

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
CON APLICACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO
SOSTENIBLES CON COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
ECONÓMICOS PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES
DESCENTRALIZADAS EN TACNA
(CONO SUR) - PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. CESAR HUANACUNI LUPACA

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS CON APLICACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS
DE TRATAMIENTO SOSTENIBLES CON COSTOS DE
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ECONÓMICOS
PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES
DESCENTRALIZADAS EN TACNA
(CONO SUR) – PERÚ**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de agosto del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :
Dr. Oscar Octavio Fernández Cutire

SECRETARIO :
Dr. César Julio Cáceda Quiroz

MIEMBRO :
Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina

ASESOR :
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

DEDICATORIA

A toda mi familia, a mis queridos padres, mi esposa e hijas, que son la fuerza que me impulsan a continuar y seguir esforzándome.

A todos mis profesores, amigos y compañeros que de una u otra forma estuvieron a mi lado para darme el apoyo moral para que pudiese llegar a la culminación del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

A mi creador por su inmenso amor y misericordia; a mi profesor Juan José Salas por su enseñanza en éste campo maravilloso del agua.

Mi profundo agradecimiento al Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila por su apoyo incondicional, paciencia y consejos para la culminación del presente trabajo de investigación como asesor.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
RESUMO	xvii
INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	04
1.1.1. Antecedentes del problema	04
1.1.2. Problemática de la investigación.....	05
1.2. Formulación del problema	09
1.3. Justificación e importancia	10
1.4. Alcances y limitaciones	19
1.5. Objetivos	20
1.6. Hipótesis.....	21

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	23
2.2. Bases teóricas	28
2.3. Definición de términos	52

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	56
3.2. Población y muestra	56
3.3. Operacionalización de variables.....	60
3.3.1. Identificación de las variables.	60
3.3.2. Caracterización de las variables	60
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	63
3.4.1. Materiales y/o instrumentos	92
3.5. Metodologías de laboratorio aplicados	97
3.6. Procesamiento y análisis de datos	98

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Ubicación del área de estudio	99
4.2. Topografía del terreno	101
4.3. Ubicación de los puntos de muestreo.....	102
4.4. Distribución de los puntos de muestreo por cada tratamiento	104

4.5. Resultados de parámetros in situ	105
4.5.1. Caracterización del caudal.....	105
4.5.2. Caracterización físicas, químicas y microbiológicas del afluente al piloto (agua residual)	107
4.5.3. Resultados de parámetros de laboratorio por tratamientos	124
4.5.4. Resultados de eficiencias de remoción de los sistemas de tratamiento	134
 CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	
Discusión	166
 CONCLUSIONES	
CONCLUSIONES	175
RECOMENDACIONES.....	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
ANEXOS.....	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Inventario de fuentes contaminantes registrados por la ANA en la región Tacna	12
Tabla 2.	Tabla de Límites Máximos Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.....	63
Tabla 3.	Cargas volumétricas y rendimientos en función de la T ^o de diseño	70
Tabla 4.	Valores de KR:.....	74
Tabla 5.	Valores de la porosidad, tamaño efectivo, y conductividad hidráulica en diversos sustratos.....	75
Tabla 6.	Memoria de cálculo para el dimensionamiento de las unidades de lagunas anaerobias	78
Tabla 7.	Memoria de cálculo para dimensionamiento de unidades de humedales artificiales.....	80
Tabla 8.	Memoria de cálculo para dimensionamiento de unidades de biofiltros y biojardines.....	82
Tabla 9.	Ubicación geográfica de la PTAR	102
Tabla 10.	Ubicación de los puntos de Muestreo	103
Tabla 11.	Resultados de medición de caudales del sistema piloto.....	105

Tabla 12.	Reporte de análisis de laboratorio con valores mínimos y máximos al ingreso del sistema piloto durante los 05 meses de evaluación experimental.....	107
Tabla 13.	Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 1	124
Tabla 14.	Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 2	126
Tabla 15.	Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 3	128
Tabla 16.	Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 4	130
Tabla 17.	Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 5	132
Tabla 18.	Resultados de eficiencias	134
Tabla 19.	Tabla ANOVA para el parámetro pH.....	136
Tabla 20.	Tabla ANOVA para el parámetro temperatura	138
Tabla 21.	Tabla ANOVA para el parámetro turbiedad	140
Tabla 22.	Tabla ANOVA para el parámetro conductividad	143
Tabla 23.	Tabla ANOVA para el parámetro aceites y grasas	146
Tabla 24.	Tabla ANOVA para el parámetro DBO5	149
Tabla 25.	Tabla ANOVA para el parámetro DQO	152
Tabla 26.	Tabla ANOVA para el parámetro Arsénico total.....	155
Tabla 27.	Tabla ANOVA para el parámetro SST	158
Tabla 28.	Tabla ANOVA para Coliformes Termotolerantes	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ilustración del Centro Experimental de Aguas Residuales (CENTA) Sevilla-España	28
Figura 2.	Vista de la Laguna Primaria 1	57
Figura 3.	Punto captación piloto.....	57
Figura 4.	Ubicación de la zona del proyecto piloto.....	58
Figura 5.	Ubicación de la zona experimental de la tesis de investigación.	59
Figura 6.	Esquema del Proyecto piloto en la planta de Cono Sur, Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna	59
Figura 7.	Vista inicial de zona experimental.....	65
Figura 8.	Vista terreno en PTAR.....	65
Figura 9.	Reconocimiento de zona experimental	66
Figura 10.	Captación de agua con tubería 4”.....	66
Figura 11.	Aforo caudal de ingreso.....	66
Figura 12.	Supervisión en campo del asesor Dr. Alberto Quispe.....	67
Figura 13.	Muestreo para caracterización.....	68
Figura 14.	Tomas de muestras AR.....	68
Figura 15.	Laguna anaerobia 1	72
Figura 16.	Laguna anaerobia y humedales.....	72

Figura 17. Humedal Artificial Sub Superficial1	76
Figura 18. Humedal Sub Superficial 2 (T2).....	76
Figura 19. Zona de construcción de los humedales artificiales y lagunas anaerobias.....	77
Figura 20. Dimensiones de la Laguna Anaerobia 1 (Vista lateral y en planta).....	79
Figura 21. Dimensiones de la Laguna Anaerobia 2 (Vista lateral y en planta).....	79
Figura 22. Dimensiones de los humedales (Vista tridimensional).....	81
Figura 23. Dimensiones de los humedales (Vista en planta)	81
Figura 24. Dimensiones de las unidades en vista tridimensional.....	83
Figura 25. Dimensiones de las unidades en vista en planta.	84
Figura 26. Figura 26: Vista de humedales con biojardines	84
Figura 27. Biojardines del T3, T4 y T5	84
Figura 28. Vista de humedales con biojardines	85
Figura 29. Biojardines del T3, T4 y T5.....	85
Figura 30. Vista humedales con aserrín.....	85
Figura 31. Biojardines del T3A, T4B y T5B.....	85
Figura 32. Conducción efluentes a zona de reúso	90
Figura 33. Trabajos de habilitación de zona de reúso.	90

Figura 34. Configuración de distribución de ingreso y salida del humedal y biojardín. Tubería principal con múltiples salidas y tuberías de pie en zanja rellena de grava con única tubería de salida.....	91
Figura 35. Tuberías de 4" PVC cribadas	91
Figura 36. Disposición tuberías conducción.....	91
Figura 37. Proceso de preparación de cultivos de microorganismos.....	95
Figura 38. Ubicación de la zona experimental en la PTAR Cono Sur del Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa.	100
Figura 39. Topografía general de la PTAR Cono Sur	102
Figura 40. Distribución de puntos de muestreo en los tratamientos	104
Figura 41. Determinación de caudales de diseño y de operación al sistema piloto experimental.	106
Figura 42. Resultado de análisis de laboratorio para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO 5) durante los 05 días	109
Figura 43. Resultado de análisis de laboratorio de la Demanda Química de Oxígeno durante 5 meses de evaluación.	111
Figura 44. Resultado de análisis de laboratorio de Aceites y Grasas durante los 5 meses de evaluación.....	113
Figura 45. Resultado análisis de laboratorio de Sólidos Suspendidos Totales durante 5 meses de evaluación.....	115

Figura 46. Resultado de análisis del parámetro de campo pH durante los 5 meses de evaluación.....	118
Figura 47. Resultado de análisis del parámetro de campo temperatura durante los 5 meses de evaluación.	120
Figura 48. Resultados de análisis de Coliformes termotolerantes durante los 5 meses de evaluación.....	122
Figura 49. Valores de medianas de pH en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.....	137
Figura 50. Valores de medianas de la Temperatura en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	139
Figura 51. Valores de medianas de la de Turbidez en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	142
Figura 52. Valores de medianas de la Conductividad en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	145
Figura 53. Valores de medianas de Aceites y Grasas en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	148
Figura 54. Valores de medianas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	151

Figura 55. Valores de medianas de la Demanda Química de Oxígeno en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	154
Figura 56. Valores de medianas de Arsénico Total en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	157
Figura 57. Valores de medianas de los SST en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	159
Figura 58. Valores de medianas de los Coliformes Termotolerantes en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	162
Figura 59. Biodegradabilidad	163
Figura 60. Valores de medianas en medición de Coeficiente de Biodegradabilidad en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.	165

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad de depuración de diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas (combinación de lagunas anaerobias, biodigestores, humedales artificiales de flujo horizontal con vegetación y sin vegetación, y tratamientos con humedales artificiales subsuperficiales modificados como biojardines activados) y sus costos de operación y mantenimiento como alternativas de manejo sostenible para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú. Estos resultados permiten definir que, a pesar de que todos los sistemas de tratamiento estaban sobrecargados hidráulicamente, el tratamiento 4 redujo significativamente los niveles de contaminación del agua residual, pero sin embargo no se logró reducir a los niveles por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) en algunos de los parámetros, teniendo el detalle de que el arsénico se reduce en el tiempo. Se recomienda mejorar su eficiencia con la incorporación de celdas complementarias de afinamiento con una relación de largo ancho 4:1 para el mejoramiento del sistema integral; así como de diseñar y evaluar humedales con el enfoque de remoción del arsénico.

Palabras clave: Depuración, aguas residuales, tratamientos sostenibles.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the purification capacity of different domestic wastewater treatment technologies (combination of anaerobic lagoons, biodigesters, artificial wetlands of horizontal flow with vegetation and without vegetation, and treatments with modified subsurface artificial wetlands such as activated bio gardens) and its operation and maintenance costs as sustainable management alternatives for small decentralized communities in Tacna - Peru. These results allow to define that, although all the treatment systems were hydraulically overloaded, the treatment 4 significantly reduced the levels of contamination of the wastewater, but nevertheless it was not possible to reduce to the levels below the Maximum Permissible Limits (LMP) in some of the parameters, having the detail that arsenic is reduced over time. It is recommended to improve its efficiency with the incorporation of complementary tuning cells with a 4: 1 long width ratio for the improvement of the integral system; as well as to design and evaluate wetlands with the arsenic removal approach.

Keywords: Purification, wastewater, sustainable treatments.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar a capacidade de purificação de diferentes tecnologias de tratamento de águas residuais domésticas (combinação de lagoas anaeróbias, biodigestores, áreas úmidas artificiais de fluxo horizontal com vegetação e sem vegetação, e tratamentos com áreas úmidas artificiais de subsuperfície modificada, como bio-jardins ativados) e seus custos de operação e manutenção como alternativas de gerenciamento sustentável para pequenas comunidades descentralizadas em Tacna - Peru. Esses resultados permitem definir que, embora todos os sistemas de tratamento tenham sido sobrecarregados hidráulicamente, o tratamento 4 reduziu significativamente os níveis de contaminação das águas residuais, mas, no entanto, não foi possível reduzir os níveis abaixo dos limites máximos admissíveis (LMP) em alguns parâmetros, com detalhes de que o arsênico é reduzido ao longo do tempo. Recomenda-se melhorar sua eficiência com a incorporação de células sintonizadoras complementares com uma proporção de largura de 4: 1 para a melhoria do sistema integral; bem como projetar e avaliar áreas úmidas com a abordagem de remoção de arsênico.

Palavras-chave: Purificação, águas residuais, tratamentos sustentáveis

INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del agua superficial en el Perú y en Tacna es una problemática que tiene repercusiones en la salud de la población y en la economía regular de cada familia. Esta calidad se ve afectada principalmente por causas naturales y antropogénicas; en este último, destaca principalmente la presencia de botaderos de residuos sólidos, inadecuado tratamiento de aguas residuales y el vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento hacia los cuerpos de aguas superficiales.

Asimismo, la innovación y modernización en la gestión de las aguas residuales es una de las situaciones más importantes que se plantea en las ciudades, sobre todo por la necesidad de optimizar el tratamiento de los residuos y efluentes para que el impacto en el ambiente sea mínimo, y realizarlo con eficiencia, eficacia y menor gasto energético posible.

Según el *“Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento”* publicado el 2015 por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), en cuanto a la cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado en el ámbito de la

EPS, reportaron que hasta diciembre de 2013, 17,5 millones de habitantes contaban con servicio de agua potable y 16 millones con servicio de alcantarillado; en promedio, 2,59 millones de m³ de aguas residuales fueron descargados al alcantarillado y requirieron tratamiento antes de su disposición en el medio ambiente o su reúso. Considerando la diferencia de habitantes con servicio de agua potable y con servicio de alcantarillado (1,5 millones de habitantes), se puede estimar que actualmente no se capta 238 000 m³/día de agua residual en el sistema de alcantarillado (SUNASS, 2015).

Asimismo, de las 253 localidades del ámbito de las EPS a nivel nacional, 89 no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los ríos, mares, quebradas, lagunas o drenes. En las 164 localidades restantes, todas o parte de las aguas residuales vertidas al alcantarillado son conducidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales, donde en su mayoría están sobrecargadas orgánica e hidráulicamente, además de tener serios problemas para asumir los costos regulares de operación y mantenimiento.

Estas situaciones exigen contar con una alternativa diferente, innovadora, ecológica en el tratamiento de aguas residuales, sobre todo

sostenible, donde no se comprometa los costos de operación y mantenimiento de una PTAR, y de esta manera reducir el impacto de las actividades humanas ocasionada por los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento hacia los cuerpos de aguas superficiales. Es así, que, en la presente tesis, con el financiamiento de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, plantea un nuevo enfoque de tratamiento de aguas residuales que estén a la vanguardia de los requerimientos ambientales, considerando la base de los métodos de tratamiento que emplean vegetaciones para eliminar o remover contaminantes en los medios acuosos como son los humedales artificiales.

Por tal motivo, en la investigación **“Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna (Cono Sur) – Perú”** se evaluó el uso de modificaciones y optimizaciones de un humedal artificial empleando diversas vegetaciones y sustratos mediante una prueba piloto en campo en la zona adyacente a la PTAR de Cono Sur, bajo un caudal constante, el cual se tradujo en el siguiente informe final, dividido en VI Capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

La investigación en la problemática de las aguas residuales es importante, ya que su inadecuada gestión, en la actualidad viene siendo un grave riesgo para la salud pública, calidad de vida y ambiente en Latinoamérica, el Perú y la región de Tacna. Este es un problema realmente crítico, ya que para lograr los objetivos de desarrollo sostenible, resulta fundamental revisar los conceptos, tecnologías de tratamientos y paradigmas tradicionales, introduciendo nuevas alternativas y enfoques integrales que consideren el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el contexto de una economía circular que promueva la recuperación de biomasa, nutrientes, aprovechamiento del recurso, reúso, así como la cogeneración de energía en las aguas residuales.

Los antecedentes respecto al uso de humedales artificiales subsuperficiales horizontales en el Perú ha sido incipiente; y en la región de Tacna, aún no hay estudios significativos respecto al uso de dicha

tecnología, considerando que son unidades para tratamiento de las aguas residuales, que pueden tratar vertidos provenientes desde una, hasta varias viviendas familiares, o hasta pequeñas comunidades, las mismas que pueden contribuir a la solución de la problemática de aguas residuales.

También, se tiene como antecedentes que, en el país de Costa Rica, estas estructuras de tratamiento modificadas bajo la forma de biojardineras, tienen un uso masivo para el tratamiento de las aguas grises.

1.1.2. Problemática de la Investigación

En el foro “Tratamiento y reúso de las aguas residuales Perú ¿Un reflejo de la región?” organizado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en mayo 2017, se debatió la visión para el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de sus recursos, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); asimismo, se caracterizó la situación actual del tratamiento de aguas residuales, en donde, según el estudio “Repensando la Infraestructura en América Latina y el Caribe: gastar mejor para lograr más”, realizado por el Banco Mundial concluye en la región que (Banco Mundial, 2017):

- “Junto al transporte, la gestión de las aguas residuales es uno de los principales retos de infraestructura.
- No alcanza con más dinero: el gasto público debe ser más eficiente y focalizado.
- Las inversiones en aguas residuales deben promover la recuperación de los recursos para hacerlas más sostenibles.
- Mejorar el desempeño de los prestadores de servicios es fundamental: sólo el 20 % genera ingresos suficientes para conseguir financiamiento en el mercado.
- El cambio climático, desastres naturales y fenómenos meteorológicos extremos están afectando la capacidad de la infraestructura existente.
- La cuenca del Amazonas y las costas de Perú muestran una tendencia a la sequía, por lo que la reutilización y tratamiento de las aguas residuales son una fuente adicional de suministro.”

En el Perú (Banco Mundial, 2017):

- La cobertura de tratamiento de aguas residuales es baja, en la zona urbana se sitúa alrededor del 70 % de la población al final de 2015. Incrementarla en el futuro sería más costoso y complejo en el Perú, pues requerirá de la construcción de gran

número de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de menor tamaño para servir ciudades medianas y pequeñas.

- Las PTAR existentes sufren de problemas técnicos y operativos. Su desempeño es deficiente. Se evidencian deficiencias en la selección de la tecnología de tratamiento de las PTAR, para el diseño, construcción y operación y mantenimiento.
- Las EPS no tienen financiamiento adecuado para una buena operación y mantenimiento.

En la región de Tacna (Banco Mundial, 2017):

- Las aguas residuales de origen doméstico de las comunidades ubicadas a lo largo del cauce de las cuencas del río Caplina, Maure, Uchusuma, Locumba y Sama, según el diagnóstico realizado por la Autoridad Nacional del Agua ocasionan problemas de contaminación a los cuerpos naturales de aguas superficiales (ríos, lagos, lagunas, mares etc.) a consecuencia de que el 80 % de los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento inadecuado son descargados directa o indirectamente a los ríos de Tacna deteriorando su calidad físico química y microbiológica.

- En la mayoría de los casos, estas aguas provienen de plantas de tratamiento colapsadas, como consecuencia de la implementación de sistemas y diseños inadecuados de tratamiento, falta de sostenibilidad, ausencia de un mantenimiento permanente y debido a la postergación de presupuestos por parte de los gobiernos locales.
- Asimismo un inadecuado enfoque de solución, la inoperatividad y abandono de las PTAR por los altos costos de operación y mantenimiento, débil vigilancia del proceso de fortalecimiento institucional para la verificación de la calidad y cumplimiento de las normativas ambientales, así como la falta de recursos económicos y políticas públicas para la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, débil desarrollo normativo de reúso de las aguas residuales, falta de información y capacitación del recurso humano en el tratamiento y reúso de aguas residuales se suma a la problemática general que ocasionan las aguas residuales.
- Los efectos de esta problemática son el deterioro de la calidad de las aguas superficiales de las cuencas de Caplina, Maure, Locumba y Sama, ocasionado por los vertimientos de aguas residuales con altas concentraciones de coliformes,

microorganismos patógenos y aportes de materia orgánica, los cuales ocasionan una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales y diarreicas en la población circundante a estos puntos de vertimientos en estas cuencas afectando la calidad de vida y la economía del lugar.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En tal sentido, ante la problemática expuesta se plantea las siguientes interrogantes:

Interrogante General

¿Cuál de la combinación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas será el más eficiente en la depuración y manejo sostenible con bajos costos de operación y mantenimiento para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú?

Interrogante específico

¿Cuál es el porcentaje de remoción de parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos e índice de biodegradabilidad en aguas residuales domésticas mediante la aplicación de diferentes sistemas

combinados de tratamiento de aguas residuales sostenibles para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú?

¿Serán los costos de operación, económicos y sostenibles para las pequeñas comunidades descentralizadas de Tacna, mediante la aplicación del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales modificado como biojardines activados?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En los cuerpos de aguas superficiales, según el estudio de la producción de aguas servidas, tratamiento y uso en Perú, publicado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la producción de aguas residuales está basado principalmente por la producción de aguas residuales de tipo doméstico, generando un volumen anual promedio de 798 539 655 m³ de las cuales sólo 260 916 866 m³ son tratadas y es equivalente al 32 % del total de aguas residuales generadas, lo que indica un bajo porcentaje de aguas residuales tratadas (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

A pesar de los esfuerzos nacionales, existen gobiernos locales (distritales y regionales) en zonas periurbanas y rurales que no logran implementar adecuadamente los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ocasionando que dichos poblados descarguen

aguas residuales sin tratamiento o tratamiento inadecuado a los cursos de ríos principales. Si bien es cierto, que hay instituciones que logran construir plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnologías convencionales, estos no se hacen sostenible por los altos costos de operación y mantenimiento, ocasionando que en el corto plazo de iniciado su funcionamiento estas plantas colapsen o queden inoperativos.

Dentro de las principales fuentes contaminantes de los cuerpos de aguas superficiales (ríos, lagos y lagunas) en el Perú y Tacna, constituyen los vertimientos de aguas residuales poblacionales y los efluentes de aguas residuales de actividades industriales (ANA, 2013).

Asimismo, según el informe de la Autoridad Nacional del Agua (2013), las descargas directas a cuerpos de aguas superficiales de las aguas residuales domésticas sin tratamiento previo de ninguna clase, generadas por las comunidades, centros poblados, distritos y provincias, asentados a lo largo y cerca de los ríos, generan en muchos casos un exceso de carga orgánica, que consume el oxígeno de las aguas y limita la capacidad de auto purificación de los ríos, tal como indica los informes de actualización de identificación de fuentes contaminantes en las cuencas de los ríos Caplina, Maure, Uchusuma, Locumba y Sama y las fuentes contaminantes se describen en la Tabla 1 (ANA, 2013):

Tabla 1*Inventario de fuentes contaminantes en la región de Tacna*

DESCRIPCIÓN	U.H. 13156 Caplina	U.H.0148 Uchusuma	U.H. 13155 Inter cuenca	U.H. 014 Maure	U.H.1316 Locumba	U.H. 13158 Sama	TOTAL
Vertimiento sin autorización de aguas residuales domésticas.	2	1	0	1	0	01	05
Reúsos No Autorizados de Aguas Residuales	1	0	0	0	08	0	09
Disposición de residuos sólidos de origen domiciliario a cuerpo natural de agua o bienes asociados.	11	2	1	1	4	0	19
Pasivos Ambientales de Actividades Mineras	14	0	0	0	-	-	14
Vertimiento sin autorización de aguas residuales Municipales					11	10	21
Vertimientos sin autorización de aguas residuales Industriales					2	0	02
Afloraciones termales naturales					03		03

Fuente: Informe Técnico N°008-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA-TACNA/CHL; Informe Técnico N°007-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA-TACNA/CHL. Donde UH se define a la Unidad Hidrográfica de una cuenca.

En las partes altas de la cuenca de Caplina, Locumba y Sama existe contaminación orgánica debido a que los poblados o distritos poseen un sistema de tratamiento de aguas residuales (pozas sépticas, pequeñas lagunas) que en muchos casos han colapsado por superar el volumen de diseño y por falta de un mantenimiento adecuado, junto con la antigüedad de la mayor parte de estos sistemas. Estos pozos sépticos y lagunas artesanales se encuentran ubicadas muy cerca de ríos y quebradas y generalmente, no cuentan con los sistemas de percolación necesarios

para concluir el ciclo de tratamiento, con lo que los efluentes son descargados (vertimientos sin autorización) directamente al suelo llegando a los cuerpos de agua cercanos.

Otros factores de contaminación, también son considerados al uso de aguas residuales sin previo tratamiento para el riego de cultivos de tallo corto que puede ocasionar enfermedades transmisibles como la fiebre tifoidea y otras relacionadas; Además, que en la provincia de Tacna se ha evidenciado que algunas municipalidades riegan los parques y jardines de su jurisdicción con aguas residuales inadecuadamente tratadas el mismo que también contribuye a una focalización de riesgos sanitarios; en este sentido, los sistemas de tratamiento ecológicos, construidas adecuadamente, con un adecuado manejo, constituyen alternativas de solución para el reúso de las aguas con el fin de aprovecharlas en el sector agrícola, industrial, acuicultura, etc.

En el sector saneamiento del Perú, la SUNASS en el 2007, realizó el **“Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y propuestas de Solución”**, donde según el inventario tecnológico nacional, se indicó el total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, de los cuales pocos son proyectos exitosos (132 lagunas, 05 filtros percoladores, 03 lodos

activados, 01 RAFA -UASB, 02 tanques Imhoff), constituyendo el 29,1 % de aguas residuales tratadas con plantas de tratamiento, de los cuales el 81,1 % (116 PTAR) está sin mantenimiento y el 66 % (94 PTAR) presentan eficiencia de remoción de DBO₅ menor al 80 %. Quedando un 70,9 % de aguas residuales no tratadas que son vertidas a los ríos, lagos y al mar sin tratamiento previo. Ello se debe, por un lado, a la visión sesgada de las entidades que no llega a descubrir el potencial socio económico de las aguas residuales tratadas, y, por otro lado, a la ausencia de una cultura de protección del ambiente. El resultado es la contaminación de los cuerpos de agua que reciben tanto los efluentes de insuficiente calidad de las PTAR como los vertimientos de aguas residuales.

En el “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento” publicado el 2015 por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), presentaron propuestas para la mejora, siendo las principales: modificación del marco legal en lo relativo a requerimientos de calidad ambiental, creación de una política que apoye el reúso de aguas residuales tratadas y lodos generados, mejoramiento de la infraestructura de las PTAR, investigación

de mejoras tecnológicas en el tratamiento de aguas residuales apropiadas para la realidad del país, mejora en la gestión de los recursos económicos y organizacionales para la operación y mantenimiento de las PTAR y creación de un programa nacional de rehabilitación de PTAR con lagunas colmatadas.

Por tales motivos, ante la problemática existente, se realizó el trabajo de investigación para desarrollar sistemas de tratamiento de aguas residuales sostenibles, con una iniciativa ecológica innovadora atractiva, con bajos costos de operación y mantenimiento, con propósito de reducir el uso indiscriminado del agua potable en el riego de parques y jardines de las ciudades; y la reducción de la contaminación por materia orgánica, coliformes termotolerantes, metales y parásitos, ocasionado por vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento adecuado que descargan en los cuerpos de aguas superficiales de las principales cuencas de Tacna.

Asimismo, se buscó analizar varias opciones para lograr la sostenibilidad en el tratamiento de aguas residuales en las zonas urbanas y rurales de la región de Tacna y que tengan la capacidad de adaptarse y crecer con las necesidades de saneamiento de la comunidad. Evaluando

tecnologías de tratamiento apropiado para la comunidad, donde propuestas de varios tipos incluyeron sistemas con trampas de grasas, lagunas anaerobias, humedales, filtros verdes y el tratamiento con vertimiento nulo o reúso, permitirán mostrar y decidir cuál es el sistema de tratamiento adecuado considerando el clima de la zona, la topografía y los factores socioeconómicos. La característica común de todos los tipos mencionados es que estimulan la tecnología de "vertido cero"; además incluye la reutilización del efluente tratado para su reutilización agrícola.

Además, la investigación plantea desarrollar un modelo de sistema integral de tratamiento y reaprovechamiento de aguas residuales con un atractivo eco turístico que logre dar sostenibilidad a los proyectos de saneamiento con bajos costos de operación y mantenimiento y que contribuya al manejo sustentable del recurso hídrico de manera coparticipativa con las instituciones involucradas, basados en un desarrollo tecnológico ecológico.

Esta implementación de proyectos considera el manejo adecuado de los residuos sólidos (orgánicos), residuos líquidos (aguas residuales domésticas y municipales), generación de energía; cuya metodología se base en los principios aplicados en los biofiltros o humedales verticales,

transformándose en un proyecto con valores agregados adicionales como el desarrollo de un área verde como sistema depurador, zonas de techos verdes como sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante las aguas residuales, zona bioarquitectura con capacidad depurativa, cataratas depuradoras artificiales y biojardines depuradores.

- **Justificación científica**

Este trabajo de investigación, proporciona un aporte científico tecnológico en cuanto a la aplicación de humedales artificiales para las pequeñas y medianas localidades, como una alternativa sostenible para tratamiento de las aguas residuales domésticas; además que es uno de los primeros que se realizan a una escala piloto experimental en condiciones ambientales naturales, que va aportar y generar nueva base de datos de las eficiencias de capacidades de remoción de los sistemas modificados de humedales artificiales de flujo horizontal.

- **Justificación social**

Ante el reclamo de la población de reubicar la planta de tratamiento de aguas residuales por la generación de malos olores y por ocasionar la presencia de mosquitos por el tipo de tratamiento (lagunas) que se realiza, el trabajo de investigación permite generar una alternativa

diferente de tratamiento de aguas residuales, que no genere olores, ni tampoco ocasione la presencia de mosquitos.

- **Justificación económica**

La investigación plantea una nueva opción de tratamiento económico de aguas residuales, con mínima inversión para la construcción y bajos costos de operación y mantenimiento, de tal manera le permitan mantenerse funcionando durante el tiempo en comparación a otros sistemas tradicionales de tratamientos de aguas residuales, como por ejemplo las plantas compactas, que en el poco tiempo de realizada la inversión e inicio de funcionamiento se quedan inoperativos.

- **Justificación ambiental**

La implementación de este tipo de investigaciones busca remover el tratamiento de aguas residuales con un enfoque ambiental y ecológico, que no dependa del uso de la energía eléctrica o el uso de equipos mecánicos, etc.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

Se desarrolló cinco (05) diferentes técnicas de tratamiento de aguas residuales de naturaleza biodegradable capaces de lograr la remoción de componentes orgánicos, inorgánicos, metales y coliformes presentes en el agua residual doméstica utilizando como referencia y base las variantes o modificaciones de los humedales artificiales de flujo horizontal como sistemas de tratamiento con el enfoque ecoturístico, en la zona adyacente de la planta Cono Sur, como son la combinación de lagunas anaerobias, biodigestores, humedales artificiales de flujo horizontal con vegetación y sin vegetación, y tratamientos con humedales artificiales subsuperficiales modificados como biojardines activados.

Dichas técnicas de tratamiento fueron eficientes para alcanzar los límites máximos permisibles contemplado en el DS N°03-2010-MINAM (LMP para efluentes de las PTAR domésticas).

1.4.2. Limitaciones

Debido a la complejidad en regular el caudal de ingreso de aguas residuales al sistema piloto experimental, dicho sistema trabajó con un caudal de operación 10 veces superior al caudal de diseño. Asimismo, debido a los altos costos de los análisis de parámetros físicos químicos y microbiológicos de los laboratorios acreditados en INACAL, se complementó dichos análisis en el laboratorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y EPS bajo la metodología de los Métodos Estándares de Aguas y Aguas Residuales. El período de tiempo de recolección de la información comprendió 05 meses con muestras puntuales a partir de junio de 2018.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la capacidad de depuración de diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas (combinación de lagunas anaerobias, biodigestores, humedales artificiales de flujo horizontal con vegetación y sin vegetación, y tratamientos con humedales artificiales subsuperficiales modificados como biojardines activados) y sus costos de operación y mantenimiento como alternativas de manejo

sostenible para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de remoción de parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos e índice de biodegradabilidad en aguas residuales domésticas mediante la aplicación de diferentes sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú.
- Determinar el porcentaje de depuración de las aguas residuales domésticas con costos de operación y mantenimiento económicos mediante la aplicación de uno de los sistemas de tratamiento de aguas sostenibles para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

H1: El sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales de flujo subsuperficial con 50 % de sustrato con antracita y modificado como biojardines activados es eficiente en la remoción de parámetros físicos, químicos, biológicos y

microbiológicos e índice de biodegradabilidad con costos de operación y mantenimiento económicos y sostenibles en relación a la combinación de humedales artificiales de flujo horizontal sin lagunas anaerobias o biodigestores para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna Perú.

1.6.2. Hipótesis específica

H1 : El sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales modificado con biojardines activados es eficiente en la remoción de parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos e índice de biodegradabilidad en relación al sistema de tratamiento de humedales artificiales de flujo horizontal sin lagunas anaerobias o biodigestores para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna Perú.

H2 : Es viable depurar las aguas residuales domésticas con costos de operación y mantenimiento económicos mediante la aplicación de uno de los sistemas de tratamiento de aguas sostenibles para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Diferentes estudios analizaron opciones para lograr la sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales sobre todo en zonas urbanas y rurales. Una opción fue la descentralización del tratamiento en lugar de la instalación de los sistemas de alcantarillado caros que combinan y aumentan el volumen de las aguas residuales y de los residuos.

Otros estudios sugieren elegir una tecnología de tratamiento apropiado para cada comunidad, donde incluyen lagunas, humedales artificiales, RAFA o flujo ascendente manto de lodo anaerobio (UASB), etc. Este enfoque incluye la reutilización del efluente tratado para uso agrícola. De esta manera, con la reutilización de las aguas residuales se reduce el dinero gastado en fertilizantes y se considera seguro, ya que ha sido tratado por microorganismos.

En el estudio realizado por Amabilis, Siebe, Moeller y Durán (2016) “Remoción de mercurio por *Phragmites australis* empleada como barrera

biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados” evaluaron la acumulación y distribución de mercurio en “carrizo” (*Phragmites australis*) usado como barrera biológica en humedales artificiales (HA) durante el tratamiento de agua residual sintética con 0,11 mg/L de mercurio. Después de 304 días, los humedales con carrizo y bacterias metalotolerantes, removieron el 73 % del mercurio total y los sistemas con vegetación, pero sin bacterias tolerantes, removieron 66 % del metal. En ambos sistemas el mercurio fue transferido, en su mayoría, a la atmósfera por la acumulación, translocación y transpiración que exhibe el carrizo. Los sistemas usados como testigos removieron el 33 % del mercurio total y fueron los que transfirieron la menor cantidad del metal hacia la atmósfera.

Según Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009) en el estudio Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica, concluyeron que los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento, en sus resultados demostraron que el sistema es una opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrientes.

En el estudio según Chuchón y Aybar (2008) en la Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias Coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú concluyeron que la capacidad de remoción de coliformes de la PTAR “La Totorá” fue del 99,9850 %, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de $1,29 \times 10^5$ NMP/100 ml, siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de $<10^3$ NMP/100 ml de BCF se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99,9999 %. Asimismo, indica que el porcentaje de remoción de la DBO5 de la PTAR “La Totorá” fue del 86,2 %, evacuando efluentes con 46,35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo normado, que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95,5947 %.

Según Herrera, Flores, Mejías, Vargas, Cárdenas, Araujo, Del Villar y Delgado (2014) en el estudio de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas para su potencial reutilización industrial concluyeron que la secuencia de procesos de tratamiento del efluente de Planta Sur propuesta (coagulación-flotación con aire disuelto-filtración) permitió obtener un agua de adecuada calidad, constituyendo así una alternativa de pulimento eficaz para la reutilización del agua residual tratada como

insumo en determinados procesos industriales, como agua de enfriamiento, agua de servicios, agua contra incendio, entre otros.

Sosa, Viguera y Holguín (2014) concluyeron que la biofiltración es una alternativa viable y adaptable para cubrir las necesidades de tratamiento de estos sectores sociales, ya que es un sistema eficiente que requiere bajos costos de inversión, no genera lodos residuales y además permite reutilizar el agua tratada, trayendo beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Muñoz y Ramos (2014) en un trabajo de Reactores discontinuos secuenciales: una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales indica que el sistema con biopelícula ofrece muchas ventajas en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales domésticas, incluyendo la eliminación de nitrógeno y fósforo. Este sistema posee características simples, estables y confiables, en comparación con el sistema de lodos activados convencional y facilita la implementación de sistemas compactos que ahorran espacio, evitan problemas de lodo voluminoso, son de fácil operación, de alto rendimiento y, además, disminuyen la cantidad de lodos residuales.

Ante la problemática de las aguas residuales y entre otros trabajos de investigación realizados a nivel nacional e internacional, el estudio de las aguas residuales en Tacna es incipiente y muy limitado, paradójicamente ha sido un tema olvidado y postergado por la comunidad científica, teniendo en consideración que hay una gran necesidad en esta área de investigación para mejorar u optimizar los métodos actuales de tratamiento de aguas residuales, diseñar propuestas técnicas para la transformación de plantas inoperativas en proyectos sustentables y eficientes con bajo costo y potencial para reúso productivo directo.

Para la investigación en este campo, se tiene como antecedente la experiencia del centro Experimental de I+D+i de la Fundación CENTA (CENTRO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA) ubicado en Sevilla (España) en donde realizan investigaciones con las aguas residuales, además de ofertar propuestas de desarrollo, brindar servicios tecnológicos, vigilancia tecnológica, cooperación al desarrollo, educación ambiental y test de eficiencia de depuración según la norma EN 12566-3 (Figura 1).



Figura 1. Ilustración del Centro Experimental de Aguas Residuales (CENTA) Sevilla-España

Fuente: <http://www.centa.es/>.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Marco legal

Las principales normas vigentes referidas a la calidad de las aguas residuales para la construcción y operación de las PTAR en el país son las siguientes:

- R.M. N° 273-2013-VIVIENDA. Aprobación del protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.

- R.J. N° 224-2013-ANA. Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, disposiciones y modificaciones.
- D.S. N.º 015-2012-VIVIENDA. Reglamento de protección ambiental para proyectos vinculados a las actividades de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento.
- D.S. N° 021-2009—VIVIENDA y D.S. N° 003-2011-VIVIENDA. Decreto de aprobación de los valores máximos admisibles (VMA) para la descarga al alcantarillado público y su reglamento.
- D.S. 003-2010-MINAM. Definición de los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.
- R.J. N° 274-2010-ANA. Define las medidas para la implementación del programa de adecuación de vertimientos y reúso de agua residual-PAVER.
- Reglamento Nacional de edificaciones, Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales. Define estándares de diseño para diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales.
- D.S. N° 022-2009-VIVIENDA modifica Norma OS. 090. Incorpora el tratamiento preliminar avanzado y el emisor submarino con vertimiento al mar.

- D.S. N° 023-2009-MINAM. Aprueban disposiciones para la implementación de los ECA, a partir del 1 abril del 2010.
- LEY N° 29338 (2009). Ley de recursos hídricos. Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a ésta. Los capítulos VI y VII de la ley tratan sobre la regulación del vertimiento y reúso de las aguas residuales tratadas.
- D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (ECA-agua).
- LEY N° 28600. Ley General del ambiente. El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan. Además, regula los vertimientos autorizándolas, siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.
- LEY N° 27446 y D.S. 019- 2009-MINAM. Ley y reglamento del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental. Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de los proyectos de inversión.

- Decreto Legislativo N°1278.- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- LEY N° 26842. Ley general de salud. El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilará su cumplimiento.

2.2.2 Las aguas residuales

2.2.2.1 Definición y tipo de aguas residuales

El Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma OS 090 (RNE) relativa a las plantas de tratamiento de aguas residuales, establece las siguientes definiciones:

i. Agua residual:

Agua usada por una comunidad o industria con material orgánico e inorgánico disuelto o en suspensión. De las cuales han sido modificadas por la actividad antropogénica requiriendo un tratamiento previo para ser vertido (OEFA, 2014);(Norma O.S.090, 2006).

ii. Agua residual doméstica:

Aguas residuales provenientes de la actividad humana de origen residencial y comercial e institucional con cierto contenido de desechos fisiológicos (NORMA OS.090, 2006) ; (OEFA, 2014).

iii. Agua residual municipal

Aguas residuales domésticas proveniente de aguas residuales de la industria o aguas de drenaje pluvial previamente tratados cumpliendo los requisitos para ser admitidos en la red de alcantarillado de tipo combinado (NORMA OS.090, 2006); (OEFA, 2014).

iv. Aguas residuales industriales

Aguas residuales procedentes de un proceso productivo provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otros; de las cuales contienen aceites, detergentes, antibiótico, entre otros, así como subproductos de origen animal, vegetal, químico o mineral de las cuales deben ser tratadas previamente antes de ser vertidas. (Espigares y Pérez, s.f.); (OEFA, 2014).

2.2.2.2 Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales domésticas se originan a partir de actividades humanas relacionadas con la evacuación de residuos (residuos animales

y vegetales, detergentes y partículas), lavados (jabones, detergentes, sales, etc.) y de las viviendas (celulosa, almidón, insecticidas, partículas orgánicas, etc.); frecuentemente son descargadas en ríos, arroyos, lagos o al mar sin un tratamiento, lo que aporta metales pesados, sustancias químicas, materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos que contribuyen a la eutrofización y turbidez, fenómeno que incluye la proliferación de algas, cambios en la estructura de las comunidades acuáticas, disminución de la diversidad biológica y eventos de mortandad de peces por agotamiento de oxígeno (Aragón, Parra y Peña, 2015).

Las aguas residuales pueden ser de origen doméstico, industrial, así como los derivados de la infiltración y las aportaciones incontroladas.

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas (Metcalf y Eddy, 1996).

2.2.2.3 Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales es muy variada dependiendo de diversos factores (Rojas, 2002).

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue de las aguas residuales industriales, que en muchos casos es indescriptible. Aun así, aunque derive sólo de efluentes domésticos, la composición varía de acuerdo a algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etc. (Espigares y Pérez, s.f.).

En general, las aguas residuales contienen un aproximado de 99,9 % de agua y el 0,1 % es materia sólida. Las proteínas constituyen entre el 40 al 50 % de la materia orgánica. Entre un 50 a 60 % de las proteínas se encuentran disueltas en las aguas residuales y un 20 a 30 % en los sedimentos. En cuanto a los porcentajes de hidratos de carbono que se encuentran en forma disuelta y sedimentable son semejantes a las proteínas. Las grasas no suelen ser solubles y se degradan lentamente (Rojas, 2002).

2.2.2.4 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las características físicas más importantes del agua residual son su contenido total de sólidos; además el olor, temperatura, densidad, color y turbiedad (Metcalf y Eddy, 1996).

Los constituyentes químicos pueden ser inorgánicos y orgánicos. Los inorgánicos incluyen elementos individuales como calcio, cloruro, hierro, cromo y zinc; y una amplia variedad de compuestos como nitratos y sulfatos. Los constituyentes orgánicos se clasifican como agregados e individuales, que son de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de aguas residuales.

Las características biológicas son fundamentales en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel fundamental de los microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.2.2.5 Características físicas:

– *Sólidos totales*: Es la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 °C y 105 °C (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente cónico (cono de Imhoff) en un período de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple. Los sólidos totales se dividen en solubles y no solubles, los primeros son

aquellos con tamaño menor a $1,2 \mu\text{m}$ y los segundos los que tiene tamaño mayor. Por último, los sólidos volátiles son la fracción orgánica que se volatiliza a temperaturas de $550 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ y son importantes en la determinación de lodos activados, crudos y digeridos. El residuo de esta calcinación en cambio son los sólidos fijos. Para tratamientos biológicos de aguas residuales se recomienda un límite de $16\ 000 \text{ mg/L}$ de sólidos disueltos (González, 2011).

– *Olor*: Este se produce debido a la liberación de gases en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Es considerada la principal causa de rechazo de la población para la instalación de plantas de tratamiento en la comunidad. Los olores generan en realidad una tensión psicológica, más no un daño al organismo, presentándose malestares como reducción del apetito, menor consumo de agua, náuseas y vómitos, entre otros (Metcalf y Eddy, 1996).

– *Temperatura*: La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y $20 \text{ }^\circ\text{C}$; este incremento es debido a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones (César y Vásquez, 2003).

– *Densidad*: Se define como la masa del agua residual por unidad de volumen (kg/m^3). De ella depende la formación potencial de corrientes de

densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento (Crites y Tchobanoglous, 2000).

– *Color*: Inicialmente las aguas residuales domésticas son de color gris, pero a medida que avanza el tiempo estas se vuelven más oscuras hasta llegar a un color negro. De esta manera se puede determinar la “edad” de una u otra agua residual. Además, por los colores de los contaminantes se pueden rastrear las mismas a su origen en plantas industriales (Romero, 2000).

– *Turbiedad*: Como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es un parámetro que indica la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión (Metcalf y Eddy, 1996).

2.2.2.6 Características químicas

2.2.2.6.1 Materia orgánica

Son sólidos provenientes del reino animal y vegetal, así como de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (Metcalf y Eddy, 1996)

Los sólidos suspendidos pueden contener un 75 % de materia orgánica y los disueltos un 40 %. La materia orgánica en aguas residuales

es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; constituida de proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %), y grasas y aceites (1 0%). Las altas concentraciones de materia orgánica en el agua se miden con ensayos diferentes a aquellas aguas con bajas concentraciones (Romero, 2000).

2.2.2.6.2 Medida del contenido orgánico

Los métodos más comunes para medir la materia orgánica incluyen la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (COT) (Crites y Tchobanoglous, 2000).

➤ *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5):* Es el método más usado, se basa en la premisa que toda la materia orgánica biodegradable contenida en una muestra de agua será oxidada a CO_2 y H_2O por microorganismos que usan el oxígeno molecular. Está normalizada y con ella se mide la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización del agua residual durante 5 días a una temperatura de 20 °C (César y Vásquez, 2003).

➤ *Demanda química de oxígeno (DQO):* Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia

orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual (Rojas, 2002).

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química que por vía biológica (Metcalf y Eddy, 1996).

- *Carbono orgánico total (COT)*: Es una prueba instrumental para medir la cantidad total de carbono en el agua residual. Es otro medio para determinar la materia orgánica presente en el agua y de ejecución rápida. El ensayo consiste en inyectar una cantidad conocida de muestra en un horno de alta temperatura o en un medio químicamente oxidante para oxidar el carbono orgánico en dióxido de carbono, en presencia de un catalizador (Romero, 2000).

2.2.2.6.3 Inorgánicos

Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, es necesario examinar la naturaleza de algunos de ellos.

- *pH*: La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia, ya que concentraciones inadecuadas en el agua residual produce dificultades de tratamiento con procesos biológicos y

el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Metcalf y Eddy, 1996).

- *Nitrógeno*: Este elemento es esencial para la síntesis de proteínas, y es necesario conocer datos de su presencia y la cantidad en que se encuentra en las aguas, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales mediante procesos biológicos (Crites y Tchobanoglous, 2000).
- *Fósforo*: Esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Una proliferación incontrolada de éstos, denota interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1996).
- *Azufre*: El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y se libera cuando ocurre su degradación. El ion sulfato se encuentra en forma natural tanto en aguas de abastecimiento como en las residuales. Los sulfatos se reducen a sulfuros en condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H₂S) al combinarse

con el hidrógeno. Un exceso de sulfuros puede alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos en los digestores de lodos. La presencia de H₂S en el gas generado por la digestión anaerobia lo hace corrosiva para las conducciones de gas (Crites y Tchobanoglous, 2000).

- *Compuestos tóxicos:* Algunos cationes son de gran importancia en el tratamiento y evacuación de aguas residuales. El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y el boro son tóxicos en mayor a menor grado para los microorganismos, por lo que deben ser considerados en las plantas de tratamiento biológico. Algunos aniones tóxicos como cianuros y cromatos están presentes en vertidos industriales y deben ser eliminados en la propia fábrica mediante pretratamientos adecuados antes de verterlos al alcantarillado (Metcalf y Eddy, 1996).

- *Metales pesados:* Los metales comúnmente encontrados se encuentran plata, bario, cadmio, cromo, cobre, cobalto, níquel, plomo, zinc, hierro, mercurio, titanio, vanadio, niobio, molibdeno y manganeso. Algunos residuos industriales pueden contener concentraciones apreciables de metales pesados y requieren de un pretratamiento para

permitir su descarga al alcantarillado municipal. En altas concentraciones, estos compuestos son tóxicos (Romero, 2000).

2.2.2.6.4 Gases

En la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales se debe hacer la determinación de gases como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno. Las determinaciones de oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para controlar y monitorear los procesos de tratamientos biológicos aerobios.

El sulfuro de hidrógeno se determina porque puede causar corrosión en alcantarillados de concreto. Las mediciones de metano, dióxido de carbón y amoníaco se determinan junto con la operación de digestores anaerobios (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.2.2.7 Características biológicas

Dependiendo de su composición y concentración, las aguas residuales pueden contener gran cantidad de organismos. La temperatura y el pH, también influyen en el desarrollo de éstos (Espigares y Pérez, s.f.).

A continuación, se describen aquellos grupos que tienen importancia en el campo del tratamiento de aguas residuales y la gestión de la calidad del agua.

- *Bacterias*: Son microorganismos unicelulares, de forma cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos). Los desórdenes intestinales son síntomas comunes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por las bacterias patógenas transportadas por el agua (César y Vásquez, 2003).

Las bacterias desempeñan un papel importante en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica en las plantas de tratamiento. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos (Metcalf y Eddy, 1996).

- *Virus*: Son las estructuras biológicas inferiores que contienen toda la información genética necesaria para su propia reproducción. Son parásitos obligados que requieren un huésped en donde alojarse (César y Vásquez, 2003).

Proceden de la excreción, de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Se adsorben a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Esto origina la resistencia a

algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras (Espigares y Pérez, s.f.).

- *Algas*: La presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, favorece su crecimiento produciendo procesos de eutrofización (Espigares y Pérez, s.f.).

- *Protozoarios*: Son organismos unicelulares más complejos que las bacterias y los virus, auto-contenidos que pueden vivir libremente o en forma parásita. Sólo unos cuantos protozoarios acuáticos son patógenos. Las infecciones causadas por protozoarios se manifiestan por desórdenes intestinales menos severos que los asociados con bacterias (César y Vásquez, 2003).

- *Helminetos*: Los parásitos helmintos más importantes que pueden hallarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, la etapa infecciosa de algunos helmintos es el estado adulto o de larva y en otros la de huevo. Los huevos y larvas de tamaño entre 10µm y 100µm, resisten y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.2.3 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales recogidas en las comunidades deben ser conducidas en última instancia, a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno, eliminando sus contaminantes para la protección del entorno. Para esto es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso y aplicar conocimientos científicos, así como la experiencia de ingeniería cumpliendo con la normativa ambiental. Los procesos y operaciones unitarias se combinan y complementan dando lugar a diversos niveles de tratamiento de aguas. Un enfoque racional consiste en establecer el nivel de eliminación de contaminantes (tratamiento) necesario antes de reutilizar o verter las aguas residuales al medio ambiente (Metcalf y Eddy, 1996).

2.2.3.1 Tratamiento preliminar

El agua residual bruta contiene ramas, piedras, botellas, trozos de metal, trapos y otros materiales semejantes. Estos materiales pueden causar bloqueos en el colector, dañar bombas, cañerías y reducir el volumen de agua residual que entra en las unidades de tratamiento, produciendo pérdida de eficacia (CIDTA, s.f.).

Las aguas residuales se someten a un pretratamiento, que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, con el objetivo de separar materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden traer problemas en las etapas posteriores del tratamiento. Dentro del pretratamiento se incluyen las operaciones de separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado y desarenado—desengrase. (Martín, Betancort, Salas, Peñate, Pidre y Sardón, 2006).

Desbaste, se realiza mediante rejillas, y tiene como objeto la eliminación de las sustancias de tamaño excesivamente grueso.

Tamizado, para eliminación de partículas en suspensión.

Trituración de los elementos retenidos en el desbaste (sistema útil cuando se quiere evitar la problemática de las rejillas y extracción de subproductos).

Desarenado, para eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión.

Desengrasado, para eliminación de los distintos tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual, así como de elementos flotantes (Hernández, Hernández y Galán, s.f.).

2.2.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El principal objetivo de los tratamientos primarios está centrado en la eliminación de sólidos en suspensión, reducción en cierta parte de la contaminación biodegradable, porque una parte de los sólidos eliminados están constituidos por materia orgánica. En el caso de pequeñas poblaciones, los tratamientos más empleados son las fosas sépticas, los tanques Imhoff y decantadores primarios (Ortega, Ferrer, Salas, Aragón y Real, 2010).

Los tratamientos primarios más habituales son la decantación primaria y los tratamientos fisicoquímicos.

- Decantación primaria: cuyo objetivo es la eliminación de la mayor parte posible de los sólidos sedimentables por gravedad. Este proceso es muy importante porque originaría fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento.
- Tratamientos fisicoquímicos: en este tipo de tratamiento, mediante la adición de reactivos químicos, se consigue incrementar la reducción de los sólidos en suspensión, al eliminarse, además, sólidos coloidales, al incrementarse el tamaño y densidad de los mismos mediante procesos de coagulación-floculación (Alianza por el Agua, 2008).

2.2.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Este tratamiento consiste en la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, mediante un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos que utilizan dicha materia orgánica como nutriente. Su objetivo es remover la materia orgánica contaminante y reducir la demanda de oxígeno en el agua. Los sistemas biológicos pueden clasificarse en:

- Sistemas con biomasa suspendida (SBS)
- Sistemas con biomasa fija (SBF)

Las ventajas de los sistemas de biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o biofilm, es que éstos son más robustos en su operación, ocupan menores superficies de instalación y son capaces de tratar elevadas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación.

El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica (Morató y Peñuela, 2006).

Según Ortega, et al. (2010), los tratamientos secundarios pueden ser extensivos o intensivos. Las tecnologías extensivas se caracterizan porque los procesos transcurren sin aporte de energía y se desarrollan en

un único “reactor –sistema”. El ahorro en energía se compensa con una mayor necesidad de superficie. Entre estos tratamientos se tienen los humedales artificiales, filtros intermitentes de arena, infiltración-percolación, filtros de turba y lagunaje. Las tecnologías intensivas se caracterizan porque los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores y a velocidades aceleradas, por el aporte de oxígeno de equipos electromecánicos, entre estos están: la aireación prolongada, lechos bacterianos (filtros percoladores), contadores biológicos rotativos, reactores secuenciales discontinuos y sistema de biomasa fija sobre lecho móvil.

HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen de forma controlada, los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. Los humedales tienen las siguientes características:

- El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se emplean diversos sustratos al terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se eligen las plantas que van a colonizar el humedal.

La depuración se consigue pasando las aguas residuales por zonas húmedas artificiales, en las que ocurren procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes finales depurados (Salas, Pidr  y Sánchez, 2007).

TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales se clasifican en función del modelo de circulación del agua y puede ser superficial o subsuperficial.

Humedales artificiales de flujo superficial o flujo libre. El agua circula por encima del sustrato donde se encuentran enraizadas las plantas, circulando alrededor de sus tallos y hojas, por lo que se encuentra expuesta directamente a la atmósfera. La alimentación a estos humedales puede ser continua o intermitente. La depuración se da a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente implantada. Es allí donde se desarrolla la película bacteriana encargada de la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar (Ortega, et al., 2010).

Humedales artificiales subsuperficial: El agua recorre el humedal de forma subterránea, a través de un medio granular (arena, gravilla, grava) de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para enraizamiento de las plantas. Este tipo de

humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de flujo superficial como: menos superficie de terreno para su ubicación, menor incidencia de malos olores, bajo riesgo de exposición directa de las personas e insectos, protección térmica (Salas et al., 2007).

2.2.3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Conocido también como tratamientos avanzados, tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios. Las tecnologías utilizadas pueden ser de tipo física, química y/o biológica. Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización, entre otros (Morató y Peñuela, 2006).

Estos tratamientos complementan los procesos anteriores para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: (a) Fosfatos y nitratos (b) Huevos y quistes de parásitos (c) Sustancias tenso activas (d) Algas. (e) Bacterias y virus (desinfección) (f) Radionuclidos (g) Sólidos totales y disueltos (h) Temperatura (Rojas, 2002).

2.2.3.5 LÍNEA DE LODOS

El tratamiento de las aguas residuales produce subproductos conocidos como lodos. Antes de su disposición final deben ser acondicionados y no pueden ser dispuestos libremente. Se distinguen los “lodos primarios” (sólidos decantados en el tratamiento primario) y “lodos secundarios o biológicos” (sólidos decantados en el clarificador tras su paso por el reactor biológico) (Alianza por el Agua, 2008).

Los procesos comunes de manejo de lodos son: concentración (espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación). De éstos, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para la reducción de la materia orgánica, la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad (Rojas, 2002).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

a) Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, 2014).

b) Contaminación

Se puede definir como la adición por parte del hombre de materiales o energía calorífica en cantidades que causan alteraciones indeseables del agua, aire o suelo (Barba, 2002).

c) Depuración de aguas residuales

Consiste en retirar de las aguas residuales los contaminantes que ha recibido durante su uso, hasta dejarla en un estado adecuado para su retorno al ciclo natural del agua, cumpliendo todas las garantías medioambientales exigibles. La depuración es imprescindible para garantizar la protección del medio ambiente, la salud de las personas, y el uso racional y sostenible de nuestros recursos hídricos (Huertas, Marcos, Ibarguren y Ordás, 2013).

d) Efluente

Líquido descargado en una etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000).

e) Humedales artificiales

Son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (normalmente menos de 1 m), plantados con plantas propias de zonas húmedas (macrófitos acuáticos) y en los que los procesos de

depuración se ejecutan de forma simultánea mediante acciones físicas, químicas y biológicas (Martín et al., 2006).

f) Pequeñas comunidades

Se considera pequeña aglomeración urbana a aquella población inferior a 2000 habitantes-equivalentes excluyendo las viviendas aisladas o poblaciones muy pequeñas que no dispongan de sistemas colectores para aguas residuales (Huertas et al., 2013).

g) Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores (Alianza por el agua, 2008).

h) Reúso de aguas residuales

Se entiende por reúso al proceso de volver a utilizar directa o indirectamente, las aguas resultantes de actividades antropogénicas. El reúso directo es cuando las aguas residuales tratadas o sin tratar son

utilizadas directamente en el riego agrícola o de áreas verdes, u otra actividad que las demande. El uso indirecto es cuando los desagües se descargan a los cuerpos receptores que luego son utilizados para las diferentes actividades. Este segundo tipo no es considerado por la legislación como reúso, y sin embargo es el que más preocupa por sus graves impactos en la salud y el ambiente cuando no existe un tratamiento previo adecuado (Moscoso, 2016).

i) Desarrollo sostenible

Implica un proceso de cambio global, fluido y equilibrado entre lo económico, social, y ecológico, con el fin de producir bienestar general de los individuos en armonía con la protección y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, en un esfuerzo común y universal que continuará evolucionando a través del tiempo (Collazos, 2005).

j) Vertimiento de aguas residuales

Es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima (Reglamento de la ley de recursos hídricos, Artículo 131 b, 2010).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de Estudio: Aplicada.

Nivel de investigación: Experimental.

Diseño de Investigación: Diseño en bloque completamente aleatorizado con pre y post prueba.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población total, en cuanto a volumen de aguas residuales correspondió al caudal captado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cono Sur (Ex Copare) que se encuentra en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. La PTAR que está diseñada para un caudal de 150 l/s, debido al crecimiento urbano de la población que en los últimos años ha rodeado la planta, opera con un caudal promedio de 35-40 l/s.

El experimento se llevó a cabo en una zona descampada de la PTAR Cono Sur, evaluando la calidad del agua residual a la salida de cada tratamiento. Para el desarrollo del piloto, las muestras de estudio

correspondieron a las aguas residuales que llegaron a la PTAR Cono Sur donde se realizó una derivación en la captación (canal de conducción) mediante una tubería de 4" PVC SAP que permitió captar aguas residuales crudas y conducir las a la zona de experimentación con un caudal mínimo de 0,736 l/s y caudal máximo de 1,137 l/s. Teniendo un caudal promedio de 0,93 l/s. El caudal de diseño del sistema piloto fue de 0,04 l/s.



Figura 2. Vista de la Laguna Primaria 1

Figura 3. Punto captación piloto

La ubicación de la zona del proyecto piloto se muestra en la siguiente:

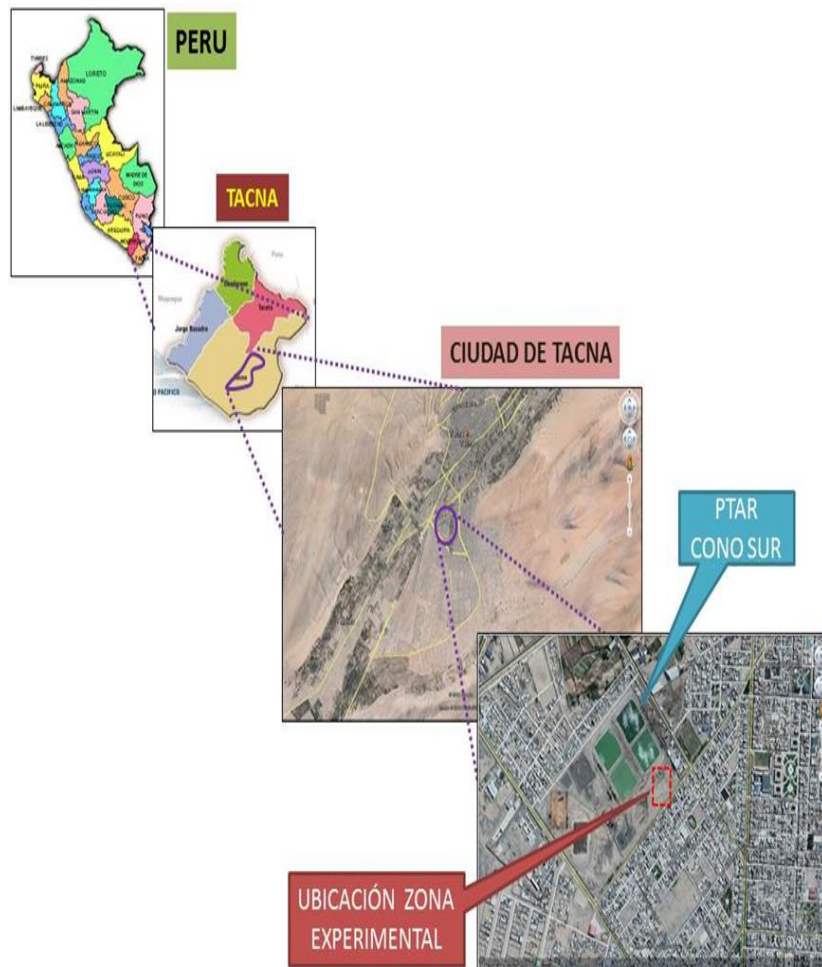


Figura 4. Ubicación de la zona del proyecto piloto.

Fuente: Elaboración propia a partir imágenes de Google Earth (imagen 4/3/2018)

El diagrama de flujo del piloto experimental recibió la siguiente disposición:



Figura 5. Ubicación de la zona experimental de la tesis de investigación.

Fuente: Imagen Google Earth

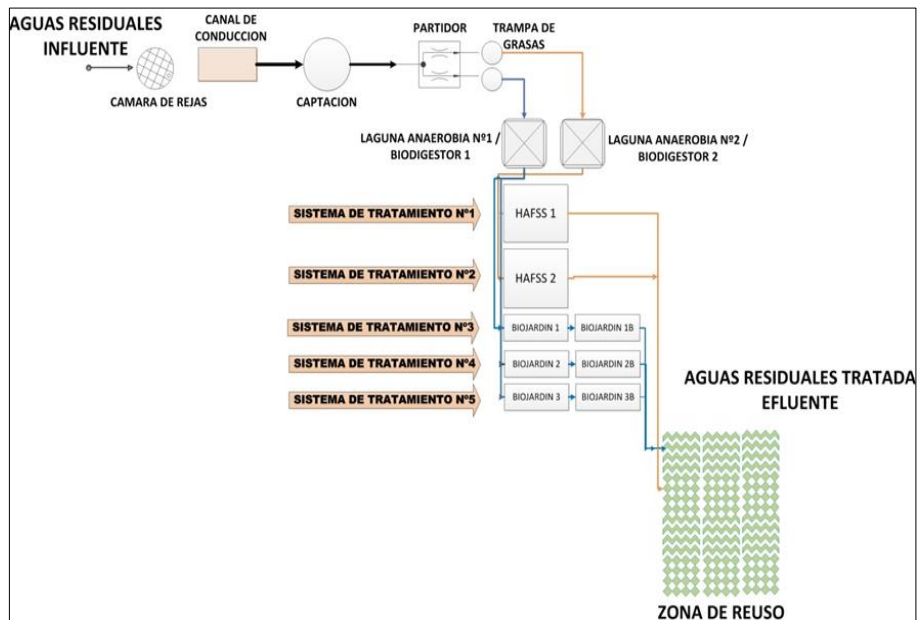


Figura 6. Esquema del Proyecto piloto en la planta de Cono Sur, Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna

Fuente: Elaboración propia.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Identificación de las variables: En la investigación experimental, intervinieron las variables dependientes (Porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) y las variables independientes (Tipos de sistemas de tratamiento aplicado)

3.3.2. Caracterización de las variables: Las variables dependientes e independientes, sus indicadores y escala de medición por cada hipótesis fueron los siguientes:

Las variables para la **Hipótesis Específica 1**, el sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales de flujo subsuperficial con 50 % de sustrato con antracita y modificado como biojardines activados es eficiente en la remoción de parámetros físicos, químicos, biológicos, microbiológicos e Índice de Biodegradabilidad en relación a la combinación de humedales artificiales de flujo horizontal sin lagunas anaerobias o biodigestores para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna Perú, es:

- **Variables independientes:**

Tipo de Tratamiento 01: Combinación de trampa de grasas con humedales de flujo subsuperficial horizontal con *Typha sp.*

Tipo de Tratamiento 02: Combinación de trampa de grasas con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal sin cobertura vegetal.

Tipo de Tratamiento 03: Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal como biojardines activados.

Tipo de Tratamiento 04: Combinación trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un 50 % como sustrato en biojardín 2.

Tipo de Tratamiento 05: Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un 100 % como sustrato en el biojardín 2, más desinfección UV artesanal.

- **Variables dependientes: Nivel de reducción de agentes químicos, físicos y biológicos:**

Porcentaje de remoción de pH

Porcentaje de remoción de turbiedad

Porcentaje de remoción de conductividad

Porcentaje de remoción de aceites y grasas

Porcentaje de remoción de DBO

Porcentaje de remoción de DQO

Porcentaje de remoción de arsénico

Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales

Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes

Evaluación de coeficiente de biodegradabilidad

- **Indicadores y escala de medición**

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda considera:

Tabla 2

Tabla de Límites Máximos Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	Unidad	6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: DS N°003-2010-MINAM

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

La caracterización, las acciones y actividades para la ejecución de la investigación, los materiales, instrumentos, el tratamiento y análisis estadístico de los datos correspondientes a los objetivos específicos planteados en la tesis experimental fueron:

Etapas I: Recopilación información, evaluación del estado actual, calidad del agua residual y medición de caudales.

Actividad 1. Recopilación información, visita de campo y reconocimiento

Considerando el tipo de investigación experimental, las primeras acciones o actividades para la ejecución del proyecto fueron la recopilación de

información de estudios existentes e informes de ensayo de laboratorio acreditado de la calidad de aguas residuales al ingreso de la PTAR Cono Sur de la EPS Tacna S.A.

Asimismo, con Hoja de Trámite N°004152-240 se presentó el requerimiento de facilidades para la realización de trabajo de investigación en aguas residuales, el cual mediante OFICIO N° 1020-2017-300.700-EPS TACNA S.A. fue autorizado por la Gerencia General de la EPS Tacna S.A. para implementar el proyecto piloto en el interior de la PTAR, teniendo atención a tecnologías con costo de operación y mantenimiento sostenibles conocidos como tecnologías extensivas y que incluye la construcción de infraestructuras del proceso de pretratamiento (Desbaste, Desarenado, Desengrasado), implementación de obra de llegada, medición de caudal, tratamiento secundario con humedales artificiales y tratamiento terciario de ser el caso.

Para la ubicación de la zona experimental del proyecto, previamente se realizó la visita de campo e identificación del área disponible en todo el Cono Sur -Tacna, realizando las salidas a la zona de investigación, entorno ecológico de la PTAR y zonas aledañas.

Se identificó los posibles terrenos para la instalación de la planta

experimental, teniendo en cuenta la superficie disponible, la medición de la distancia al canal de captación de aguas residuales y la altimetría de los terrenos. Este último para favorecer que el sistema siempre discorra por gravedad y no requiera el uso de electrobombas.

Con los resultados de laboratorio se logró estimar la carga orgánica para diseñar el sistema piloto, el cual se diseñó para un área de terreno de 500 m² en la zona adyacente a la laguna primaria 01 de la PTAR Cono Sur.



Figura 7. Vista inicial de zona experimental



Figura 8. Vista terreno en PTAR



Figura 9. Reconocimiento de zona experimental

Actividad 2. Medición de caudal

Se realizó la medición del caudal de aguas residuales en la captación de la planta de tratamiento de aguas residuales, en el medidor tipo Parshall y contrastó con el método volumétrico, para estimar el caudal disponible para el piloto, registrando los datos en la ficha de campo. Se tuvo en consideración el caudal máximo horario (m^3/h), caudal mínimo horario (m^3/h), caudal medio (m^3/h).



Figura 10. Captación de agua con tubería 4"



Figura 11. Aforo caudal de ingreso



Figura 12. Supervisión en campo del asesor Dr. Alberto Quispe

Actividad 3. Caracterización del agua residual y levantamiento topográfico

Se realizó la caracterización del agua residual mediante toma de muestras y análisis por un laboratorio acreditado y simultáneamente se realizó el levantamiento topográfico del terreno en la zona de experimentación, donde se logró la identificación de las características del terreno (se adjunta resultados de laboratorio acreditado para la caracterización de los parámetros de diseño).

En la caracterización y evaluación de los resultados de los

tratamientos, se tomó en cuenta las directivas del protocolo R.J. N° 010-2016-ANA "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales"; todas las muestras debieron ser preservadas de acuerdo a los métodos estándares para análisis de aguas residuales. En las muestras se determinaron los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Turbiedad, conductividad, Sulfatos, Sulfuro de Hidrógeno, Aceites y grasas, DBO, DQO, Arsénico Total, Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes Termotolerantes.

Asimismo, para el monitoreo de efluentes se tuvo en cuenta la Resolución Ministerial N°273-2013-VIVIENDA "Protocolo de Monitoreo de Calidad de los Efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o Municipales-PTAR".



Figura 13. Muestreo para caracterización



Figura 14. Tomas de muestras AR

La frecuencia para la caracterización de aguas residuales domésticas y a la salida de cada sistema de tratamiento fue evaluado en un periodo total de 05 meses, realizando un muestreo mensual (junio a octubre del 2018) para análisis en laboratorio acreditado y análisis en laboratorio especializado. Las campañas de medición fueron tomando muestras puntuales, determinando simultáneamente los parámetros de campo y el caudal de ingreso al sistema piloto. Destacando que el período de construcción y adaptación de la vegetación emergente fue desde el mes de enero de 2018.

Etapa II: Diseño e Implementación de tecnologías

Actividad 1: Diseño de Sistemas de Tratamiento de aguas residuales sostenibles

Los diseños de cálculos de las obras de llegada y sistema de conducción fueron teniendo en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones; pero, para los cálculos de diseño del tratamiento primario (lagunas anaerobias) y tratamiento secundario (humedales de flujo superficial) fueron realizados de acuerdo a las especificaciones del Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, donde Ortega et al. (2010) del Manual para la Implantación de Sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, con toda la

experiencia del CENTA (Centro de Nuevas Tecnologías del Agua) y del Dr. Juan José Salas Rodríguez plantean cálculos para cada uno de los casos y sistemas de tratamiento, el cual se realizó bajo el siguiente detalle:

Diseño de lagunas anaerobias

La información utilizada para los cálculos en el diseño de las lagunas anaerobias se basó principalmente en criterios de carga volumétrica y tiempo de retención, de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1) Según la temperatura de diseño se seleccionó la carga volumétrica, cuyos valores que se usaron en el experimento se recogieron de la Tabla 3, en la que también se muestran los porcentajes de eliminación o remoción de DBO₅ para cada situación.

Tabla 3

Cargas volumétricas y rendimientos en función de la T° de diseño

T° de diseño (°C)	Carga volumétrica (λ_v) (g/m ³ .d)	% Eliminación DBO ₅
< 10	100	40
10 - 20	20 T-100	2T + 20
> 20	300	60

Fuente: Curso Sevilla (2014). Donde T: Temperatura

- 2) Con la carga volumétrica obtenida se determinó el volumen de la laguna anaerobia. Para ello se utilizó la fórmula de la carga a tratar de DBO₅ y luego según el valor de carga volumétrica seleccionada se hizo la relación de g/d versus m³ para obtener el volumen de la laguna anaerobia.

Para la carga a tratar se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{Carga a tratar de DBO}_5 \text{ (g/d)} = \text{Caudal (m}^3 \text{/d)} \times \text{Concentración DBO}_5 \text{ (g/l)}$$

- 3) Una vez obtenido el volumen de la laguna anaerobia, se comprobó que el tiempo de retención resultante corresponda mínimamente de 2 (dos) días. Si fue menor, se ajustó a 2 días disminuyendo la carga volumétrica.

Para el cálculo del tiempo de retención se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{TRH} = \text{Volumen de la laguna (m}^3 \text{) / Caudal de ARU (m}^3 \text{/d)}$$

- 4) Se consideró 4 m para la profundidad de la laguna anaerobia 1 y 3 m de profundidad para la laguna anaerobia 2.

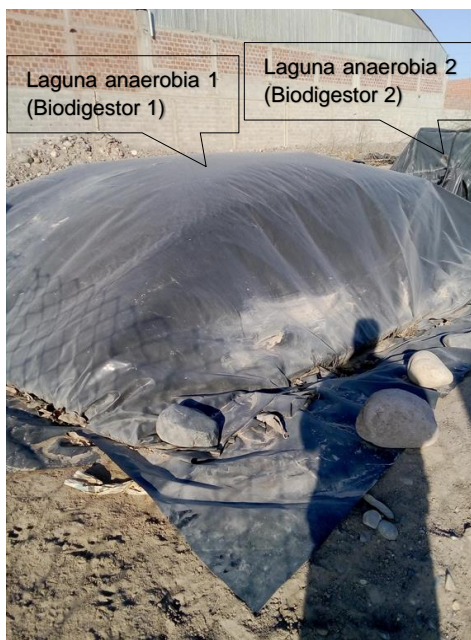


Figura 15. Laguna anaerobia 1



Figura 16. Laguna anaerobia y humedales

5) Las lagunas anaerobias se construyeron de forma geométrica cuadrada mediante excavación en el terreno con impermeabilización con geomembrana con paredes verticales de taludes interiores (1,5/1, horizontal/vertical), el cual también funcionó como Biodigestor.

Se determinó la superficie de la lámina de agua mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = \text{base} \times \text{altura}$$

Diseño de humedales de flujo subsuperficial horizontal

La información utilizada para los cálculos de diseño de los sistemas de tratamiento fue teniendo como sustento los criterios técnicos para el

dimensionamiento de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal según lo establecido en Ortega et al. (2010), Manual para la Implantación de Sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1) Se fijó la altura del sustrato en 60 cm y el nivel del agua fue de 5 cm por debajo de la superficie del sustrato, lo que permitió tener un tirante de agua de 55 cm.
- 2) Se determinó la superficie del humedal (teniendo en cuenta el rendimiento alcanzado en el tratamiento primario) y la concentración del contaminante en el influente para utilizar la siguiente ecuación:

$$S = L \times A = \frac{Q \times t}{h \times \varphi_s} = \frac{Q \times \ln(C_i / C_e)}{K_T \times h \times \varphi_s}$$

Donde:

S: superficie el humedal (m²)

L: longitud del humedal (m)

A: anchura del humedal (m)

Q: caudal de alimentación (m³/d)

t: tiempo de residencia hidráulica (d)

h: profundidad de la lámina de agua (m)

ps: porosidad del sustrato filtrante (en tanto por 1)

Ci: concentración del contaminante en cuestión en el influente (mg/l)

Ce: concentración del contaminante en cuestión en el efluente (mg/l)

K_T: constante de reacción (d⁻¹)

Para la determinación de la constante de reacción K_T que tiene dependencia con la temperatura se utilizó la siguiente ecuación: $K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_w - T_r)}$

$\theta_R^{(T_w - T_r)}$

Donde:

T_w: temperatura del agua media del mes más frío, considerada en el diseño (°C).

T_r: temperatura (20 °C) de referencia a la que se ha calculado el coeficiente θ_R .

Los valores de K_R y θ_R se obtuvieron de la siguiente Tabla (Ortega et al., 2010):

Tabla 4

Valores de K_R:

Contaminante a eliminar		DBO ₅
<i>Humedales Artificiales de Flujo Superficial</i>	K _R (d ⁻¹)	0,678
	θ_R	1,06
<i>Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal</i>	K _R (d ⁻¹)	1,104
	θ_R	1,06

El valor de la porosidad, según el tamaño del sustrato se obtuvo de la siguiente tabla:

Tabla 5

Valores de la porosidad, tamaño efectivo, y conductividad hidráulica en diversos sustratos

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Porosidad (p_s)	Conductividad hidráulica (k_s) (m/d)
Arena media	2	0,32	1 000
Arena gruesa	8	0,35	5 000
Arena pedregosa	16	0,38	10 000
Grava mediana	32	0,40	50 000
Grava gruesa	128	0,45	250 000

- 1) Posteriormente se determinó la carga orgánica aplicada al humedal con la siguiente ecuación:

$$C_{org} = Q \times C_i / S$$

- 2) Se realizó el dimensionamiento hidráulico del humedal para establecer el largo y ancho, una vez determinada su superficie. Se calculó el área de la sección transversal del humedal (A_s) mediante la ecuación:

$$A_s = Q / k_s \cdot n$$

Se consideró una pendiente del fondo del humedal de 1 % ($n=0,01$).

- 3) Una vez conocida el área de la sección transversal y fijada la

profundidad (h), se calculó el ancho del humedal (W):

- 4) Con el ancho calculado (W) y la superficie (S), se calculó la longitud del humedal mediante la ecuación:

$$L = \frac{S}{W} \quad W = \frac{A_s}{h}$$

- 5) Se comprobó que la relación L/W fue del orden 1/1-2/1. Por consiguiente, se construyeron varios humedales, de forma que la suma de sus anchuras fue igual a la anchura total calculada, y que cumplan que la relación L/W sea del orden 1/1-2/1.



Figura 17. Humedal Artificial Sub Superficial1 Figura 18. Humedal Sub Superficial 2 (T2)



Figura 19. Zona de construcción de los humedales artificiales y lagunas anaerobias

Actividad 2: Cálculos para dimensionamiento de las unidades de los sistemas de tratamiento de aguas residuales sostenibles:

Memoria de cálculo para el dimensionamiento de las unidades de las lagunas anaerobias correspondientes a la laguna anaerobia 1 (Biodigestor 1) y laguna anaerobia 2 (Biodigestor 2):

Tabla 6

Cálculos para dimensionamiento de las unidades anaerobias

VARIABLES	UNIDADES	RESULTADOS
DATOS:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	390
Caudal (Q)	l/s	0,20
Caudal (Q)	m ³ /d	17,28
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	10
CÁLCULOS:		
CARGA VOLUMETRICA	gDBO ₅ /m ³ .d	100
RENDIMIENTO ELIMINACION DBO5	%	40
CARGA A TRATAR DE DBO5	g/d	6739
CARGA ORGANICA SUPERFICIAL	KgDBO ₅ /Ha.d	-
VOLUMEN DE LAGUNA A PARTIR DE CARGA	m ³	67
RECALCULO VOLUMEN TRH A MÍNIMO (2) DIAS	m ³	-
TIEMPO DE RETENCION RECALCULADO	Días	-
DIMENSIONAMIENTO LAGUNA ANAEROBIA 1:		
SUPERFICIE LÁMINA DE AGUA	m ²	17
TIEMPO DE RETENCIÓN TEÓRICO	Días	3,90
LAGUNA ANAEROBIA Largo Superior (Cuadrado)	m	4,10
LAGUNA ANAEROBIA Ancho Superior (Cuadrado)	m	4,10
ALTURA LAGUNA (Profundidad)	m	4
DIMENSIONAMIENTO LAGUNA ANAEROBIA 2:		
SUPERFICIE LÁMINA DE AGUA	m ²	12
TIEMPO DE RETENCIÓN TEÓRICO	Días	2
LAGUNA ANAEROBIA Largo Superior (Cuadrado)	m	3,5
LAGUNA ANAEROBIA Ancho Superior (Cuadrado)	m	3,5
ALTURA LAGUNA (Profundidad)	m	2,8
VOLUMEN LAGUNA ANAEROBIA	m ³	34,3
DIMENSIONES BIODIGESTOR 1:		
Superficie Mayor	m ²	23,22
Largo Superficie Mayor (a)	m	5,30
Ancho Superficie Mayor (b)	m	4,30
ALTURA (Profundidad)	m	4
Superficie Menor	m ²	17
Largo Superficie menor (a)	m	4,10
Ancho Superficie menor (b)	m	4,10
DIMENSIONES BIODIGESTOR 2:		
Superficie Mayor	m ²	16,81
Largo Superficie Mayor (a)	m	4,10
Ancho Superficie Mayor (b)	m	4,10
ALTURA (Profundidad)	m	2,8
Superficie Menor	m ²	12
Largo Superficie menor (a)	m	3,5
Ancho Superficie menor (b)	m	3,5

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el dimensionamiento de las lagunas anaerobias que también funcionaron como biodigestores:

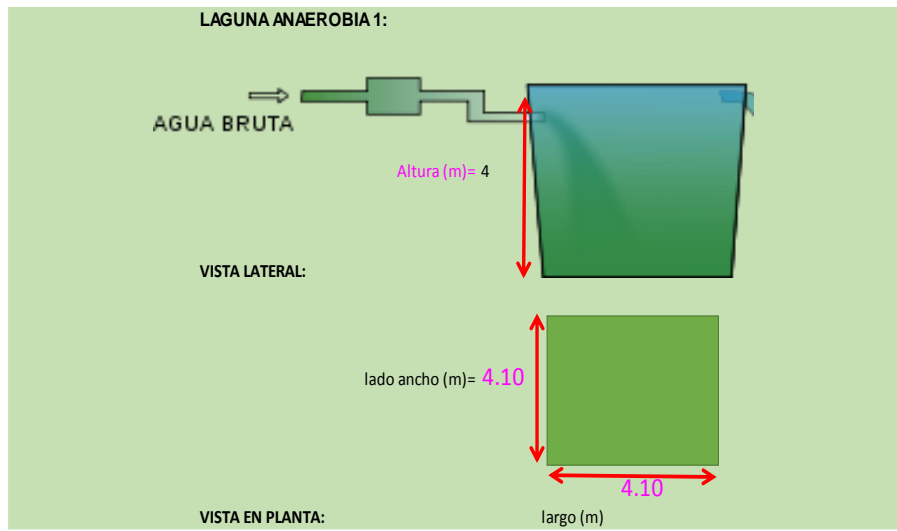


Figura 20. Dimensiones de la Laguna Anaerobia 1 (Vista lateral y en planta)

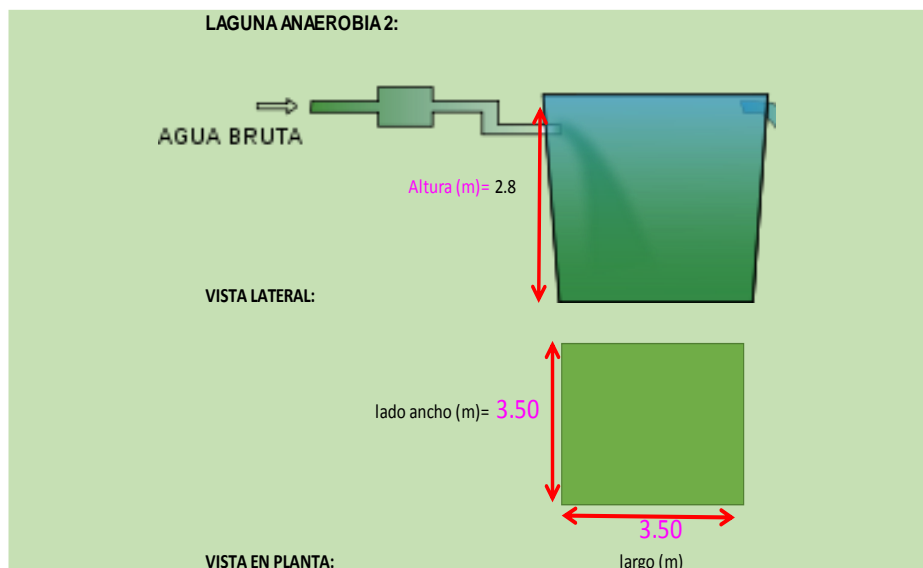


Figura 21. Dimensiones de la Laguna Anaerobia 2 (Vista lateral y en planta)

Memoria de cálculo para el dimensionamiento de las unidades de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal correspondientes al tratamiento 1 y tratamiento 2:

Tabla 7

Cálculo para dimensionamiento de unidades de humedales artificiales

CÁLCULOS HUMEDALES - BIOJARDINES : FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL:	Resultados	Unidades
Datos:		
DBO:	390	mg/L
Caudal de Diseño	0,04	L/s
Caudal de Diseño	3,456	m ³ /día
Rendimiento eliminación DBO5 en Tratamiento Primario (Laguna Anaerobia) 40%	0,4	
Concentración DBO de ingreso al sistema de humedales: 80 %	0,6	
Tw: Temperatura media del agua para el diseño del mes más frío	10	°C
Tr: Temperatura (°C) de referencia a la que se ha calculado el coeficiente qR	20	°C
Ce: DBO del efluente tratado	10	mg/L
h: Altura lámina de agua	0,55	m
Altura Total sustrato	0,6	m
ps: Porosidad Arena Gruesa	0,35	
Tamaño efectivo d 10	8	mm
Cálculos:		
Carga de ingreso a la estación de tratamiento	1347,84	g/d
Carga a tratar en el humedal	943	g/d
Ci: Concentración del contaminante en cuestión en el influente mg/l	234	mg/L
KT : Constante de Reacción (d-1)	0,62	
S: Determinación de Superficie de humedal	92	m ²
Corg: Carga Orgánica Aplicada	8,8	g DBO ₅ /m ² .d
Conductividad Hidráulica del sustrato	208	m/h
As: Sección Transversal, sección del humedal perpendicular al flujo	6,48	m ²
Longitud Total del Humedal	8	
Anchura Total del Humedal	12	m
Dimensionamiento de unidades:		
Cantidad de Humedales	2	Unid
Largo de Cada humedal	8	m
Ancho de cada humedal	6	m
Relación longitud/anchura del humedal	1,32	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el dimensionamiento de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.

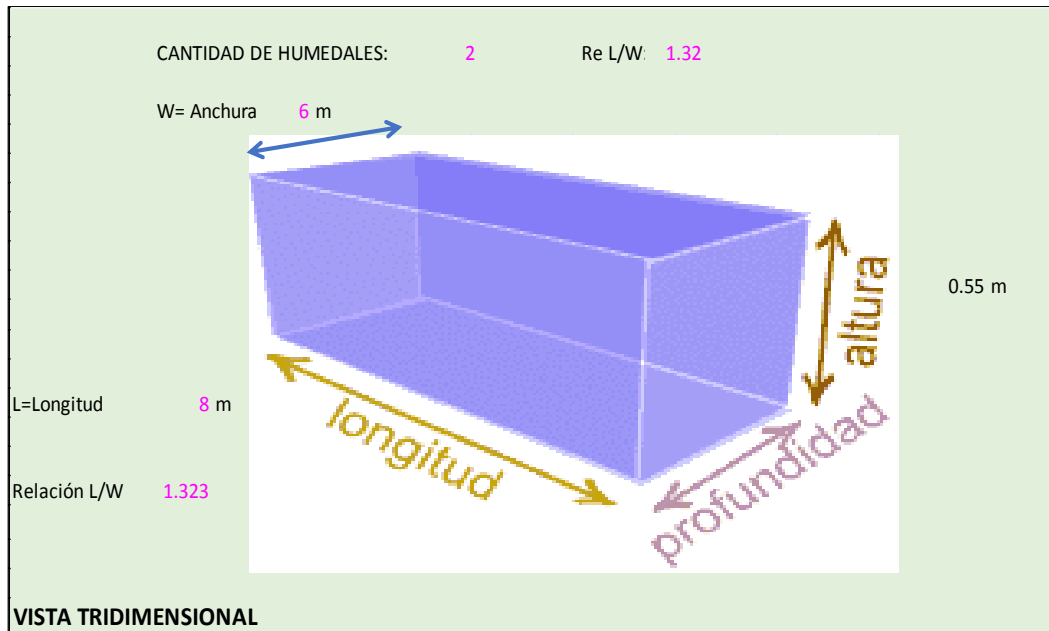


Figura 22. Dimensiones de los humedales (Vista tridimensional).

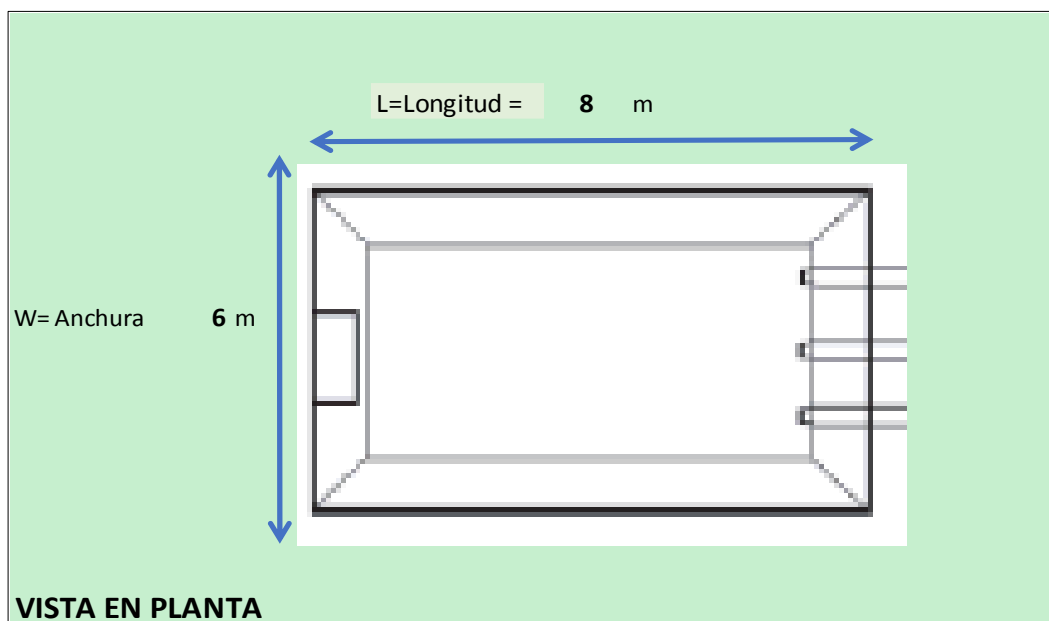


Figura 23. Dimensiones de los humedales (Vista en planta).

Memoria de cálculo para el dimensionamiento de las unidades de biofiltros o biojardineras con la base de formulación de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal correspondientes al tratamiento 3, tratamiento 4 y tratamiento 5:

Tabla 8

Cálculo para dimensionamiento de unidades de biofiltros y biojardines

CÁLCULOS BIOJARDINES FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL:	Resultados	Unidades
Datos:		
DBO:	390	mg/L
Caudal de Diseño	3,456	m ³ /día
Rendimiento eliminación DBO5 en Tratamiento Primario (Laguna Anaerobia) 40%	0,4	
Concentración de DBO de ingreso al sistema de humedales: 80 %	0,6	
Tw: Temperatura media del agua para el diseño del mes más frío	10	°C
Tr: Temperatura (°C) de referencia a la que se ha calculado el coeficiente qR	20	°C
Ce: DBO del efluente tratado	10	mg/L
h: Altura lámina de agua	0,55	m
Altura Total sustrato	0,6	m
ps: Porosidad Arena Gruesa	0,35	
Tamaño efectivo d 10	8	mm
Cálculos:		
Carga de ingreso a la estación de tratamiento	1347,84	g/d
Carga a tratar en el humedal	943	g/d
Ci: Concentración del contaminante en cuestión en el influente mg/l	234	mg/L
KT : Constante de Reacción (d ⁻¹)	0,62	
S: Determinación de Superficie de humedal	92	m ²
Corg: Carga Orgánica Aplicada	8,8	g DBO ₅ / m ² .d
Conductividad Hidraulica del sustrato	208	m/h

As: Sección Transversal, sección del humedal perpendicular al flujo	6,48	m ²
Longitud Total del Humedal	8	
Anchura Total del Humedal	12	m

Dimensionamiento:

Cantidad de Humedales	6	Unid
Longitud de Cada humedal	8	m
Ancho de cada humedal	2	m
Relación longitud/anchura del humedal	3,97	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el dimensionamiento de las unidades de biofiltros y biojardines.

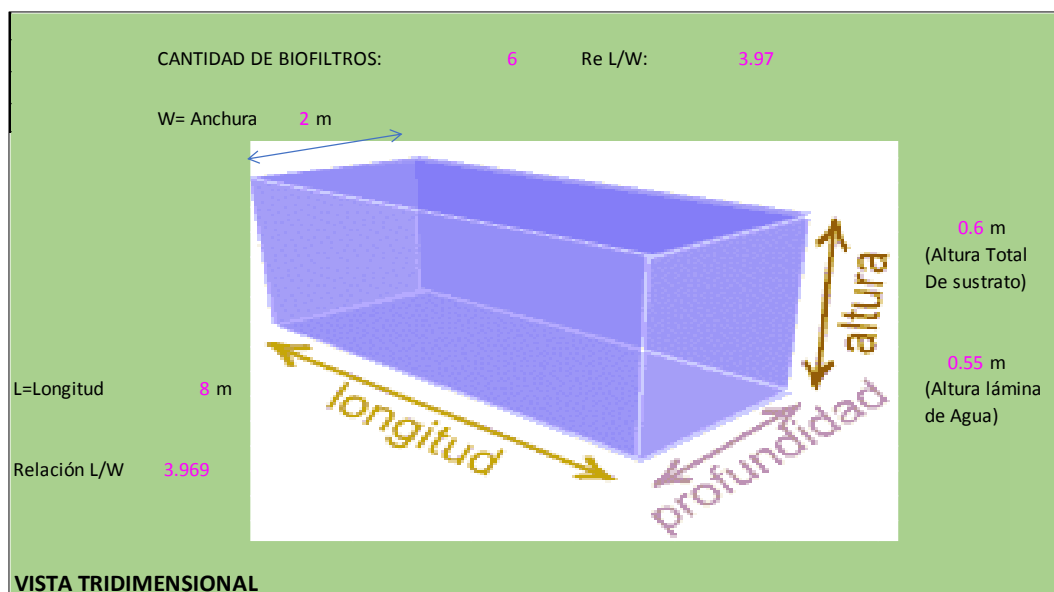


Figura 24. Dimensiones de las unidades en vista tridimensional.

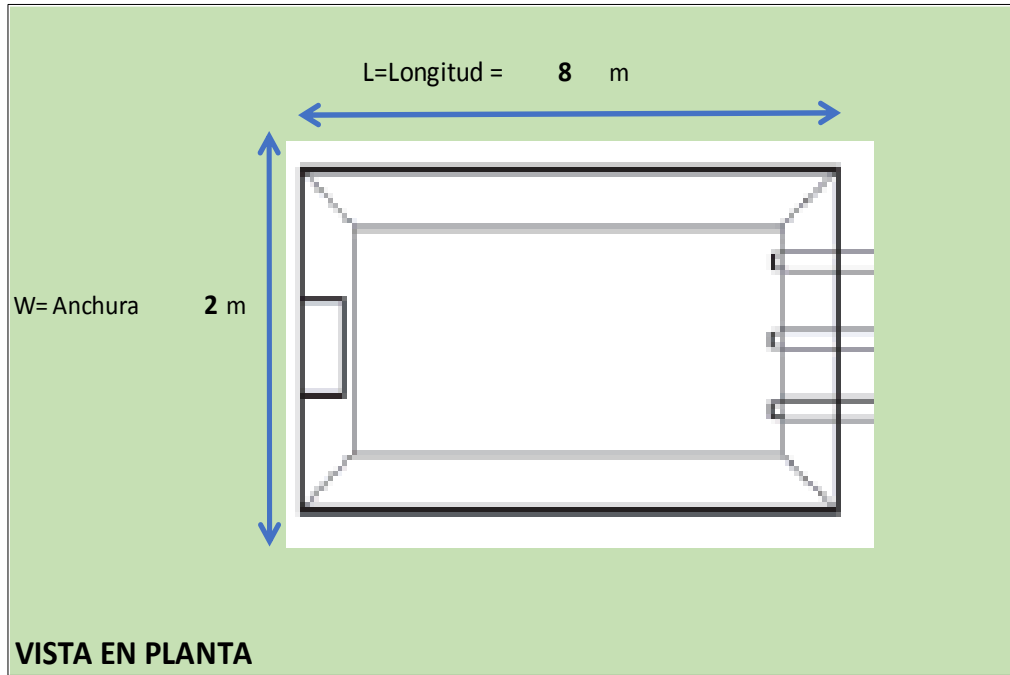


Figura 25. Dimensiones de las unidades en vista en planta.



Figura 26. Vista de humedales con biojardines

Figura 27: Biojardines del T3, T4 y T5



Figura 28: Vista de humedales con biojardines



Figura 29: Biojardines del T3, T4 y T5



Figura 30: Vista humedales con aserrín



Figura 31: Biojardines del T3A, T4B y T5B

Actividad 3: Implementación de Sistemas de Tratamiento

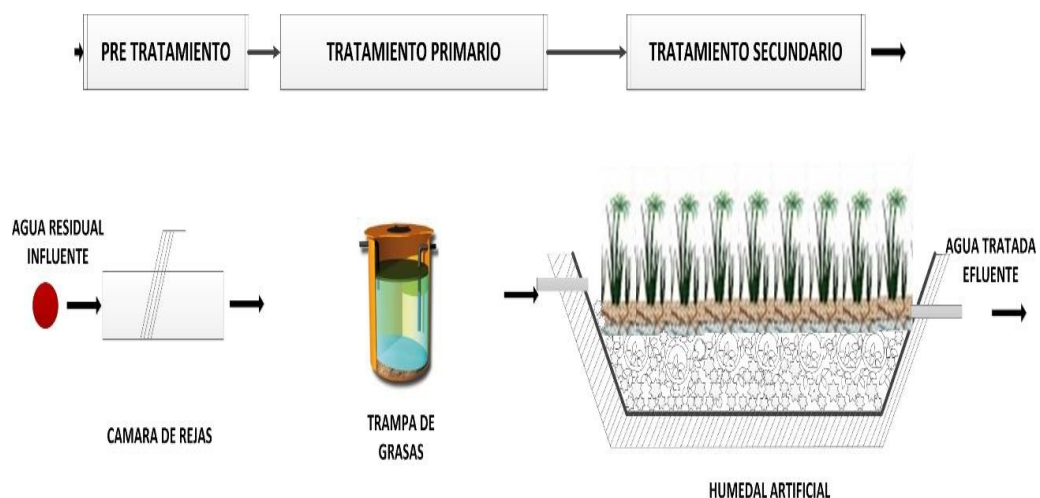
Los criterios de elección de técnicas para cada sistema de tratamiento, fue priorizando la aplicación de tecnologías extensivas con bajos costos de operación y mantenimiento, altamente eficientes, complejidad, robustez en su manejo y flexibilidad en la operación, estéticamente

llamativas y económicamente ventajosas con implementación de proceso de pretratamiento (Desbaste, Desarenado, Desengrasado), incorporación de obra de llegada, medición de caudal, implementación de tratamiento primario (Trampa de grasas, laguna anaeróbica) y tratamiento secundario.

Además, es importante precisar, que adicionalmente se tuvo en cuenta como un criterio de selección de tecnologías el impacto visual de las instalaciones, adecuando los tratamientos al paisaje y respetando el entorno.

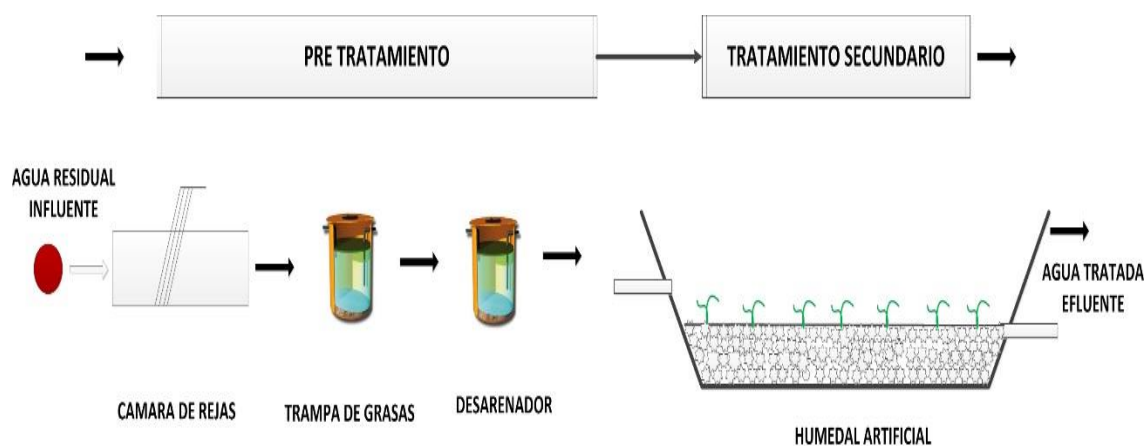
Con estos criterios y con la base de los cálculos descritos, se diseñaron las diferentes combinaciones y sistemas de tratamiento de aguas residuales como variables independientes los cuales fueron:

Sistema de Tratamiento 1 (T1): Trampa de grasas con humedales de flujo subsuperficial horizontal con *Typha sp.*



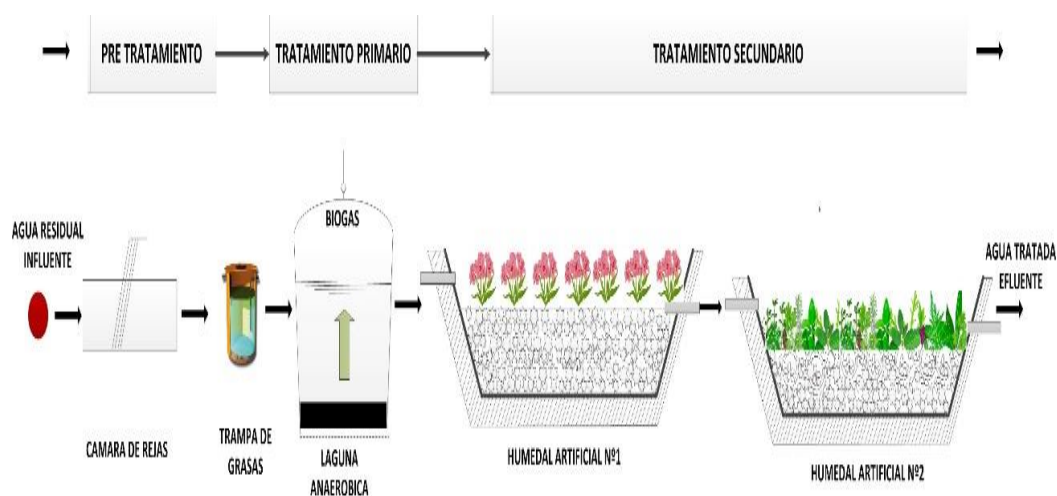
Fuente: Elaboración propia

Sistema de Tratamiento 2 (T2): Combinación de trampa de grasas con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal sin cobertura vegetal (baja densidad), con material filtrante reducido.



Fuente: Elaboración propia

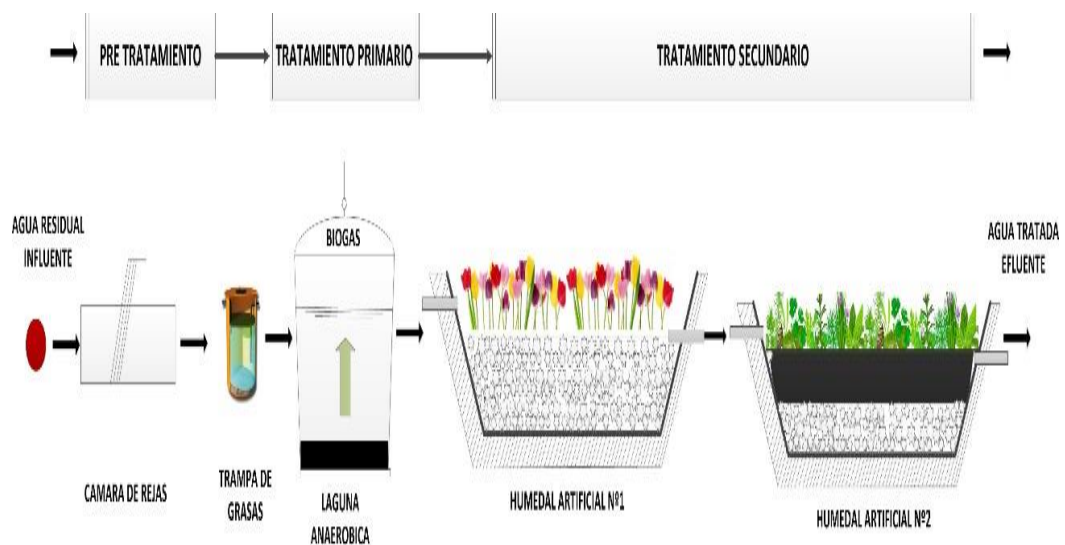
Sistema de Tratamiento 3 (T3): Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal como biojardines activados.



Fuente: Elaboración propia

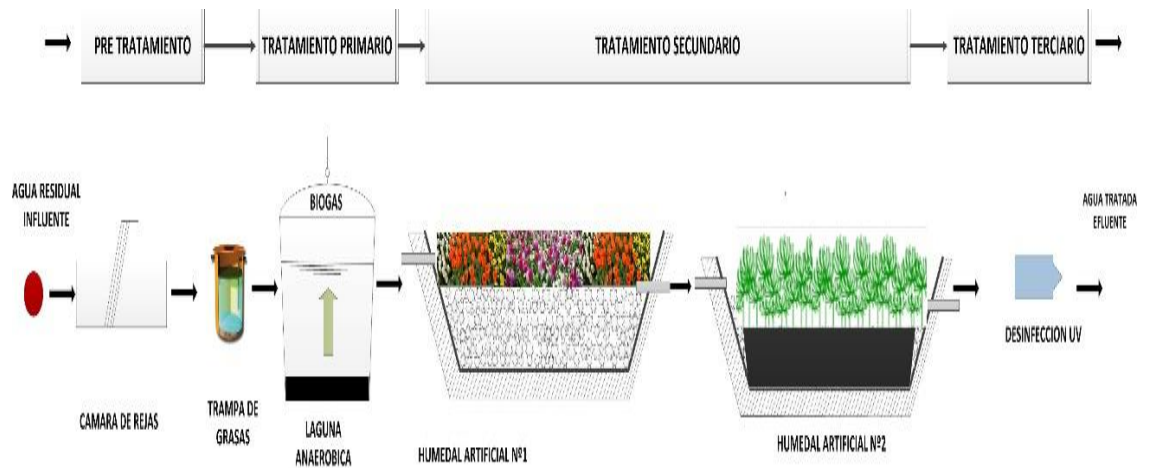
Nota: Tratamiento con afinamiento con biojardines activados con estructuras ornamentales.

Sistema de Tratamiento 4 (T4): Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un 50 % como sustrato en el biojardín N°2.



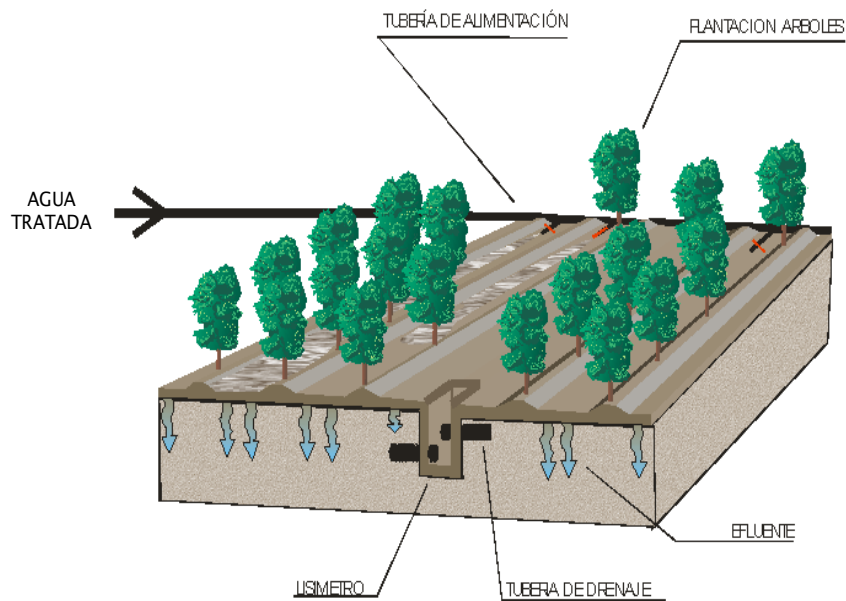
Fuente: Elaboración propia

Sistema de Tratamiento 5 (T5): Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un 100 % como sustrato en el biojardín N°2, más desinfección UV artesanal.



Fuente: Elaboración propia

Todos los sistemas de tratamiento del piloto experimental, derivaron sus efluentes de la salida de cada tratamiento a una zona de reúso para riego de cultivos de tallo alto adyacente en la planta Cono Sur.



Fuente: Foto: Ortega et al (2010) - CENTA (Centro de Nuevas Tecnologías del Agua)



Figura 32: Conducción efluentes a zona de reúso



Figura 33: Trabajos de habilitación de zona de reúso

Detalles del proceso constructivo del sistema de conducción:

Estructuras de ingreso y salida de los humedales

La disposición de las tuberías de 4" PVC SAP de ingreso y salida de los sistemas de tratamiento en los humedales artificiales de flujo subsuperficial y biojardines fueron siguiendo la trayectoria del flujo, evitando zonas muertas en las esquinas de los humedales, mediante colocación de tubería principal con múltiples salidas y tubería a nivel de la base del humedal rellena de sustrato.

Para que no se produzca corto circuito del flujo de agua dentro del humedal, los orificios en el ingreso y salida se colocaron para garantizar una distribución homogénea de las aguas residuales por toda el área del humedal o biojardín, de la siguiente manera:



Figura 34. Configuración de distribución de ingreso y salida del humedal y biojardín. Tubería principal con múltiples salidas y tuberías de pie en zanja rellena de grava con única tubería de salida.

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados (2002).



Figura 35: Tuberías de 4" PVC cribadas



Figura 36: Disposición tuberías conducción

3.4.1. Materiales y/o instrumentos

Los recursos humanos utilizados para el proceso constructivo del piloto experimental estuvieron conformados por 01 Biólogo-Microbiólogo, 01 ingeniero civil, 01 Topógrafo, 01 cadista, 02 Capataz, 14 obreros, 02 gasfiteros, 06 jardineros, 04 manteros, 02 maquinistas entre otros.

Los materiales que se usaron como vegetación en los humedales artificiales para la investigación fueron especies acondicionadas cuyo hábitat son los ríos y humedales naturales de la cuenca Locumba (río Locumba), entre ellos *Juncus sp*, *Scirpus sp*, *Thypha sp*, etc, y plantas ornamentales.

3.4.1.1. Requerimientos básicos

a. Recursos materiales:

Materiales para el muestreo en laboratorio acreditado:

- ✓05 Cajas Conservadoras o Coolers: para el transporte de la muestra al laboratorio y para la preservación en campo (02), donde se colocan los geles refrigerantes, que permitirán mantener la temperatura a 4 °C.
- ✓01 refrigerador de 9 p³.
- ✓30 Frascos de vidrio estéril de color transparente, con tapa rosca de boca ancha, con capacidad de 250 mL.
- ✓30 Frascos de PVC de primer uso, con capacidad de 1000 mL.

- ✓30 Frascos de PVC de primer uso, con capacidad de 500 mL.
- ✓30 Frascos de PVC de primer uso, con capacidad de 250 mL.
- ✓02 Termómetros de vidrio de laboratorio escala 0 °C a 50 °C, se empleó para medir la temperatura del agua residual y del ambiente.
- ✓01 equipo HQ multiparámetro marca Hach para medición de pH, conductividad, temperatura.
- ✓01 Turbidímetro marca Hach para medición de partículas en el agua tratada.

Materiales auxiliares:

- ✓ 04 Baldes de PVC de primer uso de 20 litros con grifo de muestreo incorporado.
- ✓ 01 Brazo muestreador de mango largo
- ✓ 300 Etiquetas y 02 plumones indelebles, para anotar los datos de identificación de la muestra.
- ✓ 20 Cojines de agua destilada.
- ✓ 20 cojines de gel refrigerante (Ice Pack).
- ✓ 15 bolsas de hielo por 5 kg.

Materiales de desinfección:

- ✓ 02 Litro de Alcohol 96°
- ✓ 02 Paquetes grandes de algodón hidrófilo
- ✓ 02 Botellas de alcohol yodado.

- ✓ 01 Paquete de mascarillas y protectores descartables.
- ✓ 01 Paquete de guantes descartables.

Apoyo Logístico:

- ✓ 01 Movilidad con combustible
- ✓ Alimentos y refrigerios
- b. Laboratorio de Ensayo Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación en INACAL con registro nº LE

Laboratorio Acreditado por INACAL, Laboratorio Analítico del Sur y laboratorio ENVIROTEST SAC donde se enviaron las muestras de aguas residuales para los análisis correspondientes (Determinación de los parámetros físico químico y microbiológico en aguas residuales).

Asimismo, se trabajó en el laboratorio de la UNJBG y laboratorio EPS.

- c. Recursos para aislamiento y producción de bacterias depuradoras

A partir de los lodos depurados de las aguas residuales, se extrajo y utilizó una mixtura de microorganismos (bacterias heterotróficas, bacteria aerobias y anaerobias facultativas) que fueron adheridos al soporte granular o sustrato de los biojardines, para lo cual, para su cultivo masivo se utilizó insumos (lodos desecados, melaza, restos de vegetales, carbón vegetal, etc.) de fácil obtención y bajo costo.

El procedimiento para la obtención, aislamiento y producción de los

microorganismos depuradores, fue de acuerdo al siguiente detalle:

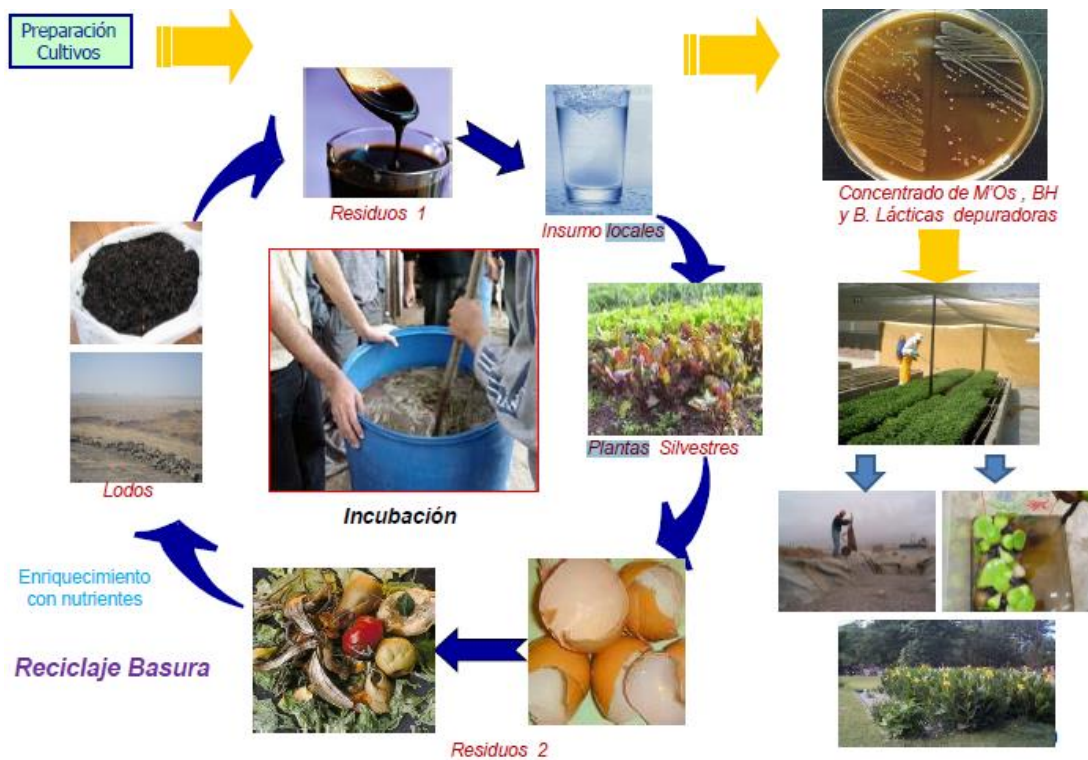


Figura 37: Proceso de preparación de cultivos de microorganismos.

Fuente: Elaboración propia

Metodologías de laboratorio aplicados

- ✓ Aceites y grasas: Método de ensayo para determinación de aceites y grasas en agua. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) Ed. 2017 23 rd. Método líquido-líquido, partición gravimétrica (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).

- ✓ DBO: Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. (Método 5-Day BOD test) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- ✓ DQO: Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22th Ed. 5220-COD Part. D. Closed reflux, Colorimetric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- ✓ SST: Determinación de Sólidos Suspendidos en aguas SWEWW. 22th Ed. Ítem 2540-Solids D. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- ✓ As Total: EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4 Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- ✓ Sulfuros: Ensayo de Sulfuros en aguas: SWEWW. 22th Ed. 4500-S2-Part F. Iodometric Method.
- ✓ Sulfatos: Ensayo de Sulfatos en agua: SWEWW. 22th Ed. 4500-SO4-2 Part. E. Turbidimetric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- ✓ Numeración de Coliformes Termotolerantes (NMP): SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedures (EC Medium) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).

- ✓ Metales Totales: Metales(ICP-AES): (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn) EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizaron las pruebas paramétricas como el análisis de varianza (ANDEVA), con los procedimientos que se utilizaron para analizar los datos para las pruebas estadísticas apropiadas en función de la hipótesis y los niveles de medición de las variables para la evaluación de las variables independientes y las variables dependientes.

Se utilizó la prueba de estadística de un $\alpha=0,05$; los cuales cumplieron con los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianza. Se analizaron los datos con el programa infostat versión 2019.

3.6. MARCO FILOSÓFICO

En el último siglo la población a nivel mundial se ha triplicado y el acceso al agua de calidad cada vez se hace más escaso y costoso. Simultáneamente, se tiene las consecuencias del cambio climático, cuyas proyecciones apuntan a que una de cada dos personas vivirá en áreas bajo estrés hídrico para el año 2030, el mismo que fue anunciado por Ulrike Broschek (Subgerente de Gestión Hídrica de Fundación Chile) en el 2018 en un Informe de situación hídrica de la región de Chile. De manera similar ocurre en el Perú y sobre todo en la región de Tacna, donde existe un deterioro de la calidad y de la cantidad del recurso hídrico, sumándose a ello la falta de conciencia y filosofía adecuada para la conservación, preservación y cuidado de las fuentes naturales existentes.

Esto supone un enorme desafío para una nueva filosofía de manejo y de gestión integrada del recurso hídrico, capaz de cambiar paradigmas en las empresas o industrias que utilizan este vital elemento en sus procesos productivos y en las autoridades o funcionarios con capacidad de decisión, el cual considera al tratamiento de aguas residuales como parte de la solución y no una carga o problema ambiental.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

La evaluación en campo de la etapa experimental de cada uno de los tratamientos del piloto, se realizó durante 05 (cinco) meses (junio a octubre del 2018) obteniendo los siguientes resultados:

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto de investigación se realizó en la zona adyacente de la PTAR Cono Sur, ubicado en el distrito Gregorio Albarracín, región Tacna, que se encuentra en el suroeste de la ciudad de Tacna, en la parte superior del aeropuerto, a una cota en el punto de captación de 485 msnm y comprendió la experimentación de Tecnologías extensivas, que consideró el proceso de pre tratamiento (Desbaste, Desarenado, Desengrasado), construcción de las obras de llegada y medición de caudal. La implementación del tratamiento primario (Fosas sépticas, laguna anaerobia, Decantación primaria) y tratamiento secundario.

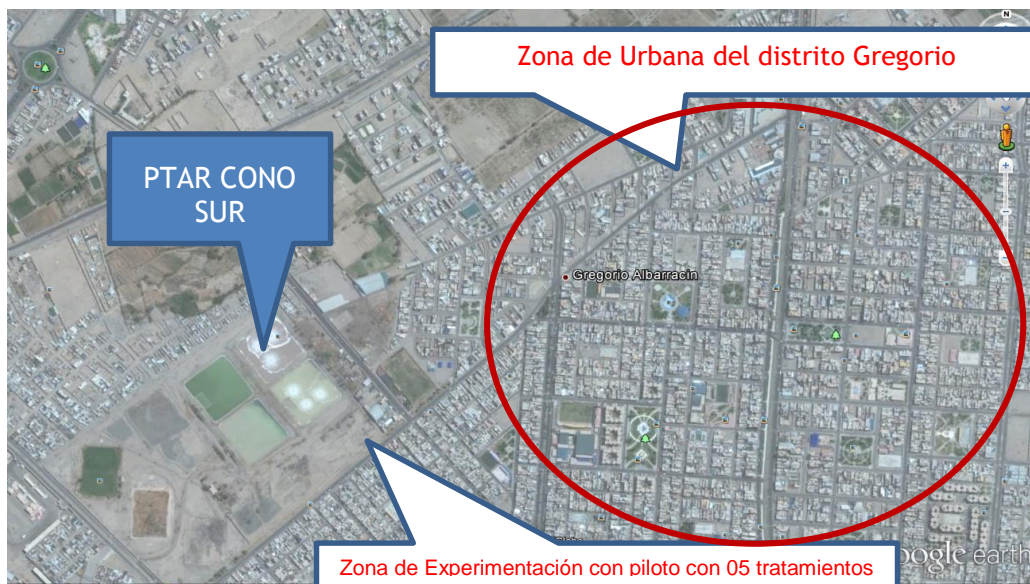


Figura 38. Ubicación de la zona experimental en la PTAR Cono Sur del Distrito Gregorio Albaracín Lanchipa.

Fuente: Google Earth

4.2. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO

Se ha realizado el levantamiento topográfico de la zona experimental, determinando las pendientes para la ubicación de los tratamientos en todo el sistema piloto para que trabaje de forma continua por gravedad. Para ello se ha contado como antecedente el levantamiento topográfico de toda la planta Cono Sur de la EPS realizado por ENERGET que determinó lo siguiente:

Según el levantamiento topográfico realizado, indica que toda la PTAR tiene una pendiente sensiblemente uniforme en la alineación NNE-SSO. La cota máxima en el extremo NNE es la 498,20 mientras que en el SSO es la 484,26, lo que representa un desnivel entre un extremo y otro de 14 m. En la alineación NNO-SSE el desnivel no es significativo.

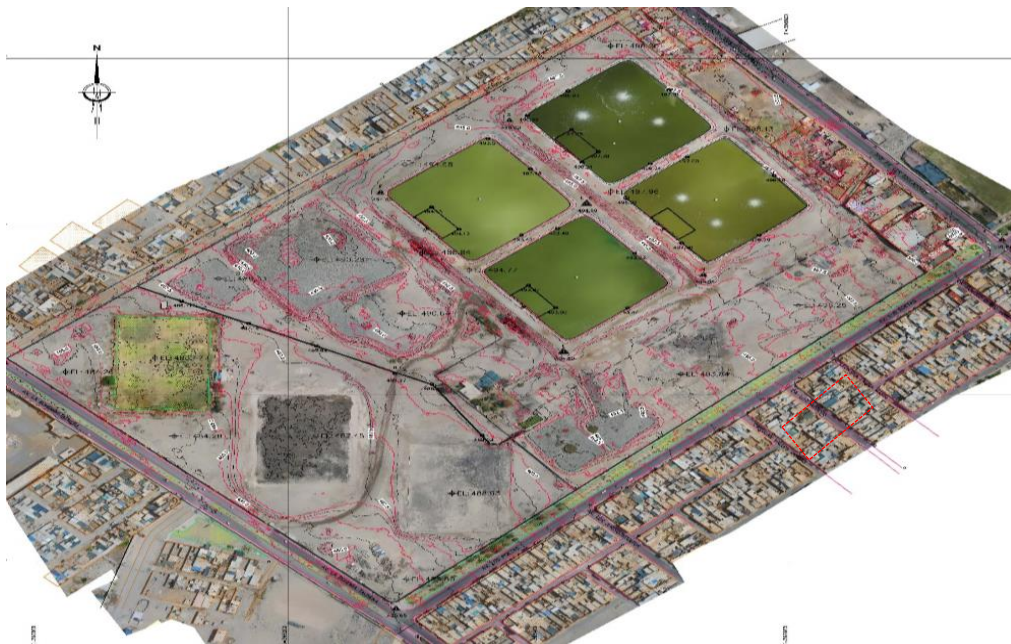


Figura 39: Topografía general de la PTAR Cono Sur

Fuente: Energet

4.3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO:

Tabla 9

Ubicación geográfica de la PTAR

Descripción	Punto de muestreo
Región	Tacna
Provincia	Tacna
Distrito	Gregorio Albarracín Lanchipa
Altitud	485 msnm
Denominación	PTAR CONO SUR
Lugar	Parte superior

Tabla 10

Ubicación de los puntos de muestreo

Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte
INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	Agua Residual - Agua Residual Domestica	DIST. GREGORIO ALBARRACIN / PTAR / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E366635, N 8005023, Altura: 485 msnm)
SALIDA TRATAMIENTO N°1	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBARRACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E 366642, N 8004969, Altura: 481 msnm)
SALIDA TRATAMIENTO N°2	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBARRACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E 366636, N 8004964, Altura: 482 msnm)
SALIDA TRATAMIENTO N°3	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBARRACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E 366636, N 8004952, Altura: 483 msnm)
SALIDA TRATAMIENTO N°4	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBARRACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E 366633, N 8004950, Altura: 483 msnm)
SALIDA TRATAMIENTO N°5	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBARRACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E 366630, N8004947, Altura: 483 msnm)

Fuente: Elaboración propia.

4.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO POR CADA TRATAMIENTO:

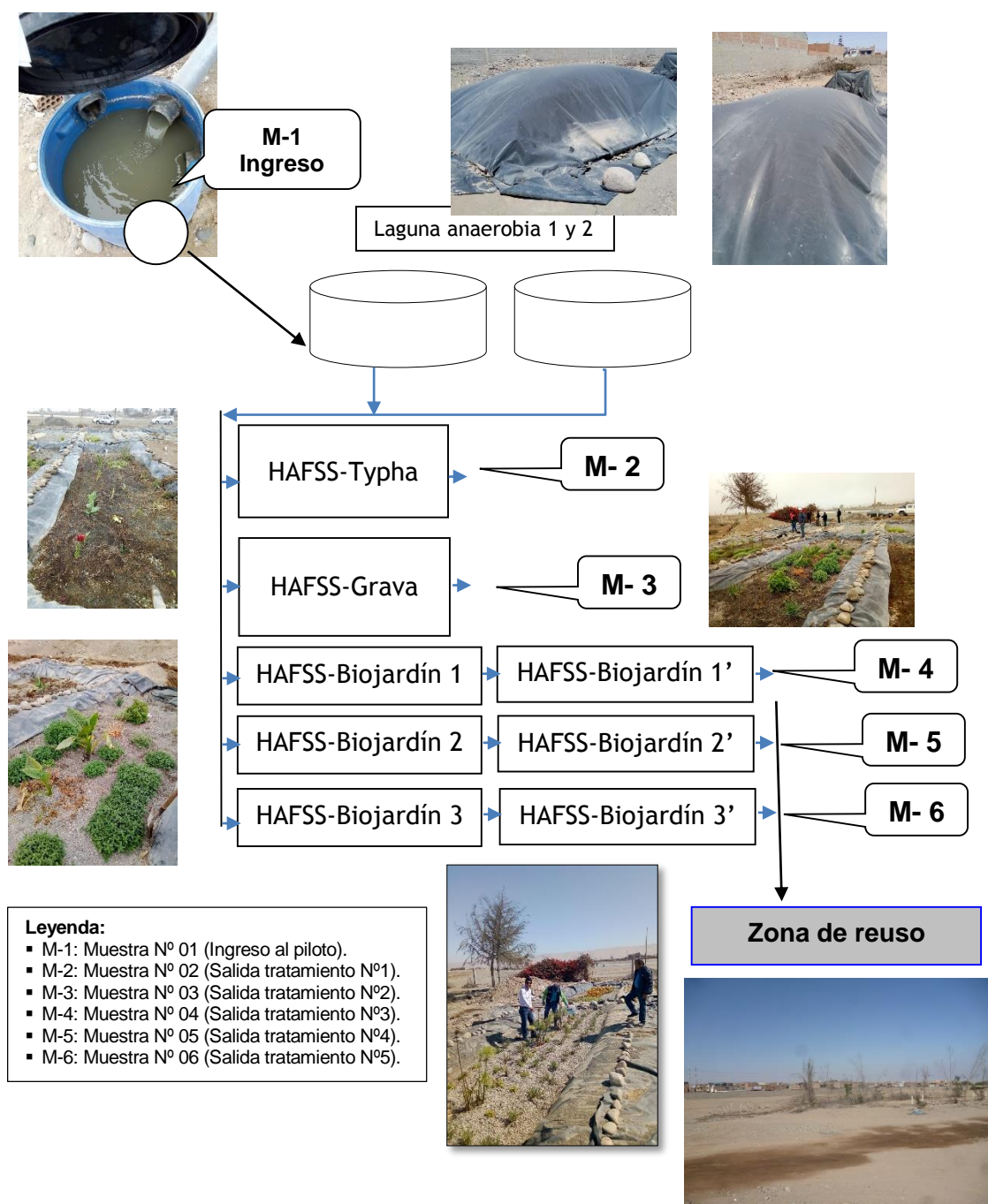


Figura 40. Distribución de puntos de muestreo en los tratamientos

4.5. RESULTADOS DE PARÁMETROS *IN SITU*

4.5.1. Caracterización del caudal

El caudal de ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cono Sur estuvo en el rango de 30 a 45 l/s; el caudal de ingreso al sistema piloto, se muestra en la Tabla 11, cuya ficha de datos de campo se adjunta en el anexo con el siguiente detalle:

Tabla 11

Resultados de medición de caudales del sistema piloto.

ITEM	CAUDAL AFORADO (L/s)
Aforo junio	0,758
Aforo julio	1,137
Aforo agosto	1,076
Aforo septiembre	0,945
Aforo octubre	0,736
Caudal promedio	0,930
Caudal máximo	1,137
Caudal mínimo	0,736
Caudal de diseño del sistema piloto	0,04

Fuente: Elaboración propia.

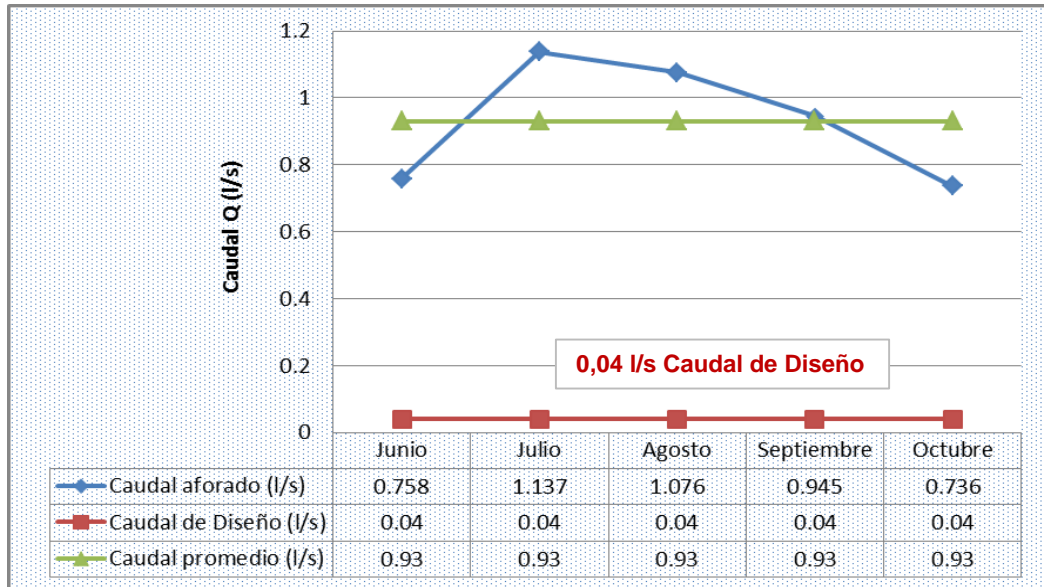


Figura 41. Determinación de caudales de diseño y de operación al sistema piloto experimental.

4.5.2. Caracterización física, química y microbiológica del afluyente al piloto (agua residual)

4.5.2.1. Resultados de laboratorios de aguas residuales al ingreso del piloto experimental

Los resultados del análisis del laboratorio de los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos del afluyente al sistema piloto experimental se presentan en la Tabla 12. El detalle se adjunta en el anexo.

Tabla 12

Reporte de análisis de laboratorio con valores mínimos y máximos al ingreso del sistema piloto durante los 05 meses de evaluación experimental.

Método de análisis	Unidad	CONCENTRACIÓN Típica según METCALF y EDDY, INC (1996)			DS 03-2010/ MINA M	RESULTADOS DE MUESTREO AL INGRESO DEL SISTEMA		
		DEBL	MEDIA	FUERTE	LMP	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
PARÁMETROS DE CAMPO								
pH (Campo)	Unidades pH				6,5 - 8,5	7,39	7,496	7,65
Temperatura (Campo)	°C				< 35	18,5	19,58	21,1
Turbiedad	NTU				-	423	464,6	524
Conductividad	uS/cm					1762	1803	1852
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS								
Sulfatos	mg/L	20	30	50		207,1	232,3	262,4
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L					2,89	3,02	3,16
Aceites y Grasas	mg/L	50	100	150	20	18,7	39,36	59,3
Demanda Bioquímica de	mg/L	110	220	400	100	410	479,8	605

Oxígeno (DBO5)									
Demanda									
Química de Oxígeno	mg O2/L	250	500	1000	200	800	844,4	900	
Arsénico Total	mg/L						0,0162	0,01985	0,0283
Sólidos									
Suspendidos Totales	mg/L	100	220	350	150	260	331,8	437	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	E+06-E+07	E+07-E+08	E+08-E+09	1,00E+04	2,40E+07	3,78E+07	5,40E+07	
INDICE DE BIODEGRADABILIDAD									
RELACION DQO/DBO5							0,5125	0,568	0,672
							1,487	1,760	1,951

Fuente: INFORME DE ENSAYO LAS - AC-18-01388, INFORME DE ENSAYO LAS - AC-18-01716, INFORME DE ENVIROTEST, Laboratorio de Investigación UNJBG, Laboratorio EPS.

4.5.2.2. Interpretación de la caracterización de aguas residuales

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:

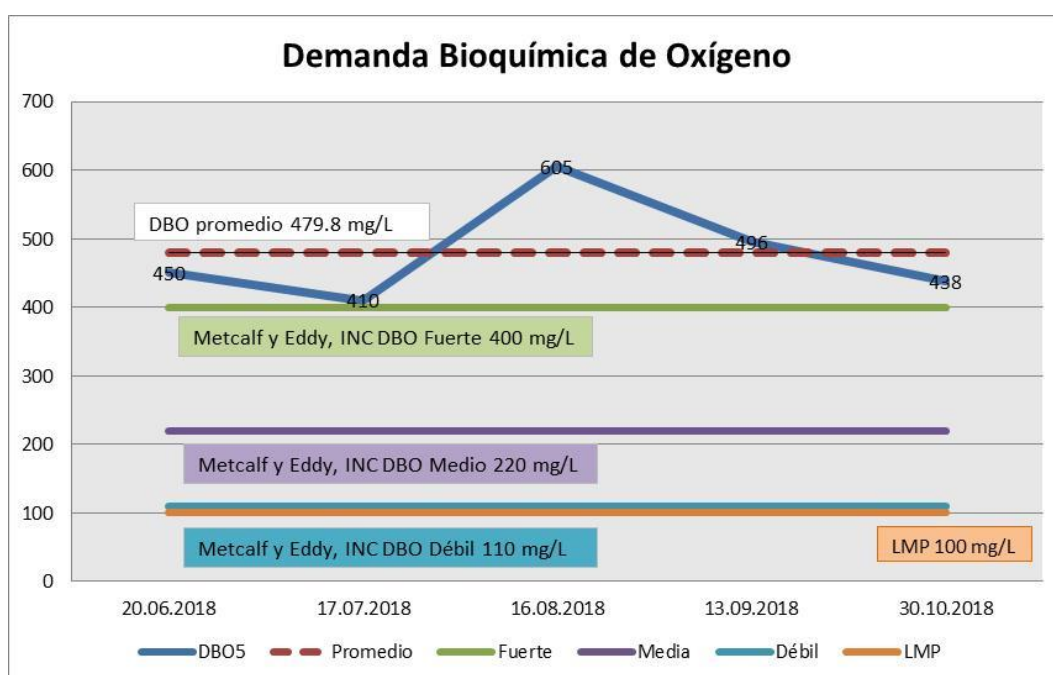


Figura 42. Resultado de análisis de laboratorio para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) durante los 05 días

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación

Según los resultados de la **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO₅), parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios, se aprecia que en el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05

meses de monitoreo excedió el D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 100 mg/L de DBO₅.

Durante toda la evaluación, la concentración media fue de 479,8 mg/L de DBO₅, con un mínimo 410 mg/L y máximo 605 mg/L, que comparado con la tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), las aguas residuales crudas del sistema piloto superaron la concentración débil (110 mg/L), media (220 mg/L) y fuerte (400 mg/L) de DBO₅ referenciado.

En la relación de los valores de DBO y DQO que es el indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante, se obtuvo un resultado de 0,568 lo que indicaría que son aguas de vertidos de naturaleza urbana o clasificables como urbanos, compuestas principalmente por materia orgánica carbonacea o desperdicios orgánicos biodegradables que pueden ser tratados mediante tratamientos biológicos.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:

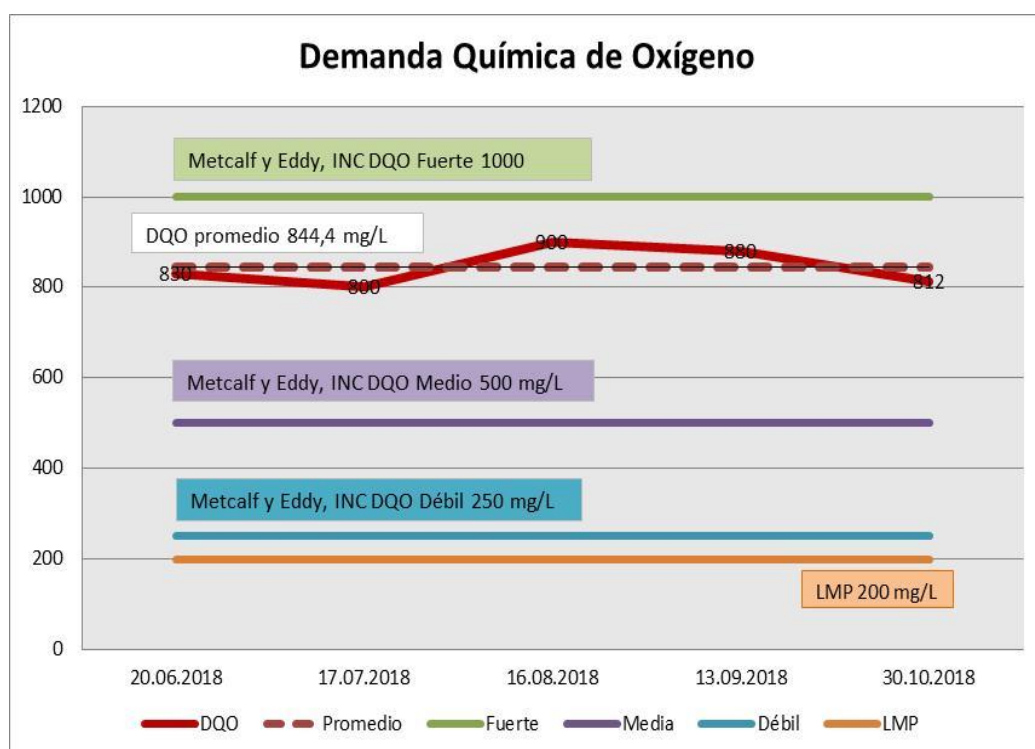


Figura 43. Resultado de análisis de laboratorio de la Demanda Química de Oxígeno durante 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la **Demanda Química de Oxígeno**, que es el parámetro que mide la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica en las aguas residuales, además que dan un estimado indirecto de la concentración de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de

monitoreo excedió el D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 200 mg/L.

Durante toda la evaluación, la concentración media fue de 844,4 mg/L de DQO, con un mínimo 800 mg/L y máximo de 900 mg/L, que comparado con la tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), las aguas residuales crudas del sistema piloto superaron la concentración débil (250 mg/L) y media (500 mg/L), pero no superó la concentración fuerte (1000 mg/L) de DQO referenciado. El valor de la DQO de las aguas residuales es mayor a los valores de la DBO₅, el cual es debido a que tienen mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por la vía biológica.

En la relación de los valores de DQO y DBO que también es el indicativo de la biodegradabilidad del desagüe. Para aguas residuales domésticas, esa relación se encuentra en el rango de 1,8 a 2,0. Para los efluentes industriales esta relación normalmente es mayor (3-4). Para el muestreo realizado el cociente DQO/DBO se obtuvo un valor de 1,760 lo que corrobora que son aguas biodegradables. Recordando que entre más baja es la relación DQO/DBO, más biodegradable es el agua residual.

ACEITES Y GRASAS:

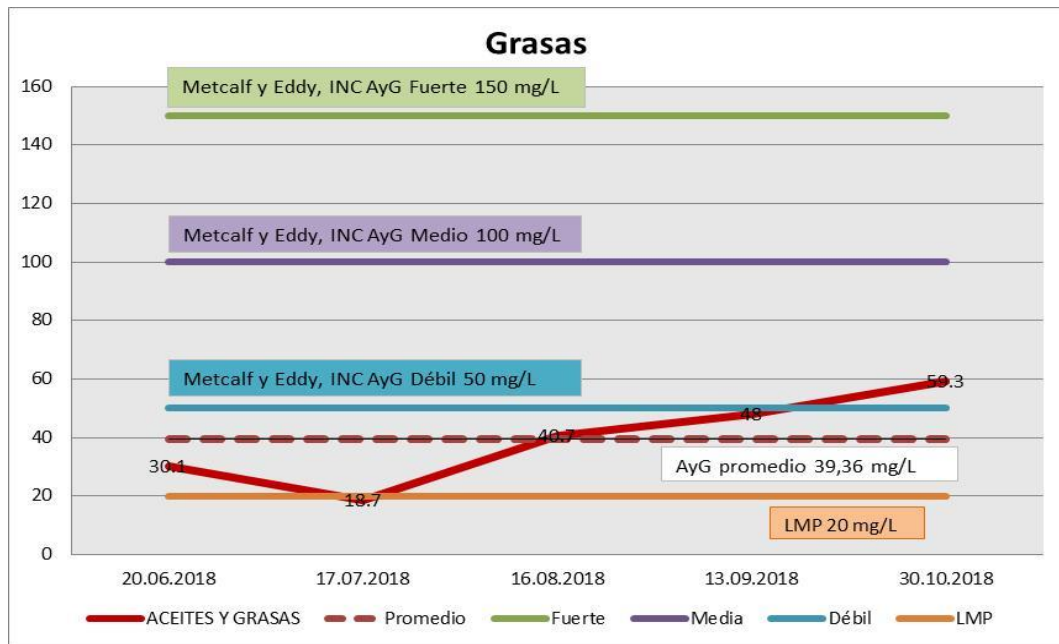


Figura 44. Resultado de análisis de laboratorio de Aceites y Grasas durante los 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la medición del parámetro de **Aceites y Grasas**, que son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo; se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de monitoreo excedió el D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 20 mg/L.

Durante toda la evaluación, la concentración media fue de 39,36 mg/L, con un mínimo de 18,7 mg/L y máximo de 59,3 mg/L, que comparado con la tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), donde lo considera contaminante como grasa, los valores de las aguas residuales crudas del sistema piloto NO superaron la concentración débil (50 mg/L), media (100 mg/L) y fuerte (150 mg/L) de grasa referido.

Los aceites y grasas radican su importancia en que cubren las membranas celulares de las bacterias que realizan la depuración de las aguas residuales, bloqueando el proceso de respiración y transporte a nivel celular lo que produce la muerte de la misma, con la consiguiente afectación al tratamiento.

También, una de sus principales características, es que las grasas, son el componente con mayor tendencia a oxidarse, que, al llegar a las unidades de tratamiento biológico, fijan rápidamente el oxígeno disuelto disponible, pudiendo ocasionar condiciones de anoxia puntuales que podrían propiciar el crecimiento de microorganismos filamentosos. Por otro lado, debido a que la densidad de las grasas y aceites es menor a la del agua, estas flotan en la superficie del agua, lo que genera formación de capas acumuladas en la superficie de los reactores biológicos, dificultando la transferencia de oxígeno.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:

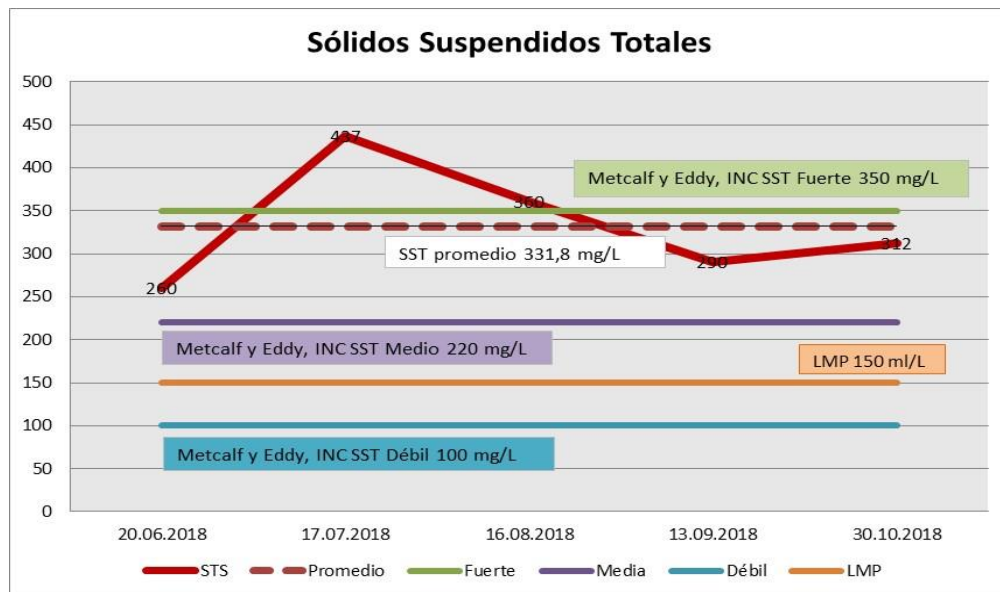


Figura 45. Resultado análisis de laboratorio de Sólidos Suspendidos Totales durante 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la medición del parámetro Sólidos Suspendidos Totales, que son de importancia ambiental; se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de monitoreo excedió el D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 150 mL/L.

Durante toda la evaluación, la concentración media reportada por el laboratorio acreditado fue de 331,8 mg/L, con un mínimo de 260 mg/L y máximo de 437 mg/L, que comparado con la tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), donde lo considera como Sólidos en Suspensión (SS), los valores de las aguas residuales crudas del sistema piloto superaron la concentración débil (100 mg/L), media (220 mg/L) y se encuentra cercano al límite de la concentración fuerte (350 mg/L) referido.

Con los valores reportados por el laboratorio acreditado pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al ambiente acuático.

Los sólidos suspendidos se clasifican además en Sólidos Suspendidos Volátiles y Sólidos Suspendidos Fijos, los mismos que contiene la fracción biológica activa (viva) de la biomasa del agua residual, donde pueden contener organismos patógenos, así como cepas de algas productoras de toxinas.

La importancia de la determinación de los Sólidos Suspendidos Totales, radica en que las altas concentraciones transportadas en las

aguas residuales, provocan la formación de lodos que pueden depositarse en el fondo de los cuerpos de agua, cubriendo a los organismos acuáticos, huevos, o larvas de macroinvertebrados, impidiendo la transferencia de oxígeno y ocasionando la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa, así como la afectación de la biodiversidad en ésta parte del ecosistema.

pH:

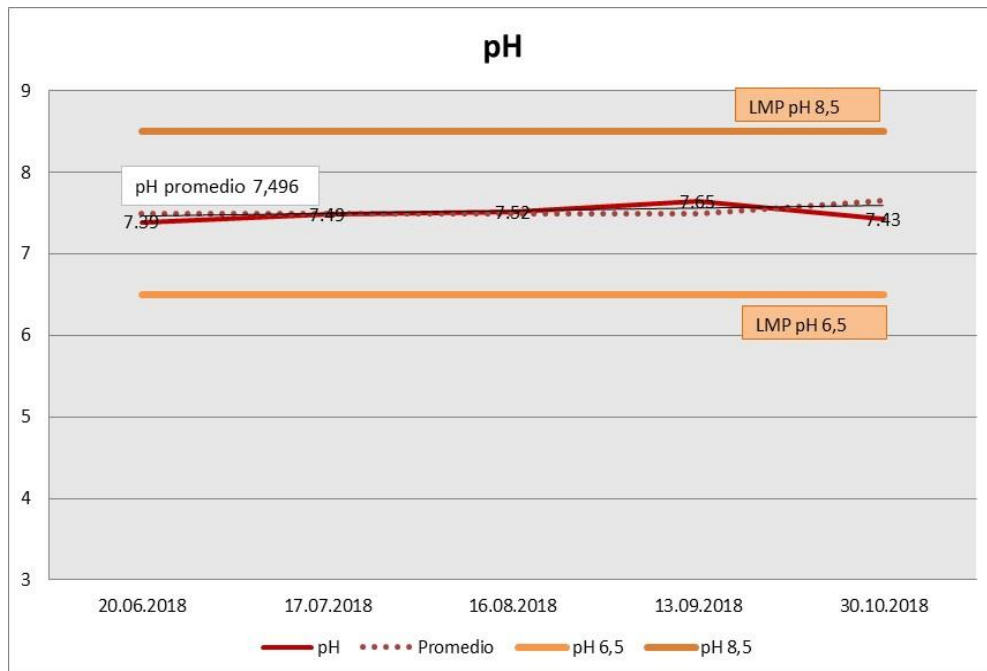


Figura 46. Resultado de análisis del parámetro de campo pH durante los 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la evaluación del parámetro de campo pH, se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de monitoreo excedió el límite inferior del D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permissible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 6,5 y se encuentra dentro del límite superior que es de 8,5.

Durante toda la evaluación, la concentración media fue de 7,496, con un mínimo 7,39 y máximo de 7,65. La tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), no considera al parámetro pH.

La importancia ambiental, radica en que las fluctuaciones y cambios drásticos en el pH pueden afectar al desarrollo y crecimiento de los microorganismos. Durante el período de evaluación los valores se mantuvieron en los valores alcalinos, los cuales recibirían esta alcalinidad por el sistema de suministro de agua potable, agentes limpiadores alcalinizantes, residuos de alimentos, etc.

TEMPERATURA

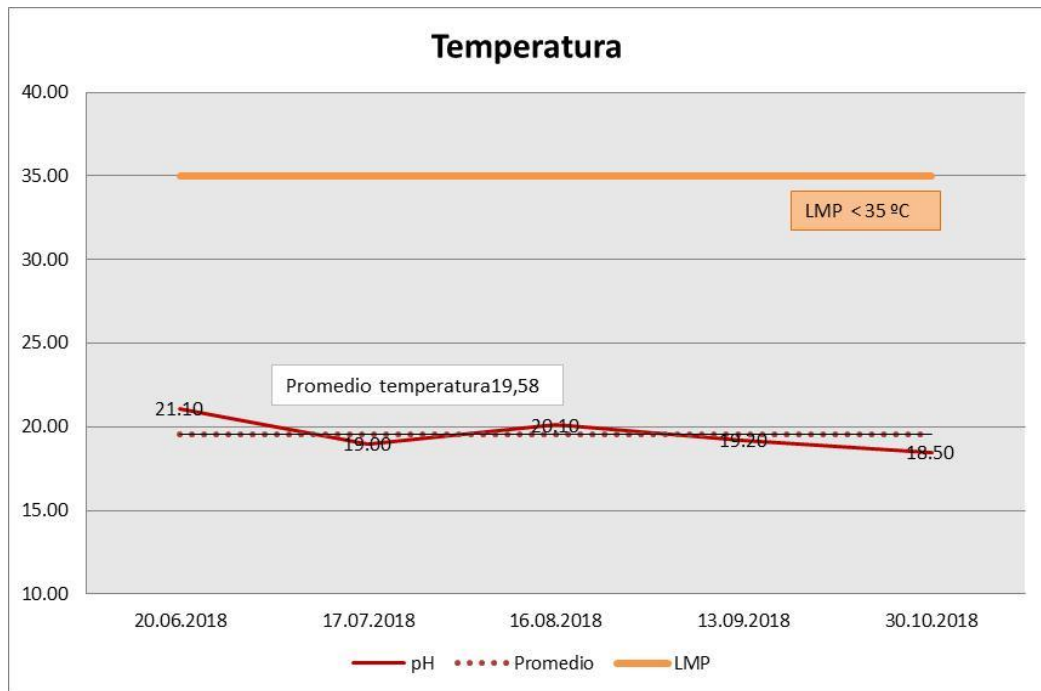


Figura 47. Resultado de análisis del parámetro de campo temperatura durante los 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la evaluación del parámetro de campo temperatura, se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de monitoreo NO excedió el máximo del D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es menor a 35 °C.

Durante toda la evaluación, la temperatura media fue de 19,58 °C, con un mínimo 18,5 °C y máximo de 21,1 °C. La tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), no considera al parámetro dentro de su caracterización.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES:

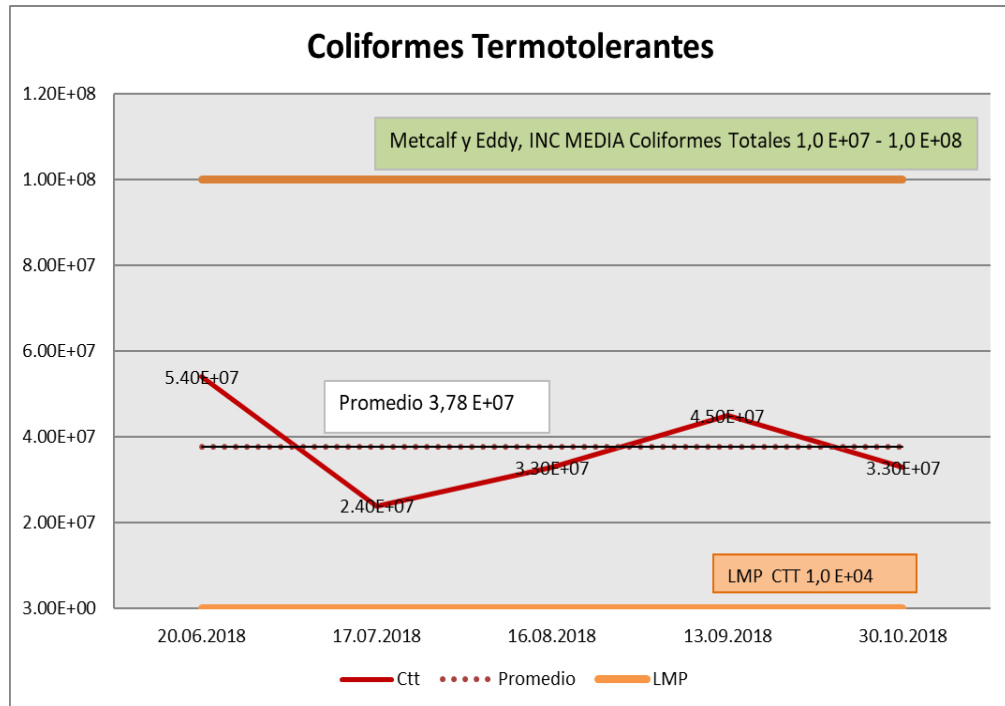


Figura 48. Resultados de análisis de Coliformes termotolerantes durante los 5 meses de evaluación.

Interpretación

Según los resultados de la medición del parámetro Coliformes Termotolerantes, que son indicadores de contaminación humana; se aprecia que el afluente del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, la media de los 05 meses de monitoreo excedió el D.S. N° 003-2010-MINAM del Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales que es de 1000 NMP/100 mL ó 10 E04 NMP/100 mL.

Durante toda la evaluación, la concentración media reportada por el laboratorio fue de $3,78 \text{ E}+07$ NMP/100 mL, con un mínimo de $2,40 \text{ E}+07$ NMP/100 mL y máximo de $5,4 \text{ E}+07$ NMP/100 mL.

La tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de Metcalf y Eddy, INC (1996), considera a los Coliformes totales, mas no así a los Coliformes Termotolerantes. Los Coliformes Totales incluyen Coliformes termotolerantes y Coliformes de origen no fecal.

4.5.3. Resultados de parámetros de laboratorio por tratamientos:

4.5.3.1. Resultados Salida de Tratamiento 1:

Tabla 13

Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 1

PARÁMETROS EVALUADOS	Unidad	RESULTADOS SALIDA DE TRATAMIENTO N°01			LMP DS 03-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO LMP	% EFICIENCIA DE REMOCION
		MIN	MAX	PROMEDIO			
001 ANÁLISIS EN CAMPO							
pH	-	6,95	7,25	7,07	6,5 - 8,5	Cumple	5,63
Temperatura	°C	19,1	22,5	21,12	< 35	Cumple	0,00
Turbiedad	NTU	54	268	109,26	-	-	76,48
Conductividad	µS/cm	1482	2164	1748,80	-	-	3,01
002 ANÁLISIS FISICOQUIMICOS							
Sulfatos	mg/L	110,5	110,5	110,50	-	-	52,43
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	74,39	74,39	74,39	-	-	
Aceites y Grasas	mg/L	0,32	2,7	1,80	20	Cumple	95,42
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	110	240	163,08	100	No Cumple	66,01
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	242	386	313,54	200	No Cumple	62,87
Arsénico Total	mg/L	0,001	0,042	0,02	-	-	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	10,3	28,5	19,64	150	Cumple	94,08
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,10E+06	1,60E+08	3,55E+07	1,0E+04	No cumple	6,14
ÍNDICE BIODEGRADABILIDAD				0,520125			
RELACIÓN DQO/DBO ₅				1,922614			

Interpretación

Los resultados de evaluación durante los 05 meses de monitoreo a la salida del Tratamiento N°1, que contiene un sistema combinado de pretratamiento con cámara de rejillas, trampa de grasas y un humedal de flujo subsuperficial horizontal con *Typha domingensis*, el porcentaje de remoción de parámetros de campo en el agua residual fue de Turbiedad (76,48 %), Conductividad (3,01 %), y de contaminantes evaluados bajo la forma los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con, Sulfatos (52,43 %), Aceites & grasas (95,42 %), DBO (66,01 %), DQO (62,87 %), Sólidos Suspendidos Totales (94,08 %) y Coliformes Termotolerantes (6,14 %); con la observación y precisión que hubo incremento en los valores de Sulfuro de Hidrógeno (- 2360,53) y Arsénico Total (- 7,94) en comparación al afluente del sistema piloto.

En cuanto al cumplimiento de los LMP, de los 07 parámetros exigidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM (Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales), los parámetros DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes NO cumplen los LMP exigidos, precisando que estos resultados pueden mejorar si se adiciona con otros tratamientos evaluados.

4.5.3.2. Resultados Salida de Tratamiento 2

Tabla 14

Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 2

PARÁMETROS EVALUADOS	Unidad	RESULTADOS SALIDA TRATAMIENTO N°02			LMP DS 03-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO LMP	% EFICIENCIA DE REMOCION
		MIN	MAX	PROMEDIO			
001 ANÁLISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	Unidad pH	6,96	7,45	7,24	6,5 - 8,5	Cumple	3,47
Temperatura (Campo)	°C	18,2	21,7	20,16	< 35	Cumple	0,00
Turbiedad	NTU	109	426	180,40	-	-	61,17
Conductividad	uS/cm	1716	2013	1834.2	-	-	0,00
002 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS							
Sulfatos	mg/L	137,9	137,9	137,90	-	-	40,64
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	79,16	79,16	79,16	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	0,32	3,2	1,38	20	Cumple	96,48
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	89	260	156,00	100	No Cumple	67,49
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	178,3	463	293,86	200	No Cumple	65,20
Arsénico Total	mg/L	0,001	0,0305	0,02	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	12,4	13,8	13,08	150	Cumple	96,06
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,30E+06	1,70E+07	6,06E+06	1,00E+04	No Cumple	83,97
ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD				0,5308			
RELACIÓN DQO/DBO5				1,8837			

Interpretación

Los resultados de evaluación durante los 05 meses de monitoreo a la salida del Tratamiento N°2, que contiene un sistema combinado de trampa de grasas con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal sin cobertura vegetal (baja densidad), el porcentaje de

remoción de parámetros de campo en el agua residual fue de pH (3,47 %), Turbiedad (61,17 %), y de contaminantes evaluados bajo la forma los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con, Sulfatos (40,64 %), Aceites & grasas (96,48 %), DBO (67,49 %), DQO (65,20 %), Sólidos Suspendidos Totales (96,06 %) y Coliformes Termotolerantes (83,97 %); con la observación y precisión que hubo incremento en los valores de Sulfuro de Hidrógeno (-2518,30) y Arsénico Total (-9,18) en comparación al afluente del sistema piloto.

En cuanto al cumplimiento de los LMP, de los 07 parámetros exigidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM (Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales), los parámetros DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes NO cumple los LMP exigidos, precisando que estos resultados pueden mejorar si se complementa adicionalmente con otros tratamientos.

Tabla 15

Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 3

PARÁMETROS EVALUADOS	Unidad	RESULTADOS SALIDA TRATAMIENTO N°03			LMP DS 03-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO LMP	% EFICIENCIA DE REMOCIÓN
		MIN	MAX	PROMEDIO			
001 ANÁLISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	Unidades pH	7,02	7,35	7,17	6,5 - 8,5	Cumple	4,30
Temperatura (Campo)	°C	18,26	22,5	20,03	< 35	Cumple	0,00
Turbiedad	NTU	42	215	101,16	-	-	78,23
Conductividad	uS/cm	1326	1922	1662,60	-	-	0,00
002 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS							
Sulfatos	mg/L	109,6	109,6	109,60	-	-	52,82
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	41,11	41,11	41,11	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	0,32	1,1	0,48	20	Cumple	98,79
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	95	157,5	135,32	100	No Cumple	71,80
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	184	299	250,40	200	No Cumple	70,35
Arsénico Total	mg/L	0,001	0,0342	0,02	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5,6	18,4	9,96	150	Cumple	97,00
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1,10E+05	1,70E+06	1,15E+06	1,00E+04	No Cumple	96,9683
ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD				0,540415			
RELACION DQO/DBO ₅				1,850428			

4.5.3.3. Resultados Salida de Tratamiento 3

Los resultados de evaluación durante los 05 meses de monitoreo a la salida del Tratamiento N°3, que contiene un sistema combinado de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal como biojardines activados, el porcentaje de remoción de parámetros de campo en el agua residual fue de pH (4,30 %), Turbiedad (78,23 %), Conductividad (7,79 %), y de contaminantes evaluados bajo la forma los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con, Sulfatos (52,82 %), Aceites & grasas (98,79 %), DBO (71,80 %), DQO (70,35 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,00 %) y Coliformes Termotolerantes (96,9683 %); con la observación y precisión que hubo incremento en los valores de Sulfuro de Hidrógeno (-1259,76) y Arsénico Total (-32,26) en comparación al afluente del sistema piloto.

En cuanto al cumplimiento de los LMP, de los 07 parámetros exigidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM (Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales), los parámetros DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes NO cumple los LMP exigidos, precisando que estos resultados pueden mejorar si se complementa con otros tratamientos.

4.5.3.4. Resultados de Salida de Tratamiento 4:

Tabla 16

Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 4

PARÁMETROS EVALUADOS	Unidad	RESULTADOS SALIDA TRATAMIENTO N°04			LMP DS 03-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO LMP	% EFICIENCIA DE REMOCIÓN
		MIN	MAX	PROMEDIO			
001 ANÁLISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	Unidades pH	6,92	7,4	7,21	6,5 - 8,5	Cumple	3,82
Temperatura (Campo)	°C	18,32	22	19,96	< 35	Cumple	0,00
Turbiedad	NTU	62	132	90,40	-	-	80,54
Conductividad	uS/cm	1316	1870	1620,20	-	-	0,00
002 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS							
Sulfatos	mg/L	83,9	83,9	83,90	-	-	63,88
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	25,15	25,15	25,15	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	0,32	0,5	0,36	20	Cumple	99,10
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	68	276	136,80	100	No Cumple	71,49
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	126	552,5	262,50	200	No Cumple	68,91
Arsénico Total	mg/L	0,001	0,1975	0,09	-	-	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	7,1	11,3	8,80	150	Cumple	97,35
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	5,40E+05	5,40E+06	2,29E+06	1.00E+04	No Cumple	93,9471
ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD				0,52114			
RELACION DQO/DBO5				1,91885			

Interpretación

Los resultados de evaluación durante los 05 meses de monitoreo a la salida del Tratamiento N°4, que contiene un sistema combinado de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como

biojardines activados, usando como la antracita en un 50 % como sustrato en el biojardín N°2, el porcentaje de remoción de parámetros de campo en el agua residual fue de pH (3,82 %), Turbiedad (80,54 %), Conductividad (10,14 %), y de contaminantes evaluados bajo la forma los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con, Sulfatos (63,88 %), Aceites y grasas (99,10 %), DBO (71,49 %), DQO (68,91 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,35 %) y Coliformes Termotolerantes (93,9471 %); con la observación y precisión que hubo incremento en los valores de Sulfuro de Hidrógeno (-731,86) y Arsénico Total (-462,90) en comparación al afluente del sistema piloto.

En cuanto al cumplimiento de los LMP, de los 07 parámetros exigidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM (Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales), los parámetros DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes NO cumple los LMP exigidos, precisando que estos resultados pueden mejorar si se complementa adicionalmente con otros tratamientos.

4.5.3.5. Resultados de Salida de Tratamiento 5

Tabla 17

Porcentajes de remoción a la salida del Tratamiento 5

PARÁMETROS EVALUADOS	Unidad	RESULTADOS SALIDA TRATAMIENTO N°05			LMP DS 03-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO LMP	% EFICIENCIA DE REMOCION
		MIN	MAX	PROMEDIO			
001 ANÁLISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	Unidades pH	7,45	7,8	7,62	6,5 - 8,5	Cumple	0,00
Temperatura (Campo)	°C	17,89	23,5	20,00	< 35	Cumple	0,00
Turbiedad	NTU	38	186	101,60	-	-	78,13
Conductividad	uS/cm	1224	1680	1451,80	-	-	0,00
002 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS							
Sulfatos	mg/L	65,5	187,5	123,40	-	-	46,88
Sulfuro de Hidrógeno Indisociable	mg/L	0,005	0,194	0,07	-	-	97,75
Aceites y Grasas	mg/L	0,32	0,7	0,40	20	Cumple	98,99
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	28	97,5	71,84	100	No Cumple	85,03
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	61	192,2	137,44	200	No Cumple	83,72
Arsénico Total	mg/L	0,001	0,0805	0,04	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	11,7	7,90	150	Cumple	97,62
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,10E+05	1,30E+07	3,86E+06	1,00E+04	No Cumple	89,7937
ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD				0,522700			
RELACIÓN DQO/DBO5				1,913140			

Interpretación

Los resultados de evaluación durante los 05 meses de monitoreo a la salida del Tratamiento N°5, que contiene un sistema combinado de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como

biojardines activados, usando como la antracita en un 100 % como sustrato en el biojardín N°2, más desinfección UV artesanal, el porcentaje de remoción de parámetros de campo en el agua residual fue de Turbiedad (78,13 %) y de contaminantes evaluados bajo la forma los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con Sulfatos (46,88 %), Aceites y grasas (98,99 %), DBO (85,03 %), DQO (83,72 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,62 %) y Coliformes Termotolerantes (89,7937 %); con la observación y precisión que hubo incremento en los valores de Sulfuro de Hidrógeno y Arsénico Total en comparación al afluente del sistema piloto.

En cuanto al cumplimiento de los LMP, de los 07 parámetros exigidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM (Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales), los parámetros DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes NO cumplen los LMP exigidos, precisando que estos resultados pueden mejorar si se complementa adicionalmente con otros tratamientos.

4.5.4. Resultados de eficiencias de remoción de los sistemas de tratamiento

Tabla 18

Resultados de eficiencias

PARÁMETROS EVALUADOS	AFLUENTE	EFLUENTE T1		EFLUENTE T2		EFLUENTE T3		EFLUENTE T4		EFLUENTE T5	
		PROMEDIO	% REMOCIÓN	PROMEDIO	% REMOCIÓN	PROMEDIO	% REMOCIÓN	PROMEDIO	% REMOCIÓN	PROMEDIO	% REMOCIÓN
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS											
pH	7,496	7,074	5,63	7,236	3,47	7,174	4,3	7,21	3,82	7,618	-1,63
Temperatura (°C)	19,58	21,12	-7,87	20,16	-2,96	20,032	-2,31	19,956	-1,92	19,998	-2,13
Turbiedad (NTU)	464,6	109,26	76,48	180,4	61,17	101,16	78,23	90,4	80,54	101,6	78,13
Conductividad (µS/cm)	1803	1748,8	3,01	1834,2	-1,73	1662,6	7,79	1620,2	10,14	1451,8	19,48
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS											
Sulfatos (mg/L)	232,3	110,5	52,43	137,9	40,64	109,6	52,82	83,9	63,88	123,4	46,88
Sulfuro de Hidrógeno Indisoluble (mg/L)	3,023	74,39	-2360,53	79,16	-2518,3	41,11	-1259,76	25,15	-731,86	0,068	97,75
Aceites y Grasas (mg/L)	39,36	1,804	95,42	1,384	96,48	0,476	98,79	0,356	99,1	0,396	98,99
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (mg/L)	479,8	163,08	66,01	156	67,49	135,32	71,8	136,8	71,49	71,84	85,03
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	844,4	313,54	62,87	293,86	65,2	250,4	70,35	262,5	68,91	137,44	83,72
Arsénico Total (mg/L)	0,016	0,0174	-7,94	0,0176	-9,18	0,02132	-32,26	0,09074	-462,9	0,03546	-119,98
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	331,8	19,64	94,08	13,08	96,06	9,96	97	8,8	97,35	7,9	97,62
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS											
Numeración de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	3,78E+07	35480000	6,14	6060000	83,97	1146000	96,97	2288000	93,95	3858000	89,7937

La tabla presenta un resumen de la eficiencia de remoción de cada uno de los efluentes de los sistemas de tratamiento versus el afluente para el parámetro físico químico y microbiológico.

4.5.4.1. Análisis estadístico de los tratamientos

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico de los parámetros (DBO₅, DQO, SST, Turbiedad, etc.) que se evaluaron a la salida de cada uno de los tratamientos y compararon entre sí, buscando determinar cuál de los tratamientos realizó una mayor eficiencia de remoción de los contaminantes:

4.5.4.1.1. pH

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable pH entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 8,39749 y el valor-P (0,0004) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 19

Tabla ANOVA para el parámetro pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,866016	4	0,216504	8,40	0,0004
Intra grupos	0,51564	20	0,025782		
Total (Corr.)	1,38166	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que el valor mediano más bajo observado fue el Tratamiento 1 (7,074), con remoción en pH, seguido del Tratamiento 3 (7,174), Tratamiento 4 (7,21), Tratamiento 2 (7,236), por lo que el Tratamiento 5 (7,618) alcanzó el valor más alto de alcalinización respectivamente (Figura 49).

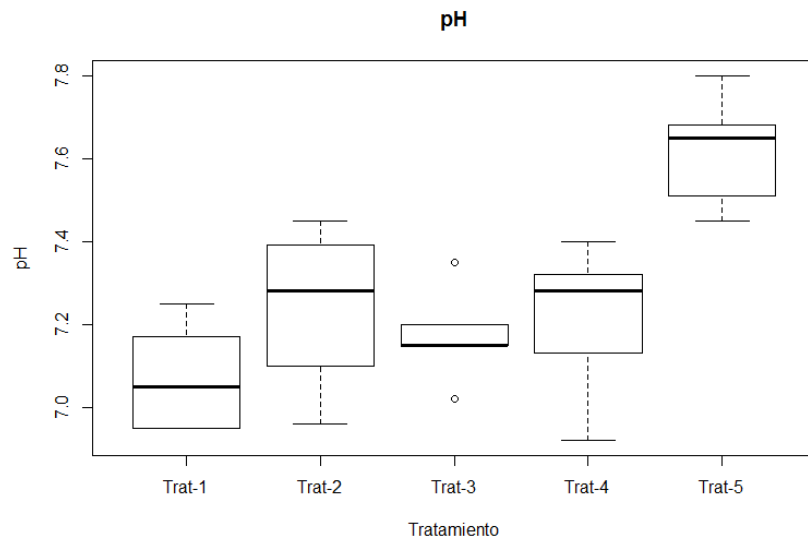


Figura 49: Valores de medianas de pH en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.2. Temperatura

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Temperatura entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 0,464 906 y el valor-P (0,7607) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 20

Tabla ANOVA para el parámetro temperatura

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6,25686	4	1,56422	0,46	0,7607
Intra grupos	67,2917	20	3,36458		
Total (Corr.)	73,5485	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0 % de confianza. Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna.

Esto refiere a que los diseños propuestos en los 5 tratamientos, ha mantenido en todos los sistemas su capacidad calorífica y retención de temperatura en las mismas condiciones y ninguno de los tratamientos ha sido significativamente diferente a otros.

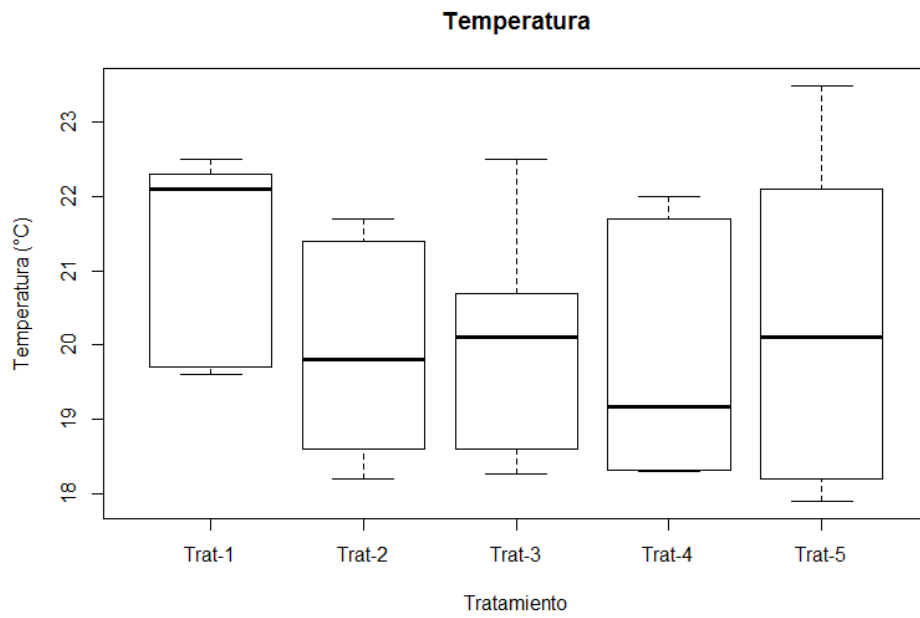


Figura 50. Valores de medianas de la Temperatura en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.3. Turbiedad

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Turbiedad entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 0,920 619 y el valor-P (0,4714) de la prueba-F mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 181

Tabla ANOVA para el parámetro turbiedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	26370,7	4	6592,68	0,92	0,4714
Intra grupos	143223,	20	7161,14		
Total (Corr.)	169593,	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos, que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Esto refiere a que los diseños propuestos en los 5 tratamientos, ha mantenido en todos los sistemas su capacidad de remoción de turbidez en las mismas condiciones y ninguno de los tratamientos ha sido significativamente diferente a otros. A pesar de encontrar valores medio

de remoción de turbidez del tratamiento 4 con una media de mayor remoción de 90,4 NTU y el Tratamiento 2 con el valor más alto con una media de 180,4 NTU (Figura 51).

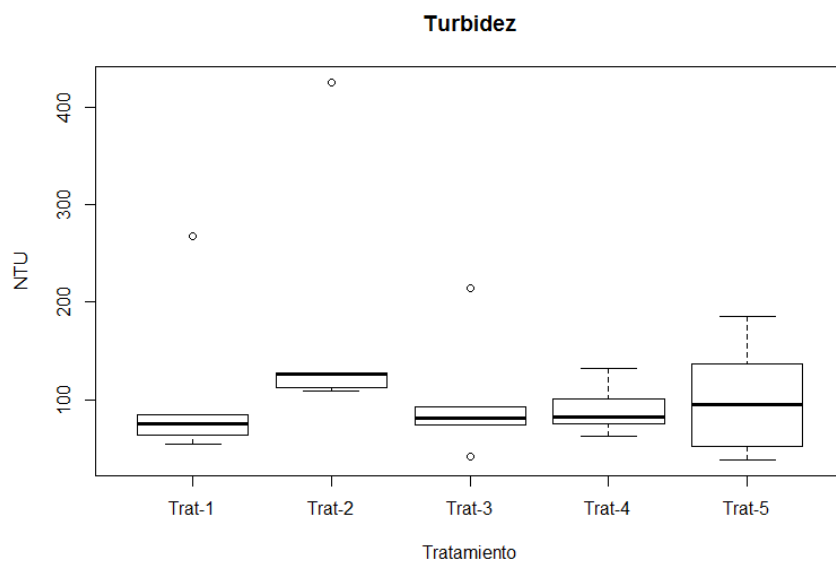


Figura 51. Valores de medianas de la de Turbidez en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.4. Conductividad

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Conductividad entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 1,73621 y el valor-P (0,1816) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 22

Tabla ANOVA para el parámetro conductividad

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	415536,	4	103884,	1,74	0,1816
Intra grupos	1,19667E6	20	59833,7		
Total (Corr.)	1,61221E6	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos, indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que se ha identificado tres grupos homogéneos, según la alineación de las X's en columna. El primer grupo con el Tratamiento 5 con una media de 1451,8 us/cm, el segundo grupo con el Tratamiento 4 (1620,2 us/cm), Tratamiento 3 (1662,6 us/cm), Tratamiento 1 (1748,8 us/cm) y el tercer grupo con el Tratamiento 2 (1834,2 us/cm).

Esto refiere a que los diseños propuestos en los 5 tratamientos, respecto a la conductividad del afluente o ingreso al sistema piloto que tuvo una conductividad de 1803 $\mu\text{s}/\text{cm}$, lograron tener diferencias para la capacidad de remoción de contenido de sales. Destacando que en entre el Tratamiento 2 y Tratamiento 5 tiene diferencia significativa (Figura 52).

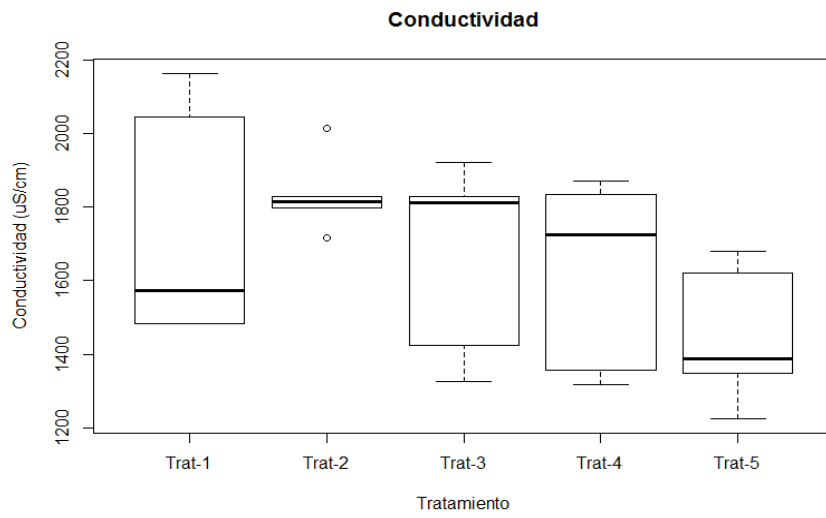


Figura 52. Valores de medianas de la Conductividad en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.5. Aceites y grasas

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Aceites y Grasas entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 4,69671 y el valor-P (0,0078) de la prueba-F fue menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 23

Tabla ANOVA para el parámetro aceites y grasas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,89894	4	2,22474	4,70	0,0078
Intra grupos	9,4736	20	0,47368		
Total (Corr.)	18,3725	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que se ha identificado dos grupos homogéneos, según la alineación de las X's en columna. El primer grupo con el Tratamiento 4 con una media de 0,356 mg/L, Tratamiento 5 (0,396) y Tratamiento 3 (0,476); y el segundo grupo con el Tratamiento 2 (1,384 mg/L) y Tratamiento 1 (1,804 mg/L). Precizando que el Tratamiento 4 tiene un mayor porcentaje de remoción de Aceites y Grasas.

Destacando que 6 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0 % de confianza (T1 - T3, T1 - T4, T1 - T5, T2 - T3, T2 - T4 y T2 - T5).

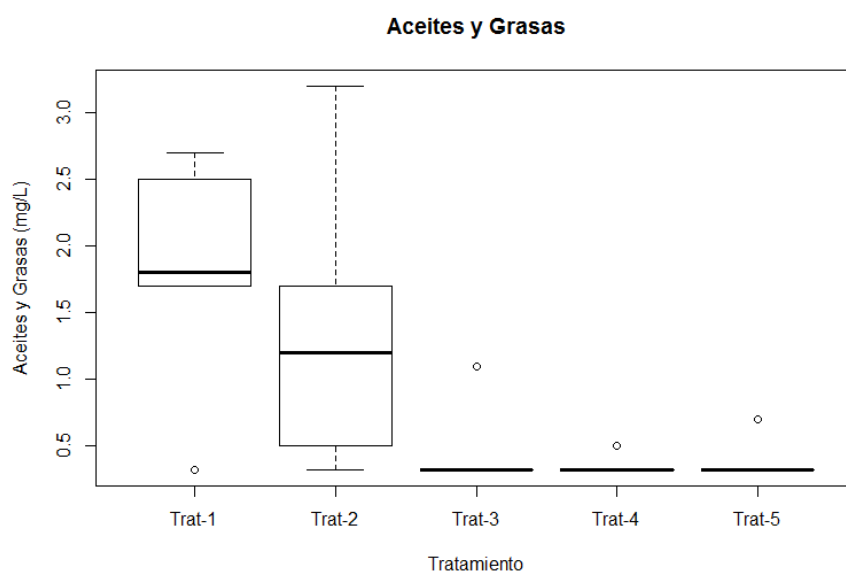


Figura 53. Valores de medianas de Aceites y Grasas en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Demanda Bioquímica de Oxígeno entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 2,17592 y el valor-P (0,1088) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 24

Tabla ANOVA para el parámetro DBO₅

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25967,0	4	6491,76	2,18	0,1088
Intra grupos	59669,2	20	2983,46		
Total (Corr.)	85636,2	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que se ha identificado tres grupos homogéneos, según la alineación de las X's en columna. El primer grupo con el Tratamiento 5 con una media de 71,84 mg/L, el segundo grupo con el Tratamiento 3 (135,32 mg/L) y Tratamiento 4 (136,8 mg/L) y el tercer grupo con el Tratamiento 2 (156 mg/L) y Tratamiento 1 (163,08 mg/L).

Precisando que el Tratamiento 5 tiene un mayor porcentaje de materia orgánica y el tratamiento 1 con menor porcentaje de remoción en descomposición biológica. Destacando que 2 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0 % de confianza (T1 – T5 y T2 - T5) (Figura 54).

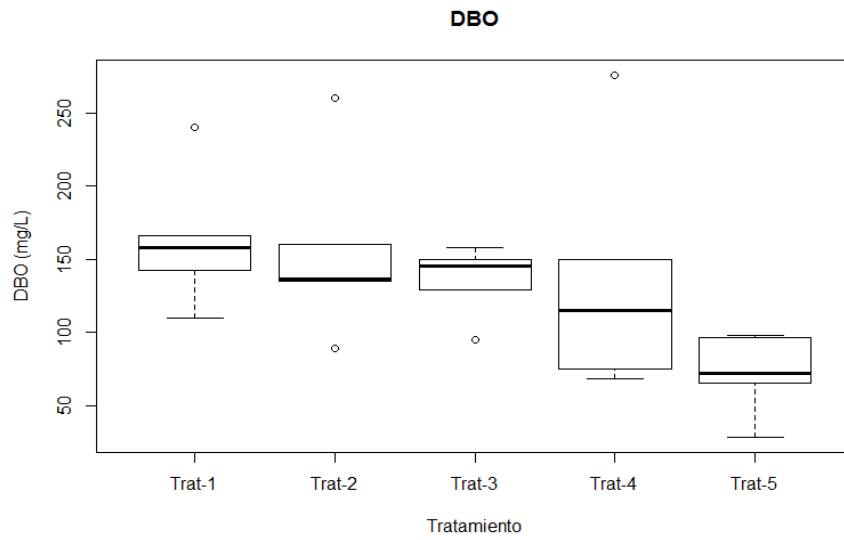


Figura 54. Valores de medianas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.7. Demanda Química de Oxígeno

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Demanda Química de Oxígeno entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 2,38437 y el valor-P (0,0857) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 25

Tabla ANOVA para el parámetro DQO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	93876,1	4	23469,0	2,38	0,0857
Intra grupos	196857,0	20	9842,87		
Total (Corr.)	290734,0	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que se ha identificado tres grupos homogéneos, según la alineación de las X's en columna. El primer grupo con el Tratamiento 5 con una media de 137,44 mg/L, el segundo grupo con el Tratamiento 3 (250,4 mg/L) y Tratamiento 4 (262,5 mg/L) y el tercer grupo con el Tratamiento 2 (293,86 mg/L) y Tratamiento 1 (313,54 mg/L).

Precisando que el Tratamiento 5 tiene un mayor porcentaje de remoción de materia mediante oxidación biológica y química y el tratamiento 1 con menor porcentaje de remoción. Destacando que 2 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0 % de confianza (T1 – T5 y T2 - T5) (Figura 55).

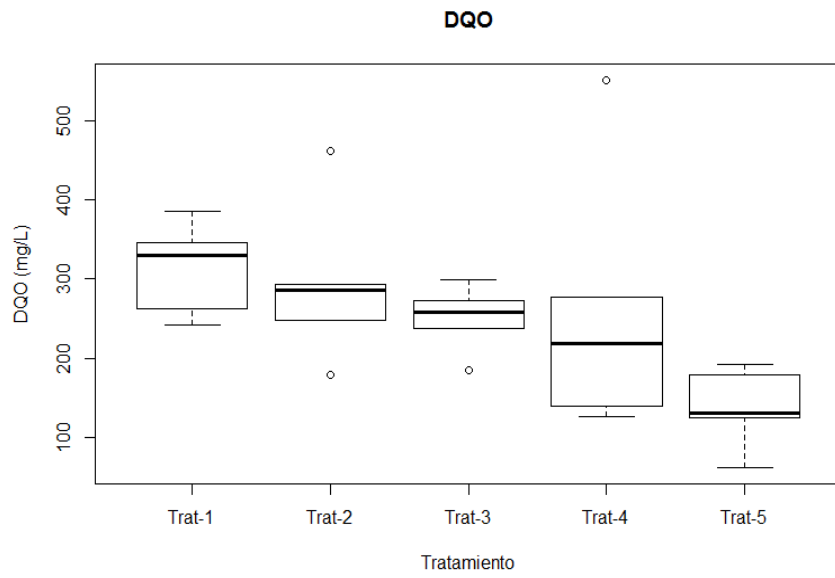


Figura 55. Valores de medianas de la Demanda Química de Oxígeno en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.8. Arsénico total

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Arsénico Total entre los 05 tratamientos, indicó que como la razón-F, es igual a 2,58855 y el valor-P (0,0680) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 26

Tabla ANOVA para el parámetro Arsénico total

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,019 4776	4	0,004 869 39	2,59	0,0680
Intra grupos	0,037 6226	20	0,001 881 13		
Total (Corr.)	0,057 1001	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que se ha identificado tres grupos homogéneos, según la alineación de las X's en columna. El primer grupo con el Tratamiento 1 con una media de 0,0174 mg/L, Tratamiento 2 (0,0176 mg/L) y Tratamiento 3 (0,02132 mg/L); el segundo grupo con el Tratamiento 5 (0,03546 mg/L) y el tercer grupo con el Tratamiento 4 (0,09074 mg/L).

Precisando que el Tratamiento 1 tiene un mayor porcentaje de remoción de Arsénico Total y el tratamiento 4 con el menor porcentaje de remoción. Destacando que 2 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0 % de confianza (T1 – T4 y T2 – T4) (Figura 56).

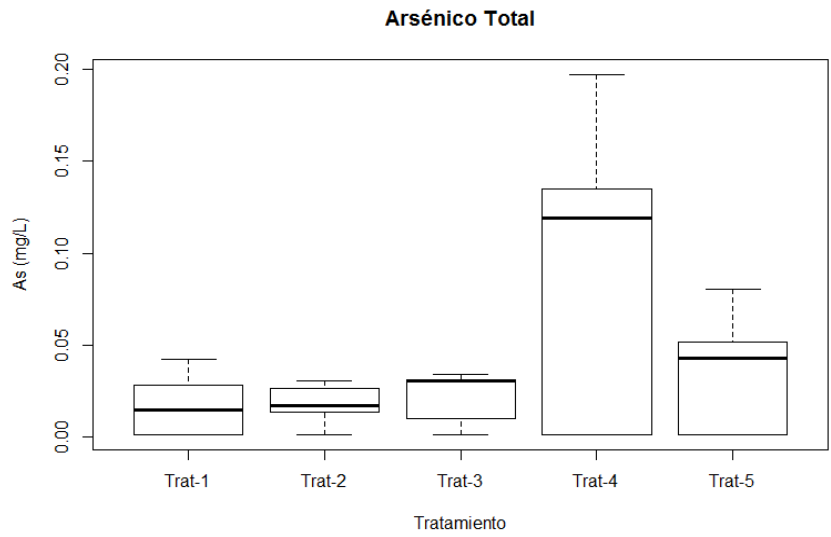


Figura 56. Valores de medianas de Arsénico Total en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.9. Sólidos suspendidos totales

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Sólidos Suspendidos Totales entre los 05 tratamientos, indica que como la razón-F, es igual a 5,91765 y el valor-P (0,0026) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 27

Tabla ANOVA para el parámetro SST

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	453,354	4	113,338	5,92	0,0026
Intra grupos	383,052	20	19,1526		
Total (Corr.)	836,406	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que el valor mediano más bajo observado fue el Tratamiento 5 (7,9), con mayor remoción en concentración de SST, seguido del Tratamiento 4 (8,8), Tratamiento 3 (9,96), por lo que el Tratamiento 1 (19,64) es el menos eficiente respectivamente (Figura 57).

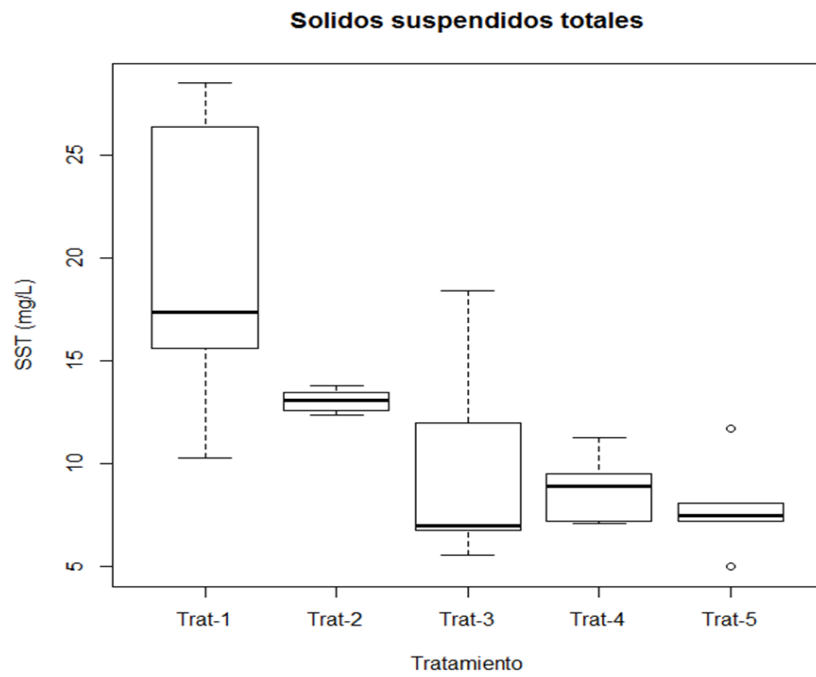


Figura 57. Valores de medianas de los SST en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.1.10. Coliformes termotolerantes

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Coliformes Termotolerantes entre los 05 tratamientos, indica que como la razón-F, es igual a 1,06162 y el valor-P (0,4012) de la prueba-F es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 28

Tabla ANOVA para Coliformes Termotolerantes

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4,20037E15	4	1,05009E15	1,06	0,4012
Intra grupos	1,97828E16	20	9,89138E14		
Total (Corr.)	2,39831E16	24			

Interpretación

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0 % de confianza. Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna.

Esto refiere a que los diseños propuestos en los 5 tratamientos, ha mantenido en todos los sistemas su capacidad de remoción de coliformes en las mismas condiciones y ninguno de los tratamientos ha sido significativamente diferente a otros.

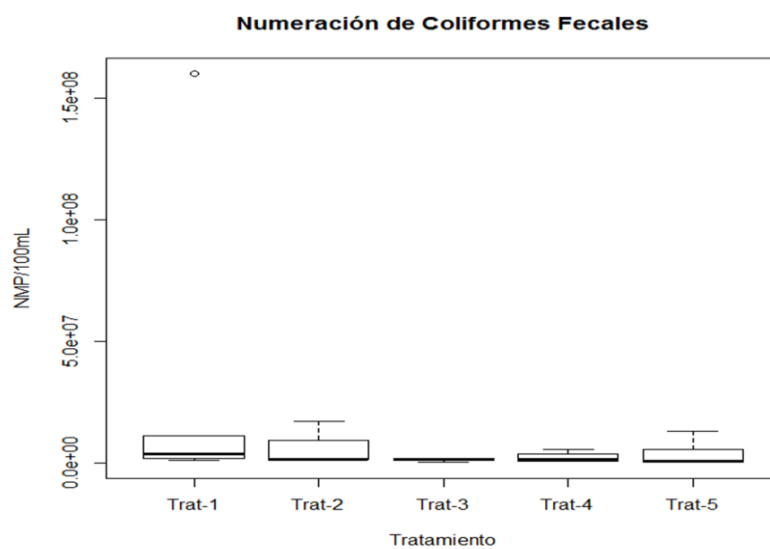


Figura 58. Valores de medianas de los Coliformes Termotolerantes en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

4.5.4.2. Coeficiente de biodegradabilidad

El análisis de varianza de la evaluación comparativa de medias para la variable Coeficiente de Biodegradabilidad entre los 05 tratamientos, indica que como la razón-F, es igual a 4,204 y el valor-P (0,0125) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95,0 % de confianza.

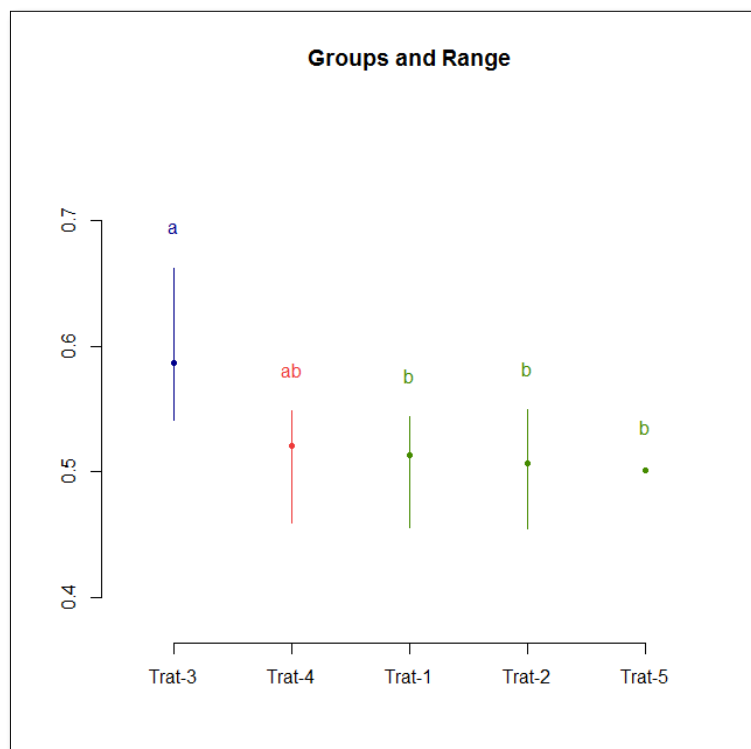


Figura 59. biodegradabilidad

La prueba de múltiples rangos que indica cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, reportó que el valor mediano más

alto observado fue el Tratamiento 3 (0,586), en el segundo grupo se encuentra el tratamiento 4 (0,5206) y en el tercer grupo se encuentra el Tratamiento 1, seguido del Tratamiento 2 (0,5069) y Tratamiento 5 (0,5007) (Figura 59).

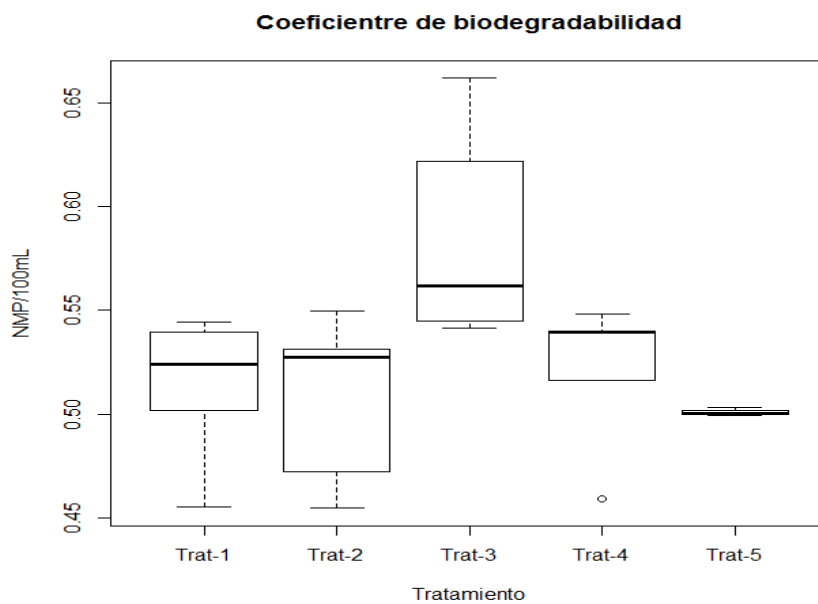


Figura 60. Valores de medianas en medición de Coeficiente de Biodegradabilidad en los 5 Tratamientos al 95 % nivel de confianza.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La evaluación de eficiencia de remoción de los efluentes de los sistemas de tratamiento del piloto experimental, fue realizada por un periodo de 5 meses (junio-octubre), mediante análisis de laboratorio acreditado y particular, contabilizando a partir del mes de haber realizado la plantación de las diferentes especies a utilizar, indistinto al periodo de lavado y construcción de todo el sistema. El sistema permitió captar aguas residuales crudas y conducir las a la zona de experimentación con un caudal mínimo de 0,736 l/s (octubre) y caudal máximo de 1,137 l/s (julio), teniendo un caudal promedio de 0,93 l/s. Precizando que el piloto ha sido diseñado solamente para tratar 0,04 l/s, lo que quiere decir que ingresó al sistema con un incremento de 2225 %.

De los resultados obtenidos en el Sistema de Tratamiento 1 (T1), con trampa de grasas y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con plantaciones de *Typha sp* se observa eficiencia en el sistema piloto experimental, con reducción en el parámetro DBO₅ en 66,013 %, DQO en 62,87 %, aceites y grasas en 95,42 %, Sólidos

Suspendidos Totales (94,08 %). Estos difieren con los resultados obtenidos por Bedoya, Ardila y Reyes (2014) donde en el artículo “Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia” donde implementaron un prototipo con humedal artificial de flujo subsuperficial caracterizado por macrófitas diferentes (*Typha latifolia* y *Cyperus papyrus*), obteniendo niveles de remoción de DBO (96,7 %), DQO (70,4 %) y SST (81,4 %), considerando que este último corresponde a un prototipo a nivel de laboratorio, los resultados del Tratamiento 1 llegaron a tener una alta eficiencia, con la ayuda de la vegetación utilizada y por la altura de lecho de sustrato (0,8 m) y tipo de material filtrante (Piedra 1/2”) utilizado que ha sido mucho mayor en volumen comparado con el resto de todos los tratamientos.

De los resultados obtenidos en el Sistema de Tratamiento 2 (T2), con la combinación de trampa de grasas con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal sin cobertura vegetal (baja densidad) y con una altura de sustrato de (0,4 m), mitad del lecho filtrante del T1, la eficiencia de remoción de parámetros de Turbiedad (61,17 %), Sulfatos (40,64 %), aceites y grasas (96,48 %), DBO (67,49 %), DQO (65,20 %), Sólidos Suspendidos Totales (96,06 %) y Coliformes Termotolerantes

(83,97 %); estos difieren de los resultados obtenidos y superaron a dos tipos de tratamiento cercano a estas características de tecnología, como es el caso de Vasconez (2017), en la tesis “Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del Cantón Quero” que diseñaron y evaluaron la eficiencia de un biofiltro con piedra pomes con aguas provenientes de un camal, obteniendo un porcentaje de remoción de 60,68 % en DBO₅ y DQO de 59,21 % y Sólidos Totales de 44,3 %. Asimismo, tuvieron resultados cercanos al reportado por Sánchez, et al. (2017), que en el artículo “Alternativa de tratamiento de aguas residuales para comunidades rurales con pequeños sistemas de alcantarillado sanitario”, diseñando un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de zanjas y pozas de infiltración removieron en 72 % de DQO y 64 % de DBO₅.

Los resultados obtenidos en el Sistema de Tratamiento 3 (T3), Combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal como biojardines activados, el cual contó un lecho de piedra ½” en el H3 y confitillo en el H3B se observa eficiencia de remoción de parámetros de Turbiedad (78,23 %), Sulfatos (52,82 %), Aceites y grasas (98,79 %), DBO (71,80 %), DQO (70,35 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,00 %) y

Coliformes Termotolerantes (96,97 %); estos tienen resultados cercanos con los resultados obtenidos por Morales, López, Vera y Vidal (2013) en el artículo “Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas” donde concluyen que es posible sustituir las plantas comunes (*Phragmites spp*, *Typha spp.*, *Schoenoplectus spp.*) por especies ornamentales como *Zantedeschia*, *Canna spp.* e *Iris spp.*, en humedales construidos, sin afectar las eficiencias de eliminación para materia orgánica y nutrientes de hasta 86 % y 80 % para DBO₅, lo que implica que el uso de humedales ornamentales con el enfoque ornamental turístico o biojardines, puede ir perfeccionándose, teniendo en cuenta ciertas condiciones.

Según el blog de Juan José Salas, en una entrevista a la Ingeniera Maritza Marín (ACEPESA) del empleo de las biojardineras para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, indican que han tenido mejores resultados con el platanillo de la familia de las *cannaceae*, y las heliconias; y las plantas se siembran debajo de los 10 cm de la superficie, destacando que los problemas de colmatación han quedado limitados a la zona de alimentación a las biojardineras y la falta de la cultura de mantenimiento.

De los resultados obtenidos en el Sistema de Tratamiento 4 (T4), combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un 50 % como sustrato en el biojardín N°2, se observa eficiencia de remoción de parámetros de Turbiedad (80,54 %), Sulfatos (63,88 %), Aceites y grasas (99,1 %), DBO (71,49 %), DQO (68,91 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,35 %) y Coliformes Termotolerantes (93,95 %); estos superaron a los resultados obtenidos por Lindarte y Zárte (2015) en la tesis “Evaluación hidrodinámica de un humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto utilizando como medios filtrantes antracita, carbón activado y coque y su efecto en un agua residual”, donde concluyen que los medios filtrantes en estudio muestran una remoción de materia orgánica biodegradable, con respecto al DBO5 sobre el lecho de carbón activado se dieron los resultados de 53,7 % y para el lecho de antracita de 7,3 %.

De los resultados obtenidos en el Sistema de Tratamiento 5 (T5), combinación de trampa de grasas, laguna anaerobia (biodigestor), con dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en serie modificado como biojardines activados, usando como la antracita en un

100 % como sustrato en el biojardín N°2, más desinfección UV artesanal, se obtuvo eficiencia de remoción de parámetros de Turbiedad (78,13 %), Sulfatos (46,88 %), aceites & grasas (98,99 %), DBO (85,03 %), DQO (83,72 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,62 %) y Coliformes Termotolerantes (89,7937 %); estos difieren con los resultados obtenidos por Satalaya (2015) en la tesis “Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domesticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza”, donde concluye que la eficiencia del sistema donde considera tratamiento anaerobio para la DBO5 fue de 20,76 % y para STS fue de 23,56 % y teniendo un caudal de entrada y salida de 0,00134 m³/s y 0,00201 m³/s respectivamente, observando que estos valores de DBO5 y STS son muy bajos ya que la eficiencia óptima del DBO5 es de 70 % – 80 % y de STS es de 90 %, además concluyen que sus resultados obtenidos determinaron un mal funcionamiento del sistema de tratamiento, que se debió al poco tiempo de retención hidráulica que hay en ambas lagunas lo que no permitió que los microorganismos descompongan la materia orgánica.

Por otro lado, mediante los resultados obtenidos por Araya (2012) en la tesis “Alternativas de tratamiento de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de

humedales artificiales”, concluye que la zeolita como medio de soporte presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a la grava, alcanzando eliminaciones de DQO, SST, NH_4^+ y PO_4^{-3} hasta un 40 % superiores, por lo que es más eficiente que la grava en la eliminación de materia orgánica y nutrientes, el mismo que se ratifica con los mayores porcentajes de remoción obtenidos en el tratamiento 4 y tratamiento 5.

Con la eficiencia del tratamiento y el enfoque de tecnología, concuerda con lo indicado por De Anda, Belmont y Zurita (2016), en la patente Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales, que propone método para tratar flujos reducidos de aguas residuales domésticas, con humedal del tipo subsuperficial de flujo horizontal con plantas ornamentales. Además del beneficio del tratamiento, la cosecha de las flores provee de un negocio rentable a través de la producción de flores comerciales que pueden cumplir con los requisitos de seguridad biológica e inocuidad para comercializarse. Sus resultados a la entrada y salida del sistema a escala laboratorio. La DQO se redujo en más del 75 % en todos los casos; la DBO y el nitrógeno se removieron en más del 70 %; el fósforo se redujo en más del 66 % y el oxígeno disuelto se incrementó desde 0,175 mg/l a 5,8 mg/l. Los

coliformes totales y Coliformes Termotolerantes se removieron en más del 99,3 %.

Respecto a la evaluación de la remoción del parámetro Arsénico total, se observó que existe una relación en el tiempo de crecimiento de la vegetación de los humedales y el nivel de remoción del metaloide, lo que quiere decir que a más meses de desarrollo de humedales, mayor porcentaje de remoción, el mismo que está influenciado por el periodo de retención y el crecimiento de la vegetación; esto es coincidente con la tesis a nivel de laboratorio que Fuentealba (2017), en la tesis “Efecto de la vegetación y la carga superficial en la distribución de tiempos de retención de humedales artificiales para la remoción de arsénico”, que concluye que la presencia de vegetación provoca tiempos de retención promedio 31 % menores y mayor dispersión hidrodinámica respecto a una celda sin plantas. Esto podría explicar la similitud de los resultados que se registró en la remoción de Arsénico Total entre el tratamiento 1 (humedal con vegetación) y el tratamiento 2 (humedal sin vegetación o baja cobertura vegetal).

Por otro lado, según los resultados obtenidos por Valles y Alarcón (2014) en el artículo “Retención de arsénico en humedales construidos

con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*”, donde concluye que los resultados revelaron que los humedales plantados tienen una capacidad de retención de arsénico (76 % HA, 69 % HB) muy superior al no plantado (32 % HC, sin plantas). El balance de masa de arsénico en los humedales plantados reveló que la mayor cantidad del arsénico se depositó en el medio o sustrato (73 % en HA y 66 % en HB). Aproximadamente un 1 % fue absorbido por las raíces de las plantas el 24 % y 31 % del arsénico total salió en el efluente. Considerando que estos resultados son a nivel de laboratorio, es importante indicar que la sobrecarga hidráulica del piloto no permitió con mayor detalle el verdadero nivel de remoción de los tratamientos en cuanto a remoción de arsénico.

CONCLUSIONES

1. La tecnología del sistema de tratamiento 4 (T4) de aguas residuales en la combinación de lagunas anaerobias y humedales artificiales de flujo subsuperficial de dos celdas, con antracita y confitillo, modificados bajo la forma biojardines activados, presentó una destacada capacidad de depuración con porcentajes de remoción de Turbiedad (80,54%), Sulfatos (63,88 %), Aceites y grasas (99,10 %) y Coliformes Termotolerantes (93,9471 %); con costos de operación y mantenimiento económicos y sostenibles en relación a la combinación de humedales artificiales de flujo horizontal sin lagunas anaerobias para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna Perú, a excepción de los parámetros de DBO (71,49 %), DQO (68,91 %), Sólidos Suspendidos Totales (97,35 %), en donde fueron superados por el tratamiento 5 con un porcentaje de remoción de DBO (85,03 %), DQO (83,72 %), Sólidos Suspendidos Totales con 97,62 %.
2. En la evaluación de la capacidad de remoción por parámetro:
 - En el caso de aceites y grasas en el ANOVA existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5

tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,0078) y según la prueba de múltiples rangos destaca en el primer grupo que se encuentra el Tratamiento 4 con una media de 0,356 mg/L seguido del Tratamiento 5 (0,396) y Tratamiento 3 (0,476).

- En el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el ANOVA no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,1088) y según la prueba de múltiples rangos destaca en el primer grupo el Tratamiento 5 con una media de 71,84 mg/L seguido del Tratamiento 3 (135,52 mg/L) y Tratamiento 4 (136,8 mg/L).
- En el caso de la Demanda Química de Oxígeno en el ANOVA no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,0857) y según la prueba de múltiples rangos destaca en el primer grupo el Tratamiento 5 con una media de 137,44 mg/L seguido del Tratamiento 3 (250,4 mg/L) y Tratamiento 4 (262,5 mg/L).
- En el caso del Arsénico Total en el ANOVA no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,0680) y según la prueba de múltiples rangos destaca en el primer grupo

el Tratamiento 1 con una media de 0,0174 mg/L seguido del Tratamiento 2 (0,0176 mg/L) y Tratamiento 3 (0,02132 mg/L).

- En el caso de los Sólidos Suspendidos Totales en el ANOVA existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,0026) y según la prueba de múltiples rangos destaca en el grupo el Tratamiento 5 con una media de 7,9 mg/L, seguido del Tratamiento 4 (8,8 mg/L) y Tratamiento 3 (9,96 mg/L).
- En el caso de los Coliformes termotolerantes en el ANOVA no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,4012) y según la prueba de múltiples rangos se ha identificado un grupo homogéneo entre los tratamientos.
- En el caso del coeficiente de biodegradabilidad en el ANOVA existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 5 tratamientos con un nivel del 95,0 % de confianza (Valor p 0,0125) y según la prueba de múltiples rangos destaca con el valor más alto el Tratamiento 3 con una media de 0,586, seguido del Tratamiento 4 (0,5206), Tratamiento 1, Tratamiento 2 (0,5069) y Tratamiento 5 (0,5007).

3. El sistema de tratamiento 4 y 5 presentaron una mayor capacidad de depuración de las aguas residuales domésticas con costos de operación y mantenimiento económicos y sostenibles mediante la aplicación de una combinación de biodigestores (lagunas anaerobias) y humedales artificiales con enfoque ornamental y ecoturístico para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna – Perú.

RECOMENDACIONES

1. Considerando que los sistemas de tratamiento de aguas residuales trabajaron sobrecargados hidráulicamente, el tratamiento 4 redujo significativamente los niveles de contaminación del agua residual, por lo que se recomienda trabajar según caudal de diseño con manejo de válvulas desde el punto de captación.
2. Diseñar, construir y evaluar futuros humedales artificiales con el enfoque de remoción del arsénico en aguas residuales y superficiales.
3. Realizar la identificación y caracterización bioquímica de la flora microbiana que constituye los biofilms y que estuvieron presentes en el material filtrante utilizado en los sistemas de tratamiento.
4. Mejorar eficiencia en el tratamiento con incorporación de celdas complementarias o adicionales de afinamiento con una relación de largo ancho 4:1.
5. La producción de biogás en las lagunas anaerobias ha sido considerable, por lo que se recomienda continuar la investigación para

la purificación del metano y su utilización en la cogeneración de la energía eléctrica.

6. Se recomienda utilizar otros materiales filtrantes con mayor capacidad de adsorción, con bajo costo de inversión y accesible en el mercado local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*, Monográficos agua en Centroamérica. Zaragoza, España: ARPIrelieve.
- Amabilis, L., Siebe, C., Moeller, G. y Durán, M. (2016). *Remoción de mercurio por Phragmites australis empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(1), 47-53. Recuperado de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/45493/46549>
- Aragón, R., Parra, A., y Peña, M. (2015, julio). *Evaluación preliminar del funcionamiento de un sistema prototipo de humedales artificiales empleando Heliconia psittacorum y Cyperus papyrus para el tratamiento de aguas residuales*. *Agroecología: Ciencia y Tecnología*, 3(1), 7-12. Recuperado de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/agroeccyt/article/view/932/1021>
- Araya, F. (2012). *Alternativas de tratamiento de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de humedales artificiales*. (Tesis de pregrado). Universidad

de Concepción, Concepción, Chile. Recuperado de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-francisca-araya-2012.pdf>

Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Informe Técnico de monitoreo de Calidad de aguas superficiales*. Informe N°007-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA-TACNA/CHL de

Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Informe Técnico de monitoreo de Calidad de aguas superficiales*. Informe Técnico N°008-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA-TACNA/CHL

Banco Mundial. (2017). *Repensar la Infraestructura en América Latina y el Caribe: Mejorar el gasto para lograr más*. Informe N° 114110. Recuperado de <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/931791492671358961/pdf/114110-SPANISH-ExecSumSPARethinkingInfra-PUBLIC.pdf>

Barba, L.E. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Santiago de Cali, Colombia. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>

Bedoya, J., Ardila, A. y Reyes, J. (2014). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia*. *Revista Internacional de Contaminación*

Ambiental, 30 (3), 275-283. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300004&lng=es&tlng=es.

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del agua (CIDTA). (s.f.).

Curso de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs): tratamiento preliminar. Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/1Unidad_3.pdf

César, E. y Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México D.F., México: Fundación ICA, A.C.

Chuchón, S. y Aybar, C (2008). *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totorá", Ayacucho, Perú*. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 165-171. Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo_20_vol_7_Ecologia_aplicada.pdf

Collazos, J. (2005). *Manual de evaluación ambiental de proyectos*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.

Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santa Fé de

Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill Interamericana S.A.

De Anda, J., Belmont, M., y Zurita, F. (2016). *Patente: Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales*. Recuperado de <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/362>

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, del 17 de marzo de 2010. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Espigares, M. y Pérez, J. (s.f.). *Aguas residuales. Composición*. Salamanca, España. Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Fuentealba, J. (2017). *Efecto de la vegetación y la carga superficial en la distribución de tiempos de retención de humedales artificiales para la remoción de arsénico*. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144589>

González, F. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un humedal artificial* (Tesis de pregrado). Universidad San

Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

Hernández, A., Hernández, A., y Galán, P. (s.f.). *Pretratamiento*.
Recuperado de

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/pretratamiento.pdf>

Herrera, L., Flores, P., Mejías, P., Vargas, L., Cárdenas, C., Araujo, I., Del Villar, N., y Delgado, J. (2014). *Tratamiento de aguas residuales domésticas para su potencial reutilización industrial*. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas. 48(2). 101-114. Recuperado de <https://docplayer.es/17677347-Tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-para-su-potencial-reutilizacion-industrial.html>

Huertas, R., Marcos, C., Ibarguren, N. y Ordás, S. (2013). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Valladolid, España: Gráficas CELARAYN S.A.

IAGUA. (2018). *La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>

Lindarte, J. y Zárate, P. (2015). *Evaluación hidrodinámica de un humedal artificial de flujo subsuperficial a estala piloto utilizando como medios filtrantes antracita, carbón activado y coque y su efecto en agua residual*. (Tesis de maestría). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo

- Lozano, Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de http://unicornio.utadeo.edu.co/tesis/maestria_cambiantales/T059.pdf
- Martín, I., Betancort, J.R., Salas, J.J., Peñate, B., Pidre, J.R. y Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Canarias, España: Daute Diseño, S.L.
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. México D.F., México: Mc Graw-Hill.
- Morales, G., López, D., Vera, I. y Vidal, G. (2013). *Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas*. *Theoria [en línea]*, 22 (1), 33-46. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29936198004>
- Morató, J. y Peñuela, G. (Eds.). (2006). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. Recuperado de <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2017/10/Manual-de-Tecnologias-Sostenibles-en-Tratamiento-de-Aguas.pdf>
- Moscoso, J. (2016). *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. Lima, Perú: Creacolor S.A.C.

Muñoz, J., y Ramos, M. (2014). *Reactores discontinuos secuenciales: una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 24(1). 49-66. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v24n1/v24n1a03.pdf>

Norma O.S. 090. (2006). Plantas de tratamiento de aguas residuales. Lima, Perú: El Peruano. Recuperado de <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima, Perú: Gráfica Yovera S.A.C.

Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J.J., Aragón, C. y Real, A. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Madrid, España: V.A. Impresores, S.A.

Reglamento de la ley de recursos hídricos Ley 29338, Artículo 131b, (2010). Lima, Perú. Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del agua.

Resolución Jefatural N° 010-2016-Autoridad Nacional del Agua, del 11 de enero de 2016. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf

Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, del 24 de octubre de 2013. Recuperado de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23087/RM-273-2013-VIVIENDA.pdf>

Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, curso internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales"*.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de La Salud y Organización Mundial de La Salud.

Recuperado de [http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf)

[9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf)

Romero, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño*. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. y Ortiz, M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157-167.

Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>

Salas, J, Pidré, J y Sánchez, L. (2007). *Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas residuales*. Andalucía,

España: Coria Gráfica. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/275949965_Manual_de_tecnologias_no_convencionales_para_la_depuracion_de_aguas_residuales_Generalidades

Salas, J. (2018). *Biojardineras: los humedales artificiales “ticos”(y II)* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/biojardineras-humedales-artificiales-ticos-y-ii>

Sánchez, C., Mite, A., y Pintado, A. (2017). *Alternativa de tratamiento de aguas residuales para comunidades rurales con pequeños sistemas de alcantarillado sanitario. Conference Proceedings, 2(1)*. Consultado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/280/227>

Satalaya, K. (2015). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, San Martín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1042/CSA2015003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sosa, B., Viguera, J., y Holguín, E. (2014). *La Biofiltración: una*

alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. Vidsupra. 6(2). 56-60. Recuperado de http://www.ciidirdurango.ipn.mx/Documents/Revista%20Vidsupra/pdf_ed_elect_v6_n2_issn%20en%20tramite.pdf#page=12

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la EPS del Perú y propuestas de solución. Recuperado de https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf*

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2015). *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Lima, Perú: Tarea Asociación Gráfica Educativa.*

Valles, M., y Alarcón, M. (2014). *Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. Revista Internacional de contaminación ambiental, 30(2), 143-148. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200002*

Vásconez, V. (2017). *Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del Cantón Quero* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>

ANEXOS

ANEXO 1

REPORTE DE BASE DE DATOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Junio

INFORME DE ENSAYO LAS - AC-18-01388

		JUNIO					
		INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	SALIDA TRATAMIENTO N°1	SALIDA TRATAMIENTO O N°2	SALIDA TRATAMIENTO O N°3	SALIDA TRATAMIENTO O N°4	SALIDA TRATAMIENTO O N°5
		20.06.2018	20.06.2018	20.06.2018	20.06.2018	20.06.2018	20.06.2018
		16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Método de Análisis	DSO 03.2010-MINAM	DSO 04.2010-MINAM		ECA AGUA			
		Unidad					
001 ANALISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5		Unidades pH			
Temperatura (Campo)	< 35	Variación 3 grados		°C			
Turbiedad	-	-		NTU			
Conductividad	-	-		uS/cm			
002 ANALISIS FISICOQUIMICOS							
Nitrogeno Amoniacal				mg/L			
Sulfatos				mg/L			
Sulfuro de Hidrógeno Indisoluble				mg/L			
Aceites y Grasas	20	5		mg/L			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS) Soluble				mg/L			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS)	100	15		mg/L			
Demanda Química de Oxígeno	200	40		mg O2/L			
Fosforo Total				mg/L			
Arsénico Total				mg/L			
Sólidos Suspendedos Totales	150	150		mg/L			
Sólidos Volátiles Totales				mg/L			
Alcalinidad Total				mg/L			
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Numeración de Coliformes Fecales	10000	1000		NMP/100mL			
Numeración de Coliformes Fecales	1.00E+04	1.00E+03		NMP/100mL			
INDICE DE BIODEGRADABILIDAD							
		0.542168675	0.455202312	0.54421769	0.50167224	0.53956835	0.52419355
DETERMINACION DE CAUDAL							
		SEGUNDOS		VOLUMEN (L)			
AFORO 1:		27	20	0.741			
AFORO 2:		25	20	0.800			
AFORO 3:		27	20	0.741			
AFORO 4:		26	20	0.769			
AFORO 5:		27	20	0.741			
Caudal promedio(l/s):		0.758					
Caudal Máximo (l/s):		1.137					
Caudal Mínimo (l/s):		0.93					
Caudal promedio(l/s):		0.736					

Julio

		JULIO					
		INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	SALIDA TRATAMIENTO N°1	SALIDA TRATAMIENTO O N°2	SALIDA TRATAMIENTO O N°3	SALIDA TRATAMIENTO O N°4	SALIDA TRATAMIENTO O N°5
		17.07.2018	17.07.2018	17.07.2018	17.07.2018	17.07.2018	17.07.2018
		15:45	16:05	16:34	16:52	17:10	17:32
Método de Análisis	DSO 03.2010-MINAM						
	DSO 04.2010-MINAM						
	ECA AGUA						
	Unidad						
001 ANALISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	6,5 - 8,5		6,5 - 8,5				
Temperatura (Campo)	< 35		Variación 3 grados				
Turbiedad	-		-				
Conductividad							
002 ANALISIS FISICOQUIMICOS							
Nitrógeno Amoniacal							
Sulfatos							
Sulfuro de Hidrógeno Indisoluble							
Aceltes y Grasas	20		5				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Soluble					<0.32	<0.32	<0.32
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	100		15				
Demanda Química de Oxígeno	200		40				
Fosforo Total							
Arsénico Total							
Sólidos Suspendedos Totales	150		150				
Sólidos Volátiles Totales							
Alcalinidad Total							
003 ANALISIS MICROBIOLÓGICOS							
Numeración de Coliformes Fecales	10000		1000				
Numeración de Coliformes Fecales	1.00E+04		1.00E+03				
INDICE DE BIODEGRADABILIDAD							
		0.5125	0.454545455	0.47202797	0.53113553	0.52752294	0.54961832
DETERMINACION DE CAUDAL							
			SEGUNDOS	VOLUMEN (L)			
AFORO 1:		18	20	1.111			
AFORO 2:		17	20	1.176			
AFORO 3:		18	20	1.111			
AFORO 4:		18	20	1.111			
AFORO 5:		17	20	1.176			
Caudal promedio(l/s):				1.137			

Agosto

INFORME DE ENSAYO LAS - AC-18-01716

		AGOSTO					
		INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	SALIDA TRATAMIENTO N°1	SALIDA TRATAMIENTO O N°2	SALIDA TRATAMIENTO O N°3	SALIDA TRATAMIENTO O N°4	SALIDA TRATAMIENTO O N°5
		16.08.2018	16.08.2018	16.08.2018	16.08.2018	16.08.2018	16.08.2018
		16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15
Método de Análisis	DSO 03.2010-MINAM						
	DSO 04.2010-MINAM						
	ECA AGUA						
	Unidad						
001 ANALISIS EN CAMPO							
pH (Campo)	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Temperatura (Campo)	< 35	Variación 3 grados	Variación 3 grados	Variación 3 grados	Variación 3 grados	Variación 3 grados	Variación 3 grados
Turbiedad	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad	-	-	-	-	-	-	-
		1763	2044	2013	1922	1870	1680
002 ANALISIS FISICOQUIMICOS							
Nitrógeno Amoniacal							
Sulfatos		207.1	110.5	137.9	109.6	83.9	117.2
Sulfuro de Hidrógeno Indisoluble		3.02	74.39	79.16	41.11	25.15	0.194
Aceites y Grasas	20	40.7	1.7	0.5	1.1	0.5	0.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS) Soluble							
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS)	100	605	240	260	157.5	150	97.5
Demanda Química de Oxígeno	200	900	386	463	238	277	179
Fosforo Total							
Arsénico Total		<0.0012	<0.0012	0.0172	0.0305	0.1189	0.0805
Sólidos Suspendedos Totales	150	360	10.3	13.8	7	11.3	8.1
Sólidos Volátiles Totales							
Alcalinidad Total							
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS							
Numeración de Coliformes Fecales	10000	33000000	3500000	9200000	1700000	3500000	13000000
Numeración de Coliformes Fecales	1.00E+04	3.30E+07	3.50E+06	9.20E+06	1.70E+06	3.50E+06	1.30E+07
INDICE DE BIODEGRADABILIDAD		0.672222222	0.621761658	0.56155508	0.66176471	0.54151625	0.54469274
DETERMINACION DE CAUDAL		SEGUNDOS		VOLUMEN (L)			
AFORO 1:		19	20	1.053			
AFORO 2:		18	20	1.111			
AFORO 3:		19	20	1.053			
AFORO 4:		18	20	1.111			
AFORO 5:		19	20	1.053			
Caudal promedio(l/s):				1.076			

Setiembre

							SETIEMBRE					
			INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	SALIDA TRATAMIENTO N°1	SALIDA TRATAMIENTO N°2	SALIDA TRATAMIENTO N°3	SALIDA TRATAMIENTO N°4	SALIDA TRATAMIENTO N°5				
			13.09.2018	13.09.2018	13.09.2018	13.09.2018	13.09.2018	13.09.2018	13.09.2018			
			14:47	15:08	15:32	15:54	16:33	16:58				
Método de Análisis	DSO 03.2010-MINAM	DSO 04.2010-MINAM	ECA AGUA									
			Unidad									
001 ANALISIS EN CAMPO												
pH (Campo)	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	Unidades pH		7.65	7.25	7.45	7.35	7.28	7.65		
Temperatura (Campo)	< 35	Variación 3 grados	°C		19.2	22.5	19.8	20.1	19.16	18.2		
Turbiedad	-	-	NTU		438	64	109	81	75	52		
Conductividad			uS/cm		1762	1482	1716	1425	1316	1224		
002 ANALISIS FISICOQUIMICOS												
Nitrógeno Amoniacal			mg/L									
Sulfatos			mg/L									
Sulfuro de Hidrógeno Indisociable			mg/L									
Aceites y Grasas	20	5	mg/L		48	1.8	1.2	<0.32	<0.32	<0.32		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)Soluble			mg/L									
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	100	15	mg/L		496	142	136	95	68	28		
Demanda Química de Oxígeno	200	40	mg O2/L		880	263	248	184	126	61		
Fosforo Total			mg/L									
Arsénico Total			mg/L		0.0185	0.0146	0.0132	0.0098	<0.0012	<0.0012		
Sólidos Suspendidos Totales	150	150	mg/L		290	15.6	12.4	5.6	7.2	5		
Sólidos Volátiles Totales			mg/L									
Alcalinidad Total			mg/L									
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS												
Numeración de Coliformes Fecales	10000	1000	NMP/100mL		4500000	1100000	1300000	110000	5400000	110000		
Numeración de Coliformes Fecales	1.00E+04	1.00E+03	NMP/100mL		4.50E+07	1.10E+06	1.30E+06	1.10E+05	5.40E+06	1.10E+05		
INDICE DE BIODEGRADABILIDAD					0.563636364	0.539923954	0.5483871	0.51630435	0.53968254	0.45901639		
DETERMINACION DE CAUDAL												
			SEGUNDOS	VOLUMEN (L)								
			AFORO 1:	22	20	0.909						
			AFORO 2:	21	20	0.952						
			AFORO 3:	20	20	1.000						
			AFORO 4:	22	20	0.909						
			AFORO 5:	21	20	0.952						
			Caudal promedio(l/s):		0.945							

Octubre

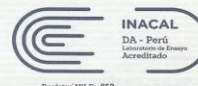
INFORME DE ENVIROTEST					
OCTUBRE					
INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	SALIDA TRATAMIENTO N°1	SALIDA TRATAMIENTO N°2	SALIDA TRATAMIENTO N°3	SALIDA TRATAMIENTO N°4	SALIDA TRATAMIENTO N°5
30.10.2018	30.10.2018	30.10.2018	30.10.2018	30.10.2018	30.10.2018
16:05	16:32	16:52	17:23	17:54	18:14
Método de Análisis	DSO 03.2010-MINAM	DSO 04.2010-MINAM			
		ECA AGUA			
			Unidad		
001 ANÁLISIS EN CAMPO					
pH (Campo)	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	Unidades pH	7.43	7.68
Temperatura (Campo)	< 35	Variación 3 grados	°C	18.5	17.89
Turbiedad	-	-	NTU	452	38
Conductividad			uS/cm	1815	1387
002 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
Nitrógeno Amoniacal			mg/L		
Sulfatos			mg/L	262.4	187.5
Sulfuro de Hidrógeno Indisoluble			mg/L	3.16	<0.005
Aceites y Grasas	20	5	mg/L	59.3	<0.32
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Soluble			mg/L		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	100	15	mg/L	438	96.7
Demanda Química de Oxígeno	200	40	mg O2/L	812	192.2
Fosforo Total					
Arsénico Total			mg/L	0.0164	<0.001
Sólidos Suspendedos Totales	150	150	mg/L	312	7.5
Sólidos Volátiles Totales			mg/L	17.4	8.9
Alcalinidad Total				13.5	
003 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS					
Numeración de Coliformes Fecales	10000	1000	NMP/100mL	3300000	540000
Numeración de Coliformes Fecales	1.00E+04	1.00E+03	NMP/100mL	3.30E+07	5.40E+05
ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD					
	0.539408867	0.501663139	0.49915872	0.5003876	0.49954751
DETERMINACIÓN DE CAUDAL					
		SEGUNDOS	VOLUMEN (L)		
AFORO 1:		26	20	0.769	
AFORO 2:		28	20	0.714	
AFORO 3:		27	20	0.741	
AFORO 4:		28	20	0.714	
AFORO 5:		27	20	0.741	
Caudal promedio(l/s):				0.736	

ANEXO 2

INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO ACREDITADO



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01388

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.
 Dirección: AV. MIRAFLORES NRO. SN CERCADO TACNA - TACNA - TACNA
 Atención: Blgo. Cesar Huanacuni Lupaca
 Proyecto: "Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna - Perú"

Nro de muestras: 6
 Muestreo realizado por: Cliente: Cesar Huanacuni Lupaca
 Registro de muestreo: 198-18
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por el cliente.*
 Fecha de recepción: 20/06/2018
 Fecha de ensayo: 20/06/2018
 Fecha de emisión: 19/07/2018
 Condiciones de recepción de la muestra: Cooler debidamente refrigerado
 Observaciones: Datos proporcionados por el cliente.

Metodo de ensayo aplicado

- 796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 846 Determinación de Sólidos Suspendedos en aguas SMEWW. 22th Ed. Item 2540-Solids D. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 848 Ensayo de Sulfatos en agua : SMEWW. 22 th Ed. 4500-SO4-2 Part. E. Turbidimetric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 3035 Sulfuros en aguas: SMEWW - APHA - AWWA - WEF 4500-Sulfuro Part D, 22nd Ed. Methylene Blue Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
- 858 Método de ensayo para determinación de Aceites y grasas en agua 2013 Doc 858. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método lodo métrico Azida Sódio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed.5220-COD Part.D. Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 872 Numeración de Coliformes Fecales (NMP). SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group , Fecal Coliform Procedures(EC Medium) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG18000509	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	Agua Residual - Agua Residual Domestica	DIST. GREGORIO ALBANI / CONO SUR / TACNA	E:366635 N:8005023 Altura:485	20/06/18	04:30 p.m.
AG18000510	SALIDA TRATAMIENTO N° 1	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PILOTO EXPERIMENTAL PTAR / CONO SUR / TACNA	E:366642 N:8004969 Altura:481	20/06/18	04:45 p.m.
AG18000511	SALIDA TRATAMIENTO N° 2	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PILOTO EXPERIMENTAL PTAR / CONO SUR / TACNA	E:366636 N:8004964 Altura:482	20/06/18	05:00 p.m.
AG18000512	SALIDA TRATAMIENTO N° 3	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PILOTO EXPERIMENTAL PTAR / CONO SUR / TACNA	E:366636 N:8004952 Altura:483	20/06/18	05:15 p.m.
AG18000513	SALIDA TRATAMIENTO N° 4	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PILOTO EXPERIMENTAL PTAR / CONO SUR / TACNA	E:366633 N:8004950 Altura:483	20/06/18	05:30 p.m.
AG18000514	SALIDA TRATAMIENTO N° 5	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PILOTO EXPERIMENTAL PTAR / CONO SUR / TACNA	E:366630 N:8004947 Altura:483	20/06/18	05:45 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Srto. Vicentio Juárez Neira
 Gerente General
 Reg. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
 " < Valor numérico " = Límite de detección del método, " < Valor Numérico " = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 2389



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01388

Hoja de resultados

19/07/2018

Pág.: 2/3

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796 As MT mg/L	846 SST mg/L	848 SO4= mg/L	3035 S= mg/L	858 Aceites y Grasas mg/L	859 DBO-5 mg/L	860 DQO mg O2/L
AG18000509	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	0,0283	260	227,4	2,89	30,1	450,0	830
AG18000510	SALIDA TRATAMIENTO N° 1	0,0420	28,5	----	----	b<0,32	157,5	346
AG18000511	SALIDA TRATAMIENTO N° 2	0,0305	12,6	----	----	b<0,32	160,0	294
AG18000512	SALIDA TRATAMIENTO N° 3	0,0342	18,4	----	----	b<0,32	150,0	299
AG18000513	SALIDA TRATAMIENTO N° 4	0,1975	7,1	----	----	b<0,32	75,0	139
AG18000514	SALIDA TRATAMIENTO N° 5	0,0516	11,7	65,5	b<0,005	b<0,32	65,0	124

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

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

^m<Valor numérico = Límite de detección del método, ⁿ<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 2390



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01388

Hoja de resultados

19/07/2018

Pág.: 3/3

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	872
		Coliformes Fecal NMP/100 mL
AG18000509	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	54x10 ⁶
AG18000510	SALIDA TRATAMIENTO N° 1	16x10 ⁷
AG18000511	SALIDA TRATAMIENTO N° 2	13x10 ⁵
AG18000512	SALIDA TRATAMIENTO N° 3	17x10 ⁵
AG18000513	SALIDA TRATAMIENTO N° 4	54x10 ⁴
AG18000514	SALIDA TRATAMIENTO N° 5	54x10 ⁵

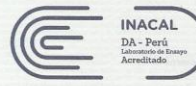
[Handwritten Signature]
 Laboratorios Analíticos del Sur S.A.S. I.R.L.
 Víctor J. Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
 *<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01716

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.
Dirección: AV. MIRAFLORES NRO. SN CERCADO TACNA - TACNA - TACNA
Atención: Bgo. Cesar Huanacuni Lupaca
Proyecto: "Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna - Perú"

Nro de muestras: 6
Muestreo realizado por: Cliente: Cesar Huanacuni Lupaca
Registro de muestreo: 269-18
Procedimiento Aplicado: Muestreado por el cliente.
Fecha de recepción: 17/08/2018
Fecha de ensayo: 17/08/2018
Fecha de emisión: 27/08/2018
Condiciones de recepción de la muestra: Cooler debidamente refrigerado
Observaciones: Datos proporcionados por el cliente.

Método de ensayo aplicado

796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
846 Determinación de Sólidos Suspendedos en aguas SMEWW. 22th Ed. Item 2540-Solids D. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
848 Ensayo de Sulfatos en agua - SMEWW. 22 th Ed. 4500-SC4-2 Part. E. Turbidimetric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
3035 Sulfuros en aguas: SMEWW - APHA - AWWA- WEF 4500-Sulfuro Part D, 22nd Ed. Methylene Blue Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO).
849 Ensayo de Sulfuros en aguas - SMEWW. 22 th Ed. 4500-S²⁻ Part. F. Iodometric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
858 Método de ensayo para determinación de Aceites y grasas en agua 2013 Doc 858. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Sódico). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed.5220-COD Part.D. Closed reflux. Colorimetric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
872 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedures(EC Medium) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG18000687	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	Agua Residual - Agua Residual Domestica	DIST. GREGORIO ALBORACIN / PTAR / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366635, N:8005023, Altura: 485 msnm)	16/08/18	04:00 p.m.
AG18000688	SALIDA TRATAMIENTO N°1	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBORACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366642, N:8004969, 481 msnm)	16/08/18	04:15 p.m.
AG18000689	SALIDA TRATAMIENTO N°2	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBORACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366636, N:8004964, 482 msnm)	16/08/18	04:30 p.m.
AG18000690	SALIDA TRATAMIENTO N°3	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBORACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366636, N:8004952, 483 msnm)	16/08/18	04:45 p.m.
AG18000691	SALIDA TRATAMIENTO N°4	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBORACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366633, N:8004950, 483 msnm)	16/08/18	05:00 p.m.
AG18000692	SALIDA TRATAMIENTO N°5	Agua Residual - Agua Residual Domestica	PTAR CONO SUR / DIST. GREGORIO ALBORACIN / TACNA / TACNA	PTAR CONO SUR (E:366630, N:8004947, 483 msnm)	16/08/18	05:15 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 2960



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01716

Hoja de resultados

27/08/2018

Pág.: 2/3

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796 As MT mg/L	846 SST mg/L	848 SO4= mg/L	3035 S= mg/L	849 S= mg/L	858 Aceites y Grasas mg/L	859 DBO-5 mg/L	860 DQO mg O2/L
AG18000687	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	≤0,0012	360	207,1	----	3,02	40,7	605,00	900
AG18000688	SALIDA TRATAMIENTO N°1	≤0,0012	10,3	110,5	----	74,39	1,7	240,00	386
AG18000689	SALIDA TRATAMIENTO N°2	0,0172	13,8	137,9	----	79,16	0,5	260,00	463
AG18000690	SALIDA TRATAMIENTO N°3	0,0305	7,0	109,6	----	41,11	1,1	157,50	238
AG18000691	SALIDA TRATAMIENTO N°4	0,1189	11,3	83,9	----	25,15	0,5	150,00	277
AG18000692	SALIDA TRATAMIENTO N°5	0,0805	8,1	117,2	0,194	----	0,7	97,50	179


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

≤<Valor numérico = Límite de detección del método, =<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 2961



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

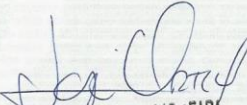
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-01716

Hoja de resultados

27/08/2018

Pág.: 3/3

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	872
		Coliformes Fecal NMP/100 mL
AG18000687	INGRESO PILOTO EXPERIMENTAL	33x10 ⁶
AG18000688	SALIDA TRATAMIENTO N°1	35x10 ⁵
AG18000689	SALIDA TRATAMIENTO N°2	92x10 ⁵
AG18000690	SALIDA TRATAMIENTO N°3	17x10 ⁵
AG18000691	SALIDA TRATAMIENTO N°4	35x10 ⁵
AG18000692	SALIDA TRATAMIENTO N°5	13x10 ⁶


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
José A. Ortiz Condori
Microbiología
Biólogo C.B.P. 13052

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

ND<Valor numérico> = Límite de detección del método, ND<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 2962

INFORME DE ENSAYO N° 185125 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.
 Dirección : Av. Miraflores Nro. S/N Cercado - Tacna - Tacna - Tacna
 Solicitado Por : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.
 Referencia : Reservado por el cliente
 Proyecto : *CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON APLICACIÓN DE DIFERENTES
 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO SOSTENIBLES CON COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ECONÓMICOS
 PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES DESCENTRALIZADAS EN TACNA - PERÚ.
 Procedencia : Tacna - Tacna
 Muestreo Realizado Por : ENVIROTEST S.A.C.
 Cantidad de Muestra : 5
 Producto : Agua Residual
 Fecha de Recepción : 01/11/2018
 Fecha de Ensayo : 01/11/2018 al 09/11/2018
 Fecha de Emisión : 09/11/2018

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

I. Resultados

Código de Laboratorio	185125-01	185125-02	185125-03	185125-04	185125-05		
Código de Cliente	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5		
Fecha de Muestreo	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018		
Hora de Muestreo (h)	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45		
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N 8004969 E 0366642	N 8004964 E 0366636	N 8004952 E 0366636	N 8004952 E 0366633	N 8004947 E 0366630		
Tipo de Producto	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual		
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados				
Fisicoquímicos							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0	165,9	89,0	129,1	276,0	96,7
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5,0	330,7	178,3	258,0	552,5	192,2

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, *c* = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ** = Resolución cuantificable, ** = Límite de Detección de Método, *...*, = No Analizado.
 * > * = Mayor al rango lineal permitido por la técnica analítica.

INFORME DE ENSAYO N° 185125 CON VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio	185125-01	185125-02	185125-03	185125-04	185125-05
Código de Cliente	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5
Fecha de Muestreo	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018
Hora de Muestreo (h)	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N 8004969 E 0366642	N 8004964 E 0366636	N 8004952 E 0366636	N 8004952 E 0366633	N 8004947 E 0366630
Tipo de Producto	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados				
Metales Totales (ICP-AES)							
Ag Plata	mg/L	0,0014	<0,0014	<0,0014	<0,0014	<0,0014	<0,0014
Al Aluminio	mg/L	0,0077	0,209	0,102	0,081	0,136	0,106
As Arsénico	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
B Boro	mg/L	0,0012	0,7345	0,9622	0,8255	0,8316	0,8131
Ba Bario	mg/L	0,0004	0,0192	0,0242	0,0295	0,0515	0,0401
Be Berilio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Ca Calcio	mg/L	0,0035	83,92	102,06	82,30	104,83	73,53
Cd Cadmio	mg/L	0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Ce Cerio	mg/L	0,0096	<0,0096	<0,0096	<0,0096	<0,0096	<0,0096
Co Cobalto	mg/L	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Cr Cromo	mg/L	0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023
Cu Cobre	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0249	0,0183
Fe Hierro	mg/L	0,0052	0,0802	0,1350	0,1036	0,3830	0,2696
K Potasio	mg/L	0,0463	38,64	36,34	36,74	40,12	39,16
Li Litio	mg/L	0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Mg Magnesio	mg/L	0,0107	21,38	24,89	20,78	25,24	22,31
Mn Manganeso	mg/L	0,0004	0,1605	0,3539	1,9843	17,2722	17,2853
Mo Molibdeno	mg/L	0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018
Na Sodio	mg/L	0,0074	145,5	175,6	185,5	193,4	174,7
Ni Níquel	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,0463	0,0658
P Fósforo	mg/L	0,0237	8,761	10,18	9,493	6,505	4,905
Pb Plomo	mg/L	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Sb Antimonio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Se Selenio	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Si Silicio	mg/L	0,0051	49,88	52,88	52,76	50,44	39,87
Sn Estaño	mg/L	0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026
Sr Estroncio	mg/L	0,0002	0,4204	0,3852	0,3769	0,5815	0,4406
Ti Titanio	mg/L	0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021
Tl Talio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
V Vanadio	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Zn Zinc	mg/L	0,0009	0,0831	0,0158	0,0856	0,1205	0,1054

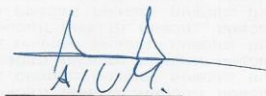
LEYENDA: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "--" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo.

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Fisicoquímicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SM 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales (ICP-AES)		
(Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn)	EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017
"EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

**INFORME DE ENSAYO N° 185125
CON VALOR OFICIAL**



Alfonso Vilca M.
GCSSA
C.Q.P. N° 587

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.
El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años.
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

** FIN DEL INFORME **