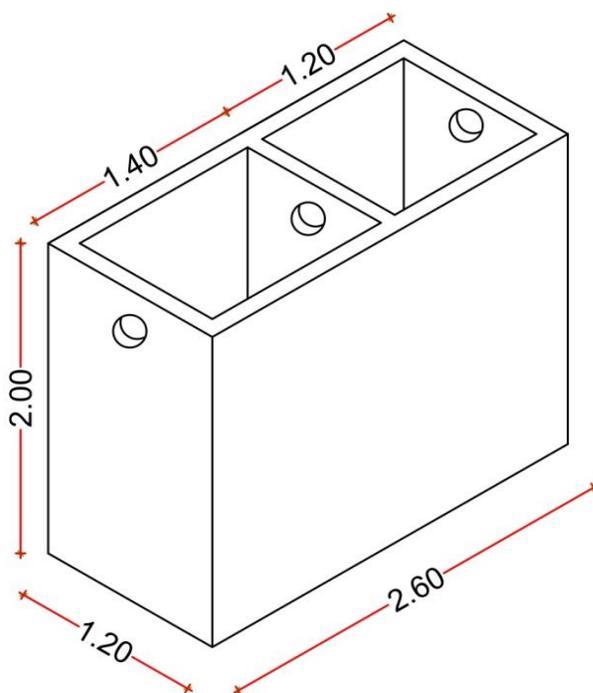
CAMARA DE UNION DE TOMAS



CAMARA DESARENADORA Y DE SEDIMENTACION



CAMARA DE SEDIMENTACION Y DE DISTRIBUCION



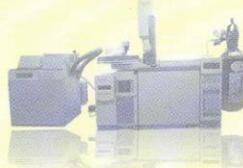
Anexo 6. Detalle general de los materiales

Dependencia: Área de ciencias agrícolas, pecuarias y recursos naturales, (UPEA) Carrera: Ingeniería Agronómica Proyecto: Tratamiento de AR através de estanques artificiales de ensayo					
Nº	DESCRIPCION	Unidad	Cantidad utilizado	Precio Unid. (Bs)	Precio Total (Bs)
1	EXCAVACIONES				
1	Excavación a manual de zanjas, cámaras, nivelado del suelo, cernido de tierra y tapado de los zanjas	Jornal	10 días	150	1500.00
2	Excavación con maquinaria pesada (retroexcavadora), zanjado excavación de las cámaras y estanques artificiales de ensayo	Tiempo	15 hora	250	3750.00
2	SISTEMA DE ADUCCION DE TUBERIAS				
	Mano de obra calificada para desagüe	Jornal	3 días	150	450.00
1	Tubos de PVC de Ø 4" normal de (4 m) para sistema de alimentación del agua residual	Barra	65	65	4225.00
2	Tubos de E - 40 de Ø 4" de (6 m) para la entrada del agua residual (afluente) a los estanques artificiales que esta adjuntado con paso de llave metálico	Barra	3	300	900.00
3	Tubos de E - 40 de Ø 3" de (6 m) para la salida del agua tratada (efluente)	Barra	1	260	260.00
4	Tubos de E - 40 de Ø 2" de (6 m) para aeración	Barra	3	200	600.00
5	Codos de PVC de Ø 4" normal	Unidad	3	10	30.00
6	Codos de E - 40 de Ø 4" para la entrada del agua residual (afluente)	Unidad	1	35	35.00
7	Tee de E - 40 de Ø 4" para la entrada del agua residual (afluente)	Unidad	3	40	120.00
8	Pegamento del tubo PVC	Litro	2	35	70.00
9	Tracarro adjuntado con paso de llave metálico del afluente	Unidad	4	20	80.00
10	Reductores plásticas de Ø 3" a 2" para efluente	Unidad	4	15	60.00
11	Reductores a rosca de Ø 2" para paso de llaves plásticos de salida del agua tratada efluente	Unidad	4	15	60.00
3	PASO DE LLAVES				
1	Paso de llave metálica de Ø 4" para alimentación individual a los estanques artificiales de ensayo (afluente)	Unidad	4	800	3200.00

2	Paso de llave plástico de \varnothing 2" para salida del agua tratada (efluente)	Unidad	4	80	320.00
4	FIERROS DE CONSTRUCCION				
1	Barras de 3/8 de (12 m) se utilizó para las cámaras de sedimentación, rejilla y para las tapas de las cámaras	Barra	15	65	975.00
2	Barras de 1/4 de (12 m) para las tapas de las cámaras individuales	Barra	2	35	70.00
5	CLAVOS				
1	Clavos de 2" para el armado de los estanques artificiales de ensayo	Kg	4	20	80.00
2	Clavos de 1"	Kg	2	20	40.00
3	Clavos de 4"	Kg	2	25	50.00
4	Alambre de amare	Kg	2	15	30.00
6	ÁRIDOS				
1	Grava de 3/4" para estanques artificiales	M3	60	120	7200.00
2	Arena corriente para las cámaras y tapas de las cámaras	M3	15	100	1500.00
3	Arena fina	M3	2	120	240.00
4	Piedra	M3	2	100	200.00
5	Cemento viacha de 50 Kg	Bolsa	20	55.50	1110.00
6	Ladrillo para las cámaras de inspección e individuales del efluente	Unidad	600	1	600.00
7	TAPAS ESTRUCTURA METALICA				
1	Tapas metálicas de las cámaras de sedimentación y de distribución	Unidad	2	1800	3600.00
2	Tapas de cemento para las cámaras de inspección e individuales	Jornal	2 días (12 tap.)	150	300.00
8	MADERA				
1	Tablones de 1" x 25 cm x 2.5 m de largo para estructura de los estanques artificiales de ensayo	Pza	36	60	2160.00
2	Tablones de 1" x 25 cm x 3 m de largo para cámara del efluente	Pza	8	65	520.00
3	Vegas de 2" x 5" x 1.5 m de largo para la estructura de las esquenas de los estanques artificiales de ensayo	Pza	36	25	900.00
4	Tranquilla 1" x 2" x 2.5 m de largo para asegurar a la geomenbrana	Pza	16	10	160.00
9	IMPERMEABILIZACIÓN				
1	Geomenbrana	m2	235.5	170	16485.00
10	ANALISIS LABORATORIO				
1	parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos	Glb	6	800	4800.00
PRECIO TOTAL EN (Bs)					56.680.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Resultados de análisis de Spectrolab (con cód. MAH-1 al MAH-6)

INFORME DE ENSAYO

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

N°.: 35306

<i>NOMBRE DEL CLIENTE</i>	SWISS CONTACT		
<i>DIRECCIÓN DEL CLIENTE</i>	Atn. Ing. Edwin Guarachi L.		
<i>PROCEDENCIA</i>	Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz		
<i>CARACTERISTICAS</i>	El Alto - La Paz**		
<i>RESPONSABLE MUESTREO</i>	Ing. Edwin Guarachi L.**	<i>FECHA DE MUESTREO</i>	**
<i>FECHA RECEPCIÓN</i>	2015-09-23	<i>FECHA DE ENSAYO</i>	Según detalle
<i>PÁGINA</i>	1/2	<i>FECHA DE ENTREGA</i>	2015-10-26

RESULTADOS:		Código Cliente		MAH-01	MA-01	MA-02
		Código Laboratorio		6236	6237	6238

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.			
pH		2015-09-29	ASTM D 1293-99		8,7	6,9	7,2
Temperatura	°C	2015-09-29			19,8	19,7	19,6
Conductividad	µS/cm	2015-09-29	ASTM D 1125-95	5	1209	244	1416
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-09-30	STM 2540 C	5	476	170	886
Sólidos Suspendedos	mg/l	2015-09-30	DIN 38409 T2	1	9	<1	1457
Sólidos Totales	mg/l	2015-09-30	DIN 38409 H1	1	485	170	2343
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-09-30	DIN 38409 T9	0,1	0,1	<0,1	60,0
Turbidez	NTU	2015-09-30	DIN 38404 T2	0,05	14,00	1,50	41,80
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-09-30	ASTM D-888	0,1	<0,1	3,5	<0,1
Calcio Ca	mg/l	2015-09-30	ASTM D 511-03	0,01	22,00	14,48	72,23
Magnesio Mg	mg/l	2015-09-30	ASTM D 511-03	0,01	6,31	6,19	21,05

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

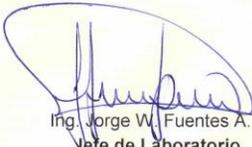
LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

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

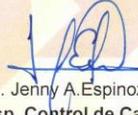
Conductividad Electrica = microsiemens /cm = micromhos/cm, medida a 21,2 °C



T.S. 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

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



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.: 35306

NOMBRE DEL CLIENTE

SWISS CONTACT

DIRECCIÓN DEL CLIENTE

Atn. Ing. Edwin Guarachi L.

PROCEDENCIA

Calle Fernando Guachalla entre Jacinto B. - La Paz

CARACTERÍSTICAS

El Alto - La Paz**

RESPONSABLE MUESTREO

Ing. Edwin Guarachi L.**

FECHA DE MUESTREO **

FECHA RECEPCIÓN

2015-09-23

FECHA DE ENSAYO

Según detalle

PÁGINA

2/2

FECHA DE ENTREGA

2015-10-26

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente			MA-02
					Código Laboratorio	MAH-01	MA-01	
Potasio	K	2015-09-30	ASTM D 4191-03	0,01	6236	6237	6238	94,87
Sodio	Na	2015-09-30	ASTM D 3561-02	0,03	6236	6237	6238	147,96
Amonio	NH ₄	2015-09-28	ASTM D 1426-03	0,05	6236	6237	6238	43,95
Cloruro	Cl ⁻	2015-09-30	ASTM D 512-04B	0,1	6236	6237	6238	816,5
Carbonatos	CO ₃ ⁼	2015-09-26	ASTM D 3875-03	0,1	6236	6237	6238	<0,1
Fósforo Total	P _T	2015-09-30	EPA 365.2	0,01	6236	6237	6238	7,03
Sulfatos	SO ₄ ⁼	2015-09-26	ASTM D 516-02	0,2	6236	6237	6238	10,7
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	2015-09-30	SM 9222 B	0	6236	6237	6238	6400
Coliformes Totales	UFC/100 ml	2015-09-30	SM 9221 B	0	6236	6237	6238	7200
DBO ₅	mg/l	2015-09-30	DIN 38409 T 51 mod.	5	6236	6237	6238	673
DQO	mg/l	2015-09-30	ASTM D 1252-00	2	6236	6237	6238	961

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.

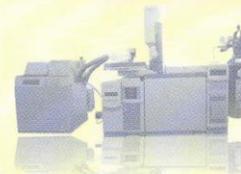
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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



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°.: 35307

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

RESULTADOS:

PARAMETRO	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma/Método	LD/ppm	Código Cliente	MAH-02	MAB-01
					Código Laboratorio	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 Suspendidos	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 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.

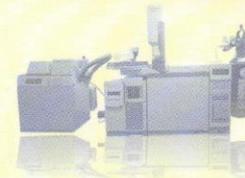
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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



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 Código Laboratorio LD/ppm	MAH-02	MAB-01
					6587	6588
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

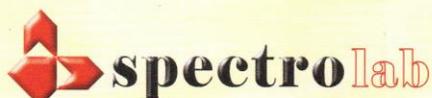
Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Resp. Control de Calidad

- 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



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

1/2

FECHA DE ENTREGA 2015-12-09

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente			
					Código Laboratorio	MAB-02 7887	MAB-03 7888	MAH-03 7889
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 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.

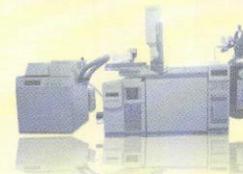
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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

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



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**

CARACTERÍSTICAS

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. 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.

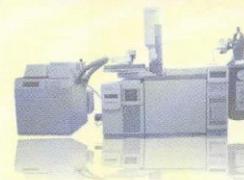
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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



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
DIRECCIÓN DEL CLIENTE El Alto - La Paz
PROCEDENCIA Kallutaca - El Alto**
CARACTERISTICAS Agua
RESPONSABLE MUESTREO Sr. Ismael Roque**
FECHA RECEPCIÓN 2015-11-16
PÁGINA 1/4

FECHA DE MUESTREO 2015-11-13**
FECHA DE ENSAYO Según detalle
FECHA DE ENTREGA 2015-12-15

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente		
					Código Laboratorio	MAB-05 7981	MAB-06 7982
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. Rosmery 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.

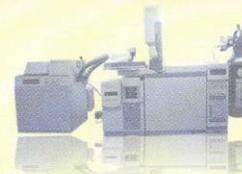
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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)5260008
5262983
5264666



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
DIRECCIÓN DEL CLIENTE El Alto - La Paz
PROCEDENCIA Kallutaca - El Alto**
CARACTERISTICAS Agua
RESPONSABLE MUESTREO Sr. Ismael Roque**
FECHA RECEPCIÓN 2015-11-16
PÁGINA 2/4

FECHA DE MUESTREO 2015-11-13**
FECHA DE ENSAYO Según detalle
FECHA DE ENTREGA 2015-12-15

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. 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.

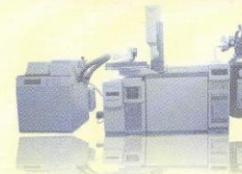
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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



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		
DIRECCIÓN DEL CLIENTE	El Alto - La Paz		
PROCEDENCIA	Kallutaca - El Alto**		
CARACTERISTICAS	Agua		
RESPONSABLE MUESTREO	Sr. Ismael Roque**	FECHA DE MUESTREO	**
FECHA RECEPCIÓN	2015-11-16	FECHA DE ENSAYO	Según detalle
PÁGINA	3/4	FECHA DE ENTREGA	2015-12-15

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente		
					MAH-06	MAP-03	MAL-04
					7984	7985	7986
pH		2015-11-16	ASTM D 1293-99		7,6	7,0	7,4
Temperatura	°C	2015-11-16			20,8	20,9	21,2
Conductividad	µS/cm	2015-11-16	ASTM D 1125-95	5	1697	266	1242
Sólidos Sedimentables	ml/l	2015-11-23	DIN 38409 T9	0,1	<0,1	<0,1	4,0
Sólidos Disueltos	mg/l	2015-11-23	STM 2540 C	5	636	184	678
Sólidos Suspendidos	mg/l	2015-11-23	DIN 38409 T2	1	1	<1	272
Sólidos Totales	mg/l	2015-11-23	DIN 38409 H1	1	637	184	950
Turbidez	NTU	2015-11-21	DIN 38404 T2	0,05	6,90	1,30	28,50
Oxígeno Disuelto	mg/l	2015-11-19	ASTM D-888	0,1	<0,1	3,3	0,1
Calcio Ca	mg/l	2015-11-18	ASTM D 511-03	0,01	47,52	12,53	48,80
Magnesio Mg	mg/l	2015-11-17	ASTM D 511-03	0,01	10,81	6,05	19,14

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

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

UFC/100 = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml

T.S. Rosmerly 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.

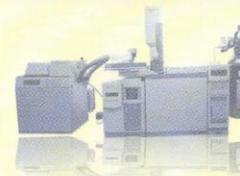
Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

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



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

RESULTADOS:					Código Cliente	MAH-06	MAP-03	MAL-04
					Código Laboratorio	7984	7985	7986
Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.				
Potasio	K	mg/l	2015-11-17	ASTM D 4191-03	0,01	45,04	4,65	85,66
Sodio	Na	mg/l	2015-11-17	ASTM D 3561-02	0,03	148,13	32,06	129,83
Amonio	NH ₄ ⁺	mg/l	2015-11-25	ASTM D 1426-03	0,05	91,81	<0,05	31,91
Carbonatos	CO ₃ ⁼	mg/l	2015-11-19	ASTM D 3875-03	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cloruro	Cl ⁻	mg/l	2015-11-23	ASTM D 512-04B	0,1	186,1	23,3	176,6
Fósforo Total	P _T	mg/l	2015-11-23	EPA 365.2	0,01	6,90	0,18	4,30
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	2015-11-20	ASTM D 516-02	0,2	48,6	7,2	30,3
DQO		mg/l	2015-11-23	ASTM D 1252-00	2	84	4	4
DBO ₅		mg/l	2015-11-24	DIN 38409 T 51 mod.	5	63	<5	<5
Coliformes Fecales	UFC/100 ml		2015-11-18	SM 9222 B	0	63000	0	0
Coliformes Totales	UFC/100 ml		2015-11-18	SM 9221 B	0	72000	0	0

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

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 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)5260008
5262983
5264666