

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
DISTRITO DE AJOYANI – CARABAYA – PUNO – 2013”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. JULIO CESAR CALLATA BARRANTES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA


TÍTULO: "EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI – CARABAYA – PUNO – 2013"

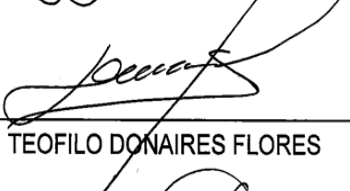
TESIS

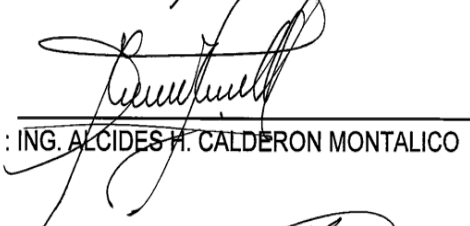
PRESENTADO A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:


INGENIERO AGRÍCOLA

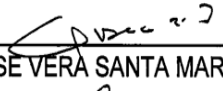
APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:


PRESIDENTE DEL JURADO :  : ING. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

PRIMER JURADO :  : M.Sc. TEOFILO DONAIRES FLORES

SEGUNDO JURADO :  : ING. ALCIDES H. CALDERON MONTALICO

DIRECTOR DE TESIS :  : ING. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

PRIMER ASESOR :  : Dr. JOSE VERA SANTA MARIA

SEGUNDO ASESOR :  : ING. JUAN RAMÓN CALSIN TURPO

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Reúso de aguas residuales

LÍNEA: Ingeniería de Infraestructura Rural

DEDICATORIA

ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ESTÁ DEDICADO:

“En primer lugar quiero manifestar mi agradecimiento infinito a Dios por darme la vida y haberme permitido culminar mis estudios superiores.”

“A mis padres, Julián y Aurora por haberme costado mi carrera y con sus esfuerzos y sacrificios supieron conducir y guiarme hacia el éxito de la vida, que hoy está rindiendo sus frutos.”

“A mis amigos de ayer hoy y siempre quienes me han comprendido y apoyado incondicionalmente durante la fase de culminación de mis estudios y el transcurso de la realización del presente trabajo.”

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, por haberme formado en sus claustros y permitirme ser miembro de ella.
- ❖ A los docentes de la facultad, quienes con su sapiencia implantaron sus conocimientos durante mi formación profesional.
- ❖ A los jurados del presente trabajo de investigación, quienes con sus valiosos consejos han contribuido en la elaboración del presente trabajo.
- ❖ Al Ingeniero Edilberto Velarde Coaquira, Director de tesis, por su dirección, orientación, asesoramiento, seguimiento y su valioso aporte en la cristalización del presente trabajo.
- ❖ Al personal administrativo de la FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA por la excelente administración de las exigencias estudiantiles y contribuyen en la formación de cada una de los estudiantes.

A todos ellos, muchas gracias.

El autor

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	14
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	17
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	19
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. EVALUACIÓN	19
2.1.2. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	20
2.1.2.1. TIPOS DE AGUA RESIDUAL	22
2.1.2.2. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	23
2.1.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	25
2.1.2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	26
2.1.2.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	27
2.1.2.3.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	29
2.1.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
2.1.3.1. OBJETIVO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
2.1.3.2. COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO	31
2.1.3.3. PROCESOS BIOLÓGICOS COMBINADOS (ANAEROBIO + AEROBIO)	31
2.1.3.4. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	34
2.1.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	37
2.1.4.1. DEFINICIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	37
2.1.4.2. OBJETIVOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	38
2.1.4.3. PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN	38
2.1.4.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SEGÚN SU FUNCIÓN MICROBIOLÓGICA	39
2.1.4.4.1. LAGUNAS AERÓBICAS	39
2.1.4.4.2. LAGUNAS ANAERÓBICAS	40
2.1.4.4.3. LAGUNAS FACULTATIVAS	40
2.1.4.4.4. LAGUNAS DE MADURACIÓN O PULIMENTO	40
2.1.4.5. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN FÍSICA	40
2.1.4.5.1. OPERACIÓN EN SERIE:	41
2.1.4.5.2. OPERACIÓN EN PARALELO:	41
2.1.4.6. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL	43
2.1.4.6.1. ARRANQUE.	43
2.1.4.6.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	45
2.1.4.7. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO HIDRÁULICO EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	45
2.1.5. CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES	47

2.1.6. MODELOS PARA LA EVALUACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO.....	49
2.1.6.1. CARGA ORGÁNICA.....	49
2.1.6.2. MODELOS PARA DETERMINAR EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO.....	53
2.1.6.3. MODELOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES.....	54
2.1.7. MEJORAMIENTO DEL EFLUENTE.....	56
2.1.7.1. FILTROS DE PIEDRA.....	57
2.1.7.2. FILTRO PERCOLADOR.....	57
2.1.7.3. REACTOR BIOLÓGICO.....	58
2.1.7.3.1. TIPOS DE REACTOR BIOLÓGICO.....	61
2.1.7.3.1.1. REACTOR DE LECHO EMPACADO.....	61
2.1.7.3.2. LECHO BACTERIANO.....	62
2.1.7.3.3. ECOLOGÍA DE LA BIOPELÍCULA.....	62
2.1.7.4. FILTROS INTERMITENTES DE ARENA.....	63
2.1.7.5. LAGUNAS DE JACINTOS O NAVES DE MACROFITAS.....	65
2.1.8. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS.....	66
2.1.8.1. DIGESTOR DE LODOS.....	67
2.1.8.2. COMPOSTAJE DE LODOS.....	68
2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.....	70
2.2.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	70
2.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	70
3. MATERIALES Y METODO DE INVESTIGACION.....	71
3.1. ASPECTOS GENERALES.....	71
3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	71
3.1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	73
3.1.3. SERVICIOS PÚBLICOS Y EQUIPAMIENTO DE LA LOCALIDAD.....	73
3.1.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	74
3.1.4.1. RED COLECTORA.....	74
3.1.4.2. BUZÓN.....	74
3.1.4.3. EMISOR.....	75
3.1.4.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	75
3.1.4.5. VERTEDERO.....	77
3.1.4.6. CUERPO RECEPTOR.....	77
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	78
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	78
3.3.1. DESARROLLO DEL ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	79
3.3.1.1. IDENTIFICACIÓN.....	79
3.3.1.2. DIAGNOSTICO.....	79
3.3.1.3. REGISTRO HISTÓRICO Y EVALUACIÓN DE DATOS EN CAMPO.....	81
3.3.1.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS.....	82
3.3.1.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	82
3.3.1.6. PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	83
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	86
4.1. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL DISTRITO DE AJOYANI.....	86

4.1.1. IDENTIFICACIÓN	86
4.1.1.1. UBICACIÓN, CONDICIONES FÍSICAS Y CLIMATOLÓGICAS, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO..	86
4.1.2. DIAGNOSTICO	86
4.1.2.1. SITUACIÓN ACTUAL	86
4.1.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL	87
4.1.2.1.2. POBLACIÓN SERVIDA	87
4.1.2.1.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	88
4.1.2.1.4. IMPACTOS CAUSADOS	89
4.1.3. REGISTRO HISTÓRICO Y EVALUACIÓN DE DATOS EN CAMPO	90
4.1.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	90
4.1.3.2. PARÁMETROS OPERACIONALES	90
4.1.3.3. PARÁMETROS DE MONITOREO	91
4.1.3.4. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	91
4.1.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS ANALIZADOS	92
4.1.4.1. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS OBTENIDOS	92
4.1.4.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	92
4.1.4.3. CALIDAD FISICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL	96
4.1.4.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	108
4.1.4.4.1. COMPORTAMIENTO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	108
4.1.4.4.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO ₅	109
4.1.4.4.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES	110
4.1.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	112
4.1.5.1. PRIMERA ETAPA	112
4.1.5.2. SEGUNDA ETAPA	113
4.1.5.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA DEL PROBLEMA	113
4.1.5.2.2. DEFINIR ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	114
4.1.6. PROPUESTA DE TRATAMIENTO	118
4.1.6.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR	118
4.1.6.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	120
4.1.6.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	120
4.1.6.4. TRATAMIENTO Terciario	122
4.1.6.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXOS	131
ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO	131
ANEXO 02: CERTIFICADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	134
ANEXO 03: CÁLCULOS	138

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 01: Composición típica promedio de las aguas residuales	21
CUADRO N° 02: Tipos de agua residual.....	22
CUADRO N° 03: Principales Constituyentes de las Aguas Residuales a Reducir	24
CUADRO N° 04: Principales Procesos de Tratamiento Biológico en Aguas Residuales	33
CUADRO N° 05: Niveles y Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales	35
CUADRO N° 06: Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización	43
CUADRO N° 07 Características Típicas de Lagunas de Estabilización	47
CUADRO N° 08: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR Municipales	49
CUADRO N° 09: Procesos de separación de sólidos usados en lagunas de estabilización	57
CUADRO N° 10: Parámetros de diseño para filtro percoladores.....	58
CUADRO N° 11: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Filtro Percolador	60
CUADRO N° 12: Parámetros y Dimensionamiento del Filtro Percolador.....	60
CUADRO N° 13: Criterios de diseño para filtros intermitentes de arena	64
CUADRO N° 14: Datos Hidráulicos para el Filtro Lento	65
CUADRO N° 15: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Filtro Lento	65
CUADRO N° 16: Condiciones de diseño para Nave de Macrófitas	66
CUADRO N° 17: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico de la Nave de Macrófitas.....	66
CUADRO N° 18: Datos hidráulicos del Digestor de Lodos	67
CUADRO N° 19: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Digestor de Lodos	67
CUADRO N° 20: Datos del Compostaje de Lodos	69
CUADRO N° 21: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Digestor de Lodos	69
CUADRO N° 22: Ubicación Política y Geográfica del Distrito de Ajoyani	71
CUADRO N° 23: Vías de Acceso al Distrito de Ajoyani	72
CUADRO N° 24: Coordenadas de la Laguna Facultativa	75
CUADRO N° 25: Características Físicas de las Lagunas de Estabilización	93
CUADRO N° 26: Extensión Superficial, Periodo de Retención y Factor de Forma de las Lagunas	93
CUADRO N° 27: Caudal promedio horario en el sistema de lagunas.....	94
CUADRO N° 28: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros físico, químicos, de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani.....	105
CUADRO N° 29: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros biológicos de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani.....	106
CUADRO N° 30: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros biológicos de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani.....	108
CUADRO N° 31: Concentración de Carga Total Aplicada (Materia Orgánica) y Carga Superficial Aplicada en el Sistema de Lagunas	109
CUADRO N° 32: Cargas Superficial Máximas Admisibles en Lagunas Facultativas según Modelos.....	109
CUADRO N° 33: Comparación de la Eficiencia de Remoción de DBO ₅ Según los Modelos Evaluados.....	109
CUADRO N° 34: Comparación de Eficiencia de Reducción de Coliformes Fecales según Modelos Evaluados.	111
CUADRO N° 35: Comparación de parámetros en salida del sistema (efluente) con Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR Municipales.....	112

FIGURAS

FIGURA N° 01: Composición del Agua Residual Doméstica.....	23
FIGURA N° 02: Composición del Agua Residual Doméstica.....	24
FIGURA N° 03: Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales	36
FIGURA N° 04: Lagunas de Estabilización conectadas en serie.....	41
FIGURA N° 05: Lagunas de Estabilización conectadas en paralelo.....	42
FIGURA N° 06: Área de estudio	72
FIGURA N° 07: Buzón de Inspección	75
FIGURA N° 08 Laguna Facultativa Ajoyani	76
FIGURA N° 09: Distribución de Estructuras PTAR Ajoyani	76
FIGURA N° 10: Vertedero.....	77
FIGURA N° 11: Cuerpo Receptor Río Achasiri.....	77
FIGURA N° 12: Esquema para la Evaluación y Propuesta de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lagunas de Estabilización	80
FIGURA N° 13: Características Físicas de las Lagunas.....	93
FIGURA N° 14: Variación de Caudal Promedio Horario en el Sistema de Lagunas.....	95
FIGURA N° 15: Variación de Caudal Promedio en el Sistema de Lagunas	96
FIGURA N° 16: Variación del pH en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	97
FIGURA N° 17: Variación de la Conductividad Hidráulica en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	98
FIGURA N° 18: Variación de Sólidos Totales Suspendidos en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	99
FIGURA N° 19: Variación de Sólidos Totales Disueltos en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente ...	99
FIGURA N° 20: Variación del Oxígeno Disuelto en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	100
FIGURA N° 21: Variación de la Materia Orgánica en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	101
FIGURA N° 22: Variación del DBO ₅ en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	102
FIGURA N° 23: Variación del DQO en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente.....	102
FIGURA N° 24: Variación del Nitrógeno en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente	103
FIGURA N° 25: Variación del Fosforo Total en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente.....	104
FIGURA N° 26: Variación de Grasas y Aceites en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente.....	104
FIGURA N° 27: Variación de Coliformes Totales en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente	107
FIGURA N° 28: Variación de Coliformes Fecales en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente	107
FIGURA N° 29: Comparación de Remoción Orgánica Según los Modelos Evaluados	110
FIGURA N° 30: Comparación de Remoción de Coliformes Fecales Según los Modelos Evaluados	111
FIGURA N° 31: Separador de Sólidos.....	119
FIGURA N° 32: Desgrasador.....	120
FIGURA N° 33: Sedimentador	120
FIGURA N° 34: Filtro Vertical Múltiple	121
FIGURA N° 35: Reactor Biológico	122
FIGURA N° 36: Nave de Macrófitas o jacintos de agua	123
FIGURA N° 37: Filtro Lento	124
FIGURA N° 38: Digestor de Lodos	124
FIGURA N° 39: Losa de Compostaje.....	125
FIGURA N° 40: Circuito de Recorrido de la Propuesta de Tratamiento del Distrito de Ajoyani	126

RESUMEN

El presente trabajo comprende la evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, con la cual pretendemos contribuir en la eficiencia, mejora y puesta en operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani.

La metodología aplicada para la evaluación y propuesta del sistema de tratamiento se basa en: identificación del sistema, diagnóstico, registro histórico de datos de campo, frecuencia de muestreo, procesamiento y análisis de parámetros analizados, evaluación de resultados y propuesta de mejoramiento del efluente. Se determinó que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO₅ 80.59%, DQO 80.59%, Aceites y Grasas se mantiene 0.012 mg/L, Sólidos totales en suspensión 7.77%. También se determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 55.14% y Coliformes Fecales 41.93%. Al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D.S. N° 003–2010–MINAM, se concluye que el nivel de contaminación no cumplen ya que los contaminantes potenciales (DBO₅, DQO).

Se plantea un sistema para la mejora del tratamiento de aguas residuales adicionando algunas estructuras indispensables para el tratamiento de aguas residuales así como: Separador de Sólidos, Desgrasador, Medidor de Caudal Sedimentador. También se adicionan estructuras de Tratamiento Secundario y de Pulimiento, Filtro Vertical Múltiple, Reactor Biológico, Macrófitas, Filtro Lento, Digestor de Lodos, Secado de Lodos. Esto con el fin de cumplir con la norma establecida en el D.S. N° 003–2010–MINAM, y así evitar la contaminación ambiental.

ABSTRACT

This work includes the assessment and proposed treatment plant wastewater Ajoyani District, with which we intend to contribute to the efficiency improvement and commissioning operation of the treatment system wastewater Ajoyani District.

The methodology for the assessment and proposed treatment system is based on: system identification, diagnosis, historical record field data, sampling, processing and analysis of parameters analyzed, performance evaluation and proposal to improve the effluent. It was determined that the system is not working efficiently because their removal efficiency is low. The treatment efficiency of the system by the parameters evaluated are: DBO₅ 80.59%, DQO 80.59%, Oil and Grease 0.012 mg /L is maintained, total suspended solids 7.77%. Removal efficiency of 55.14% and Total Coliform Fecal Coliform 41.93% was also determined. Comparing the values determined in the effluent with LMP (maximum permissible levels) established in the DS N ° 003-2010-MINAM concluded that the level of pollution does not meet as potential pollutants (DBO₅, DQO).

A system for the improvement of wastewater treatment by adding some essential structures for treating wastewater and is posed: Solids Separator, Degreaser, Flowmeter sedimentation: a system for the improvement of wastewater treatment by adding some essential structures for wastewater treatment and poses. Secondary structures and Polishing Treatment was also added, Vertical Filter Multiple Biological, Reactor, macrophytes, Slow Filter, Digester Sludge, Sludge Drying. This in order to comply with the rule in DS N ° 003-2010-MINAM and avoid environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de las aguas residuales domésticas y la operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales es de vital importancia, para así cumplir con las normas establecidas, y así poder evitar la contaminación ambiental.

La entrega de aguas residuales al río sin tratar en la localidad de Ajoyani, implica riesgos de salud y contaminación ambiental, ya que esto tiene graves consecuencias, que afectan indirectamente a la salud humana, a través de la contaminación de fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

La implementación de las lagunas de estabilización en algunos municipios, es atractiva en términos económicos, pero han producido algunos rechazos por parte de las comunidades aledañas por la generación de malos olores. También se ha detectado mal funcionamiento de las mismas, ocasionado posiblemente por aspectos constructivos, operación y mantenimiento, puesto que se han tenido en la concepción de ser sistemas que pueden trabajar sin ninguna supervisión. Actualmente existe la necesidad de realizar estudios que analicen el funcionamiento de las lagunas implementadas en nuestro país, para fundamentar los diseños futuros.

De acuerdo con esto, se definió como objetivo central de esta investigación realizar una metodología que permita evaluar el comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización, utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales, para así interpretar su funcionamiento en términos hidráulicos, eficiencia en remoción en carga orgánica y calidad del efluente al igual que los posibles problemas ambientales asociados con la implementación del mismo. De acuerdo a esta evaluación proponer estrategias y/o alternativas para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento, y así poder evitar la contaminación ambiental.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La entrega de aguas residuales y/o domésticas al río sin tratar o con tratamiento inadecuado en el Distrito de Ajoyani, implica riesgos de salud y contaminación ambiental, ya que esto tiene graves consecuencias, que afectan indirectamente a la salud humana, a través de la contaminación de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, la contaminación de suelos y productos agrícolas así como la cuenca del Río Ramis que está siendo afectada considerablemente.

En la actualidad las aguas residuales del Distrito de Ajoyani se están entregando a una planta de tratamiento con lagunas de oxidación con cuatro naves o pozas, estas se están utilizando alternadamente, realizando tratamientos primarios y secundarios. Con este tratamiento se estará entregando al cauce del Río de Ajoyani de acuerdo al rango de las normas de calidad de aguas residuales.

Por lo tanto el presente trabajo de investigación responde al siguiente problema central:

¿Cuáles son los resultados de la planta de tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización que se viene aplicando para así obtener una buena calidad de agua residual, y que estrategias y/o alternativas se propone para el buen funcionamiento?

De este problema se desprenden los siguientes problemas específicos:

¿Cómo es la situación actual del análisis físico químico y bacteriológico de las aguas residuales del Distrito de Ajoyani?

¿Qué estrategias y/o alternativas se propone para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

Sobre el tema se han realizado investigaciones a nivel local, nacional e internacional. Por ejemplo a nivel local: el tesista, ALANOCA F., Néstor. “Evaluación de la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y biológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización en llave”. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. 2008 Puno-Perú. El cual tiene como objetivos 1) Determinar la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y microbiológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas. 2) Determinar el comportamiento hidráulico del sistema mediante aportes, distribución y variación de caudales, balance hídrico, volumetría, periodo de retención y factor de forma. Llegando a las siguientes conclusiones. 1) La eficiencia de tratamiento del sistema mediante la caracterización físico-químico y biológico de los parámetros evaluados son: Sólidos Totales 25.68%, Sólidos Sedimentables 42.15%, DBO₅ 54.92%, DQO 21.85%, Coliformes Totales 69.15% y Coliformes Fecales 63.08%. 2) Según el balance hídrico se encontró que las pérdidas del caudal en el sistema es de 3.35 L/s, lo que representa el 27.44% de pérdidas en el efluente, cantidad que sobrepasa los parámetros, el

valor debe ser menor que el diez por ciento del caudal que ingresa, esto puede estar ocurriendo por infiltración. El periodo de retención teórico es de ocho días para ambas lagunas, encontrándose en los niveles mínimos que es de 10 días.

A nivel nacional: GUEVARA, VA. Propuesta metodológica evaluación de lagunas de estabilización primera aproximación. OPS/C.E.P.I.S: 1996 Lima – Perú. Es una guía de evaluación, la cual tiene como objetivos: 1) Buscar la adecuada calidad del efluente. 2) Asegurar un buen funcionamiento del sistema. También presenta su proceso de evaluación compuesto de la siguiente manera: 1) Ubicación y descripción del sistema de tratamiento. 2) Muestreo y medición de caudal. 3) Preservación y traslado de muestras. 4) Análisis in-situ y de laboratorio. 5) Características físico-químicas y bacteriológicas. 6) Determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento. No tiene conclusiones ya que es una guía y no una investigación aplicada.

A nivel internacional: CORREA, RG. “Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia” Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Sanitaria Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Maestría en Ingeniería Medellín. 2008. El cual tiene como objetivos: 1) Evaluar el sistema de lagunas para el tratamiento de las aguas residuales del Municipio de Santa Fé de Antioquia desde su diseño original y operativo teniendo en cuenta: caudal y carga de diseño, factores ambientales, sistemas de entrada y salida y dimensiones físicas. Llegando a las siguientes conclusiones: 1) La laguna anaerobia presentó altas remociones, con 72% en DBO₅ total y 89% en DBO₅ soluble, además en DQO total y soluble fue de 59 y 81% respectivamente. De igual forma para los sólidos suspendidos totales fue de 60% y para los suspendidos volátiles fue de 52%. En resumen la laguna anaerobia es responsable del 70% de remoción en DBO₅ total en el sistema. En cuanto a la remoción en la laguna facultativa 1 se obtuvieron remociones en DBO₅ de 59% y en DQO de 79%. Para la laguna facultativa 2 la eficiencia fue de 62% en DBO₅ y 74% en DQO. Estas remociones

se consideran importantes para el sistema pero existe un gran aporte de sólidos en el efluente del mismo, con un valor promedio de 0.30 kg DBO/ kg S.S., lo que sugiere la necesidad de hacer una remoción de sólidos por medio de un tratamiento adicional al efluente del sistema.

Se pudo notar que en cualquier caso o situación el principal problema es conocer el la eficiencia de funcionamiento de las infraestructuras del sistema de tratamiento de agua residual, así también el grado de tratamiento referido a la calidad del efluente. En la ciudad de Ajoyani no se han realizado estudios ni trabajos similares sobre su planta de tratamiento de aguas residuales, es por eso que es fundamental realizar una evaluación que ayude a definir la situación en la que se encuentra y así poder tomar medidas correctivas necesarias.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Cuando las aguas residuales no cumplen con las normas de calidad de agua se hace necesario tratarlas y desinfectarlas quedando la salud de las personas en manos de la institución y del personal responsable del tratamiento. Aquí entra en juego el factor humano. Si las aguas residuales no son tratadas y están muy contaminadas, la contaminación de los ríos dependerá de una buena gestión y manejo de aguas residuales de las instituciones públicas y privadas.

En el distrito de Ajoyani la contaminación del río es por el vertido de aguas residuales al río Achasiri, la cual desemboca a la cuenca del Río Ramis. Bajo este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales del sistema de tratamiento existente y así tomar las medidas correctivas para su buen funcionamiento.

Los sistemas lagunares es el método de tratamiento de aguas residuales domésticas que actualmente prefieren los pueblos y gobiernos latinoamericanos, su alta eficiencia degradativa, el bajo costo, la simplicidad en la construcción y la facilidad en el mantenimiento y operación del sistema.

Es necesario realizar la evaluación y propuesta de la planta de tratamiento, con el fin de determinar la importancia y magnitud de los impactos negativos y positivos, generado en la operación de la laguna de estabilización de las aguas residuales en la capital de distrito de Ajoyani. En este sentido la metodología que se presenta constituye una guía para la evaluación y propuesta del funcionamiento de las lagunas de estabilización, que permita evaluar y monitorear los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, para interpretar su funcionamiento en términos hidráulicos y calidad del efluente al igual que los posibles problemas ambientales asociados con la implementación del mismo.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización que se viene aplicando para disminuir la contaminación de aguas residuales en el distrito de Ajoyani en los aspectos de calidad vertimiento, operación, mantenimiento desempeño de la PTAR, y proponer estrategias y/o alternativas para el buen funcionamiento.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la situación actual del análisis físico químico y bacteriológico de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR existente en el distrito de Ajoyani, analizando la información existente en el órgano ambiental sobre el desempeño.
- ✓ Proponer estrategias y/o alternativas en base a una teoría para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales PTAR del

distrito de Ajoyani y lograr que efluente este de acuerdo a los límites máximos permisibles de vertimiento del agua residual al cauce del río.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EVALUACIÓN

Según **GUEVARA, A. (1996)**, Indica que evaluar consiste en realizar un número de mediciones y análisis que al compararlos con los parámetros, normas y métodos preestablecidos permiten un control y manejo adecuado del proceso o sistema de tratamiento.

Evaluar incluye acciones de supervisión, inspección, vigilancia y control con el propósito de prevenir, mantener, corregir, mejorar y optimizar los procesos individuales y todo el sistema.

Los criterios para la evaluación son la calidad requerida del efluente y lo que se desea controlar; todo va a depender del tamaño de las instalaciones, infraestructura, recursos existentes, personal disponible, laboratorios, etc.

En el proceso de evaluación se realizan un número tal de mediciones y análisis que permitan un control y manejo adecuado del proceso de lagunas. Este tipo de evaluación es necesaria, aunque consume tiempo, requiere de personal con experiencia para interpretar los datos obtenidos; pero es el único medio para poder optimizar los sistemas lagunares, mejorar el diseño de estos sistemas, adecuándola a la región.

Según **ROMERO, J. (2001)**, Indica que “para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales ó estándar. Además, una caracterización acertada del agua residual que requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos. En general para que la muestra sea representativa, se prefieren sitios de muestreo con flujo muy turbulento donde el agua residual este bien mezclada. Sin embargo, el sitio de muestreo debe seleccionarse de acuerdo con cada problema individual de estudio”.

2.1.2. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

Según **PALACIOS, S. (1991)**. Establece que las aguas residuales domésticas son aguas procedentes de las viviendas, oficinas y edificios comerciales que se conducen en forma combinada en alcantarillas subterráneas a una laguna de estabilización que generalmente están alejadas de la ciudad.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado, sin tratamiento posterior a su uso.

Según **RNE (2006)**. Agua residual doméstica es aquella agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Según **CEPIS (2005)**. Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domesticas e industriales.

Según **Romero, J. (2001)**. Las aguas residuales son aguas procedentes de las viviendas; oficinas y edificios comerciales, ya usadas del abastecimiento de una población, formadas por aguas domesticas cargadas de heces, orina y otros desperdicios; toda esta masa está más o menos diluida por el agua de lavado de servicios públicos y aguas pluviales que se vierten sobre un depósito de agua natural.

Según **Cuervo, H. (1987)**. Las aguas que provienen de viviendas, edificaciones públicas y otras instalaciones, incluyendo el agua utilizada para limpieza de calles y control de incendios, se denominan aguas residuales domésticas (ARD). La composición de las aguas residuales domésticas es muy variable en razón a la diversidad de factores que la afectan. Entre estos, principalmente, el consumo medio de agua por persona y por día, por cuanto determina, preferentemente, su concentración, y la dieta de la población conjuntamente con el nivel de desarrollo o tamaño de la municipalidad, que caracteriza fundamentalmente su composición química (Cuervo, en prensa). En el cuadro N° 1 se presenta el rango de valores de los principales parámetros en los que normalmente fluctúa la composición de las aguas residuales domésticas.

CUADRO N° 01: Composición típica promedio de las aguas residuales

Parámetro	Rango	Valor Promedio	Valor Promedio Estrato Medio en Colombia
pH, unidades	6.5 – 7.5	7.1	7.2
DBO5, mg/l	90 – 450	230	265
DQO, mg/l	170 – 850	450	415
Grasas y aceites	50 – 180	70	80
Fosforo total, mg/l P	2- 12	8	5
Nitrógeno total, mg/l N	12 – 90	45	28
Sólidos susp. Totales, mg/l	150 – 450	230	268
Sólidos susp. Volátiles, mg/l	75 – 340	175	201

Sólidos sedimentables, ml/l	3 – 12	8	6
Cloruros, mg/l	25 – 80	35	28
Sulfatos, mg/l	15 – 40	25	25
Aporte DBO5, g/(hab. día)	40 – 65	50	54
Aporte DQO, g/(hab. día)	60 – 110	98	96
Aporte SS, g/(hab. día)	45 – 80	68	62

Fuente: Cuervo F.H. 1987.

2.1.2.1. TIPOS DE AGUA RESIDUAL.

Según **Romero, J. (2001)**. Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la siguiente tabla:

CUADRO N° 02: Tipos de agua residual

TIPO DE AGUA	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICA
Agua residual doméstica	Producida en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual municipal	Son las transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales
Agua negra	Contiene orina y heces	Alto contenidos de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos
Agua amarilla	Es la orina transportada con o sin agua	Alto contenido de nutrientes, productos farmacéuticos, hormonas y alta concentración de sales
Agua café	Agua con pequeña cantidad de heces y de orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos y por el contrario presentan máxima de carga de productos para el cuidado personal y detergentes

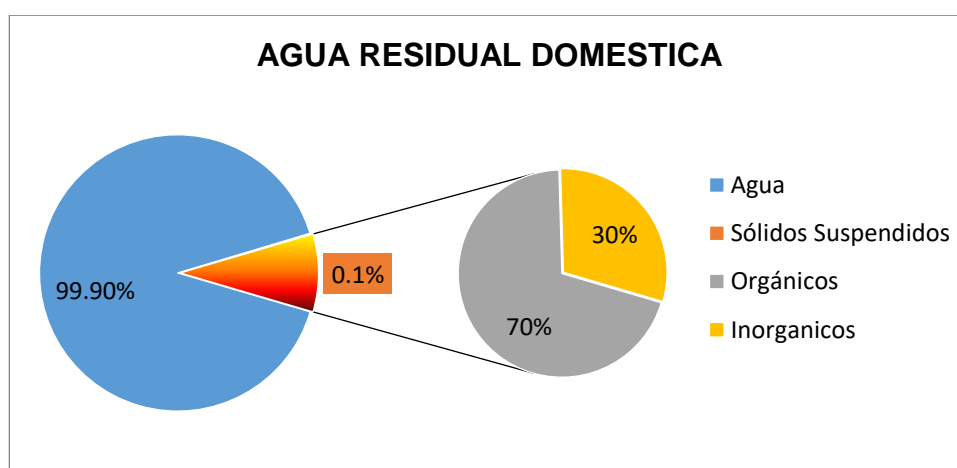
Fuente: Romero R.J.2001

2.1.2.2. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según **PALACIOS, S. (1991)**. Indica que es importante recordar que siempre ocurrirán variaciones significativas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, dependiendo de la dimensión del sistema, del tipo de aguas residuales y del diámetro e inclinación de los interceptores y tipos de contribuyentes de aguas residuales. Las cargas orgánicas diarias para las diversas plantas de tratamiento de aguas residuales se estima usando datos horarios.

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9 % y un 0.1 % de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento en las PTARs. La composición del agua residual está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras.

FIGURA N° 01: Composición del Agua Residual Doméstica



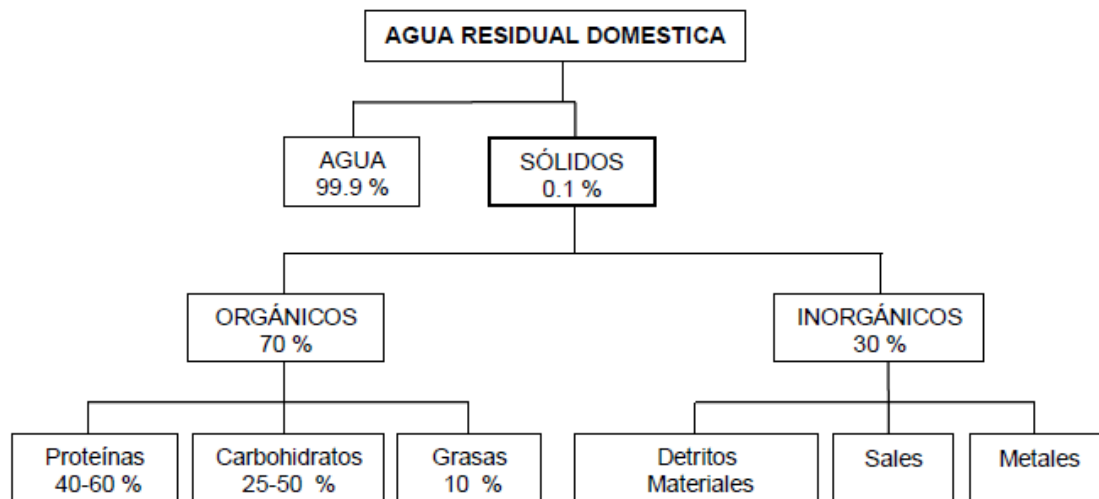
Fuente: Elaboración propia según el texto de PALACIOS F.S. 1991

La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres y actividades socio-económicas que realiza

la población contribuyente. La composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente.

Según **METCALF, E. (1996)**. Las aguas residuales consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso del agua residual), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos disueltos y en suspensión.

FIGURA N° 02: Composición del Agua Residual Doméstica



Fuente: METCALF y EDDY (1996)

Aproximadamente el 65% de los sólidos orgánicos son proteínas como albúminas, globulinas y enzimas provenientes de las industrias o de la actividad microbiológica en el agua residual. La proporción de los carbohidratos está en función de las costumbres en la región (éstos se encuentran en sus formas más comunes como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa). Las grasas y aceites animales o vegetales son el tercer componente de los alimentos. La cuadro N° 03 presenta los constituyentes que deben ser reducidos de las aguas residuales.

CUADRO N° 03: Principales Constituyentes de las Aguas Residuales a Reducir

CONTAMINANTES	IMPORTANCIA
---------------	-------------

Sólidos Suspendidos	Forman depósitos de lodo y favorecen las condiciones anaerobias cuando son descargados a los ecosistemas.
Materia orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general, se miden en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento a un cuerpo de agua, reduce en este el oxígeno disuelto y desarrolla condiciones anaerobias.
Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto al carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados en los cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaerobias.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos que causan alteraciones genéticas, mutaciones, además son cancerígenos.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales, Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados.
Compuestos orgánicos disueltos	El calcio, sodio y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Temperatura	Ligeramente alta comparada con el agua de beber. Variaciones acorde al año (estaciones). Influye en la actividad microbiana. Influye en la solubilidad de los gases. Influye en la viscosidad.
Color	Aguas frescas: ligeramente gris. Aguas sépticas: gris oscuro o negro.
Olor	Aguas frescas: relativamente desagradable. Aguas sépticas: olor ofensivo, tanto del ácido sulfhídrico como de otro producto de la descomposición. Aguas industriales: depende de lo que se fabrique.
Turbiedad	Causado por una gran variedad de sólidos suspendidos. Las aguas frescas presentan mayor concentración de sólidos.

Fuente: METCALF y EDDY (1996).

2.1.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según CRITES R, Y TCHOBANOGLIOUS G. (2000). Manifiesta que las características de las aguas residuales de un lugar varían dependiendo de factores como: consumo de agua potable, tipo y sistema de alcantarillado, presencia de desechos industriales, entre otros y es necesario considerar circunstancias tales como las variaciones diarias del caudal.

Las aguas residuales pueden provenir tanto de casas de habitación (aguas residuales domésticas), de empresas (aguas residuales de origen industrial o especiales) o de una mezcla de ambas (aguas mixtas). Todas ellas poseen características químicas y biológicas diferentes y por lo tanto la normativa establece parámetros especiales en cuanto a su caracterización.

Las aguas residuales domésticas, por lo general, no contienen sustancias peligrosas como lo son metales pesados, tóxicos fuertes, entre otros; pero sí una elevada cantidad de agentes infecciosos y patógenos, dado que su principal prominencia es de los servicios sanitarios. Son aguas con alta cantidad de amonio y nitrógeno debido a las excretas, lo que permite su tratamiento mediante diversos procesos biológicos.

Según **TCHOBANOGLIOUS, G. (1996)**. Indica que las aguas residuales del sector industrial dependen totalmente del tipo de actividad productiva que desarrolle la empresa. En ellas es importante evaluar, a parte del caudal y la cantidad de materia orgánica, la presencia de sustancias tóxicas como los metales pesados

La composición de las aguas residuales se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en estas. Conocer la naturaleza del agua residual es esencial para la construcción y explotación de proyectos tanto de recogida como de tratamiento de evacuación de las aguas residuales. En esta sección solo se mencionaran aquellas características del agua residual muestreadas en terreno.

2.1.2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, este engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

Sólidos totales se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105° C.

Los sólidos sedimentables, constituyen la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales se pueden clasificar en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión).

2.1.2.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El estudio de esta característica se aborda en los siguientes cuatro apartados, materia orgánica, medición de contenido orgánico y materia inorgánica.

a) Materia orgánica. Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Proviene de los reinos animal y vegetal. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), grasas y aceites (10%). Otro compuesto orgánico presente es la urea, principal constituyente de la orina.

✓ **Grasas animales y vegetales.** La composición de las grasas animales y aceites es de alcohol o glicerol y ácidos grasos. La forma en que llegan a las aguas residuales son como mantequilla, manteca, margarina, aceites y grasas vegetales. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo de la vida biológica creando películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.

b) Medida del contenido orgánico. Los métodos más empleados para medir el contenido orgánico de aguas residuales y superficiales son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO).

✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** El parámetro de contaminación orgánica más empleado, la DBO a 5 días (DBO_5). La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Los resultados de los ensayos de DBO_5 se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para

estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, dimensionar las instalaciones de tratamientos de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

- ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO).** Este ensayo se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de aguas naturales como aguas residuales.

En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de materia orgánica que puede oxidarse. La DQO de un agua residual suele ser mayor que la DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por la vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

- c) **Materia Inorgánica.** Debido a que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos.

- ✓ **Nitrógeno.** Recibe el nombre de nutriente y bioestimulante. Es básico para la síntesis de proteínas. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito, nitrato.

El nitrógeno del nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Cuando el efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de agua subterránea, la concentración del nitrato es importante. La concentración de nitratos en efluentes puede variar entre 0 y 20 mg/L en forma de nitrógeno(N), con valores típicos entre 15 y 20 mg/L.

- ✓ **Fósforo.** Este es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. El contenido de fósforo en aguas residuales municipales puede variar entre 4 y 15 mg/L.

2.1.2.3.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Se tomará conocimiento de los principales grupos de microorganismos biológicos y organismos patógenos presentes en las aguas residuales así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.

- a) **Microorganismos.** Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales se clasifican en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias.
- ✓ **Bacterias.** Se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. Los Escherchiacoli, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por dos micras de largo. Las bacterias trabajan en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Los coliformes se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.
- b) **Organismos patógenos.** Los principales organismos patógenos presentes en aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

2.1.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1.3.1. OBJETIVO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según **RNE (2006)**. Define que el objetivo del tratamiento de aguas residuales es mejorar su calidad para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización.

Según **METCALF, E. (1996)**. Indica que diversos autores argumentan que el objetivo básico del tratamiento de aguas residuales (AR) es proteger la salud, promover el bienestar de las personas y proteger el ambiente.

Según **Romero, J. (2001)**. En la concepción, planteamiento y diseño de un sistema de tratamiento se puede considerar objetivos diferentes, teniendo en

cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas.

En un desarrollo gradual de sistemas de tratamiento se pueden considerar, como objetivos iniciales principales, del tratamiento de aguas residuales, los siguientes: Remoción de DBO, Remoción de Sólidos Suspendidos, Remoción de patógenos. Posteriormente ha sido común agregar: Remoción de nitrógeno y fósforo. Finalmente se involucra: Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas, Remoción de trazas de metales pesados, Remoción de sustancias inorgánicas disueltas

Para otros autores, el objetivo es modificar las características del agua de tal forma que el efluente tratado cumpla con los requisitos especificados en la legislación, para ser vertido en un cuerpo receptor sin causar impactos adversos en el ecosistema o pueda ser reutilizado en otras actividades.

Desde el año 1900 hasta la década de los 70, los objetivos de tratamiento fueron inicialmente la reducción del material coloidal, suspendido y material flotante. Hasta los 80 los objetivos estaban más relacionados con criterios estéticos y ambientales. Los criterios posteriores se hicieron más exigentes y empezó a considerarse la necesidad de eliminación de nutrientes.

Posteriormente en los años 90 como consecuencia del avance tecnológico, el tratamiento de aguas residuales se enfocó en solucionar los problemas de salud pública causados por sustancias tóxicas y microorganismos patógenos presentes en el agua residual y a desarrollar prácticas que permitan solucionar el problema en la fuente.

Ahora bien, el enfoque tradicional del tratamiento de las AR, difiere totalmente del tratamiento destinado al reúso; para el primer caso, los objetivos se centran en la reducción de los compuestos orgánicos biodegradables, del

material flotante y del suspendido. El tratamiento con finalidades de reúso consiste en aprovechar los nutrientes y parte de la materia orgánica, concentrándose básicamente en la reducción de patógenos (OMS, 2006). Los objetivos del reúso pueden ser múltiples, entre ellos se encuentra evitar la sobreexplotación del recurso hídrico, fomentar el uso eficiente del agua, prevenir la contaminación, sensibilizar y concientizar la población sobre la importancia del reúso, complementar instrumentos de prevención y control.

2.1.3.2. COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO

Según **SANCHEZ, V. (1995)**. Indica que después de un tratamiento biológico que contemple un buen diseño, adecuado tiempo de retención hidráulico y en presencia de los microorganismos idóneos, las características finales del agua son muy distintas a las iniciales. La actividad biológica intensa y suficiente a cargo de las bacterias, algas, protozoarios, hongos, principalmente, produce agua mineralizada cuyas características son las requeridas en el desarrollo de la flora y fauna, lo cual significa capacidad de intercambio catiónico, intercambio gaseoso, cantidad de oxígeno disuelto superior a 6 mg/L, mínima presencia de materia orgánica biodegradable, mucha cantidad de minerales como lo son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfonatos, nitratos, fosfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio. También puede encontrarse minerales como lo son los silicatos, fluoruros, compuestos de hierro, magnesio, aluminio, boro, entre otros.

Un aspecto a recalcar es la múltiple presencia de microorganismos encargados de los procesos para el tratamiento del agua residual en los sistemas biológicos.

2.1.3.3. PROCESOS BIOLÓGICOS COMBINADOS (ANAEROBIO + AEROBIO)

Según **NOYOLA, A. (2003)**, Manifiesta que el tratamiento biológico, al ser una herramienta de la naturaleza, está mejor adaptada para resolver los problemas de tratamiento de AR biodegradables, como las de origen municipal. Los procesos anaerobios y aerobios cumplen los requisitos deseables para

establecer una tecnología perdurable siempre y cuando se conozcan sus limitaciones y bondades, de manera que se ajusten buscando un beneficio en particular (objetivos de tratamiento).

El debate de hace algunos años, que llevaba a oponer las tecnologías anaerobias modernas con las aerobias ya ha sido resuelto en buena medida y por el contrario la combinación de procesos ha madurado a través de la experimentación. Ahora lo que se acepta en forma creciente es que ambos tipos de procesos no se oponen, sino que se complementan al aportar cada uno y atenuando entre ambos sus respectivas desventajas.

De considerarse los atributos de cada proceso al momento de seleccionar una tecnología, se avanzaría aunque fuera de modesta forma, en la construcción del desarrollo sustentable. Para la escogencia de tecnologías en América Latina y el Caribe se pueden identificar dos grandes subconjuntos, los cuales a su vez se combinan entre sí, en función de la densidad de la población; área urbana y área rural y en función del clima; zonas cálidas y zonas frías o templadas, entre otros.

La influencia del clima y la temperatura del agua son particularmente importantes para los sistemas naturales, así como para los sistemas compactos anaerobios. De esta forma, temperaturas inferiores a 10°C o ambientes donde la temperatura es cercana a 0°C puede limitar la aplicación de estos procesos, lo que resulta menos problemático para los procesos compactos aerobios o fisicoquímicos (Noyola, 2003). En este contexto, las condiciones ambientales prevalecen a la hora de escoger el tipo de tecnología a utilizar, sin embargo es sabido que el tratamiento combinado se presenta como una gran opción.

A diferencia de los sistemas de tratamiento aerobio, las cargas de los reactores anaerobios no están limitadas por el suministro de ningún reactivo. Entre más lodo esté siendo retenido en el reactor bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre y cuando un tiempo de contacto suficiente entre el lodo y el agua residual pueda ser mantenido.

Según **CRITES R. Y TCHOBANOGLIOUS G. (2000)**, Indica que una combinación entre ciertos procesos compactos y procesos naturales podrá en ocasiones ser una ventajosa opción, en particular cuando los costos deben ser reducidos y se tienen ciertas limitaciones de terreno. Es sabido que los procesos biológicos ya sea aerobio o anaerobio, por si solos son insuficientes para la eliminación de microorganismos patógenos y nutrientes, excepto las lagunas de estabilización para el caso de los patógenos, posicionando la combinación de procesos como una herramienta a la hora de eliminar este tipo de constituyentes en las aguas residuales.

Para solucionar el problema de tratamiento del AR, existen procesos de tipo aerobio y anaerobio o procesos combinados anaerobio-aerobio. En la Cuadro N° 04 se observan los principales procesos biológicos empleados.

CUADRO N° 04: Principales Procesos de Tratamiento Biológico en Aguas Residuales

TIPO	NOMBRE COMÚN	USO	FUNDAMENTOS DEL PROCESO	EFICIENCIA LOGRADA
<i>Procesos aerobios</i>				
Crecimiento en suspensión	Lodos activados	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	Es un reactor donde se mantiene una masa floculenta en suspensión, de superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, constituida por microorganismos, materia orgánica y materiales inorgánicos.	80-85% DBO y SST
	Lagunas de estabilización (aerobia, facultativa y de maduración)	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	En ella se reduce la materia orgánica, los microorganismos patógenos que representan un grave problema para la salud y además su efluente puede ser de reutilización, con finalidades como la agricultura	80-90% DBO y SST; además de N y P
Película bacteriana adherida	Filtros percoladores	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	La materia orgánica que se halla presente en el AR es degradada por la población de microorganismos adherida al medio, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios, a medida que los microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que se pueda penetrar todo el espesor de la película.	80-85% DBO y SST
	Biodiscos	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	La película biológica se encuentra en rotación dentro del agua residual sedimentada y dentro de la atmosfera para proveer oxígeno a los microorganismos. El AR fluye en sentido paralelo o perpendicular al eje horizontal de rotación, al pasar de una etapa a otra o de un tanque a otro	80-85% DBO y SST

Hibrido (combinación) crecimiento en suspensión y adherido	Humedales construidos (superficiales y subsuperficiales)	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	La materia orgánica y los nutrientes que transportan las AR, son degradados por la población microbiana y asimilados por las plantas emergentes, sumergidas y flotantes con enraizamiento fijo, mientras que las libremente flotantes toman los nutrientes directamente del agua	80-85% DBO y SST; además de N y P
<i>Procesos anaerobios</i>				
Crecimiento en suspensión	Tanque séptico	reducción de la DBO carbonacea, nitrificación, estabilización	Se logran fases de hidrólisis y ácido génesis del material orgánico, con la correspondiente relación de sólidos biodegradables durante más tiempo, que el material orgánico presente en forma disuelta o coloidal; generalmente se complementa con otro tratamiento buscando mejorar eficiencias.	40-50% DBO y SST
	Reactor UASB		La tecnología UASB está basada en la acumulación de microorganismos en un reactor, cuyas características de sedimentación impidan su arrastre fuera del mismo; otras propiedades esenciales que reúne este tipo de reactor es disponer de un mecanismo de separación gas-liquido-sólido, por medio de campanas colectoras situadas en su parte alta, mediante la cual se consigue la sedimentación de los flocos de pequeño tamaño que ascienden adheridos a las burbujas de gas y el disponer de un sistema de distribución uniforme del afluente en la base del reactor	80-90% DBO y SST
	Laguna anaerobia		La estabilización en condiciones anaerobias es lenta ya que las bacterias se reproducen en una baja tasa, es por esto que generan menos lodo que los procesos aerobios	80-90% DBO y SST
Película bacteriana adherida	Filtro anaerobio		En los filtros anaerobios de flujo ascendente la mayor parte de la biomasa bacteriana se acumula como flocos, mientras que en los de flujo descendente, la biomasa está casi totalmente retenida en las paredes del reactor y el material de soporte	60-80% DBO y SST

FUENTE: CRITES Y TCHOBANOGLIOUS, 2000.

2.1.3.4. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En términos generales, en una PTAR ocurren operaciones, procesos físicos, químicos y biológicos.

Se puede considerar que las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en estos procesos son las mismas que se realizan en la naturaleza (ríos, lagos, suelo, etc.) sólo que en forma controlada dentro de tanques o reactores y a velocidades mayores. Los niveles de tratamiento son presentados en el siguiente cuadro N° 05 de niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.

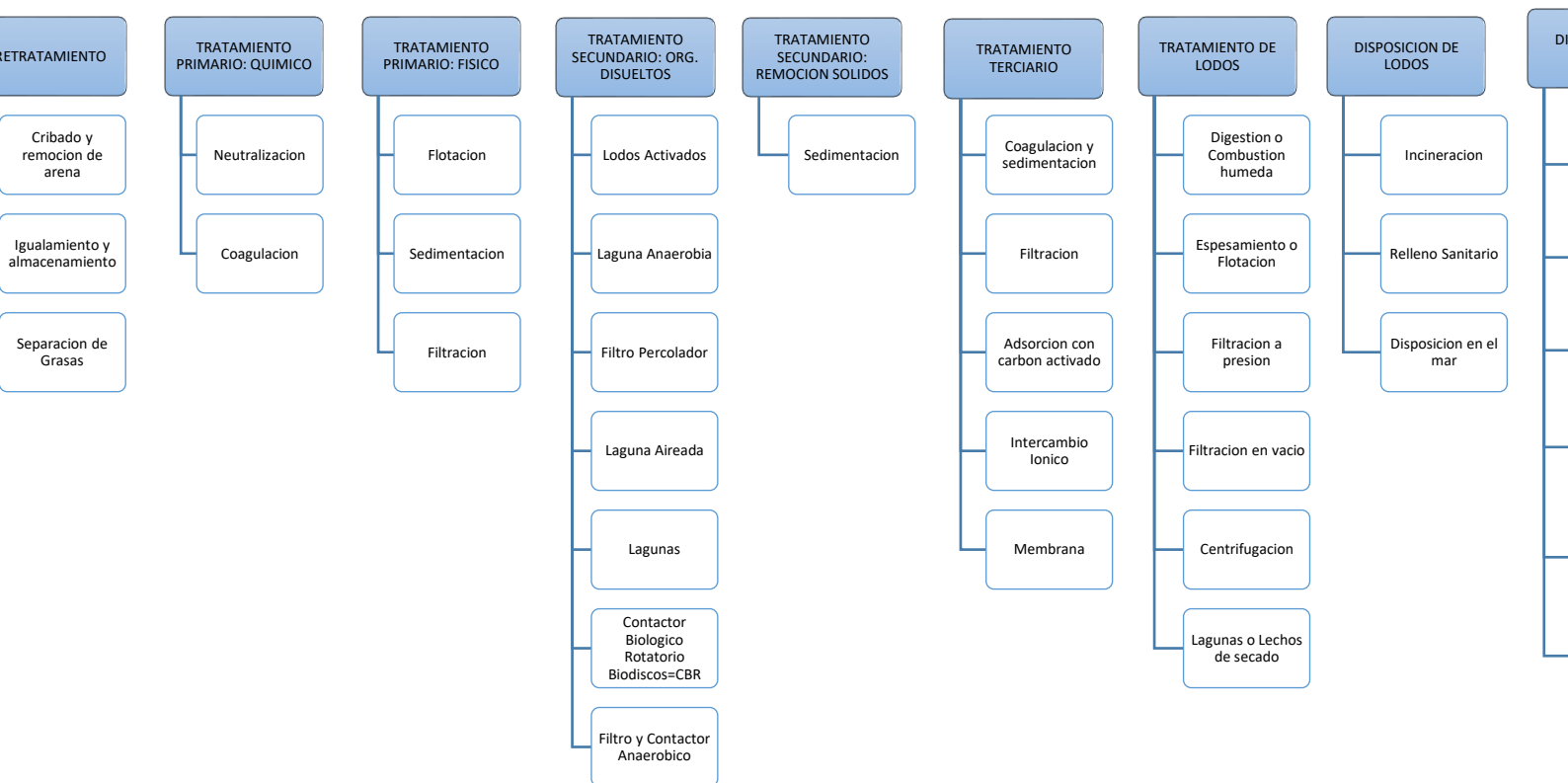
CUADRO N° 05: Niveles y Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Preliminar	Remueve material causante de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal
Primario	Remueve de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga orgánica	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, imhoff y tanques de flotación
Secundario	Procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%.	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización , reactor UASB
Terciario	Remueve sólidos suspendidos a través de microfiltración, además en este nivel se remueven	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción por solvente, remoción por espuma, nitrificación – desnitrificación.

FUENTE: RNE - NORMA OS. 090 plantas de tratamiento de aguas residuales.

Una PTAR está integrada por varias etapas e independiente del tipo de tecnología utilizada, es necesaria la instalación de tratamiento o niveles preliminares que impidan el desgaste de equipos y reduzcan los riesgos por obstrucción y posibles daños.

FIGURA N° 03: Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: ROMERO, R.J. (2001)

2.1.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

2.1.4.1. DEFINICIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Según **RNE (2006)**. Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.

El tratamiento por lagunas de estabilización se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos. Para los casos en los que el efluente sea descargado a un lago o embalse, deberá evaluarse la posibilidad de eutroficación del cuerpo receptor antes de su consideración como alternativa de descarga o en todo caso se debe determinar las necesidades de pos tratamiento.

Según **METCALF, E. (1996)**. Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados.

Una laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple, para embalsar agua de poca profundidad (entre 1 a 4 metros) y con períodos de retención relativamente grandes (por lo general más de 10 días en las aguas residuales al ser descargadas en las lagunas, se realiza en forma espontánea un proceso conocido como auto depuración o estabilización natural, en donde ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímica y biológico.

Los parámetros utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que caracteriza la carga orgánica, y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100ml) que caracteriza la contaminación microbiológica.

Las lagunas que reciben agua residual cruda se les llama lagunas primarias, siempre se deben de construir dos lagunas primarias en paralelo con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de lodos de la otra, mientras que a las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman lagunas secundarias, y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, quinquenarias, etc. A las lagunas de grado más allá del segundo también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento.

2.1.4.2. OBJETIVOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Según **Cuervo, H. (1987)**. El objetivo primordial del tratamiento de las aguas residuales por medio de lagunas de estabilización, es la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos, que tomando como base el período de retención, las lagunas pueden lograr la remoción total de patógenos, es decir, que su construcción es para la protección epidemiológica, mediante la disminución de organismos patógenos presentes en las aguas residuales, asimismo, la protección ecológica, disminuyendo la carga orgánica (DBO) de las aguas residuales. Lográndose de esta manera que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores se vea menos comprometido, con el consiguiente beneficio para los peces y demás organismos acuáticos.

2.1.4.3. PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN

Según **GUEVARA, A. (1996)**, Indica que las lagunas constituyen un ecosistema acuático cuyos distintos integrantes son:

- ✓ Productores: Algas
- ✓ Consumidores: Protozoarios rotíferos, larvas de insectos.
- ✓ Depredadores: Bacterias y hongos.

Al existir una cadena trópica, unos se alimentan de otros y hay transporte de energía.

Las algas y las bacterias existen en las lagunas de manera que unas dependen de las otras.

Las bacterias utilizan oxígeno disuelto producido por las algas y estas utilizan el CO₂ de la actividad bacteriana como fuente de carbono en la producción de nuevas algas.

Antiguamente se les llamaba lagunas de oxidación, para indicar la oxidación de la materia orgánica con el oxígeno producido por las algas a través de la fotosíntesis; pero actualmente se define como estabilización, porque existen otros procesos además de la oxidación que también son muy importantes en la descomposición de la materia orgánica, remoción de patógenos, sólidos, etc.

El resultado del proceso es un efluente de características definidas, de acuerdo al reusó agrícola, piscícola o para la descarga a cuerpos receptores.

2.1.4.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SEGÚN SU FUNCIÓN MICROBIOLÓGICA.

Según **Cuervo, H. (1987)**. Existen varias formas de clasificar las lagunas. De acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser: aeróbicas, anaeróbicas y facultativas. Si el oxígeno es suministrado artificialmente con aireación mecánica o aire comprimido se denominan aireadas. Con base en el lugar que ocupan respecto a otros procesos, las lagunas pueden clasificarse como: primarias o de aguas residuales crudas, secundarias, si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento y de maduración, si su propósito fundamental es reducir el número de organismos patógenos.

2.1.4.4.1. LAGUNAS AERÓBICAS.

También han sido también referidas como fotosintéticas, son estanques de profundidad reducida (0.5 a 1.0 m) y diseñadas para una máxima producción de algas. En estas lagunas se mantienen condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo, y la reducción de materia orgánica es efectuada por acción de organismos aerobios. Estas unidades han sido utilizadas preferentemente para propósitos de producción y cosecha de algas y su uso en tratamiento de desechos no es generalizado.

2.1.4.4.2. LAGUNAS ANAERÓBICAS.

Son reservorios de mayor profundidad (2.5 a 5.0 m) y reciben cargas orgánicas más elevadas, de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En estas condiciones, estas lagunas actuarán como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica que requiere de otro proceso adicional para complementar el tratamiento.

2.1.4.4.3. LAGUNAS FACULTATIVAS

Son estanques de profundidad más reducida (1.5 a 2.5 m), en las cuales la actividad fotosintética de las algas ejerce un papel preponderante en la capa superior, al mantener un cierto nivel de oxígeno disuelto que varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. En zona del fondo se depositan los sólidos suspendidos que sufren un proceso de reducción por estabilización anaerobia.

Los procesos de estabilización que se llevan a cabo en las lagunas facultativas son muy diferentes de los que se lleva a cabo en las lagunas anaeróbicas, ambos procesos son efectivos en las aguas residuales llevando la estabilización de la materia orgánica a través de acción de organismos aeróbicos cuando hay oxígeno disuelto en el agua, o a través de organismo anaeróbicos cuando en el mismo no hay oxígeno disuelto, proceso que aprovecha el oxígeno que existe en las moléculas de la materia que están degradando.

2.1.4.4.4. LAGUNAS DE MADURACIÓN O PULIMENTO

Son estanques cuya altura está entre 0.5 y 1.0 m, son utilizadas como procesos de tratamiento terciario y diseñadas con el propósito exclusivo de reducir los organismos patógenos.

2.1.4.5. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN FÍSICA

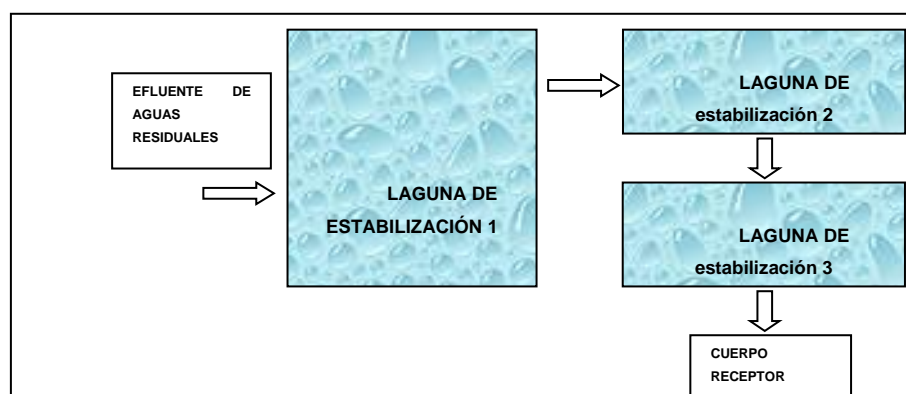
Según **JARQUIN, F. (2003)**, Indica que el tratamiento de aguas residuales se puede efectuar en una, dos o más lagunas; cada laguna se denomina célula y el conjunto, sistema de lagunas. La experiencia ha demostrado que el

tratamiento biológico en una serie de lagunas es más eficiente que en una laguna de área equivalente.

2.1.4.5.1. OPERACIÓN EN SERIE:

Particularmente en caso de ser usadas tres o más lagunas. En este tipo de arreglo, el líquido fluye de una unidad a la otra. La primera célula recibe el residual bruto y se llama laguna o célula primaria, la segunda recibe el efluente tratado por la primera y se llama secundaria y así sucesivamente. Normalmente, tratándose de residuales sanitarios, una tercera laguna se considera de maduración o pulimento. Este sistema tiende a minimizar las cantidades de algas y otros contaminantes en la última célula, obteniéndose un efluente de mejor calidad.

FIGURA N° 04: Lagunas de Estabilización conectadas en serie



Fuente: Cuervo 1987

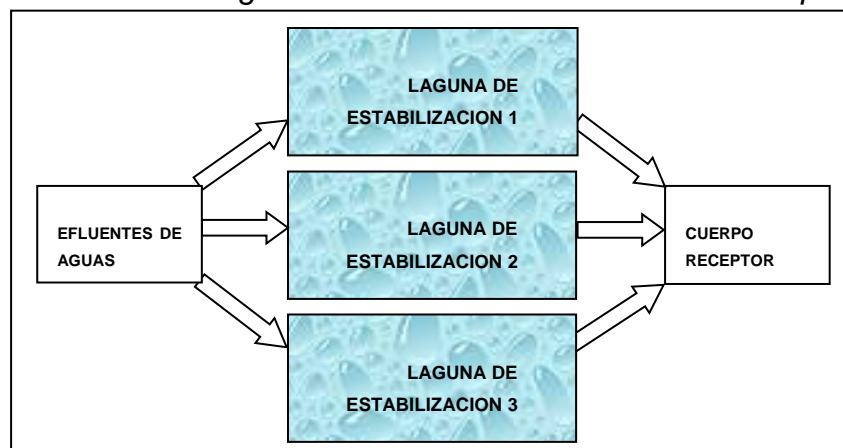
2.1.4.5.2. OPERACIÓN EN PARALELO:

Cuando se desea reducir la carga orgánica de células primarias. En este tipo de sistema, dos o más células, reciben, simultáneamente, cargas orgánicas proporcionales a sus capacidades y pueden recibir residuales brutos o efluentes parcialmente tratados de unidades que las anteceden. Este arreglo proporciona mejor distribución de sólidos sedimentables y la flexibilidad de retirar, provisionalmente, una célula para limpieza y distribuir, durante esa fase, la carga a las demás unidades.

El contar con por lo menos dos lagunas, permite sobre cargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra. Cuando el terreno es muy quebrado y no

se requiere hacer lagunas alargadas, el uso de lagunas en paralelo a diferentes niveles, permite lograr economía considerable en el movimiento de tierras.

FIGURA N° 05: Lagunas de Estabilización conectadas en paralelo



Fuente: Cuervo 1987.

De todos los procedimientos de diseño de procesos de tratamiento biológicos, quizá sea el menos definido el de las lagunas de estabilización. Por ello, son numerosos los métodos que aparecen en la bibliografía y cuando se comparan los resultados obtenidos por cada uno de ellos son muchas las diferencias que se encuentran. Sin embargo, existen factores comunes que inciden en su funcionamiento, como son: la carga orgánica por unidad de área, la temperatura y patrones de viento, tiempo de detención real, dispersión y características de mezcla, energía solar, características de sólidos en el efluente, cantidad disponible de nutrientes esenciales para el metabolismo microbioal. El cuadro N° 06 incluye datos típicos sobre los parámetros de diseño para los distintos tipos de lagunas.

CUADRO N° 06: Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización

Parámetro	Tipo de Lagunas				
	Aerobia	Facultativa	Maduración	Anaerobia	Aireada
1.Regimen de Flujo	M.I	M.I	C.M
2.Tamaño de laguna (ha)	0.25 – 1.0	1.0 – 4.0 (*)	1 – 4.0 (*)	0.2 – 1 (*)	1-4 (*)
3.Operación	serie	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo
4.Tiempo de retención (días)	4.0 – 6.0	7.0 – 10.0	5.0 - 20	10.0–20.0	3.0 - 10
5.Profundidad (m)	0.30 – 0.50	1.8 – 2.5	1.0 – 1.5	2.5 – 5.0	3.0 – 5.0
6. pH	6.5 – 10.5	6.5 – 9.0	6.5 – 10.5	6.8 – 7.2	6.5 – 8.0
7.Carga de DBO5 (kg/ha.d)	80 - 160	200 –400+	15 - 60	400 - 1200	800 - 1500
8.Conversión de la DBO5	80 - 95	80 - 95	60 - 80	40 - 80	80 - 95
9. Sólidos susp. Efluente (mg/L)	150 – 300a	40 – 100a	10 – 30a	80 - 160	80 – 250a

Fuente: Cuervo 1987.

M.I =Mezclado Intermitente.

(*) =Múltiples.

+ =Aumentando la altura hasta 2.5 m puede ampliarse hasta 400.

^a =Incluye algas, microorganismos y sólidos suspendidos residuales del efluente.

C.M =Completamente mezclado.

2.1.4.6. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL.

Según **ROMERO, J. (2001)**, Las lagunas tienen requerimientos operacionales y de mantenimiento mínimo que, sin embargo, deben revisarse y cumplirse periódicamente, por el operador, con el objeto de eliminar problemas que frecuentemente se presentan en este tipo de plantas.

2.1.4.6.1. Arranque.

Según **ROMERO, J. (2001)**, Antes de poner en servicio una laguna se debe realizar una inspección cuidadosa de la misma a fin de verificar la existencia de las condiciones siguientes:

- ✓ Ausencia de plantas y vegetación en el fondo y en los taludes interiores de la laguna.

- ✓ Funcionamiento y estado apropiado de las unidades de entrada, rejilla, unidades de aforo, unidades de paso y salida.
- ✓ Colocación, tensionamiento y estado adecuado de las pantallas o baffles, cuando haya lugar

En el procedimiento para poner en funcionamiento las lagunas de estabilización se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos generales:

- ✓ En lo posible las lagunas se deben de arrancar en el verano, pues a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia de tratamiento y menor tiempo de aclimatación.
- ✓ El llenado de las lagunas debe hacerse lo más rápidamente posible, para prevenir el crecimiento de vegetación emergente y la erosión de los taludes si el nivel del agua permanece por debajo del margen o tratamiento protegido.
- ✓ Para prevenir la generación de malos olores y el crecimiento de vegetación, las lagunas deben llenarse, por lo menos, hasta un nivel de operación de 0.6 m.
- ✓ Para lagunas primarias facultativas se procede, inicialmente, a llenar con 0.6 m de agua dulce de río o del acueducto, si existe tal posibilidad. A continuación se introduce el agua residual a una tasa baja, inicialmente 1/10 del caudal de diseño, manteniendo el pH por encima de 7.0 y verificando la concentración de oxígeno disuelto para sostener una concentración diurna mayor de 2 mg/L. Una vez se logre el desarrollo de la población bacteriana y algal, posiblemente en 7 a 30 días, se alcanzará la aplicación total del caudal.
- ✓ Para lagunas secundarias facultativas, o lagunas sucesivas de maduración, se procede en forma similar. Se llenan inicialmente, con 0.6 m de agua dulce y se introduce agua de la laguna precedente sin llegar a disminuir el nivel de la laguna previa a menos de 1 m. Los niveles de agua, en todas las lagunas, se deben igualar, antes de proceder a la descarga del efluente.
- ✓ Cuando no existe agua dulce disponible para el llenado de lagunas facultativas y/o de maduración, las lagunas se cargan con agua residual y se

dejan en reposo durante 20 días para el desarrollo de la población bacteriana y algal; agregando diariamente solo el agua requerida para suplir pérdidas por evaporación y/o percolación. Una vez desarrollada la población bacteriana y algal, las lagunas se cargan con incrementos graduales progresivos de caudal hasta obtener el caudal de operación normal.

2.1.4.6.2. Operación y mantenimiento.

Según **ROMERO, J. (2001)**, La operación y el mantenimiento de las lagunas de estabilización tiene como objetivos básicos los siguientes:

- ✓ Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida.
- ✓ Mantener las lagunas facultativas primarias un color verde intenso brillante, el cual indica el pH y el oxígeno disuelto alto.
- ✓ Mantener libre de vegetación la superficie del agua.
- ✓ Mantener adecuadamente podados los taludes para prevenir problemas de insectos y erosión.
- ✓ Mantener un efluente con concentraciones mínimas de DBO y sólidos suspendidos.
- ✓ Las labores típicas de operación y mantenimiento incluyen:
- ✓ Mantener limpia la rejilla en todo momento, remover el material retenido, desaguarlo y enterrarlo diariamente. Es recomendable medir el volumen diario de material dispuesto.
- ✓ Mantener controlada la vegetación de los diques impidiendo su crecimiento más allá del nivel del triturado o grava de protección contra la erosión
- ✓ Remover toda la vegetación emergente en el talud interior de las lagunas
- ✓ Inspeccionar y prevenir cualquier daño en diques, cerca o unidades de entrada, interconexión y salida.

2.1.4.7. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO HIDRÁULICO EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

a) Flujo de Mezcla Completa:

Según **GUEVARA, A. (1996)**, Este tiene lugar cuando las partículas que entran a la laguna son inmediatamente dispersas por todo el recinto, en donde

las partículas salen del estanque en proporción a su población estadística. La mezcla completa se lleva a cabo si el contenido del estanque esta uniforme y continuamente distribuido, además este tipo de mezcla sucede cuando las lagunas esta expuestas a buen viento y sin estratificación termal.

Esto ocurre cuando la relación largo – ancho es menor de 1 (se considera el largo de la laguna la longitud del sentido del flujo). La concentración de contaminantes en este tipo de lagunas es homogénea en todo el estanque, generalmente en este tipo de lagunas representan cortos circuitos.

b) Flujo en Pistón:

Según **GUEVARA, A. (1996)**, Este se da cuando las partículas del fluido pasa a través del estanque y son descargadas en el mismo orden con el que entran, las partículas conservan su identidad y permanecen en el estanque durante un tiempo igual al de retención teórico. Este tipo de flujo es aproximadamente el que se produce en estanque alargados ($L/B > 3$) y en los que no existe dispersión longitudinal. Sin embargo estudios realizados, demuestran que no hay lagunas que trabajen totalmente bajo el régimen de flujo en pistón y mezcla completa, en realidad las lagunas lo hacen bajo un régimen de flujo disperso o arbitrario.

c) Flujo Arbitrario o Disperso

Según **GAITAN M. Y AREAS F. (2001)**, Indica que este flujo se da cuando se presenta cualquier grado de mezcla parcial comprendida entre el flujo en pistón y el de mezcla completa o se presentan simultáneamente. Este tipo de flujo es más difícil de descubrirlo matemáticamente por lo que en el tratamiento matemático de los procesos biológicos y químicos se pueden emplear modelos ideales de flujo en pistón o de mezcla completa. El problema se complica aún más por la presencia indeseable de zonas muertas (donde no ocurre flujo alguno).

Según **GUEVARA, A. (1996)**, La dispersión se encuentra entre 0.2 y 1, la relación geométrica largo – ancho en estas lagunas es de 1 a 3.

CUADRO N° 07 Características Típicas de Lagunas de Estabilización.

PARÁMETRO	TIPO DE LAGUNA				
	Aerobia Tasa Baja	Aerobia Tasa Alta	Anaerobia	Facultativa	Maduración
Área, (ha)	<4	0.2-0.8	0.2-0.8	0.8-4	0.8-4
Tiempo de Retención (d)	10-40	4-6	20-50	5-30	5-20
Profundidad (m)	0.9-1.2	0.3-0.45	2.4-5	1.2-2.4	0.9-1.5
pH	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-7.2	6.5-8.5	6.5-10.5
Temperatura (°C)	0-30	5-30	6-50	0-50	0-30
Temperatura óptima (°C)	20	20	30	20	20
Conversión de DBO %	80-95	80-95	50-85	80-95	60-80
Sólidos Suspendidos	80-140	150-300	80-160	40-60	10-30

Fuente: **Ruiz, I. (2001)**

2.1.5. CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según **ROMERO, J. (2001)**, Manifiesta que la descarga de aguas residuales a las fuentes receptoras ha sobrepasado, en muchos casos, la capacidad auto purificadora de dichas aguas y, por ello, muchos ríos son convertidos en verdaderas alcantarillas. La solución es proporcionar el tratamiento adecuado a las aguas residuales, dependiendo de la carga que es capaz de aceptar el río, lago o cuerpo de agua receptor.

El ingeniero de tratamiento de aguas diseña la planta de tratamiento para efectuar la remoción de los agentes contaminadores, según los requerimientos de calidad del efluente.

La tesis fundamental para el control de la contaminación por aguas residuales, ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Por ello, el nivel de tratamiento es función de la capacidad de auto purificación natural de la fuente receptora.

El control de contaminación del agua incluye, por lo tanto, el desarrollo de los métodos y medios para mantener una calidad adecuada de agua y el establecimiento de los criterios necesarios para calidad de agua según los usos de ella. Por ello existen criterios, normas o guías de calidad de agua para consumo humano, para uso industrial, para uso agrícola, recreación, peces estética, navegación, etc.

Según **ROLIM, S. (2000)**, Sostiene que “cuando el efluente final del sistema de lagunas de estabilización se usa para la irrigación o descargas en cuerpos receptores, deberán observarse los criterios locales o nacionales para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos (SS) y coliformes fecales (CF).

Según **METCALF, E. (1996)**, Indica que “los parámetros de calidad de aguas residuales que tienen importancia en los vertidos de aguas residuales son el oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos (SS) y otros entre los que se encuentran los compuestos orgánicos”.

Según **LEÓN, G. (1995)**, Manifiesta que los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. El dimensionamiento de estos sistemas estará ligado a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas.

Según **SÁENZ, R. OPS/OMS (1992)**, En muchas plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales se puede alcanzar los requerimientos de calidad del efluente a través de una operación eficiente y una buena desinfección del efluente. En las lagunas de estabilización, la operación eficiente es importante, pero la calidad del efluente está determinada por las condiciones climáticas y, principalmente, por la temperatura y la luz solar.

Para el riego indiscriminado con aguas residuales tratadas, se requiere que la calidad bacteriológica sea buena. Esto significa que la concentración de Coliformes fecales sea menor de 1000/100 mL ($NMP\ CF < 1000/100\ mL$) según las directivas sanitarias de la OMS. La literatura indica que esto se puede lograr

con 3 o 4 lagunas de estabilización en serie. Pero el problema es saber cómo dimensionar estas lagunas y como operarlas.

CUADRO N° 08: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR Municipales.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml.	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos totales en Suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: MINAM decreto supremo N° 003-2010

2.1.6. MODELOS PARA LA EVALUACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO

Procedimientos para el tratamiento de la información a través de diferentes tópicos.

2.1.6.1. CARGA ORGÁNICA.

a. Carga Total Aplicada a Lagunas de Estabilización (Cta).

Según **CEPIS. (2005)**, Define como la tasa de flujo afluente a la laguna multiplicado por la Demanda Bioquímica de Oxígeno que impone la carga de residuos que ingresan a la unidad expresada por la DBO₅.

$$Cta = 86.4(Qa * DBO_5) \rightarrow (kg.DBO_5 / dia)$$

Dónde: Cta = Carga Total Aplicada.

Qa = Caudal Promedio del Afluente (L/s).

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno del Afluente (kg/L).

b. Carga Superficial de una Laguna Facultativa

Esta carga es inversamente proporcional a la extensión superficial de la laguna; y debe estar dentro de rango de carga admisible para lagunas del tipo facultativo.

$$Csa = \frac{Cta}{\text{Área}} \rightarrow (\text{kg.DBO}_5 / \text{has} * \text{día})$$

Dónde:

Csa = Carga Superficial Aplicada

Cta = Carga Total Aplicada (kg/día).

Área = Extensión Superficial de la Laguna (has).

c. Carga Superficial Límite Admisible para Lagunas Facultativas (Csm).

Según **YAÑEZ, F. (1993)**, Manifiesta que existe un límite máximo de carga orgánica para lagunas facultativas y que tiene que ser siempre mayor que la carga que recibe los estanques primarias, para que este estanque no corra el riesgo de tomarse anaerobio; es decir que el estanque primario fallaría como facultativo, eliminando su estrato aerobio y convirtiéndose en anaerobio en toda su extensión.

Se han determinado dos correlaciones para cuantificar la carga máxima admisible la cual varía con:

- ✓ La temperatura promedio mensual del agua en el mes más frío (t).
- ✓ La temperatura promedio del aire en el mes más frío, (tai). En ambas correlaciones la temperatura se expresa en °C.
- ✓ La correlación obtenida en función de la temperatura del agua, se desarrolló en el aforo, con el procesamiento de datos de carga en función de la fracción del amoníaco presente. La ganancia de amoníaco NH₃ solo es posible como resultado de los procesos anaerobios Yañez concluyo que para cargas sobre 357.4 kg.DBO₅/(has*día) predominan los procesos anaeróbicos que dando establecida la carga máxima admisible por la correlación:

$$Csm = 357 * (1.085)^{(t-20)} \rightarrow (\text{kg.DBO}_5 / \text{has} * \text{día})$$

Alternativa cuando no se cuenta con datos de temperatura del agua residual, se estima la carga máxima admisible con la siguiente correlación reportada por Mc Garry y Pescod:

$$Csm = 400.6 * (1.0993)^{(tai-20)} \rightarrow (kg..DBO_5 / has * día)$$

Esta correlación fue determinada a través del procesamiento de datos operativos de muchas instalaciones en el mundo.

Es importante indicar que el valor de carga limite aplicable debe determinarse en consideración a factores tales como:

- ✓ La existencia de variaciones bruscas de temperatura.
- ✓ La forma de la laguna (las lagunas de forma alargadas son sensibles a variaciones y deben tener menores cargas).
- ✓ La existencia de desechos industriales.
- ✓ El tipo de sistema de alcantarillado.

d. Tiempo de Retención Hidráulico

Según **CEPIS. (2005)**, Indica que es el tiempo teórico que tarda una partícula que entra a una unidad en salir de ella. Equivale al volumen de la unidad dividido por el caudal y se expresa en unidades de tiempo.

$$PR_{Real} = PR_{Teorico} * Fch \rightarrow (días)$$

$$PR_{teorico} = \frac{V}{Qa} \rightarrow (días)$$

Dónde:

V = Volumen de la laguna en m³.

Qa = Caudal afluente a la laguna en m³/d.

Fch = factor de corrección hidráulica (0.3 a 0.8).

e. Constante de Biodegradabilidad de la DBO a 20°C (K20°C)

Utilizando los modelos en equilibrio continuo uno de los principales problemas ha sido escoger una la más adecuada para constante de reacción global (K) los valores reportados por varios investigadores para este constante, varían ampliamente desde 0.1 hasta valores por encima de 2. En general la tendencia ha sido mayores valores de K para menores periodos de retención.

Investigaciones realizadas en san Juan, Lima, Perú han servido para desarrollar la correlación (K) versus periodo de retención (PR) para lagunas primarias y secundarias los datos de la constante (K) han sido procesados según la fórmula:

$$K = \frac{PR}{(A + B * PR)}$$

De un estudio de regresión efectuado en la mencionada investigación se obtuvieron datos estadísticos de $A = -14.77$ y $B = 4.46$ para todas las observaciones dentro de los límites de confianza del 96% y con un coeficiente de correlación de 0.916 lo cual es estadísticamente significativo sustituyendo estos valores en la siguiente ecuación obtenemos:

$$K_{20}^{\circ C} = \frac{PR}{(-14.77 + 4.46 * PR)} \rightarrow (d^{-1})$$

El uso de la correlación anterior es recomendado para períodos de retención de 8 o más días.

f. Constante de Biodegradabilidad de la DBO a la Temperatura (Kt) del Agua

La dependencia de la temperatura en la constante de velocidad de la reacción biológica (Kt) es muy importante al momento de valorar la eficiencia total de un proceso de tratamiento biológico. La temperatura no sólo influye en las actividades metabólicas de la población microbiológica sino que tiene un profundo efecto en los factores tales como las tasas de transferencias de gases y características de sedimentación de los sólidos biológicos. El efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción de un proceso biológico se expresa de la siguiente forma

$$K_t = K_{20}^{\circ C} * \theta^{(t-20)}$$

Dónde:

$K_{20}^{\circ C}$ = velocidad de reacción a 20°C

θ = Coeficiente actividad-temperatura (1.085) para degradaciones de DBO

t = Temperatura a que funcionan las lagunas primarias y secundarias.

g. Factor de Dispersión en Lagunas de Estabilización (d)

Según **GUEVARA, A. (1996)**, Indica que del factor de dispersión depende la eficiencia de remoción de coliformes fecales, tal factor en investigaciones a escala de campo se determina con trazadores, dependiendo en función de varianza y retención promedio; el factor de dispersión varía desde cero (0) en el caso de un reactor con flujo en pistón hasta infinito (∞) para un reactor de mezcla completa. Aunque este intervalo es teóricamente desorbitante los estudios efectuados indican que su margen de variación es estrecho; en lagunas de estabilización este varía de 0.2 a 4.

Para la determinación del factor de dispersión, éste se obtuvo en base a un estudio exclusivo de datos de 24 pruebas de trazadores, a escala completa válidas por un alto porcentaje de recuperación del trazador. Los factores de dispersión han sido agrupados para las diferentes lagunas, según la respectiva relación largo/ancho (L/B) y se desarrolló la siguiente correlación con un significativo coeficiente de relación de 0.99954. (Para profundidades de 0.5 a 1.50m. y cargas de 100 a 300kg de DBO₅/Ha/d).

$$d = \frac{L/B}{(-0.26118 + 0.25392 * (L/B) + 1.01368 * (L/B)^2)}$$

El uso de la correlación de la carga removida para lagunas primarias, ofrece las mejores ventajas de uso, como son la simplicidad y dependencia solamente de una variable.

2.1.6.2. MODELOS PARA DETERMINAR EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO.

a. Metodología del CEPIS para Determinar la Materia Orgánica Removida

El empleo de la metodología del CEPIS para la determinación de la cantidad de materia orgánica removida es recomendable a falta de mejores herramientas. El cálculo de cargas removidas considera pérdidas por infiltración, en evaluaciones realizadas en San Juan Lima, Perú mediante el procedimiento de datos se obtuvieron las siguientes correlaciones:

Carga removida para lagunas primarias está dada por:

$$C_{sr} = 7.67 + 0.8063 * C_{sa} \rightarrow (\text{kg.DBO}_5 / \text{has.día})$$

Dónde:

C_{sa} = Carga superficial aplicada (kg / has.d).

C_{sr} = DBO removido (kg/ has.d)

b. Modelo en Equilibrio Continuo y Mezcla Completa para la Remoción de la Materia Orgánica

La formulación principal para reducción de compuestos orgánicos fue propuesta por Marais y Shaw; y está basado en un balance de material, asumiendo reacción de primer orden y mezcla completa. La solución en estado de equilibrio continuo es:

$$S = \frac{S_a}{(1 + Kt * PR)} \rightarrow (\text{mg} / \text{L})$$

Dónde:

S_a = DBO₅ total del afluente (mg/L)

S = DBO₅ soluble del afluente (mg/L)

Kt = Constante de biodegradabilidad o tasa neta de asimilación de DBO a la temperatura del desecho d⁻¹

PR = Periodos de retención (días)

2.1.6.3. MODELOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES

a) Tasa de Mortalidad Neta de Coliformes Fecales (K_b)

Según **SAENZ, R. (1985)**, La tasa de mortalidad de coliformes fecales es aplicable también para salmonellas, establecidas para una velocidad de reacción de 200 d⁻¹, con un promedio aceptable de 0.84d⁻¹ en lagunas facultativas. Para las condiciones del Perú se ha asumido un factor de dependencia de temperatura. La corrección de temperatura es:

$$K_b = 0.84 * 1.07^{(t-20)} \rightarrow (\text{d}^{-1})$$

Dónde:

t =Temperatura del agua de desecho (°C)

b) Modelo de Marais – Shaw (Mezcla Completa) para Reducción de Coliformes

Marais desarrollo tasas globales de mortalidad de coliforme fecal a través de determinaciones en afluente y efluente bajo la suposición de mezcla completa. Estos valores variaron de 0.3 a 8 con un promedio de 2 d⁻¹ bajo estas suposiciones se propuso la siguiente fórmula:

$$N = \frac{N_o}{(1 + K_b * PR)} \rightarrow (NMP/100ml)$$

$$Eficiencia = \frac{N_o - N}{N_o} * 100 \rightarrow (NMP/100ml)$$

Dónde:

No = Conteos de Coliformes fecales en el afluente (NMP/100ml)

N = Conteos de Coliformes fecales en el efluente (NMP/100ml)

K_b = Tasa de mortalidad de coniformes (d⁻¹)

PR = Periodos de retención por módulos (días)

c) Modelo de Werhner y Wilhelm (Flujo disperso para reducción de bacterias)

Según **SAENZ, R. (1992)**, Indica que la aplicación de este modelo es correcta para describir la reducción de bacterias en una laguna de estabilización, en donde la población microbiana está directamente asociada con el líquido.

En una evaluación intensiva donde las lagunas no se ajustan a sub-modelos hidráulicos de flujo de tipo pistón o de mezcla completa, la evaluación debe efectuarse con la ayuda de modelos más complicados, el modelo de dispersión axial es el más empleado, porque en sus límites cubre los dos anteriores y tiene aplicabilidad para la descripción real de la reducción de bacterias. La inclusión de las características de dispersión en las ecuaciones de diseño predicen mejores resultados porque ésta da razón de los fenómenos hidráulicos que ocurren en las lagunas; forma del estanque, velocidad de flujo, corto circuito y dispositivos de entrada y salida. Sin embargo, el uso del modelo de flujo disperso no da razón de la existencia de zonas muertas o estancadas las cuales reducen el volumen efectivo. La siguiente relación permite interpretar adecuadamente los

datos para reducción bacteriana de una evaluación intensiva de campo de una laguna funcionando en equilibrio continuo.

$$N = \frac{N_o * (4ae^{(1/2d)})}{((1+a)^2 * e^{a/2d} - (1-a)^2 * e^{-a/2d})} \rightarrow NMP / 100ml$$

$$a = (1 + 4 * K_b * d * PR)^{1/2} \rightarrow (A \text{ dimensional})$$

Dónde:

No = Conteos de coliformes fecales en el afluente. NMP/100ml

N = Conteos de coliformes fecales en el efluente. NMP/100ml.

A = Constante del modelo, expresada por correlación

e = Exponencial.

D = Factor de dispersión. Correlación

2.1.7. MEJORAMIENTO DEL EFLUENTE

Según **ROMERO, J. (2001)**, Manifiesta que para asegurar un efluente de calidad secundaria como lo recomienda la EPA, los sólidos suspendidos y la DBO deben ser inferiores a 45 mg/L en promedio semanal y menores a 30 mg/L en promedio mensual. La experiencia demuestra que en muchas ocasiones el efluente de las lagunas no satisface dicho requerimiento para sólidos suspendidos, por la concentración de salida de algas, haciendo necesario procesos adicionales de remoción de sólidos para separar la biomasa en suspensión.

Los métodos para retirar sólidos se resume en cuadro N° 09. La aplicación de estos métodos para el mejoramiento de efluentes de plantas de tratamiento está limitada por los costos por los costos y disponibilidad económica. Métodos como microfiltración, flotación, filtración rápida en arena, tratamiento con carbón activado y cloración, son, evidentemente, onerosos para tratamiento de efluentes de lagunas de estabilización.

CUADRO N° 09: Procesos de separación de sólidos usados en lagunas de estabilización.

Proceso	Descripción
Tanques o Lagunas de Sedimentación	Lagunas de maduración después de la laguna de estabilización. En tanques se debe proveer remoción de lodos.
Precipitación Química	Se puede agregar alumbre, cal, cloruro férrico o hidróxido de magnesio al efluente, a la laguna o sobre la superficie de ella cuando el tratamiento es por cochadas.
Flotación	Se puede usar flotación por aire disuelto, con o sin coagulantes, para remoción de algas.
Rejillas finas	Micro cribas o rejillas finas pueden remover sólidos del efluente de la laguna. La eficiencia depende de la criba y de las especies de algas de efluente.
Filtro intermitentes de arena	Aplicables a caudales pequeños. Se requiere retiro y remplazo de la capa de arena para recuperar filtrabilidad.
Filtro de piedra	Filtros de piedra o medio poroso, construidos a la salida de la laguna, para sedimentar las algas sobre la superficie del medio y dentro de los vacíos o poros.
Filtración rápida en arena	Se prefieren filtros convencionales de medio dual. Para requerir lavado frecuente.
Sistemas naturales de tratamiento	Tratamiento sobre el suelo y acuitratamiento con jacintos de agua

Fuente: ROMERO, R.J. (2001)

2.1.7.1. FILTROS DE PIEDRA

Según **ROMERO, J. (2001)**, Para quitar algas de efluentes de lagunas se han desarrollado filtros de piedra o medio grueso. El método más común de operación es de flujo horizontal del efluente de la laguna a través de un lecho de piedra recubriendo la película biológica y captación del efluente final mediante tubería perforada colocada a nivel con la elevación del agua de la laguna.

2.1.7.2. FILTRO PERCOLADOR

Según **RNE (2006)**. Sistemas en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o de material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

Los filtros podrán ser de alta o baja carga, para lo cual se tendrá en consideración los siguientes parámetros de diseño.

CUADRO N° 10: Parámetros de diseño para filtro percoladores.

PARÁMETRO	TIPO DE CARGA	
	BAJA	ALTA
Carga hidráulica, m ³ /m ² /d	1.00 – 4.00	8.00 – 40.00
Carga orgánica, kg.DBO/m ³ /d	0.08 – 0.40	0.40 – 4.80
Profundidad (lecho de piedra), m	1.50 – 3.00	1.00 – 2.00
(medio plástico), m	Hasta 12m.	1.00 – 2.00
Razón de circulación	0	-----

Fuente: RNE (2006).

Se utiliza cualquier sistema de distribución que garantice la repartición uniforme del efluente primario sobre la superficie del medio de contacto.

Se permite cualquier medio de contacto que promueva el desarrollo de la mayor cantidad de biopelícula y que permita la libre circulación del líquido y del aire, sin producir obstrucciones. Cuando se utilicen piedras pequeñas, el tamaño mínimo será de 25mm y el máximo de 75mm. Para piedras grandes, su tamaño oscilará entre 10 y 12 cm.

2.1.7.3. REACTOR BIOLÓGICO.

Según **JILAJA, R. (2010)**, El principio fundamental del proceso es la auto purificación de las aguas, donde los sólidos suspendidos y la materia orgánica disuelta son transformados en materia celular, gases (CO₂) y energía mediante la acción de microorganismos. En la naturaleza el papel clave de las bacterias es el de componer la materia orgánica producida por otros organismos vivientes, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son las causas de descomposición de la materia orgánica del efluente, en el reactor biológico parte de la materia orgánica del agua residual es utilizadas por las

bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

El reactor biológico persigue el tratamiento de aguas residuales que son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica en el caso de:

- ✓ Agua residual doméstica el principal objetivo es disminuir el contenido orgánico.
- ✓ Agua que ha de ser usada para fines de riego se pretende eliminar los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, que son capaces de estimular el crecimiento de las plantas acuáticas y producir la eutrofización en ríos y lagos.
- ✓ Aguas residuales industriales, la finalidad es reducir la concentración de compuestos orgánicos.

El reactor biológico tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en el agua residual doméstica. Consiste en un lecho de piedras porosas, sobre el cual se regaran las aguas residuales sobre el lecho filtrante y se dejarán percolar, con el consiguiente crecimiento e microorganismos, con sistemas de aplicación del agua mediante tuberías. Cada filtro tendrá un sistema de drenaje inferior para recoger el agua residual tratada y los sólidos biológicos que desprenden del medio.

En el proceso biológico se pone en contacto a microorganismos con la materia orgánica que trae el agua, procediendo los micros seres al consumo de dicha materia orgánica. La depuración biológica se realiza en un reactor donde el microorganismo transforma el agua contaminada en agua depurada, productos volátiles y materia viva.

CUADRO N° 11: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Filtro Percolador

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Población de diseño (P)	habitantes
Dotación de agua (D)	L/ (hab. d)
Contribución de aguas residuales (C)	%
Contribución per cápita de DBO ₅ (Y)	g.DBO ₅ / (hab. d)
Producción per cápita de aguas residuales: $q = P \times C$	L/(hab. d)
DBO ₅ teórica: $St = Y \times 1000 / q$	mg/L
Eficiencia de remoción de DBO ₅ del tratamiento primario (Ep)	%
DBO ₅ remanente: $So = (1 - Ep) \times St$	mg/L
Caudal de aguas residuales: $Q = P \times q / 1000$	m ³ /d
Material filtrante	Piedra Volcánica
Diámetro de Tubería de Riego	Pulgadas
Profundidad del medio filtrante (H):	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

CUADRO N° 12: Parámetros y Dimensionamiento del Filtro Percolador

DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO PERCOLADOR	UNIDAD
DBO requerida en el efluente (Se): Según la norma	mg/L
Eficiencia del filtro (E): $E = (So - Se)/So$	%
Carga de DBO (W): $W = So \times Q / 1000$	kg.DBO/d
Volumen del filtro (V): $V = (W/F) \times (0,4425E/(1-E))^2$	m ³
Profundidad del medio filtrante (H):	m
Área del filtro (A): $A = V/H$	m ²
Tasa de aplicación superficial (TAS): $TAS = Q/A$	m ³ /(m ² .d)
Carga orgánica (CV): $CV = W/V$	kg.DBO/(m ³ .d)
Filtro circular	
Diámetro del filtro (d): $d = (4A/3,1416)^{1/2}$	m
Filtro rectangular	
Largo del filtro (l):	m
Ancho del filtro (a): $a = A/l$	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

2.1.7.3.1. TIPOS DE REACTOR BIOLÓGICO

Según **JILAJA, R. (2010)**, Los diferentes reactores ideales son:

- ❖ Reactor de cocheda de mezcla completa, es un reactor caracterizado por la inexistencia de afluente con existencia de mezcla completa del contenido del tanque un reactor con dispersión infinita.
- ❖ Reactor de flujo continuo y mezcla completa, está constituido, generalmente, por un tanque cilíndrico o cuadrado como mezcla mecánica; las partículas de fluido del efluente se dispersan de inmediato dentro del tanque, haciendo que abandonen el tanque en proporción a su población estadística y permitiendo suponer que el contenido de igual al del reactor es homogéneo e igual al del efluente.
- ❖ Reactor de flujo en pistón, es un reactor en el cual el fluido se desplaza y sale del tanque en la misma secuencia en la cual entra; las partículas del fluido retienen su identidad y permanecen en el tanque un periodo igual al tiempo teórico de retención hidráulica; es un reactor dispersión nula.
- ❖ Reactor de flujo con dispersión longitudinal, son tanques con mezcla intermedia.
- ❖ Reactor de lecho empacado, es un tanque lleno con algún medio de empaque, como piedra, escoria, cerámica o plástico, que opera en flujo continuo o intermitente; aerobio, anaerobio o facultativo.

2.1.7.3.1.1. Reactor de Lecho Empacado

Según **JILAJA, R. (2010)**, el tratamiento de aguas residuales se puede efectuar en reactores de película biológica, poniendo en contacto dichas aguas con una población microbiana mixta, en forma de una biopelícula adherida a la superficie de un medio sólido de soporte. Cualquier superficie en contacto con un medio nutriente que contenga microorganismos desarrollará una capa biológica activa, y en consecuencia, las películas biológicas adheridas constituyen una característica de todo tipo de reactor biológico.

Los sistemas de películas adheridas se pueden considerar convenientemente como formados por dos tipos diferentes sistemas

estacionarios o de medio fijo y sistemas de medio movimiento. En ambos tipos de sistemas, el agua residual se mueve en relación con la biopelícula microbiana y el soporte sólido al que está adherida.

2.1.7.3.2. Lecho Bacteriano

Según **JILAJA, R. (2010)**, en un lecho bacteriano el agua residual, generalmente de cantada para evitar un rápido atascamiento. Se derrama sobre un lecho de material: piedra puzolana y plástico. Este se contiene mediante paredes en el interior de un depósito. Las solera tiene un falso fondo que soporta el material, y permitiendo que salga el agua residual y que entre el aire.

A lo largo de la percolación del agua residual, a través del lecho, se elimina gran parte de la materia orgánica, gracias a la biopelícula que se forma en el material: el sustrato y el oxígeno se difunden a través de dicha biopelícula, en donde se produce la metabolización: los residuos y el gas carbónico se difunden en la dirección del líquido.

Durante su paso por la biopelícula, el oxígeno se consume como consecuencia de la respiración microbiana, quedando definida una zona de actividad aerobia. La penetración de oxígeno no llega hasta la superficie de relleno, y por ello, se desarrolla una segunda zona, anaerobia, entre el material de relleno y la zona aerobia.

2.1.7.3.3. Ecología de la Biopelícula

Según **JILAJA, R. (2010)**, La biopelícula microbiana consiste de un sistema de micro ecológico de bacterias, hongos, protozoarios y algún micro fauna. Como las aguas residuales en proceso de tratamiento cambian su composición según pasan a través del lecho. Los diferentes estratos del empaque estarán en contacto con líquidos de diferente composición.

El equilibrio ecológico de los organismos en la biopelícula variará por consiguiente dentro del lecho. Esto permite la existencia de un rango más amplio de especies en el percolador, que en sistemas de mezcla total, y la distribución

estratigráfica de las especies dentro del empaque contribuye a la capacidad de los percoladores para resistir cargas de choque.

A pesar de que el crecimiento está limitado a la superficie superior de los lechos, donde hay luz disponible, las algas pueden causar problemas cuando el excesivo crecimiento tapa el empaque interfiere con la distribución de las aguas residuales sobre el lecho del percolador, y en ciertas circunstancias se puede presentar un crecimiento abundante de musgos y hepáticas, por lo que es necesario techar el lecho y mantener una temperatura adecuada.

2.1.7.4. FILTROS INTERMITENTES DE ARENA

Según **JILAJA, R. (2010)**, Los filtro de arena son unidades de tratamiento de pulidos final, los cuales mejoran la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante la filtración. Las algas se recolectan sobre la superficie del filtro de arena en medida en que el agua residual es aplicada y tratada. La acumulación de solidos genera una capa que debe ser removida periódicamente.

El filtro además cumple la función biológica, para tamizar nematodos que pudieran estar presentes en el agua con la finalidad de que no pasen a las áreas de riego.

Según **ROMERO, J. (2001)**, La filtración intermitente de efluentes de lagunas de estabilización en filtros de arena es semejante a la filtración lenta en arena de aguas para consumo. A medida que el agua residual pasa por lecho filtrante de arena, los sólidos suspendidos y la materia orgánica son removidos por medio de procesos físicos de filtración y cribado así como por acción biológica. El material removido se acumula se acumula en los 5 a 7.5 cm de lecho superior de arena y, eventualmente, taponan el filtro. El filtro se saca entonces de servicio y se separa la capa sucia de arena para su lavado y/o remplazo oportuno.

En Ailey, Georgia, estados unidos, un sistema de dos filtros intermitentes de arena, tratando el efluente de una alguna facultativa con 22 mg/L de DBO y 55 mg/L de SS produce un efluente con 8mg/L de DBO y 15 mg/L de SS.

Los estudios de control de los sistemas de filtración intermitente de Mt. Shasta en California; Moriarty en New Mexico y Ailey en Georgia, Estados Unidos, así como otros análisis de plantas de piloto y de laboratorio en la universidad de Utah, han permitido concluir que la filtración intermitente sobre arena es un método técnica y económicamente factible para el mejoramiento de efluentes de lagunas de estabilización de aguas residuales y para satisfacer requerimientos de calidad de descarga de efluentes con tratamiento secundario. Los criterios de diseño recomendados se incluyen en la tabla N° 13.

CUADRO N° 13: Criterios de diseño para filtros intermitentes de arena.

Parámetro	Criterio
Carga hidráulica	< 0.5 m ³ /m ² .d con dos o más dosificaciones por día.
Tamaño de filtros	≤ 4050 m ² .
Numero de filtros	≥ 2.
Forma del filtro	Depende del sitio y de su topografía. Deseable rectangular para mejorar la distribución del agua.
Medio filtrante	Cobertura de grava grande ≥ 10 cm. Capa de grava media = 10 cm. Capa de gravilla = 10 cm. Capa de arena = 60 – 90 cm.
Tamaño del medio	Grava grande = 3.3 cm de Ø promedio Grava media = 1.9 cm de Ø promedio Gravilla = 0.6 cm de Ø promedio Arena = 0.17 – 0.30 mm CU < 10
Paredes del filtro	Concreto o tierra compactada. Borde libre ≥ 45 cm.
Distribución del Afluente	Dosificación intermitente con válvulas eléctricas o con sifón. Tubería de descarga sobre la placa de salpicamiento de 1 m ² de 0.3 m de espesor hecha en grava de 3.8 a 7.5 cm de diámetro.
Drenaje	Tubería perforada de PVC con pendiente de 0.025%, colocada en zanjas, y conectada a una principal. Tamaño mín. de laterales de Ø 15cm y múltiple adecuado para una velocidad de flujo de 0.9–1.2 m/s a tubo lleno. Distancia máx. entre laterales 4.5 m.
Mantenimiento	Remoción permanente de vegetación superficial. Raspado y limpieza de la capa superior de arena, 2–5 cm, cuando haya taponamiento. La carrera del filtro puede ser de 1 a 12 meses. Se puede usar limpieza manual o mecánica.

Fuente: ROMERO, R.J. (2001).

CUADRO N° 14: Datos Hidráulicos para el Filtro Lento

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Caudal de diseño (Q)	L/s
Velocidad de Infiltración (Vf)	m/h
Número de Unidades (N)	u

Fuente: JILAJA, R. (2010).

CUADRO N° 15: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Filtro Lento

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Área superficial del medio filtrante de cada unidad $A_s = Q / (N \times V_f)$	m ²
Coefficiente de mínimo costo $K = 2N / N+1$	
Largo de cada unidad $B = \sqrt{(A_s \times K)}$	m
Ancho de cada unidad $A = \sqrt{(A_s / K)}$	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

2.1.7.5. LAGUNAS DE JACINTOS O NAVES DE MACROFITAS

Según ROMERO, J. (2001), Las lagunas de jacintos son lagunas cubiertas con jacinto de agua, *Eichornia crassipes*. El Jacinto de agua es una planta grande, acuática, flotante, prolífica, de hojas verdes brillantes anchas y flores azulosas salpicadas con amarillo canario, nativa de Suramérica, que se encuentra en zanjas y muchas lagunas y embalses de agua del país.

La reproducción del Jacinto es muy rápida y le permite cubrir en breve tiempo una laguna, especialmente si la temperatura es mayor de 20°C. El control del Jacinto de aguas residuales es uno de los problemas más serios de mantenimiento, en embalses de agua para consumo humano como el de Tibitoc. Sin embargo, el uso exclusivo del Jacinto de agua para tratamiento de aguas residuales ha sido promovido por muchos individuos.

El Jacinto de agua, además de remover nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y metales pesados es eficiente en la remoción de algas y sólidos suspendidos. La factibilidad de su uso depende de la posibilidad de cosecharlo

y disponerlo en forma económica. En climas cálidos el Jacinto de agua dobla su masa en 6 días y puede producir más de 10 m de ancho, los cuales se operan en paralelo. El Jacinto cosechado se dispone como fertilizante, como alimento para el ganado, como material para compost o en un relleno sanitario.

CUADRO N° 16: Condiciones de diseño para Nave de Macrófitas

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Caudal de agua a tratar (Q)	L/s
Eficiencia de tratamiento primario	%
Contribución per cápita de DBO ₅	g.DBO ₅ /hab. d
Profundidad de la losa H	m
Planta Acuática a utilizar	Totora y lenteja de agua
Periodo de retención hidráulica (Ø)	Minutos

Fuente: JILAJA, R. (2010).

CUADRO N° 17: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico de la Nave de Macrófitas

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Volumen del tanque de Macrófitas $V = \emptyset \times Q$	m ³
Área superficial del tanque $A=V/H$	m ²
Ancho de cada unidad $A = \sqrt{(As / K)}$	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

2.1.8. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

Según **JILAJA, R. (2010)**, La mayor parte de los sólidos suspendidos que entran en una planta de tratamiento de aguas residuales y los sólidos residuales generados deben ser manejados como lodos en algún punto en el proceso de tratamiento.

Es probable que el lodo de la planta de tratamiento contenga microorganismos que pueden contribuir a las transmisiones de enfermedades como también contaminantes orgánicas e inorgánicas que pueden ser peligrosos o tóxicos para los humanos o tener efectos perjudiciales en el ambiente general.

Por estas razones es necesario plantear estructuras que nos puedan permitir realizar un manejo adecuado

2.1.8.1. DIGESTOR DE LODOS

Según **JILAJA, R. (2010)**, Los lodos antes de su disposición final deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica putrescible y que de ninguna manera pueden ser dispuestos libremente.

El lodo procedente de las plantas de tratamiento, varía según el tipo de planta. En líneas generales se puede indicar que lodos provenientes del tratamiento primario presenta entre 0.22% y el 0.93% del volumen de agua residual y el contenido de sólidos volátiles es de 63% al 83%.

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

CUADRO N° 18: Datos hidráulicos del Digestor de Lodos

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Población de diseño (P)	Habitantes
Intervalo entre operaciones sucesivas	Años
Tasa de Acumulación de Lodos	L/hab/año
Tiempo de Retención	días
Profundidad del digestor	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

CUADRO N° 19: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Digestor de Lodos

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Volumen de almacenamiento de lodos $V_d = TA \cdot P \cdot N \cdot 10^{-3}$	m^3
Área superficial $A_s = V_d / H$	m^2

Fuente: JILAJA, R. (2010).

2.1.8.2. COMPOSTAJE DE LODOS

Según **JILAJA, R. (2010)**, El compostaje es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos, hasta formar un compuesto estable, de color oscuro, textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost. El proceso puede efectuarse por vía aerobia o anaerobia. El compostaje aerobio acelera el proceso de descomposición del material orgánico y permite obtener altas temperaturas necesarias para destrucción de patógenos, mientras que el anaerobio va siempre acompañado de malos olores que no se presentan en el primero, por tal razón es poco común hacer compostaje anaerobio. El proceso de compostaje busca tres objetivos fundamentales:

- ✓ La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
- ✓ La destrucción de patógenos gracias a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso.
- ✓ La reducción másica del material húmedo, a través de la remoción de agua y de sólidos totales y volátiles.

Existen diferentes formas de realizar compostaje aerobio de lodos, los cuales van desde métodos muy artesanales, hasta procesos que involucran tecnología muy avanzada y por tanto, costosos. En general todos los métodos de compostaje incluyen las siguientes operaciones básicas:

- ✓ Mezclado del material llenante con lodo.
- ✓ Descomposición microbial del material orgánico.
- ✓ Clasificación o tamizado del material.
- ✓ Recirculación o tamizado del material.
- ✓ Curado del material fino.
- ✓ Almacenamiento y comercialización.

El material de enmienda es un material orgánico que se añade al substrato a composta con el propósito de obtener un producto de menor peso y aumentar el volumen de huecos para favorecer la aireación. Los materiales de enmienda de uso más frecuente son aserrín, paja, cascaras de arroz y compost reciclado.

El material soporte es un material orgánico o inorgánico que se emplea para proporcionar soporte estructural y para aumentar la porosidad de la mezcla con el objeto de mejorar la efectividad de la aireación. El material más empleado son astillas de madera, que se puede recuperar y reutilizar.

CUADRO N° 20: Datos del Compostaje de Lodos

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Volumen de Tratamiento (V_t)	m^3
Intervalo entre operaciones sucesivas (N)	Adimensional
Tiempo de retención (T)	d
Profundidad de la losa (H)	m

Fuente: JILAJA, R. (2010).

CUADRO N° 21: Parámetros a Tomar en Cuenta para el Cálculo Hidráulico del Compostaje de Lodos

PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD
Volumen de lodos a tratar $V=V_t/N$	m^3
Área superficial $A_s=V/H$	m^2

Fuente: JILAJA, R. (2010).

2.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

2.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

- ✓ La evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales las aguas residuales por medio de lagunas de estabilización del distrito de Ajoyani no son aptas en los aspectos de calidad de vertimiento al río y su efluente causa contaminación al medio ambiente. Por lo tanto serán necesarias plantear una propuesta del sistema de tratamiento, para el buen funcionamiento de la PTAR.

2.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ✓ La determinación actual del análisis físico químico y bacteriológico del sistema de tratamiento de aguas residuales PTAR del distrito de Ajoyani no son aptas en los aspectos de calidad de vertimiento al río.
- ✓ Con la aplicación de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani, en base a una teoría, se logrará la calidad de vertimiento al río según los límites máximos permisibles, para el buen funcionamiento del agua residual tratada por lo tanto, sus efluentes no causarán contaminación al medio ambiente.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODO DE INVESTIGACION

3.1. ASPECTOS GENERALES

3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio para el presente trabajo de investigación se ubica en la siguiente posición del cuadro N° 22.

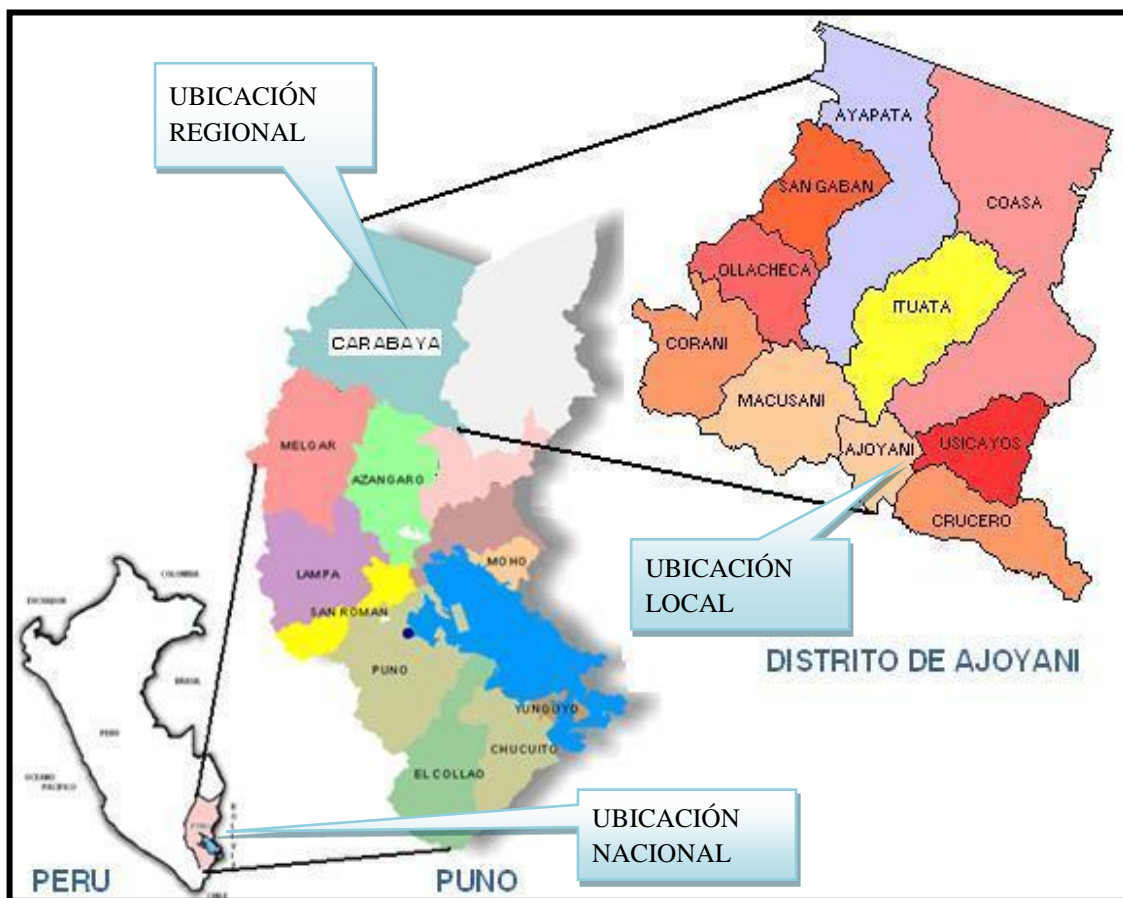
Las vías de comunicación y acceso como se ve en el cuadro N° 23, el distrito de Ajoyani cuenta con acceso pavimentado desde la ciudad de Puno, esta carretera forma parte de la carretera inter oceánica.

CUADRO N° 22: Ubicación Política y Geográfica del Distrito de Ajoyani.

Característica	Provincia	Distrito	Área urbana		
Política	Carabaya	Ajoyani	Ajoyani		
Geográfica			Coordenadas		Altitud media
			8'426523 N	367,981 E	4265m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 06: Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N° 23: Vías de Acceso al Distrito de Ajoyani.

Desde	Hasta	Kilómetro	Tiempo en minutos	Tipo de carretera	Característica del tránsito
Puno	Juliaca	44	45	Pavimentada	Tránsito fluido.
Juliaca	Azángaro	104	70	Pavimentada	Tránsito fluido.
Azángaro	Asillo	29	30	Pavimentada	Tránsito fluido.
Asillo	Desvío a Ajoyani	76	55	Pavimentada	Tránsito fluido.
Desvío Ajoyani	Ajoyani	3	5	Pavimentada	Tránsito escaso

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

Clima y Temperatura.

La provincia de Carabaya a la cual pertenece Ajoyani, tiene diferentes climas en función a la altitud sobre el nivel del mar. El clima de Ajoyani es frío en la población y glaciario en la parte más alta, con temperaturas que inclusive llegan a descender hasta menos 15°; en el pueblo y alrededores la fluctuación de temperatura entre el día y la noche es marcada, acentuada en los meses de invierno donde puede variar entre -5.8 y 14 °C. La máxima media mensual es de 11.3 °C y la mínima media mensual de 1 °C. La humedad relativa es baja principalmente en invierno y otoño. La ubicación, altitud, radiación y vientos inciden directamente sobre evaporación que es alta. Las precipitaciones pluviales son estacionales, en verano ocurre el 75%, con promedios anuales de 700 mm.

3.1.3. SERVICIOS PÚBLICOS Y EQUIPAMIENTO DE LA LOCALIDAD

El pueblo cuenta con servicios de agua y desagüe que no abastecen las necesidades de la población en cuanto a calidad, cantidad y estándares de la calidad del agua residual. Este inconveniente puede ser superado mejorando la infraestructura, la organización de tal manera que permita conducir mayor cantidad de agua, desinfectarla adecuadamente, distribuirla equitativamente y mejorar los efluentes de las aguas residuales.

La infraestructura social está bien desarrollada en el pueblo. Tiene un hospital moderno con buena capacidad, mercado, estadio, piscinas, albergue, local de artesanos, coliseo, parque recreativo, canchas adicionales de deportes básicos, escuelas, colegios, y maestranza; todos recientemente construidos. El templo católico es un edificio viejo que no está en buenas condiciones y distorsiona la imagen moderna del pueblo. El municipio tiene un pul de maquinaria con el que ejecuta obras en el área urbana y las comunidades.

3.1.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani, consta de cuatro lagunas de estabilización tipo facultativas orientadas en paralelo cuyo fin ha sido mejorar la calidad del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani está ubicada a 532.30m de la ciudad y a 44.00m del margen derecho del río Achasiri de la ciudad de Ajoyani.

El sistema de tratamiento cuenta con los siguientes componentes:

3.1.4.1. Red colectora

Las redes colectoras reciben todas las aguas residuales de las conexiones domiciliarias de la ciudad de Ajoyani y ocasionalmente las aguas de lluvia que se infiltran por los buzones y los patios de las viviendas, hecho que ha de evitarse. En el buzón ubicado después de la última conexión domiciliaria, comienza la tubería del emisor; esta tubería transporta las aguas residuales a la planta de tratamiento.

La tubería de la red colectora es de PVC con diámetros de 160mm y 200mm.

3.1.4.2. Buzón

Los buzones son los que determinan la nivelación, pendiente y alineamiento de la tubería en la red colectora.

Los buzones son de tipo Standard, con 1.20 m de diámetro interior terminado, y profundidad según requerido en campo.

En la actualidad esta estructura alguna de estas estructuras se encuentra semi operativa, por falta de mantenimiento como se ve en la figura N° 07.

FIGURA N° 07: Buzón de Inspección



FUENTE: Visita de campo.

3.1.4.3. Emisor

Las tuberías que reciben las aguas residuales provenientes de la red colectora, tienen una antigüedad de 10 años aproximadamente, las que conducen hasta las lagunas de estabilización de aguas residuales.

3.1.4.4. Lagunas de Estabilización

Se cuenta con cuatro lagunas facultativa operativa (primarias y secundarias), no cuenta con drenaje de aguas pluviales, ni con protección de bordes de la laguna, falta el recubrimiento exterior (pasto y/o grama), no tiene reforestación de zona circundante.

Las lagunas de estabilización son de tipo facultativo primario y secundario, las primarias con dimensiones de 54m de largo y 27m de ancho, con una altura útil de 1.5m, y las secundarias de 30m de largo y 15m de ancho con una altura útil de 1.20m, su efluente es descargado al río Achasiri de la ciudad de Ajoyani. Estas lagunas se comunican entre sí mediante una estructura de paso y/o vertedor para la etapa de mantenimiento de las unidades. Las dos lagunas presentan un dique de separación de sección trapezoidal y en la corona, un área transitable para la inspección de dichas unidades, permitiendo el tránsito por los laterales de las lagunas.

La laguna se ubica en las siguientes coordenadas según el detalle del Cuadro N° 24.

CUADRO N° 24: Coordenadas de la Laguna Facultativa

Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84)		
	Este(m)	Norte(m)	Cota (msnm.)
Laguna de Facultativa	367,237.00	8'425,996.00	4,246.60

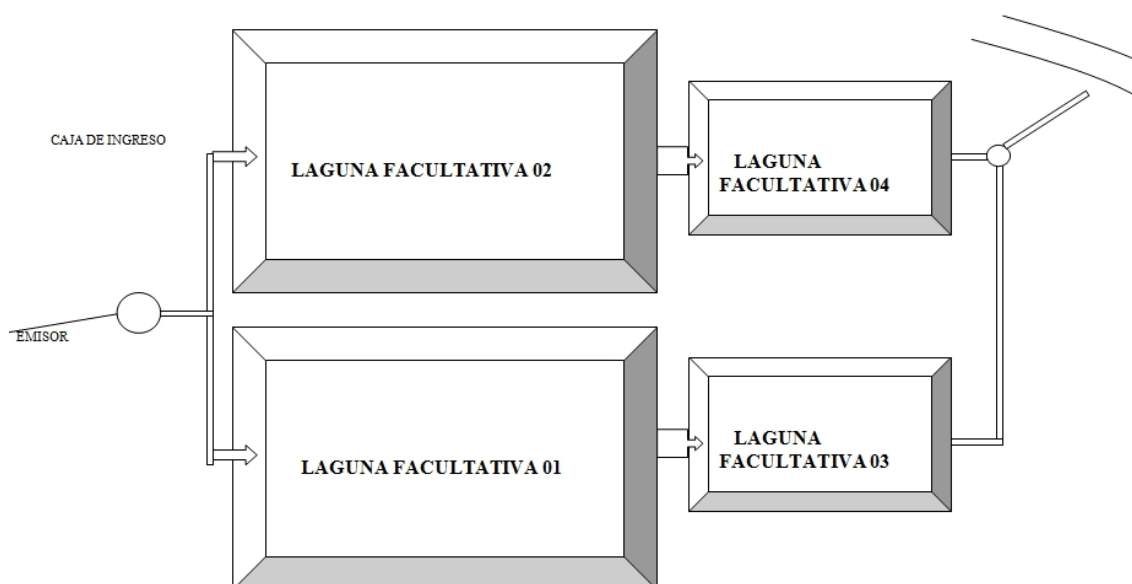
FUENTE: Elaboración Propia. 2013.

FIGURA N° 08 Laguna Facultativa Ajoyani



FUENTE: Visita de Campo. Setiembre, 2013.

FIGURA N° 09: Distribución de Estructuras PTAR Ajoyani



FUENTE: Elaboración Propia

3.1.4.5. Vertedero

Esta estructura también se encuentra colapsada por falta de operación y mantenimiento, en la actualidad no está cumpliendo su función de vertedero.

FIGURA N° 10: Vertedero



FUENTE: Visita de campo. Setiembre, 2013.

3.1.4.6. Cuerpo receptor

Es todo cuerpo de agua (río, lago, agua subterránea, mar) en esta acaso el río Achasiri, que es susceptible de recibir directa o indirectamente vertidos o descargas de aguas residuales.

FIGURA N° 11: Cuerpo Receptor Río Achasiri



FUENTE: Visita de campo. Setiembre, 2013.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Materiales y Equipos de Gabinete

- Equipo de cómputo.
- Equipo de impresión Impresora
- Materiales y equipo de dibujo.
- Útiles de escritorio.
- Software
 - ✓ Microsoft office.
 - ✓ Auto Cad.
- Otros.

Materiales y Equipo de Campo

- Equipo topográfico.
 - ✓ GPS.
- Cámara fotográfica.
- Cronometro.
- Flexómetro.
- Calculadora.
- Herramientas manuales.
- Wincha de Lona de 50m.
- Recipientes de 12 L.
- Guantes Quirúrgicos
- Correntómetro

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se utiliza en la presente investigación para realizar la evaluación y propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Ajoyani se basa, siguiendo los siguientes pasos de la figura N° 12.

3.3.1. DESARROLLO DEL ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

3.3.1.1. IDENTIFICACIÓN

Ubicación y Descripción del Sistema

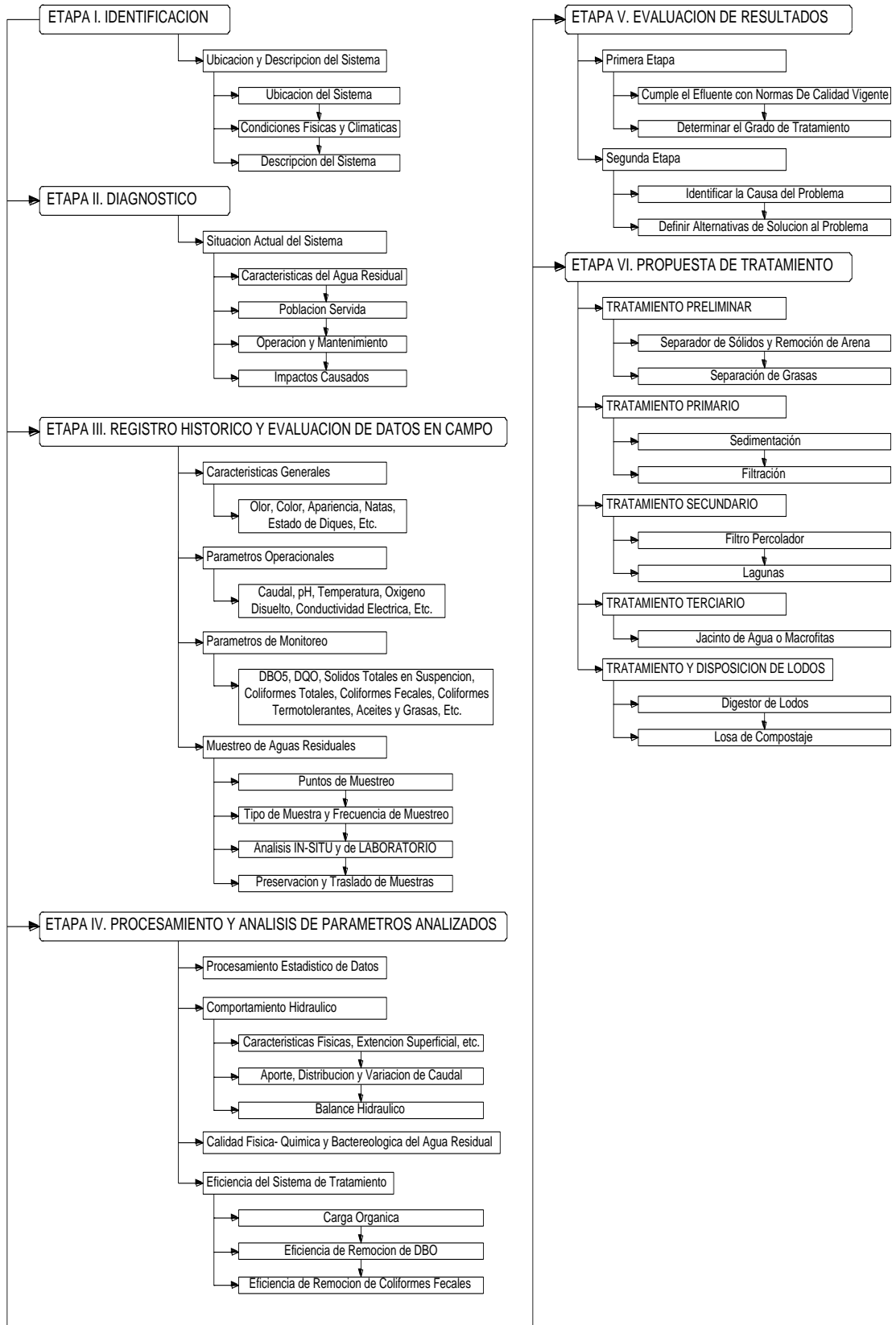
Esta fase consistió en la recopilación de información acerca de la ubicación del sistema, condiciones físicas y climáticas del ámbito donde se encuentra operando, y descripción del sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales, así también se buscó información, en la municipalidad distrital de Ajoyani, sobre el diseño inicial del sistema con el cual fue construido.

3.3.1.2. DIAGNOSTICO

Esta fase consistió en realizar el reconocimiento de campo de trabajo, también se procedió a realizar la evaluación sobre la situación actual del sistema teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Características del agua residual.
- ✓ Población servida.
- ✓ Operación y mantenimiento
- ✓ Impactos causados

FIGURA N° 12: Esquema para la Evaluación y Propuesta de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lagunas de Estabilización



FUENTE: Elaboración Propia.

3.3.1.3. REGISTRO HISTÓRICO Y EVALUACIÓN DE DATOS EN CAMPO

Esta fase consistió en definir los puntos de muestreo, frecuencia y tipo de muestreo y recojo de datos y muestras sobre las características generales de las lagunas, parámetros operacionales y parámetros de monitoreo, estos datos fueron tomados con ayuda de hojas de control en donde se anotaron los datos recolectados. Así también se realizó en traslado y preservación de muestras a fin de llevarlas a laboratorio.

Frecuencia de muestreo: Se tuvieron diferentes frecuencias de muestreo de acuerdo a los parámetros:

- ✓ **Características generales**, entre estos (olor, color, apariencia, natas, estado de diques), las frecuencia de muestreo para este caso fue a un nivel de control medio (semanal), por un periodo de tres semanas consecutivas en el mes de noviembre 2013, con la ayuda de hojas de control.
- ✓ **Parámetros operacionales**, entre estos (caudal, pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica), la frecuencia de muestreo para estos parámetros fue de un nivel de control medio (semanal), por un periodo de 03 semanas en el mes de noviembre 2013.
- ✓ **Parámetros de monitoreo**, entre estos (DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales, fecales), la frecuencia de muestreo para estos parámetros se realizó a un nivel de control medio (semanal), por un periodo de tres semanas consecutivas.
- ✓ **Muestreo de Aguas Residuales:** se tuvieron dos puntos de muestreo en todo el sistema:
 - **Punto de muestreo uno**, ubicado en el ingreso al sistema (afluente).
 - **Punto de muestreo dos**, ubicado en la salida del sistema (efluente).
- ✓ **Toma, preservación y traslado de muestras:** estas actividades se realizaron de la siguiente manera
 - Toma de muestras, esta se realizó en los puntos y frecuencias de muestreo establecidas anteriormente, en envases de 1L de capacidad.
 - Preservación y traslado de muestras, las muestras que se recogieron se llevaron posteriormente al laboratorio con sus respectivas etiquetas,

en un intervalo de tiempo menor a 24 horas de acuerdo a las normas que establecen para el análisis físico, químico y bacteriológico, en las que se consideran como parámetros representativos para la determinación de la calidad de los efluentes.

3.3.1.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS

En esta fase se procedió a realizar el análisis y procesamiento de los datos obtenidos tanto de las mediciones como también de los parámetros obtenidos in-situ y de laboratorio. También se realizó la interpretación de resultados, determinando:

- ✓ **Procesamiento estadístico de datos**, se determinó variaciones en el tiempo, así también promedios, valores máximos y mínimos.
- ✓ **El comportamiento hidráulico**, se determinó en comportamiento hidráulico en base a las características, extensión superficial propia de las lagunas, aporte, distribución y variación del caudal, determinando el balance hidráulico en el sistema de lagunas y los tiempos de retención de cada laguna.
- ✓ **Calidad física-química y bacteriológica del agua residual**, esta se determinó realizando un análisis en base a los resultados realizados en campo y de laboratorio de los parámetros evaluados.
- ✓ **Eficiencia del sistema de tratamiento**, se determinó la eficiencia de tratamiento en base a los valores de entrada y salida del sistema en base a los resultados obtenidos del análisis de parámetros de monitoreo en laboratorio. También se determinó:
 - La eficiencia de remoción de DBO_5 ,
 - La eficiencia de remoción de coliformes fecales,

3.3.1.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se procedió a realizar la evaluación de resultados, dirigida a la medición de la calidad del efluente y un análisis de los parámetros de control de acuerdo a las normas vigentes.

- ✓ Se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM, en el decreto supremo N° 003 – 2010, los cuales deben cumplir para ser descargados a cuerpos receptores sin generar contaminación.
- ✓ Se identificaron las causas del problema y se definieron alternativas de solución, que ayuden a mejorar el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Ajoyani y con ello mejorar la calidad del efluente.

3.3.1.6. PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En esta fase se procedió a realizar la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales después de una evaluación de resultados de la calidad del efluente de los parámetros de control de acuerdo a las normas vigentes.

a. Pre tratamiento del agua residual

Esta propuesta consiste en adicionar estructuras para el tratamiento existente de aguas residuales para así tener un proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como pre tratamiento se emplea el desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo en los mismos.

b. Tratamiento Primario

En el tratamiento primario se propone para la eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación usualmente se lleva a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. A

futuro, las plantas de tratamiento que solo incluyan tratamiento primario serán obsoletas.

c. Tratamiento Secundario

La reducción de compuestos orgánicos presente en el agua residual acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Se encarga de la remoción de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos. Su objetivo básico consiste en reducir la materia orgánica disuelta. Se trata de eliminar tanto la materia orgánica coloidal como la que está en forma disuelta. En esta etapa se consigue importante rendimiento de eliminación de DBO.

d. Tratamiento Terciario

Contribuyen a la remoción de elementos químicos y bacterias con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fosforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos.

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que este sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente.

e. Tratamiento y Disposición de Lodos

La gran cantidad de sólidos suspendidos que entran en una planta de tratamiento de aguas residuales y los sólidos residuales generados en el tratamiento biológico deben ser manejados como lodos en algún punto en el proceso de tratamiento.

Es probable que el lodo de la planta de tratamiento contenga microorganismos que pueden contribuir a las transmisiones de enfermedades como también contaminantes orgánicas e inorgánicas que pueden ser peligrosos

o tóxicos para los humanos o tener efectos perjudiciales en el ambiente en general

Por estas razones se tiene diseñados y construidos estructuras que puedan permitir realizar un manejo adecuado.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL DISTRITO DE AJOYANI

4.1.1. IDENTIFICACIÓN

4.1.1.1. UBICACIÓN, CONDICIONES FÍSICAS Y CLIMATOLÓGICAS, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani es localizado y descrito en el capítulo anterior, lo cual consta de cuatro lagunas primarias y secundarias de estabilización tipo facultativas orientadas en paralelo cuyo fin ha sido mejorar la calidad del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario.

La planta de tratamiento está ubicada a 532.30m. de la ciudad y a 44.00m del margen derecho del río Achasiri de la ciudad de Ajoyani.

4.1.2. DIAGNOSTICO

4.1.2.1. SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad los componentes se encuentran en un total abandono por las autoridades locales e instituciones encargadas del servicio de saneamiento, se puede apreciar lo siguiente:

- ❖ Las lagunas se encuentra en mal estado, debido a la ausencia de la operación y mantenimiento respectivo ya que las lagunas son de tierra con taludes emboquillados con piedra de canto rodado, esto implica y se aprecia crecimiento de vegetación y presencia de piedras dentro de las lagunas, lo que estaría perjudicando de las infiltraciones de las aguas residuales al

subsuelo, sobre todo en la laguna primaria nave N° 02 que está filtrando por el talud.

- ❖ Cabe mencionar que existe una red colectora de aproximadamente unos 8054.00m. con tuberías de PVC Ø 160 y 200mm, con buzones de inspección de diámetro estándar interior 1.20m. e=0.20m. , algunos buzones de inspección se encuentran obstruidas por la ausencia de la limpieza respectiva. La red de emisor es aproximadamente 162.75m con tuberías de PVC Ø 250mm.
- ❖ La planta de tratamiento no cuenta con un personal que lleva el control operacional y mantenimiento de las unidades que conforman el Sistema de Tratamiento. También no cuenta con una cámara de rejas o separador de sólidos al ingreso de la planta de tratamiento.
- ❖ Respecto a la estructuras de control, como es el caso de las compuertas se encuentran en proceso de alto deterioro, siendo necesariamente que sean cambiados debido a que son primordiales para el control y mantenimiento de las lagunas primarias y secundarias.

4.1.2.1.1. Características del Agua Residual

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Ajoyani está diseñado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, las cuales son transportadas por el sistema de alcantarillado o red colectora de la ciudad, contienen materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.

4.1.2.1.2. Población Servida

El crecimiento de población en Ajoyani, es mayor que en otras zonas de la región, como se menciona la tasa de crecimiento promedio es de 2.1%, con un incremento significativo en el periodo comprendido entre el censo de 1993 y del 2007. La mayoría de familias del distrito poseen viviendas en el área urbana, por consiguiente necesidad de servicios de agua potable, saneamiento, energía eléctrica, etc. Teniendo en cuenta esta consideración es necesario analizar los resultados censales con el convencimiento de que la población rural es también urbana y accede a viviendas y servicios en la población. La población servida es la ciudad de Ajoyani la cual cuenta con 1938 habitantes de acuerdo al último

CENSO 2007 de Población y IV de vivienda y haciendo un cálculo para el año actual 2013 la población servida es de 2182 habitantes, y para el año 2033 con proyección de 20 años es de 3098 habitantes.

Para determinar la población servida seguimos los siguientes pasos: la fórmula de crecimiento aritmético es:

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Dónde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual por 100 habitantes.

t = Tiempo en años.

Para la aplicación de esta fórmula es necesario conocer el coeficiente de crecimiento (r), que es de 2.1% según el último CENSO 2007 de Población y IV de vivienda. El cálculo se presenta a continuación:

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r * t}{100}\right) = 1,938.00\left(1 + \frac{2.1 * 6}{100}\right) = 2,182 \text{ hab.}$$

$$Pf (2013) = 2,182 \text{ hab.}$$

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r * t}{100}\right) = 2,182\left(1 + \frac{2.1 * 20}{100}\right) = 3,098 \text{ hab.}$$

$$Pf (2033) = 3,098 \text{ hab.}$$

4.1.2.1.3. Operación y Mantenimiento

- ✓ Actualmente el sistema de tratamiento de aguas residuales es administrado por la Municipalidad Distrital de Ajoyani.
- ✓ El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Ajoyani se encuentra localizado a 532.30m de la ciudad y a 44.00m del margen derecho del río Achasiri de la ciudad de Ajoyani. Limita con terrenos parcelados dedicados a usos pecuarios.

- ✓ Se ha evidenciado que no se realiza la operación y mantenimiento correspondiente y se pudo apreciar el crecimiento de vegetación en su interior, lo que ha ocasionado la filtración en sus paredes laterales y fondo. Cabe mencionar que se ha evidenciado la filtración de aguas residuales por el talud de la laguna primaria N° 02 que descarga directamente al río Achasiri.
- ✓ En las lagunas facultativas se encuentran en operación pero a la falta de mantenimiento ha permitido el crecimiento de lentejas de agua en su interior, presentando un mal olor, también se constata el agua tratada de color verde en el efluente.
- ✓ Se pudo observar que existe presencia de residuos sólidos por lo que se produce interferencias en el proceso de degradación de la materia orgánica y la eliminación de agentes patógenos.
- ✓ En el tema de las lagunas facultativas, los diques se encuentran mal buen estado, no permitiendo el tránsito peatonal pero cabe mencionar que existe presencia de residuos y crecimiento de vegetación en dichas unidades.

4.1.2.1.4. Impactos Causados

- ✓ En las visitas a campo se pudo captar la preocupación de los pobladores debido a los fuertes olores generados por las lagunas, los cuales son arrastrados por los fuertes vientos hacia la ciudad, generando así enfermedades gastrointestinales y respiratorias.
- ✓ Así también existe el descontento de los pobladores por la descarga de las aguas tratadas por las lagunas de estabilización, las cuales son descargadas directamente al río, lo cual genera que los animales tomen estas aguas, trayendo como consecuencia enfermedades e incluso la muerte de los animales.

4.1.3. REGISTRO HISTÓRICO Y EVALUACIÓN DE DATOS EN CAMPO

4.1.3.1. Características Generales

Observaciones propias de laguna, se realizaron en un nivel de control medio (semanal), por un periodo de tres semanas consecutivas, con la ayuda de hojas de control elaboradas.

- ❖ Apariencia y color.- se pudo apreciar un color ligeramente gris ligero en el afluente y color verde ligero en el efluente, el cual indica el contenido de microorganismos en las lagunas.
- ❖ Natas y lodos.- se pudo apreciar la presencia de natas y lodos (material extraño, basura) en gran cantidad, en los bordes de las lagunas
- ❖ Olor.- es posible que como consecuencia de una mala operación y mantenimiento, los olores desagradables provengan de depósitos de lodo flotante y vegetación putrefacta.
- ❖ Estado de diques.- los diques se encuentran en mal estado ya que hay presencia de crecimiento de vegetación.
- ❖ Espesor de lodos.- existe un gran espesor de lodo, debido a que no se realizaron limpieza del mismo desde la construcción de sistema.

4.1.3.2. Parámetros Operacionales

La medición de estos parámetros se realizó in-situ y en laboratorio, con la ayuda de hojas de control en donde se anotaron los datos recolectados en los puntos de muestreo, también se verificó la fecha y hora, lugar y ubicación del punto de muestreo, estos datos fueron determinados con la ayuda de los siguientes equipos:

- **Aforo de Caudal:** para la medición del caudal en los puntos de muestreo se realizó mediante el método volumétrico.
- **Medidor Multiparamétrico:** de pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos Portátil Hanna.
- **GPS garmin map:** el cual sirvió para determinar las coordenadas de los puntos de muestreo.

4.1.3.3. Parámetros de Monitoreo

Estos parámetros se midieron en el laboratorio, previa toma de muestras en campo en puntos específicos del sistema de lagunas (afluente y efluente). Los resultados obtenidos se muestran en sus respectivos certificados.

Los parámetros de más importancia son: (DBO_5 , DQO, aceites y grasas, sólidos totales en suspensión), los cuales deben ser cumplidos según la norma vigente establecida por el MINAM en el decreto supremo N° 003 – 2010.

4.1.3.4. Muestreo de Aguas Residuales en Lagunas de Estabilización

a) Selección del Punto de Muestreo

Se tuvieron dos puntos de muestreo más representativos elegidos estratégicamente en el ingreso al sistema como en la salida del sistema de tratamiento (afluente y efluente)

b) Tipo de Muestra y Frecuencia de Muestreo

La muestra tomada fue de tipo compuesta y la frecuencia fue de la siguiente manera:

- ✓ **Características generales**, entre estos (olor, color, apariencia, natas, estado de diques), la frecuencia de muestreo para este caso fue a un nivel de control medio (semanal), por un periodo de tres semanas consecutivas, con la ayuda de hojas de control elaboradas.
- ✓ **Parámetros operacionales**, entre estos (caudal, pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica), la frecuencia de muestreo para estos parámetros fue de un nivel de control medio (semanal), por un periodo de 3 semanas, realizando con la toma de muestras en el mes de noviembre del 2013.
- ✓ **Parámetros de monitoreo**, entre estos (DBO_5 , DQO, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales, fecales), la frecuencia de muestreo para estos parámetros se realizó a un nivel de control medio (semanal), por un periodo de tres semanas consecutivas, realizado en el mes de noviembre del 2013.

c) Análisis In-Situ y de Laboratorio

Algunos parámetros medidos in-situ fueron los parámetros operacionales (caudal del afluente y efluente).

Los parámetros medidos en laboratorio fueron los parámetros operacionales y de monitoreo (temperatura, pH, conductividad hidráulica, DBO₅, DQO, Sólidos totales, sólidos sedimentables, nitrógeno total, fosforo total, aceites y grasas, materia orgánica, coliformes totales, coliformes fecales, etc.) los cuales guardan relación con los contaminantes potenciales que pueden afectar el cuerpo receptor.

d) Preservación y Traslado de Muestras

Para la preservación de muestras se utilizó envases de vidrio de un litro, mas no agregaron reactivos ni técnicas de congelación ya que las muestras fueron llevadas antes de las 24 horas de acuerdo a las normas que establecen para el análisis físico, químico y bacteriológico, en las que se consideran como parámetros representativos para la determinación de la calidad de los efluentes.

4.1.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS ANALIZADOS

4.1.4.1. Procesamiento Estadístico de Datos Obtenidos

El procesamiento estadístico de datos se realizó:

- Los datos obtenidos en campo y laboratorio sobre los diferentes parámetros analizados se calcularon en forma periódica, los valores de máximo, mínimo, promedio y desviación estándar. Se representó gráficamente los resultados de cada medición con respecto al tiempo.
- Se determinó la interpretación e interrelación de los resultados obtenidos mediante un análisis de regresión y correlación (cargas, eficiencias, etc.)

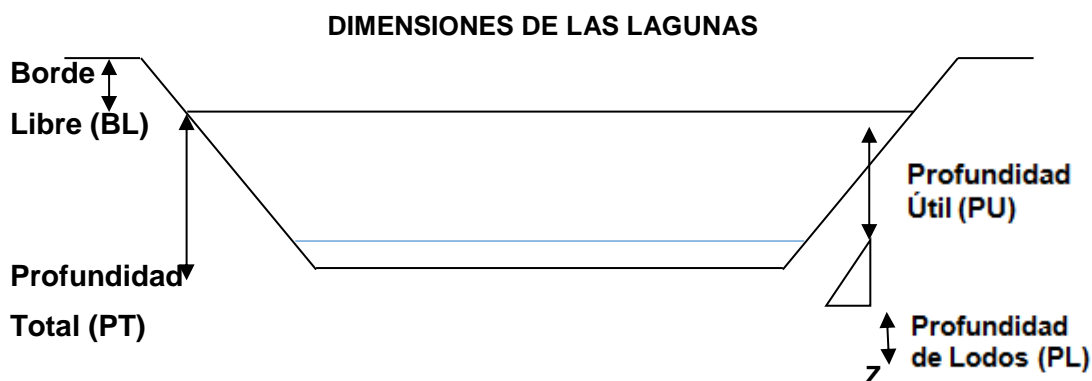
4.1.4.2. Comportamiento Hidráulico

a) Características Físicas, Extensión Superficial, Volumetría y Periodo de Retención.

En los cuadros N° 25 y 26. Se muestra las características físicas y el área superficial total de cada una de las lagunas y del sistema de tratamiento en general, considerando el tirante promedio se obtuvo la capacidad de cada laguna

y del sistema en general, además se expone el factor de forma producto de la relación largo y ancho de las lagunas del sistema de tratamiento, el volumen y el período de retención teórico de cada laguna de estabilización.

FIGURA N° 13: Características Físicas de las Lagunas



FUENTE: Elaboración propia

CUADRO N° 25: Características Físicas de las Lagunas de Estabilización

LAGUNAS ESTABILIZACIÓN	Dimensiones de Espejo de Agua (m)		Dimensiones de la base (m)		PT (m)	PU (m)	PL (m)	BL (m)	Z
	Largo	Ancho	Largo	Ancho					
Laguna N° 1	54.00	27.00	50.00	23.00	1.50	1.10	0.40	0.50	1.00
Laguna N° 2	54.00	27.00	50.00	23.00	1.50	1.10	0.40	0.50	1.00
Laguna N° 3	30.00	15.00	26.40	11.40	1.20	0.90	0.30	0.60	1.00
Laguna N° 4	30.00	15.00	26.40	11.40	1.20	1.20	0.00	0.60	1.00

FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO N° 26: Extensión Superficial, Periodo de Retención y Factor de Forma de las Lagunas

LAGUNAS	Área Superficial (m ²)	Área base (m ²)	Profundidad Útil (m)	Volumen (m ³)	Periodo de Retención	Factor de Forma
Laguna N° 1	1458.00	1150.00	1.10	1434.40	3.11	2.00
Laguna N° 2	1458.00	1150.00	1.10	1434.40	3.11	2.00
Laguna N° 3	450.00	300.96	0.90	337.93	0.73	2.00
Laguna N° 4	450.00	300.96	1.20	450.58	0.98	2.00
En el Sistema	3816.00	2901.92		4012.80		

FUENTE: Elaboración Propia

Es importante recalcar el periodo de retención el cual es fundamental en la reducción de cargas orgánicas y patógenas, se recomienda que debe ser mayor a 10 días para garantizar una remoción del 99.99% de parásitos. Según la OS .090 el periodo de retención mínimo es de 10 días como mínimo. En el cuadro se observa periodos de retención de 3.11 días, lo que indica que existe una buena reducción de cargas orgánicas y patógenas.

b) Aporte, Distribución y Variación de Caudales

En el cuadro N° 27 se observa los caudales máximos, mínimos y promedios que ingresan y egresan en el sistema tomados en el tiempo de evaluación, pudiéndose notar el caudal promedio de ingreso es de 4.27 L/s. y el caudal promedio de salida del sistema es de 3.16 L/s. Así mismo se aprecia el caudal máximo de entrada al sistema que es de 5.21 L/s. y el mínimo de 3.43 L/s.

CUADRO N° 27: Caudal promedio horario en el sistema de lagunas

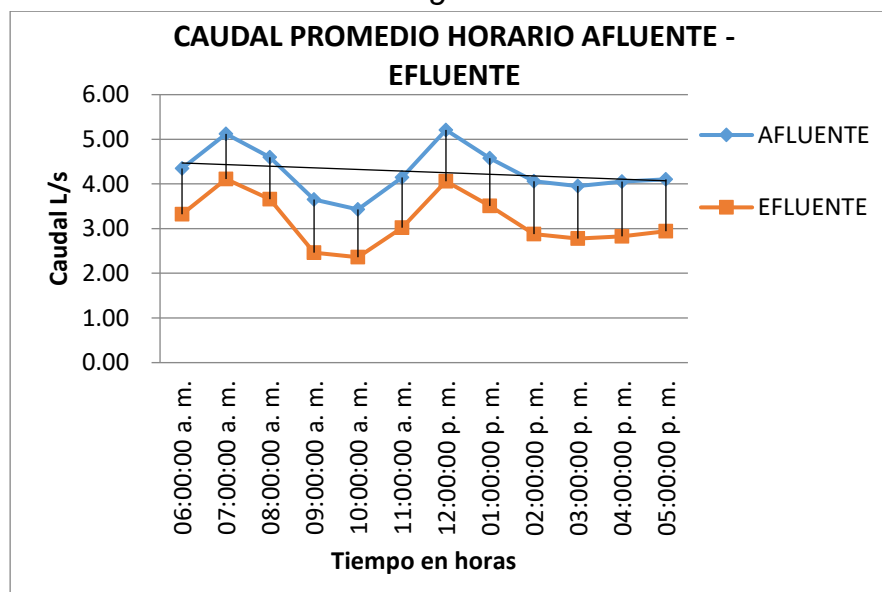
RESUMEN DE CAUDALES		
HORA	CAUDAL PROMEDIO	
	AFLUENTE	EFLUENTE
06:00:00 a.m.	4.35	3.32
07:00:00 a.m.	5.12	4.11
08:00:00 a.m.	4.60	3.66
09:00:00 a.m.	3.65	2.46
10:00:00 a.m.	3.43	2.36
11:00:00 a.m.	4.15	3.02
12:00:00 p.m.	5.21	4.06
01:00:00 p.m.	4.58	3.51
02:00:00 p.m.	4.06	2.88
03:00:00 p.m.	3.95	2.78
04:00:00 p.m.	4.05	2.83
05:00:00 p.m.	4.10	2.94
Promedio	4.27	3.16
Máximo	5.21	4.11
Mínimo	3.43	2.36
desv estándar	0.53	1.85

FUENTE: elaboración propia

En la Figura N° 14 se muestran las variaciones del caudal promedio horario por día de entrada y salida del sistema de lagunas, teniendo las horas pico de

mayor consumo a las 7.00am. y 12.00pm. En donde se realizan mayores usos de los servicios higiénicos.

FIGURA N° 14: Variación de Caudal Promedio Horario en el Sistema de Lagunas



FUENTE: Elaboración Propia

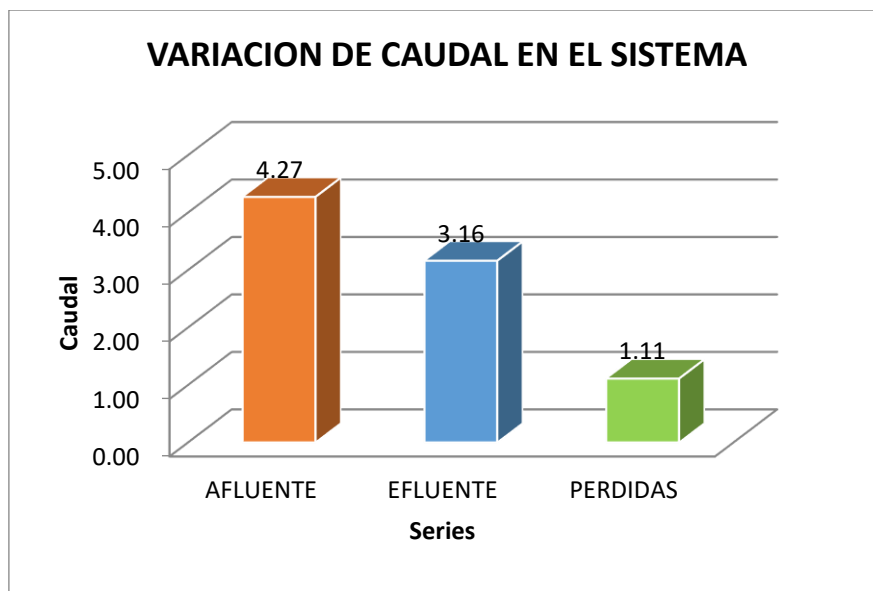
c) Balance Hidráulico en el Sistema

Los resultados obtenidos a través del balance hidráulico indican pérdidas de 1.11 L/s. En todo el sistema, considerando que la precipitación pluvial no tuvo incidencias durante el periodo de evaluación, se deduce que la evaporación combinada con la infiltración generan las pérdidas de caudal en el sistema, sobre todo hay presencia de filtración en la laguna primaria N° 02 al margen derecho del río.

Cabe mencionar que las lagunas de estabilización que no han logrado cumplir su objetivo ha sido por causa de un balance hídrico inadecuado ya que son pocas las lagunas que han fallado por aplicarle una carga orgánica mal calculada, puesto el diseño por carga orgánica es más flexible que por balance hídrico.

En la figura N° 15 se muestra la variación de caudal en el sistema de lagunas, así también las pérdidas de caudal en L/s. Ocasionadas por la evaporación combinada con la infiltración.

FIGURA N° 15: Variación de Caudal Promedio en el Sistema de Lagunas



FUENTE: Elaboración Propia

4.1.4.3. CALIDAD FISICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL.

La calidad física-química y bacteriológica del agua residual de la ciudad de Ajoyani se enmarca en los resultados obtenidos sobre las características y concentraciones de los parámetros evaluados tanto in-situ, como en el laboratorio.

a) Parámetros Evaluados en Campo (físicos)

Olor: Se determinó in situ de las pozas de las lagunas de estabilización, con el olfato humano, y es característico del agua residual causada de los gases formados en el proceso de descomposición.

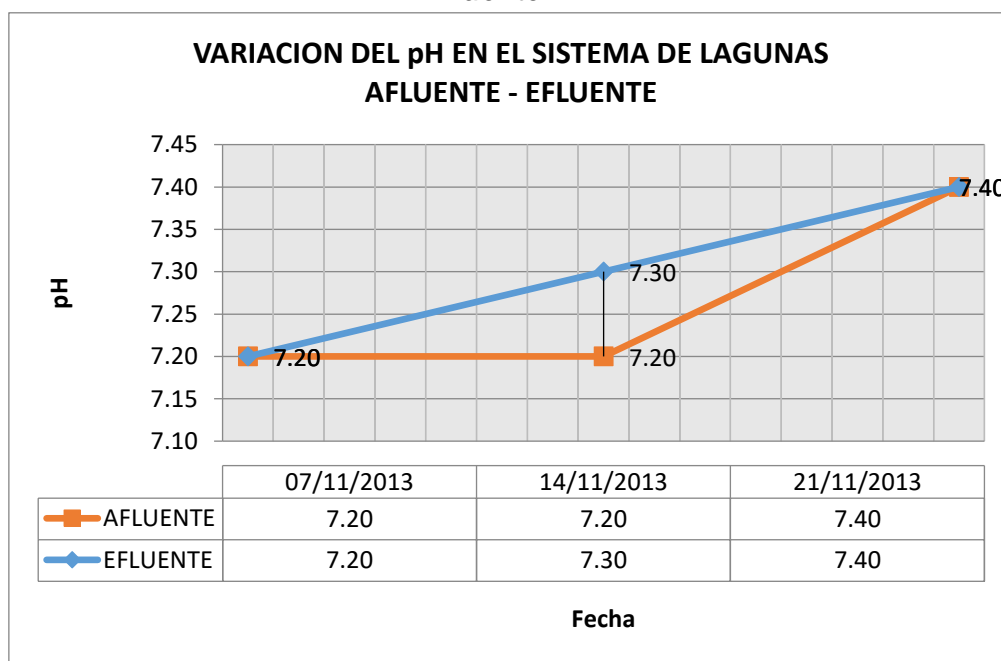
Color y sabor: Se determina en el mismo lugar donde se recogió la muestra de la planta de tratamiento, que normalmente es desagradable en apariencia y en extremo peligroso, esto por el contenido de organismos patógenos, y el color indica el contenido de micro organismos. El color de ingreso al sistema de tratamiento es gris ligero y la salida es de verde ligero.

Temperatura: Se determinó en el campo, obteniendo un valor de ingreso al sistema de 12.67 °C y con una salida de 12.33 °C esto significa que no causa efectos negativos sobre la vida del micro organismo que intervienen en la eficiencia del sistema de tratamiento, ya que este parámetro es muy importante en comportamiento de ciertos parámetros del agua, tales como, la solubilidad de las sales y gases, en la conductividad eléctrica, sobre el pH y así como en el metabolismo bacteriano.

b) Parámetros Evaluados en Laboratorio – Físico

pH: Se midió con el laboratorio, obteniendo un valor de ingreso al sistema de 7.27 y un valor de salida del sistema de 7.30, el cual está dentro del rango, que viene a ser ligeramente alcalino. Este parámetro mide la acides, la alcalinidad del agua y favorece en la proliferación y desarrollo de los organismos acuáticos.

FIGURA N° 16: Variación del pH en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente

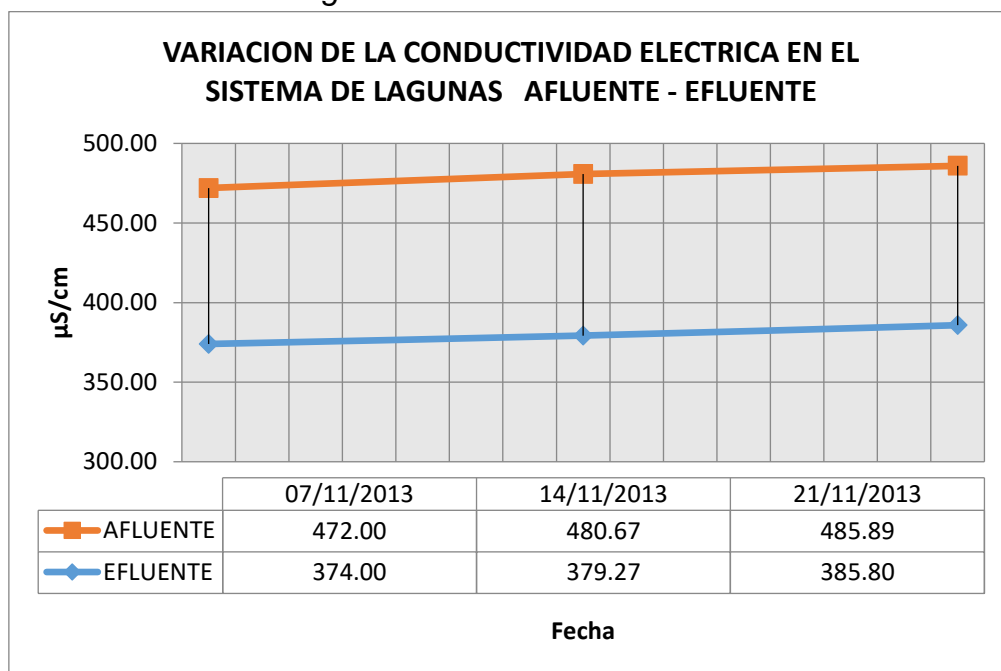


FUENTE: *Elaboración Propia*

Conductividad Eléctrica: Se determinó en el laboratorio, obteniendo un valor de ingreso 479.52 μS/cm y salida 379.69 μS/cm de este resultado está dentro de los parámetros permisibles.

Este parámetro es muy importante porque si se considera realizar el reúso del agua residual en la agricultura deberá cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, establecidos por el MINAM en el decreto supremo N° 002-2008. Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas Animales, el valor de CE debe ser menor a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

FIGURA N° 17: Variación de la Conductividad Hidráulica en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente

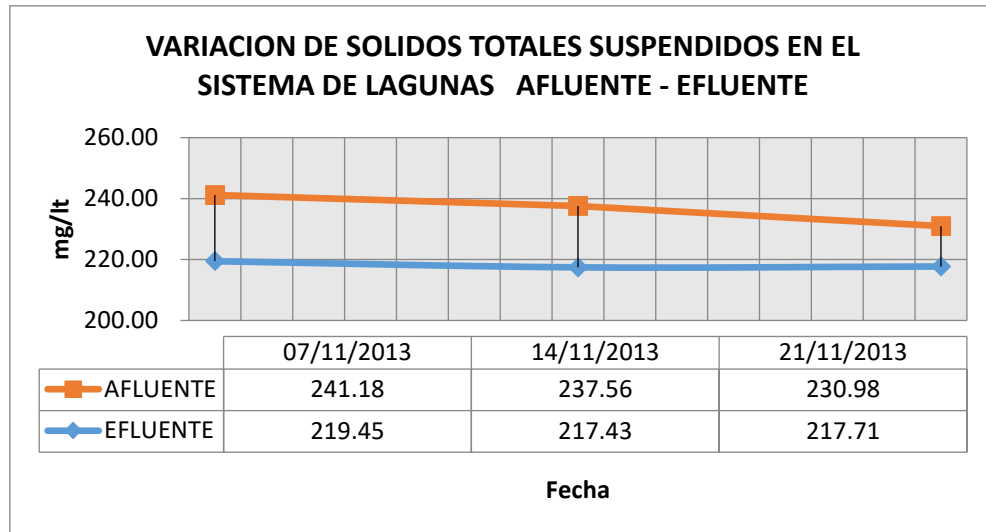


FUENTE: Elaboración Propia

Sólidos Totales: Materia que se obtiene como residuos después someterse a un proceso de evaporación y secado entre 103 y 105 °C, su valor incluyen los materiales disueltos y no disueltos (sólidos suspendidos) se determinó en el laboratorio, obteniendo un valor de ingreso al sistema de 481.27 mg/L. y un valor de salida de 404.08 mg/L.

Sólidos Totales Suspendidos: Materia que se obtiene como residuos después someterse a un proceso de evaporación y secado entre 103 y 105 °C, se determinó en el laboratorio, obteniendo un valor de ingreso al sistema de 236.57 mg/L. y un valor de salida de 218.20 mg/L. El cual está por encima del valor de los LMP del D.S N°003 – 2010 – MINAM, el cual es de 150 mg/L.

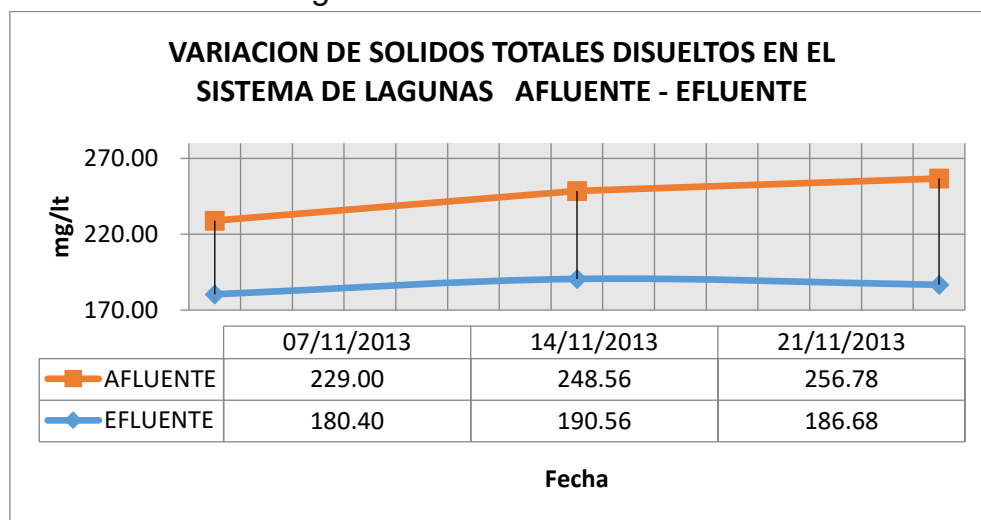
FIGURA N° 18: Variación de Sólidos Totales Suspendidos en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente



FUENTE: *Elaboración Propia*

Sólidos Totales Disueltos: En este parámetro se puede apreciar un valor de ingreso al sistema de 244.78 mg/L. y un valor de salida de 185.88 mg/L. El cual está por debajo comparando con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, establecidos por el MINAM en el decreto supremo N° 002-2008. Categoría 4: conservación del ambiente acuático (ríos) es alto ya que este valor es de 500 mg/L.

FIGURA N° 19: *Variación de Sólidos Totales Disueltos en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente*

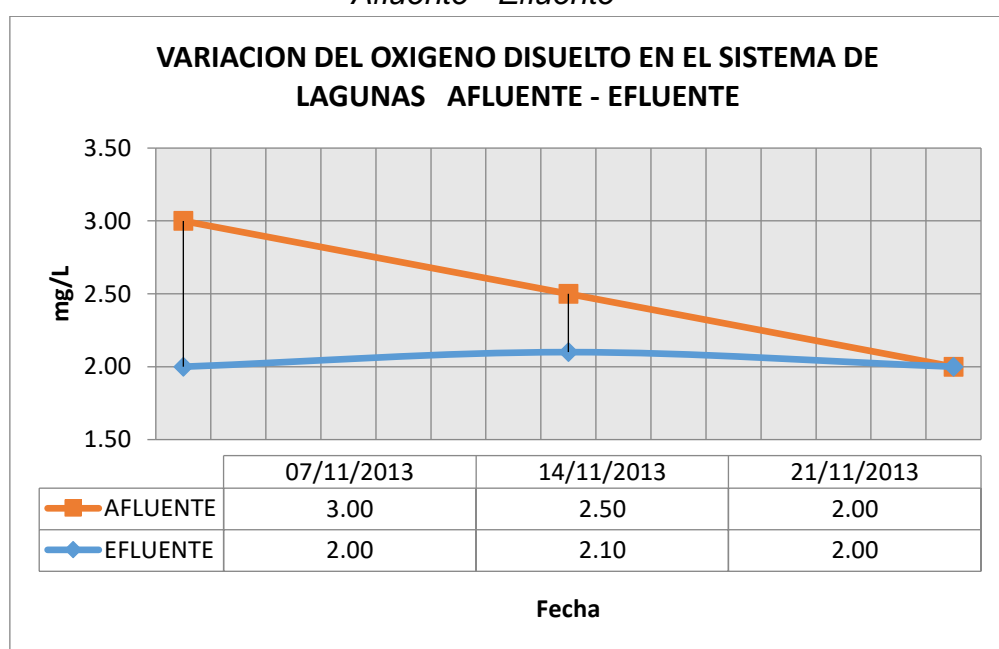


FUENTE: *Elaboración Propia*

Oxígeno Disuelto: El oxígeno disuelto se determinó en laboratorio, en cada uno de los puntos de muestreo (afluente y efluente), determinados en el periodo de evaluación. En el afluente se presentaron valores con un promedio de 2.5

mg/L. y en el efluente se presentó un valor promedio de 2.03 mg/L. y otros valores mínimos. Lo que explica que el sistema de lagunas no está produciendo la actividad de fotosíntesis para generar oxígeno disuelto. El cual está por debajo comparando con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, establecidos por el MINAM en el decreto supremo N° 002-2008. Categoría 4: conservación del ambiente acuático (ríos) es alto ya que este valor es de ≥ 5 mg/L.

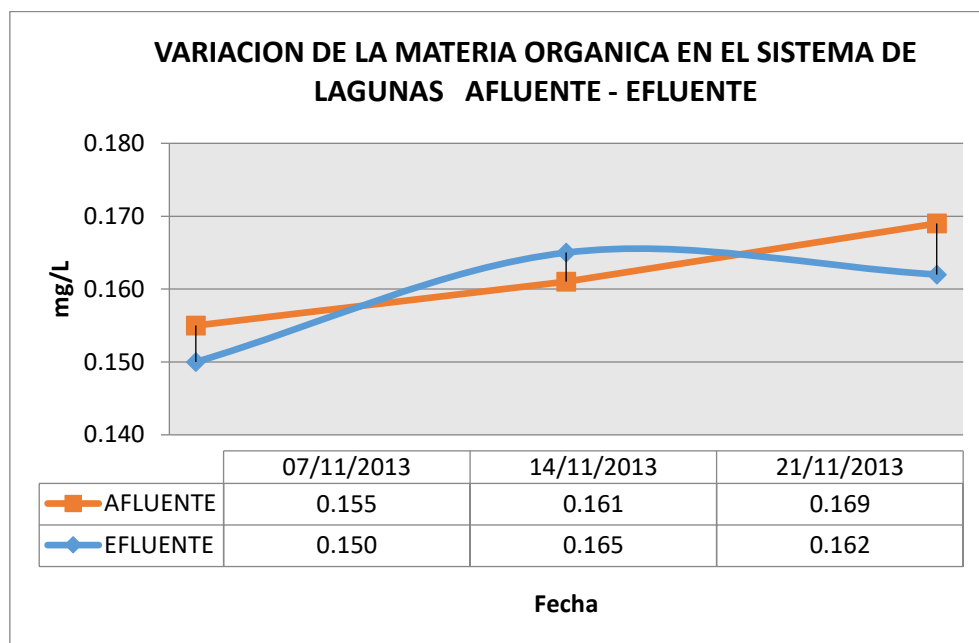
FIGURA N° 20: Variación del Oxígeno Disuelto en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

Materia Orgánica: El oxígeno disuelto se determinó en laboratorio, en cada uno de los puntos de muestreo (afluente y efluente), determinados en el periodo de evaluación. En el afluente se presentaron valores con un promedio de 0.162 mg/L. y en el efluente se presentó un valor promedio de 0.159 mg/L.

FIGURA N° 21: Variación de la Materia Orgánica en el Sistema de Lagunas Afluyente - Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

c) Parámetros Evaluados en Laboratorio – Químicos

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): La remoción de este parámetro es fundamental en el funcionamiento de las plantas de tratamiento, fue determinado en laboratorio, donde se obtuvo un valor de ingreso al sistema de 850.28 mg/L y un valor de salida del sistema de 165.01 mg/L, dicho valor no está dentro de los LMP, logrando así una eficiencia de 80.59 %. Esto indica que no es aceptable y su grado de contaminación del agua residual está por encima del valor de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el DS N° 003 – 2010 – MINAM que es de 100 mg/L.

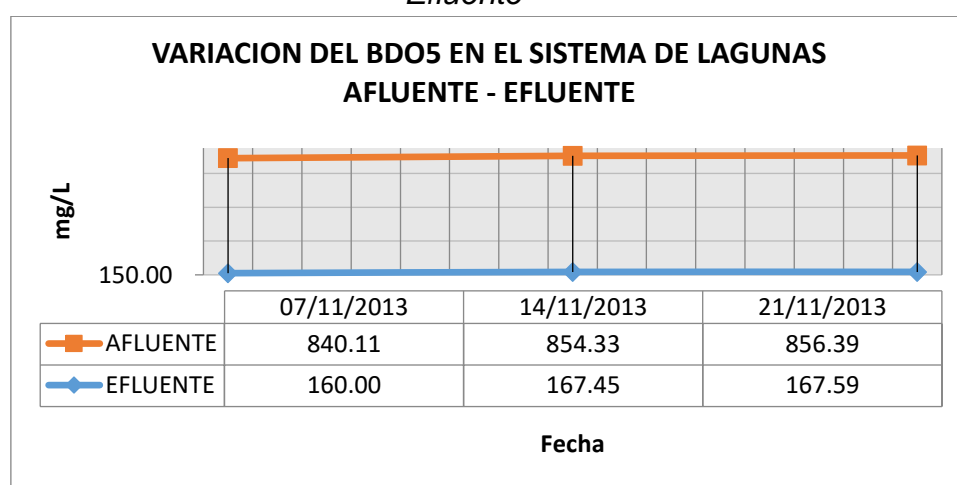
Es fundamental que para poder reducir más la DBO₅, lo recomendable es limpiar las lagunas sacando los sedimentos que estén depositados en la parte inferior, para ampliar el tiempo de retención y de ser posible ampliar las lagunas para aumentar su capacidad de tratamiento.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La remoción de la DQO es fundamental en un sistema de tratamiento. Y es una medida compleja de la contaminación química del agua, basada en la determinación de los miligramos

de oxígeno (O₂) consumidos por litros de muestra que se somete a un proceso de digestión, es decir se calienta a 150 °C durante dos horas en presencia de un agente oxidante fuerte.

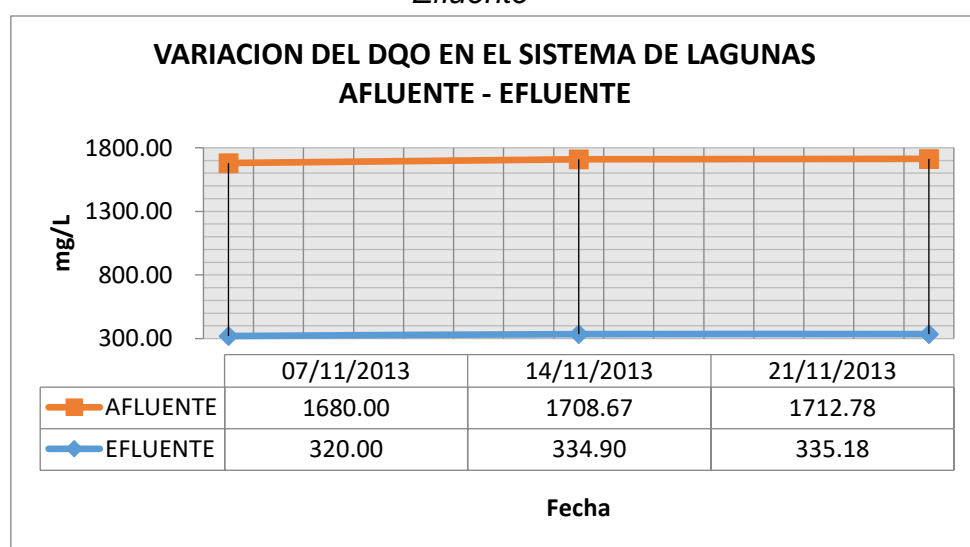
El valor de ingreso al sistema es de 1700.48 mg/L y el valor de salida del sistema es de 330.03 mg/L, logrando así una eficiencia de 80.59 % de remoción de DQO, lo cual no es aceptable por que está por encima del valor de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el DS N° 003 – 2010 – MINAM que es de 200 mg/L.

FIGURA N° 22: Variación del DBO₅ en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

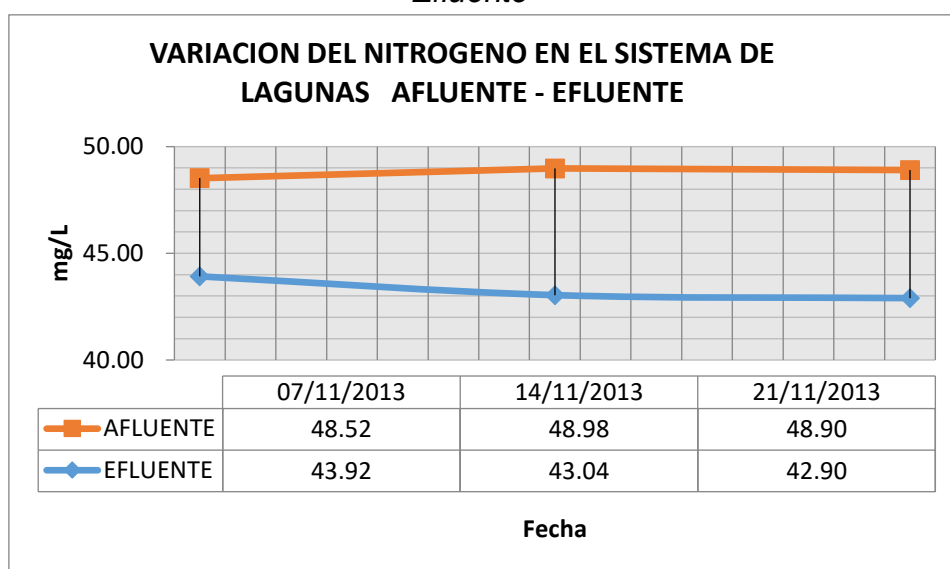
FIGURA N° 23: Variación del DQO en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

Nitrógeno: Este parámetro es la suma del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal (NK). y debe ser controlable si se quiere descargar los efluentes a un cuerpo receptor (río). Los valores de ingreso es de 48.80 mg/L y salida del sistema de tratamiento es 43.24 mg/L, logrando una eficiencia de remoción de 11.30%. Lo cual nos indica que el sistema no trabaja efectivamente en la remoción de nitrógeno.

FIGURA N° 24: Variación del Nitrógeno en el Sistema de Lagunas Afluente - Efluente



FUENTE: *Elaboración Propia*

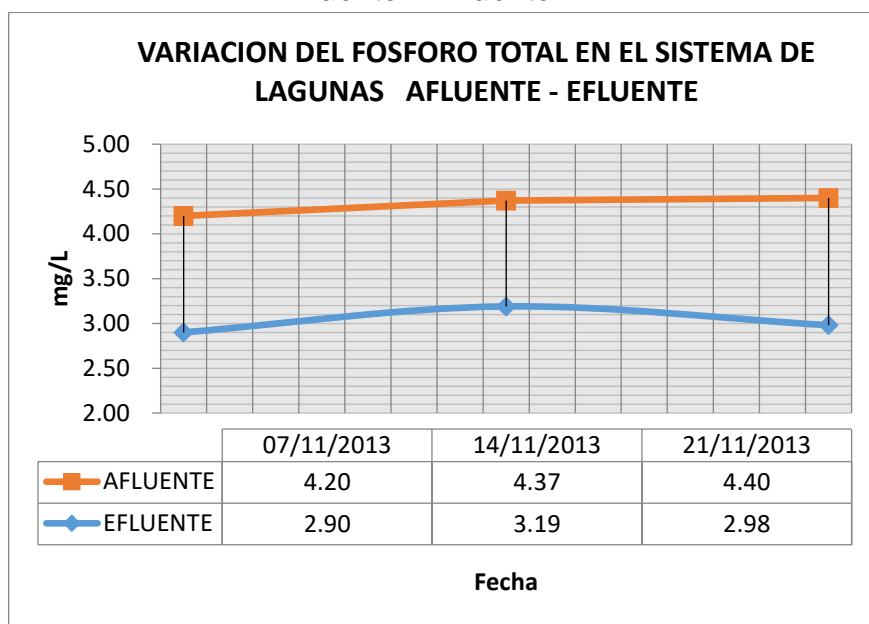
Fosforo Total: Como el nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas y es por eso que existe marcado interés en removerlo de las aguas residuales. Los resultados del análisis de fosforo total indican que el ingreso es de 4.32 mg/L. y la salida es de 3.02 mg/L., logrando una eficiencia de remoción de 30.07%. Lo cual nos indica que el sistema no trabaja efectivamente en la remoción de fosforo.

Aceites y Grasas: Los aceites y grasas alteran los procesos aerobios y anaerobios, forman películas que impiden el desarrollo de la fotosíntesis y cubren los fondos y lechos de ríos, degradando el ambiente durante el proceso de descomposición.

Se determinó en el laboratorio, obteniendo un valor de ingreso al sistema de 0.012 mg/L. y un valor de salida del sistema de 0.012. El cual está por debajo

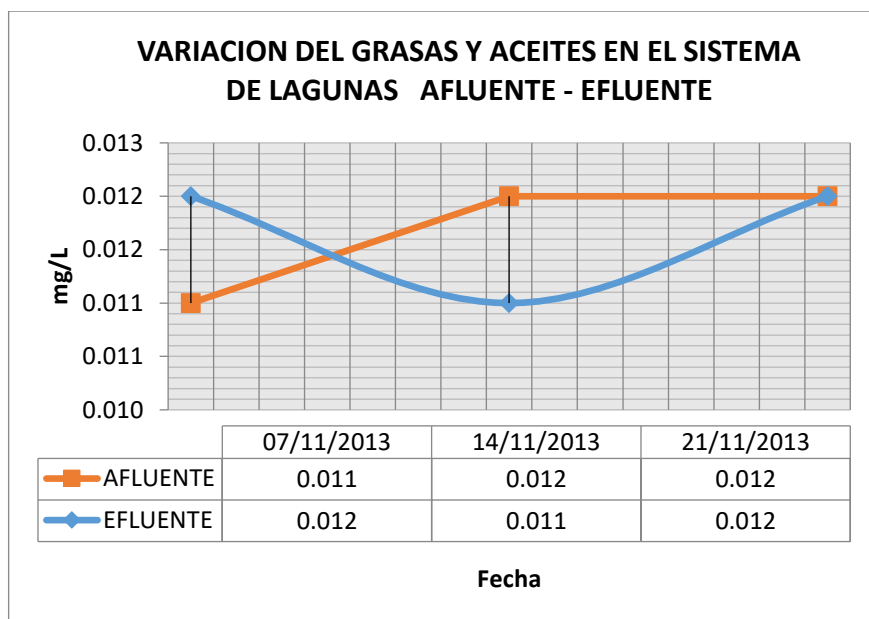
de los LMP que es de 20 mg/L. Por lo cual se deduce que no estaría alterando los procesos aerobios ni anaerobios en el cuerpo receptor, en tal sentido no estaría degradando el ambiente.

FIGURA N° 25: Variación del Fosforo Total en el Sistema de Lagunas Afluyente – Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

FIGURA N° 26: Variación de Grasas y Aceites en el Sistema de Lagunas Afluyente – Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO N° 28: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros físico, químicos, de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani (Lagunas de Estabilización)

PARÁMETROS	UND.	07/11/2013		14/11/2013		21/11/2013		PROMEDIO		EFICIENCIA %
		ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	
Potencial de Hidrogeno (pH)	pH	7.20	7.20	7.20	7.30	7.40	7.40	7.27	7.30	-
Temperatura	Celsius	12.00	12.00	13.00	12.00	13.00	13.00	12.67	12.33	-
Conductividad Eléctrica	µS/cm	472.00	374.00	480.67	379.27	485.89	385.80	479.52	379.69	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.00	2.00	2.50	2.10	2.00	2.00	2.50	2.03	-
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	241.18	219.45	237.56	217.43	230.98	217.71	236.57	218.20	7.77
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	229.00	180.40	248.56	190.56	256.78	186.68	244.78	185.88	24.06
Sólidos Totales	mg/L	470.18	399.85	486.56	407.99	487.06	404.39	481.27	404.08	16.04
Materia Orgánica	mg/L	0.155	0.150	0.161	0.165	0.169	0.162	0.162	0.159	-
DBO ₅	mg/L	840.11	160.00	854.33	167.45	856.39	167.59	850.28	165.01	80.59
DQO	mg/L	1680.00	320.00	1708.67	334.90	1712.78	335.18	1700.48	330.03	80.59
Nitrógeno	mg/L	48.52	43.92	48.98	43.04	48.90	42.90	48.80	43.29	11.30
Fosforo Total	mg/L	4.20	2.90	4.37	3.19	4.40	2.98	4.32	3.02	30.07
Grasas y Aceites	mg/L	0.011	0.012	0.012	0.011	0.012	12	0.012	0.012	-

FUENTE: Elaboración Propia según los resultados de análisis de laboratorio

d) Parámetros Evaluados en Laboratorio – Bacteriológicos

El análisis se realizó en el laboratorio la cual se determinó por el método número más probable (NMP), los parámetros como coliformes totales, coliformes fecales y nematodos analizados se muestra en el cuadro siguiente.

CUADRO N° 29: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros biológicos de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani (Lagunas de Estabilización)

PARÁMETROS	UND.	07/11/2013		14/11/2013		21/11/2013		PROMEDIO		Efic. %
		Ing.	Sal.	Ing.	Sal.	Ing.	Sal.	Ing.	Sal.	
Coliformes Totales	NMP/100ml	11500	4950	12100	5410	11200	5250	11600	5203.33	55.14
Coliformes Fecales	NMP/100ml	5670	3550	5780	3050	5720	3370	5723.33	3323.33	41.93

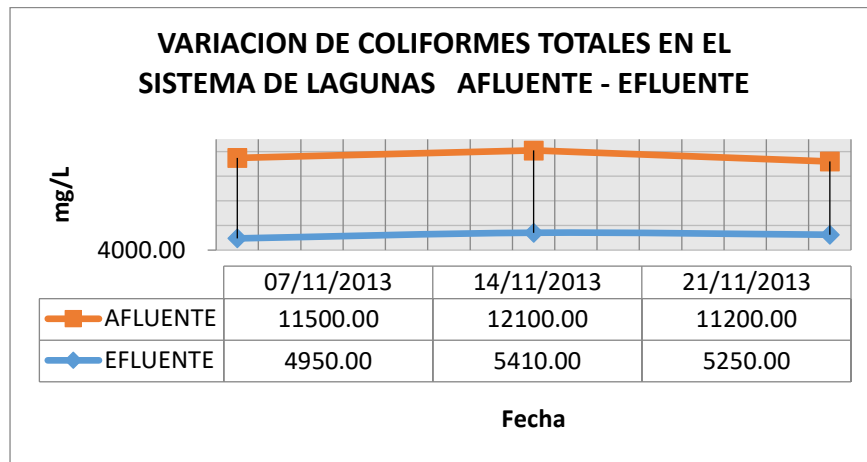
FUENTE: Elaboración Propia

Coliformes Totales: Los resultados obtenidos en los muestreos realizados confirman que tales condiciones difícilmente se logran en el sistema. La falta de mantenimiento, permite que en la mayor parte del tiempo se observe una capa sobrenadante (nata y lentejas de agua) en aproximadamente un 40 % de superficie de las lagunas. Dificultando el paso de la luz solar a regiones más profundas y afectando al proceso de eliminación de bacterias coliformes y la actividad fotosintética.

La concentración de coliformes totales obtenidas en el afluente 11,600.00 NMP/100ml y un efluente de 5,203.33 NMP/100ml, con una eficiencia de 55.14%, esto indica que estas aguas no deben ser vertidas en un cuerpo receptor, por no cumplir con las normas de calidad de aguas residuales, (ECA) para agua, establecidos por el MINAM en el decreto supremo N° 002-2008.

Categoría 4: conservación del ambiente acuático (ríos), cuyo valor es de 3000 NMP/100ml.

FIGURA N° 27: Variación de Coliformes Totales en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente

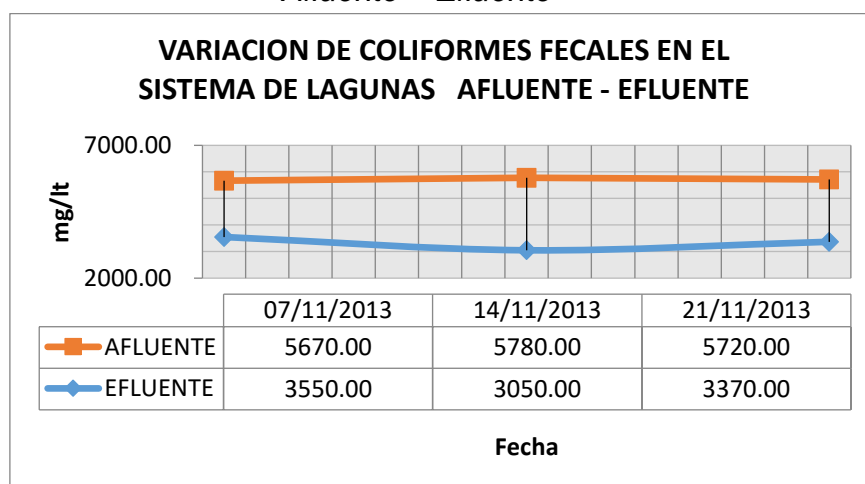


FUENTE: Elaboración Propia

Coliformes Fecales: La cantidad de coliformes fecales remanentes en el sistema es alta alcanzando valores de afluente de 5,723.33 NMP/100ml, un efluente de 3,323.33 NMP/100ml y una eficiencia de 41.93%, esta cantidad sobrepasa los parámetro de las norma de vertidos de efluente de sistema de tratamiento que descargan en cuerpos receptores naturales.

Estos resultados indican que las lagunas primarias no son suficientes para garantizar una eficiencia bacteriológica que satisfaga lo recomendado en las normas de vertidos nacionales e internacionales.

FIGURA N° 28: Variación de Coliformes Fecales en el Sistema de Lagunas Afluente – Efluente



FUENTE: Elaboración Propia

4.1.4.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La medición de la capacidad degradativa se hace en base a la reducción lograda, luego del proceso de fermentación de las aguas servidas de los parámetros inicialmente medidos en el material de carga (afluente al sistema de lagunas), las muestras tanto en la entrada como en la salida del sistema de lagunas, pueden considerarse como pertenecientes a un mismo proceso degradativo y por lo tanto la eficiencia puede medirse según la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(VP_E - VP_S)}{VP_E} * 100$$

Dónde:

E = Eficiencia degradativa (%)

VP_E = Valor de parámetro de entrada

VP_S = Valor de parámetro de salida

El parámetro que más se usa para medir la eficiencia es la DBO, DQO.

La ineficiencia para la DBO, DQO, sólidos en todas sus formas. Según el cuadro N° 30, nos indica que el sistema no está en capacidad de degradar todas las descargas que recibe, las cuales pueden estar por encima de la población de diseño o que las lagunas estén llenas de sedimentos.

CUADRO N° 30: Resultados de laboratorio, análisis de parámetros biológicos de las Aguas Residuales tratadas de la PTAR Ajoyani

PARÁMETROS	VALORES AGUA RESIDUAL		EFICIENCIA DEGRADATIVA %
	Afluente	Efluente	
DBO ₅	850.28	165.01	80.59
DQO	1700.48	330.03	80.59

FUENTE: Elaboración Propia

4.1.4.4.1. COMPORTAMIENTO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Las lagunas de estabilización de aguas residuales domésticas de la ciudad de Ajoyani, deberían de tener un comportamiento en sus lagunas como

facultativas, lo que se sustenta al comparar la carga superficial aplicada 822.04 (kg.DBO₅/Ha*día), es mayor a la carga superficial máxima admisible 231.30 (kg.DBO₅/Ha*día) y no están dentro del rango para cargas de diseño de lagunas facultativas de 50 y 300 kg. DBO₅/Ha*día.

CUADRO N° 31: Concentración de Carga Total Aplicada (Materia Orgánica) y Carga Superficial Aplicada en el Sistema de Lagunas

CARGAS	LAGUNA N° 1	LAGUNA N° 2	PROMEDIO EN EL SISTEMA
Carga Total Aplicada Cta (Kg.DBO ₅ /día)	156.85	156.85	156.85
Carga Superficial Aplicada Csa (Kg.DBO ₅ /Ha*día)	822.04	822.04	822.04

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO N° 32: Cargas Superficial Máximas Admisibles en Lagunas Facultativas según Modelos.

Cargas Superficial Máxima Admisible (kg.DBO ₅ /Has*día)	LAGUNA N° 1	LAGUNA N° 2	PROMEDIO EN EL SISTEMA
Norma Saneamiento S090 RNE	174.83	174.83	174.83
Cepis - Yañez	196.54	196.54	196.54
Mc. Garry y Pescod	322.52	322.52	322.52
Promedio de Lagunas	231.30	231.30	231.30

FUENTE: Elaboración propia

4.1.4.4.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅

La eficiencia de remoción de DBO₅ obtenida con los modelos y la evaluación del sistema in-situ, se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 33: Comparación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅ Según los Modelos Evaluados

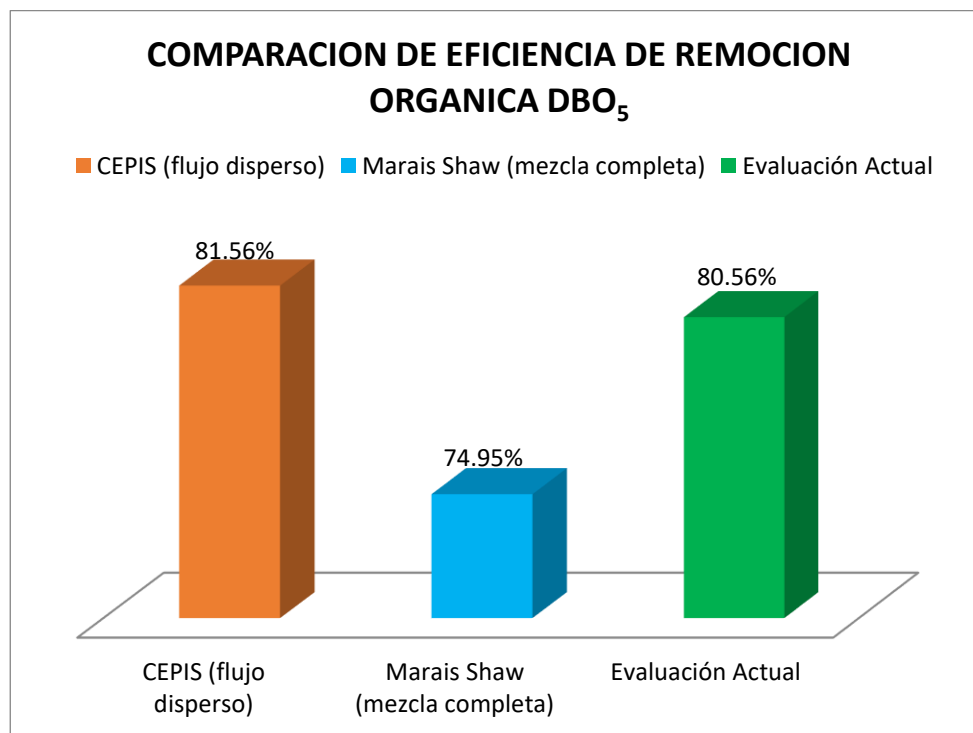
MODELO	LAGUNA N° 1	LAGUNA N° 2	PROMEDIO EN EL SISTEMA
CEPIS (Flujo Disperso)	81.56	81.56	81.56
Marais - Shaw (Mezcla Completa)	74.95	74.95	74.95
Evaluación Actual	80.56	80.56	80.56

FUENTE: Elaboración propia

Según los resultados del presente estudio la eficiencia del sistema demuestra el comportamiento del flujo disperso que predomina en las lagunas, la que se analizó en base a las eficiencias obtenidas con los modelos de

remoción de carga orgánica y lo estimado en el campo según resultados obtenidos en laboratorio.

FIGURA N° 29: Comparación de Remoción Orgánica Según los Modelos Evaluados



FUENTE: *Elaboración propia*

En la Figura N° 29 podemos apreciar la comparación de la eficiencia de remoción orgánica según modelos evaluados y la propia evaluación en campo, pudiéndose notar que según el modelo CEPIS la eficiencia es más alta con un 81.56% de eficiencia, seguido por lo evaluado en campo 80.56% y el método de MARAIS-SHAW con 74.95%. Lo que significa una remoción regular de dicho parámetro y que de alguna manera. Indica que la unidad trabaja efectivamente en la remoción de materia orgánica y que puede alcanzar valores más altos y significativos en la remoción de DBO₅ en el sistema.

4.1.4.4.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES

La eficiencia de remoción coliformes fecales obtenida con los modelos y la evaluación del sistema in-situ, se muestra en el cuadro N° 34.

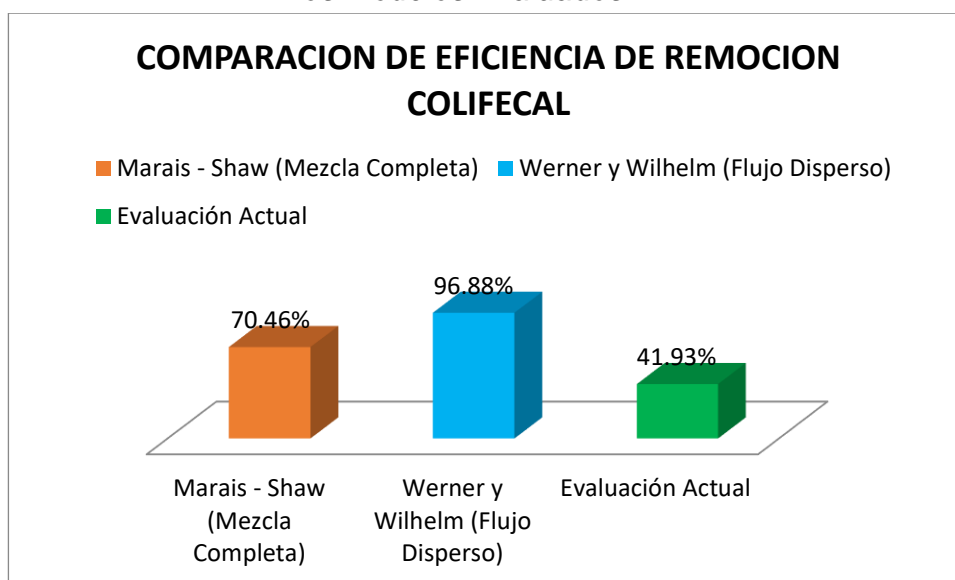
CUADRO N° 34: Comparación de Eficiencia de Reducción de Coliformes Fecales según Modelos Evaluados.

MODELO	LAGUNA N° 1	LAGUNA N° 2	PROMEDIO EN EL SISTEMA
Marais – Shaw (Mezcla Completa) %	70.46	70.46	70.46
Wehner y Wilhelm (Flujo Disperso) %	96.88	96.88	96.88
Evaluación Actual %	41.93	41.93	41.93

FUENTE: elaboración propia

Según los resultados del presente estudio en las lagunas para la reducción de coliformes fecales, se comportan bajo un sub modelo hidráulico de mezcla completa más no así como un flujo disperso. En donde las eficiencias de tratamiento y/o reducción de coliformes es de 41.93 % con la evaluación actual y 70.46% según el modelo de Marais – Shaw.

FIGURA N° 30: Comparación de Remoción de Coliformes Fecales Según los Modelos Evaluados



FUENTE: Elaboración propia

4.1.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1.5.1. PRIMERA ETAPA

Según los resultados del presente estudio en las lagunas los afluentes deben cumplir con las normas nacionales vigentes de calidad LMP, para ser descargadas a cuerpos receptores sin generar contaminación.

CUADRO N° 35: Comparación de parámetros en salida del sistema (efluente) con Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR Municipales

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS	PARÁMETROS DE SALIDA EN EL SISTEMA	NIVEL DE CONTAMINACIÓN
Aceites y grasas	mg/L	20	0.012	Aceptable
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	10,000	-----	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	165.01	No aceptable
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	330.03	No aceptable
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.30	Aceptable
Sólidos totales en Suspensión	ml/L	150	218.20	No Aceptable
Temperatura	°C	<35	12.33	Aceptable

Fuente: MINAM Decreto Supremo N° 003-2010

En el cuadro se observa que al comparar los valores observados en el efluente con los LMP establecidos en el D.S. N° 003 – 2010 – MINAM, se deduce que el nivel de contaminación es alto ya que los contaminantes potenciales (DBO5, DQO). Superan los LMP en casi del doble. Contaminando y afectando de este modo a la vida acuática existente en el río Ajoyani. Con lo cual se deduce que el agua residual del efluente no cumple con los LMP para poder ser vertidas al cuerpo receptor, contaminando y afectando a la vida acuática existente en el río Ajoyani.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) encontrada en el sistema es alta ya que superan los límites máximos permisibles y para la protección ecológica es necesario disminuir la carga orgánica (DBO_5) de las aguas residuales. Para lograr de esta manera que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores se vea menos comprometido, con el consiguiente beneficio para los peces y demás organismos acuáticos.

La demanda química de oxígeno (DQO) debe ser monitoreado en las descargas de aguas residuales ya que es un contaminante potencial (ácido) y afecta al cuerpo receptor destruyendo los seres vivientes microscópicos, en el efluente se puede notar un valor de 330.03 mg/L. El cual está muy por encima del valor de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N° 003 – 2010 – MINAM. Que es de 200 mg/L.

No se realizó la evaluación del parámetro de COLIFORMES TERMO TOLERANTES en base a los límites máximos permisibles (LMP), puesto que este tipo de análisis no lo realiza ningún laboratorio en la ciudad de puno. Y no fue posible realizar el análisis correspondiente.

4.1.5.2. SEGUNDA ETAPA

4.1.5.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA DEL PROBLEMA

La Operación y Mantenimiento: Una de las causas del mal funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani es la mala operación y mantenimiento del sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización. El cumplimiento de este objetivo está condicionado por la correcta realización de la operación y el mantenimiento de las diferentes etapas que conforman el sistema de tratamiento.

La degradación de algunas estructuras: Así como los vertedores de control y la infiltración de la laguna primaria N° 02, son las causas para la pérdida de caudal mediante la infiltración al subsuelo, esto implica una contaminación al medio ambiente

Un esquema de tratamiento: solo tiene estructuras de lagunas primarias y secundarias, no tiene un tratamiento preliminar o primario.

4.1.5.2.2. DEFINIR ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para la mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani es necesaria la realización de alternativas y actividades como la operación y mantenimiento correspondiente, así también construir nuevas infraestructuras para el mejor tratamiento, manejo y cuidado del sistema de lagunas y la planta de tratamiento en general.

a) Infiltración

La variable que permite controlar la infiltración es la permeabilidad del suelo. La compactación del terreno es el método más adecuado. Si las características del suelo no permiten asegurar una adecuada impermeabilización por compactación, debe emplearse alguna otra técnica adicional así como:

- Aplicación de una capa de suelo arcilloso.
- Empleo de suelo – cemento.
- Uso de geo membranas.

b) Operación de Lagunas

El objetivo principal de un sistema de tratamiento de agua residual es depurar el agua residual hasta unos niveles acordes con la normativa vigente y proporcionar una correcta integración de esta agua residual con el entorno, y obtener los mejores rendimientos posibles.

- ❖ Deben controlarse el caudal de aguas residuales tanto los canales, vertedores y tuberías de distribución de las lagunas primarias y secundarias como las interconexiones entre lagunas y las salidas de aguas tratadas, con el fin de asegurar una buena distribución en los afluentes y efluentes de las lagunas.
- ❖ Es parte de la operación rutinaria el efectuar un recorrido diario por las instalaciones y anotar las observaciones detectadas en el terreno. Se debe verificar si la distribución de caudales es equitativa por los diversos ramales.
- ❖ Con ayuda de cepillo, se debe limpiar periódicamente los vertederos y juntas de las compuertas de los dispositivos de salida de las lagunas para evitar la formación de capas de espuma y/o algas. Utilizar un rastrillo, para retirar los sólidos retenidos. Luego enterrarlos en un sitio asignado para ello

Existen seis puntos principales de control en las lagunas de estabilización: las lagunas en sí, a la entrada y a la salida de ella. Los diversos análisis y mediciones realizados en cada uno de esos puntos serán utilizados para determinar cómo se está desarrollando el proceso de tratamiento, para prevenir las alteraciones operacionales que fuesen necesarias y para verificar la eficiencia del sistema.

En un sistema de una laguna, el operador debe realizar el control de la profundidad de la lámina de agua. Cuando el sistema proyectado incluye múltiples lagunas en serie y/o en paralelo, el operador posee un mayor número de opciones para el control, tales como:

- ✓ Transferir el líquido de una laguna a otra para corregir un problema de deficiencia de oxígeno.
- ✓ Variar la profundidad de la lámina de agua para el control de la vegetación y de las larvas de mosquitos.
- ✓ Aislar una laguna que se torna anaerobia o permitir que haya una aclimatación de los microorganismos para asimilar una carga de

residuos de tóxicos.

- ✓ Alterar el régimen de operación en serie o en paralelo para redistribuir las cargas orgánicas en las diferentes lagunas.

Se deberá contemplar su seguimiento diario, constituido por observaciones directas de cada unidad y el registro oportuno de cualquier situación que indique un funcionamiento fuera de lo normal, es decir, apariencia y color indeseado, desbalances en el pH, etc. Estos factores pueden acusar desajustes en la situación biológica de la masa de agua en la laguna y ocasionar efectos ambientales adversos.

c) Mantenimiento de Lagunas

En lo que respecta a mantenimiento, es necesario efectuar las siguientes actividades:

✓ Mantenimiento del Tratamiento Preliminar

Las aguas residuales contienen trapos, desperdicios, pedazos de madera, arena, etc. que deben ser removidos antes de ingresar a las unidades de tratamiento a través de un separador de sólidos, estos que pueden obstruir cañerías, canaletas, orificios, etc. que una vez admitidas en la planta, son de difícil remoción y pueden afectar posteriormente el proceso de tratamiento.

Cuando se observe que la reja esté desgastada, proceder a cambiarla con la de repuesto e inmediatamente, mandar a hacer otra que se guardará como repuesto.

- ❖ Realizar el cambio en la hora que se observe el menor flujo de agua.
- ❖ Limpiar las herramientas utilizadas.
- ❖ Anotar la fecha del cambio de reja en el cuaderno de mantenimiento.

✓ Mantenimiento en Lagunas

- ❖ No permitir la entrada de personas extrañas.

- ❖ Chequear que la distribución de caudal en el cajón de llegada, esté de acuerdo a lo fijado, especialmente cuando haya varias entradas a la laguna. Debe tenerse la misma altura de agua en las bocas de las tuberías que salen del cajón de distribución o en los vertederos de división de caudal o vertederos regulables.
- ❖ Verificar que se mantengan rigurosamente los niveles de agua y los caudales de operación, de común acuerdo con el ingeniero responsable.
- ❖ Recorrido general de la instalación.

✓ **Remoción de Lodos de las Lagunas**

Se debe de realizar la remoción del manto de lodos en las lagunas, ya que esta se encuentra en una capa de más de 1.20m. y de esta forma lograr que se amplíe el periodo de retención y por ende mejorar la remoción de la carga orgánica. Es recomendable realizar la limpieza de lodos por cada año de operación.

✓ **Limpieza de las natas y material flotante de las lagunas**

Es fundamental realizar la limpieza de natas y material flotante periódicamente ya que esta influye en el proceso biológico, así también obstruye el normal funcionamiento de la laguna evitando la producción de oxígeno por el efecto de la fotosíntesis.

Es necesario realizar también actividades de mantenimiento como:

- ❖ Limpieza del material vegetal en los diques, riego de la grama sembrada en los taludes y corte de la misma.
- ❖ Limpieza de los sedimentos y material de acarreo en las cunetas de coronación y canal de desvío.
- ❖ Mantenimiento de los diques para minimizar el efecto erosivo de las aguas de lluvia como curado de grietas y, de la capa de rodadura.
- ❖ Mantenimiento de las instalaciones asociadas a la planta, como: caminos de acceso, áreas verdes.

d) Construcciones Adicionales

Es necesario realizar la construcción de infraestructura secundaria que permitan mejorar la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ajoyani, así también mejorar la calidad de agua en el efluente:

- ✓ Separador de Sólidos
- ✓ Medidor de Caudal
- ✓ Reactores Biológicos
- ✓ Naves para Macrófitas
- ✓ Batería de Filtros Lentos (salida con el hipoclorador)
- ✓ Digestor de Lodos
- ✓ Losa de Compostaje
- ✓ Casa de Operaciones
- ✓ Mejoramiento de estructuras existentes

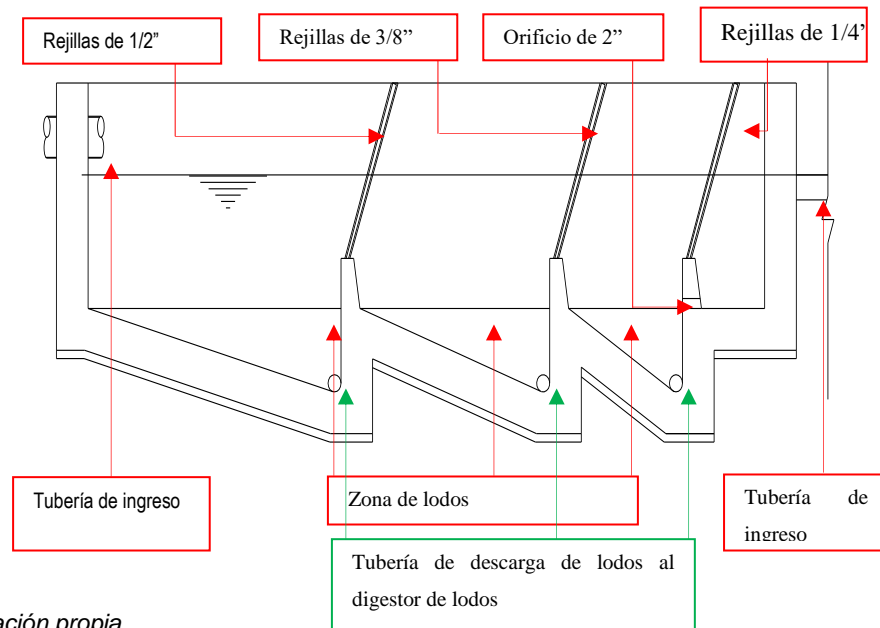
4.1.6. PROPUESTA DE TRATAMIENTO

4.1.6.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

a) SEPARADOR DE SOLIDOS

Esta cámara o estructura cumple la función de tamizar material no degradable como plásticos, maderas, condones, sachetts, esponjas, etc., para extraerlos en forma manual y luego enterrarlos o llevarlos a un depósito de basura. También cumple la función depositar sedimentos en el fondo. La estructura contiene tres rejas con aberturas separadas a $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{4}$ " en cada una de ellas. Las aguas que pasan las tres rejas contienen material de menor tamaño para llevarlo a las siguientes estructuras, los sedimentos depositados en el fondo del separador de sólidos se descargarán por tubería al digestor de lodos controlado por una válvula de paso de 110 mm como mínimo. Cada vez que se realice mantenimiento.

FIGURA N° 31: Separador de Sólidos

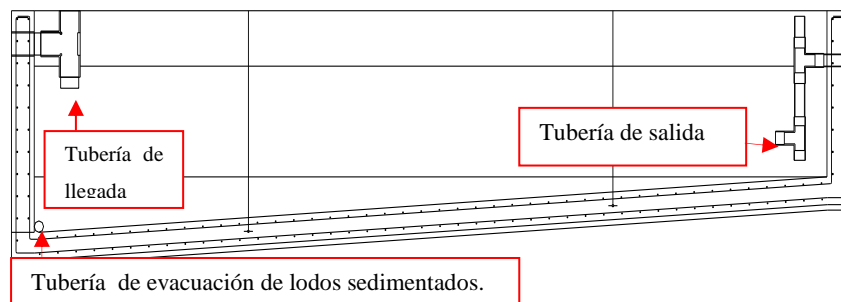


FUENTE: Elaboración propia

Para facilitar la remoción de sólidos y evitar sedimentar particular orgánicas se diseñó el desarenador según método Neerlandés tomando como base una carga superficial de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, valor probado con muy buena eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. Las tres rejillas dispuestas para el cribado y desbaste del agua son las responsables de la resistencia opuesta al paso del agua, por ello el diseño del desarenador aparece calculado con base en el cribado y no precisamente en el desarenador. Teniendo en cuenta que la criba opone resistencia, se toma como base una carga hidráulica o capacidad de cribado de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, con el fin de evitar represamiento por taponamiento de las mallas.

b) DESGRASADOR O SEPARADOR DE GRASAS: Esta estructura es diseñada para la remoción de grasas y aceites, porque cantidades excesivas de grasa pueden dificultar tratamientos subsiguientes, es una estructura de flotación donde las grasas y aceites salen a la superficie, y son retenidas mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas, además en esta estructura se pueden sedimentar algunas partículas que han pasado la estructura anterior.

FIGURA N° 32: Desgrasador

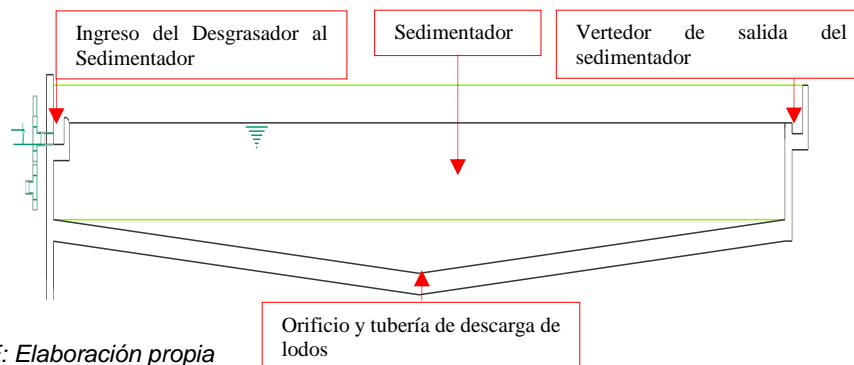


FUENTE: Elaboración propia

4.1.6.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

a) **SEDIMENTADOR:** Uno de los problemas del distrito de Ajoyani es la afluencia de partículas gruesas que ingresan al sistema de desagüe ocasionalmente por los patios sin pavimentar de las viviendas y algunos por los buzones. El sistema de desagüe está diseñado para conducir y mejorar la calidad del agua residual producto del uso doméstico en cada vivienda. El sedimentador permite decantar las partículas de mayor peso antes de pasar por otras estructuras. Esta se enviará al digestor de lodos mediante una tubería abriendo la válvula de control.

FIGURA N° 33: Sedimentador



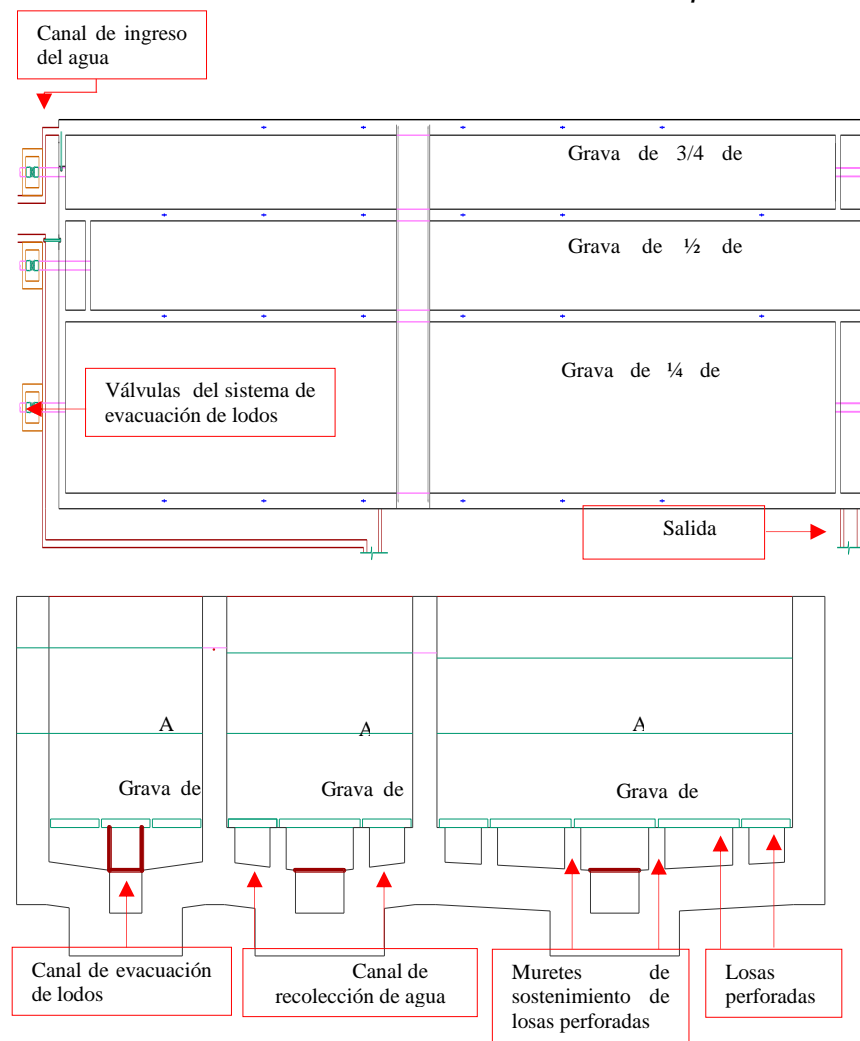
FUENTE: Elaboración propia

4.1.6.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

a) **FILTRO VERTICAL MÚLTIPLE:** La batería de filtros verticales permite disminuir los sedimentos y continuar el proceso biológico porque en el material granular se forman capas zoogiales que ayudan a descontaminar el agua disminuyendo un alto porcentaje de bacterias. Los filtros son tres naves rectangulares de diferente ancho, con material granular de dos diámetros

distintos, un diámetro en cada nave. Para el mantenimiento de la estructura los sedimentos se envían al digestor de lodos mediante tubería.

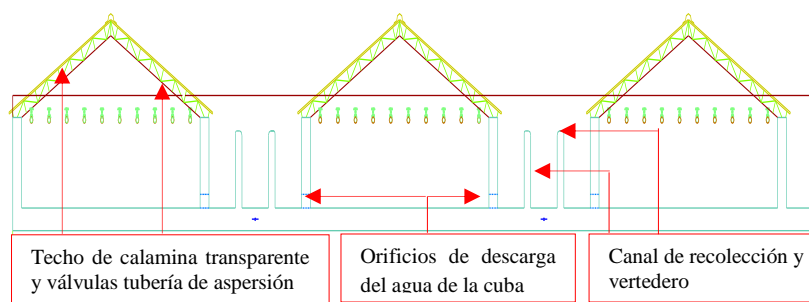
FIGURA N° 34: Filtro Vertical Múltiple



FUENTE: Elaboración propia

b) REACTORES BIOLÓGICOS: El reactor biológico permite desarrollar mejor el proceso biológico. En el material que se encuentra dentro de la cuba (piedra porosa) las bacterias se adhieren en la piedra generando los procesos de descontaminación. La evacuación del agua que ingresa a la cuba, después del proceso biológico sale por orificios que están en el piso, a un canal adyacente que vierte por la parte superior al conducto que la lleva a la estructura de macrófitas. Este sistema permite mantener la roca sumergida en agua favoreciendo la proliferación de la capa zoogel.

FIGURA N° 35: Reactor Biológico



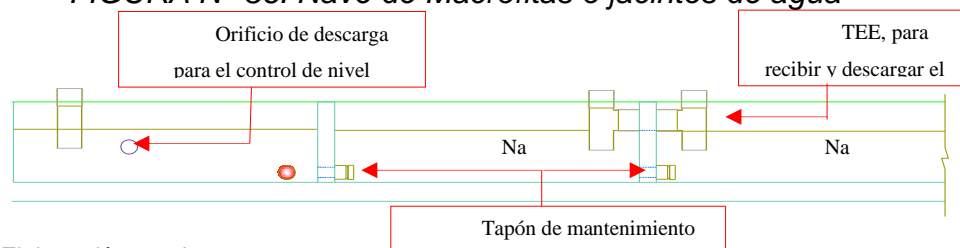
FUENTE: Elaboración propia

c) LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EXISTENTES: Las lagunas de estabilización son estanques para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.

4.1.6.4. TRATAMIENTO TERCARIO

a) NAVES PARA MACRÓFITAS: Como tratamiento avanzado se tiene un sistema de tratamiento acuático en donde se aplican las aguas residuales sobre humedales artificiales (pozas) con el propósito de remover sus contaminantes, para ello se utilizará la lenteja como planta acuática. Las dimensiones y el número de baterías para macrófitas son diseñados con fines de tratar las aguas, estas baterías funcionarán al mismo tiempo esto hace que incremente la eficiencia en la remoción química de nutrientes. Las naves tienen accesorios que impiden el paso de una a otra batería de las macrófitas. Los compuestos orgánicos complejos que hay en las aguas negras sufren los mismos procesos de descomposición de la materia orgánica en la naturaleza y constituyen parte de los ciclos biogeoquímicos de N, P, C, S y otros. Las pozas representan ecosistemas acuáticos acondicionados artificialmente. La lenteja de agua constituye un medio eficaz de absorción de nutrientes que existen en exceso en el agua en tratamiento.

FIGURA N° 36: Nave de Macrófitas o jacintos de agua



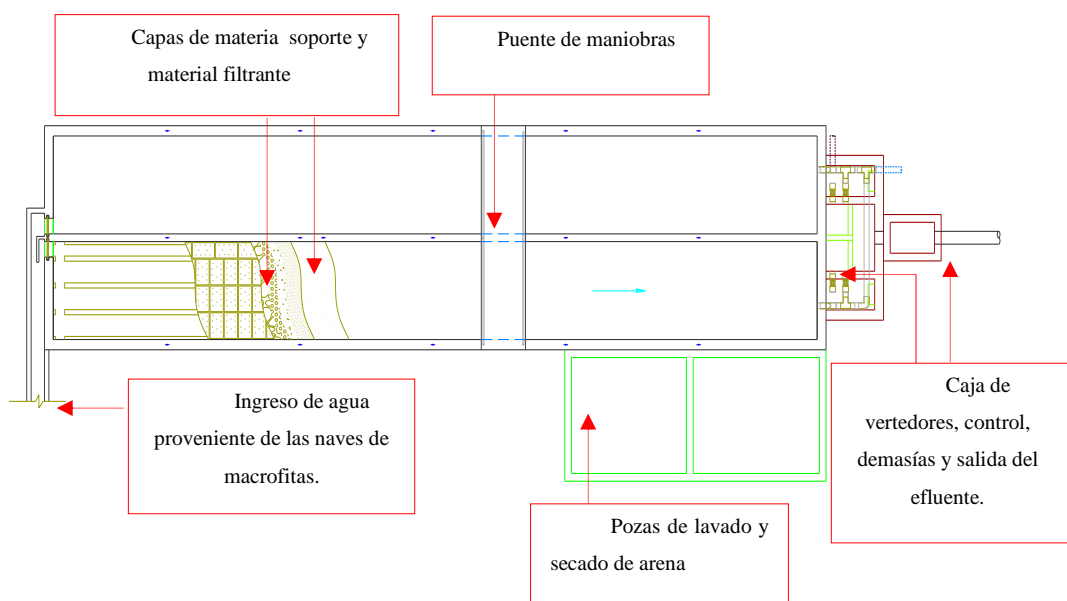
FUENTE: Elaboración propia

b) BATERÍA DE FILTROS LENTOS (salida con el hipoclorador): La función principal es de crear una capa zoogel que permita establecer procesos de degradación bacteriana y disminuir la turbidez del agua. El agua llega por la parte superior, atraviesa los estratos de material filtrante, es inducida hacia el canal inferior, sale por el orificio sumergido ubicado en la rasante de la losa de fondo, a la cámara que eleva el nivel del agua hasta el vertedor para reunir los dos flujos en un pequeño compartimiento donde colocaran el hipoclorador con cloro para la desinfección final si fuera necesaria y evacuarla al tubo de descarga del efluente.

La composición del lecho filtrante será de cuatro capas soporte de grava de diferente diámetro sobre losas perforadas de concreto armado que a su vez están apoyadas en muros longitudinales haciendo canales con pendiente en dirección al orificio de salida. Encima de la última capa de soporte está el lecho filtrante de arena de grano medio. El efluente está conectado al filtro por un tubo de 10 pulgadas de diámetro.

El sistema para mantenimiento general es por la parte inferior, está controlado por válvulas en cada lado, para cada cámara; y el control de agua a nivel de raspado se hará con un tubo de 4 pulgadas de diámetro conectado a la tubería de descarga del vertedor de demasías del buzón de ingreso, regulado por válvula de compuerta. Para lavar la arena de raspado y secarla, con el fin de colocarla en la capa filtrante nuevamente, a los costados están ubicados los tanques de lavado y las losas de secado.

FIGURA N° 37: Filtro Lento

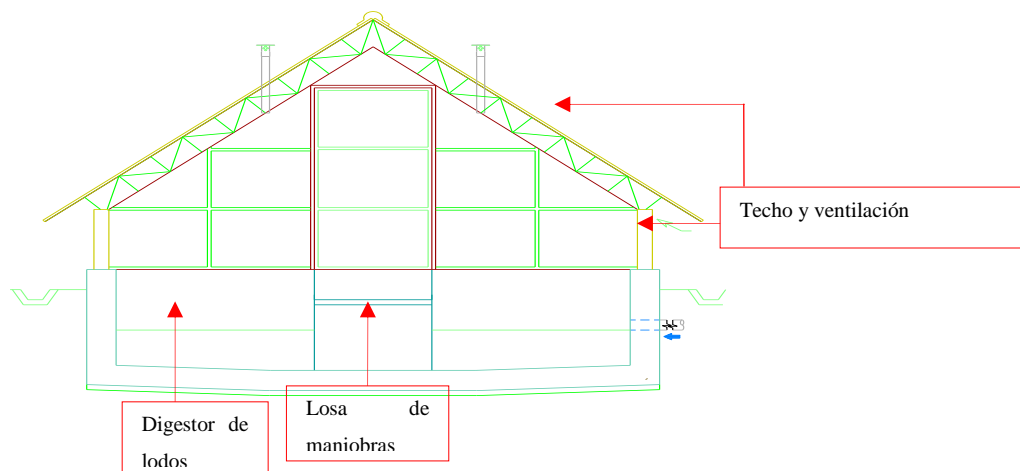


FUENTE: Elaboración propia

4.1.6.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

a) **DIGESTOR DE LODOS:** A él llegan todos los lodos sedimentados en las estructuras para el proceso de deshidratación. La estructura esta formada por muros de baja altura, donde se apoya el tijeral metálico forrado con plástico y sobre él la cubierta de clamina transparente, de tal forma que concentre el calor y permita la evaporación rapida, en el techo estan emplazados varios tubos de ventilación. Al centro en sentido longitudinal esta ubicada la losa de maniobras, apoyada sobre pequeños muros en tramos cortos dejando espacios que permiten el paso del lodo por debajo de ella hacia cada lado.

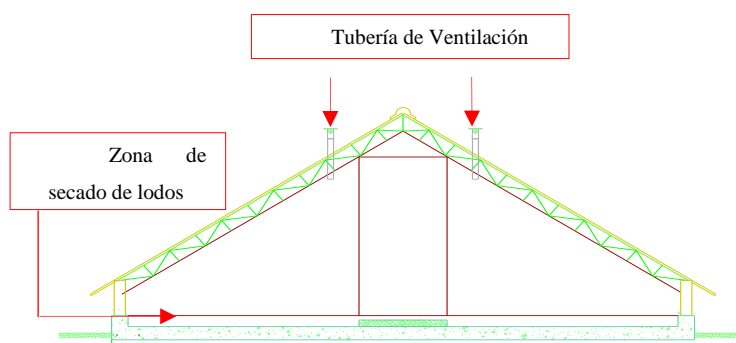
FIGURA N° 38: Digestor de Lodos



FUENTE: Elaboración propia

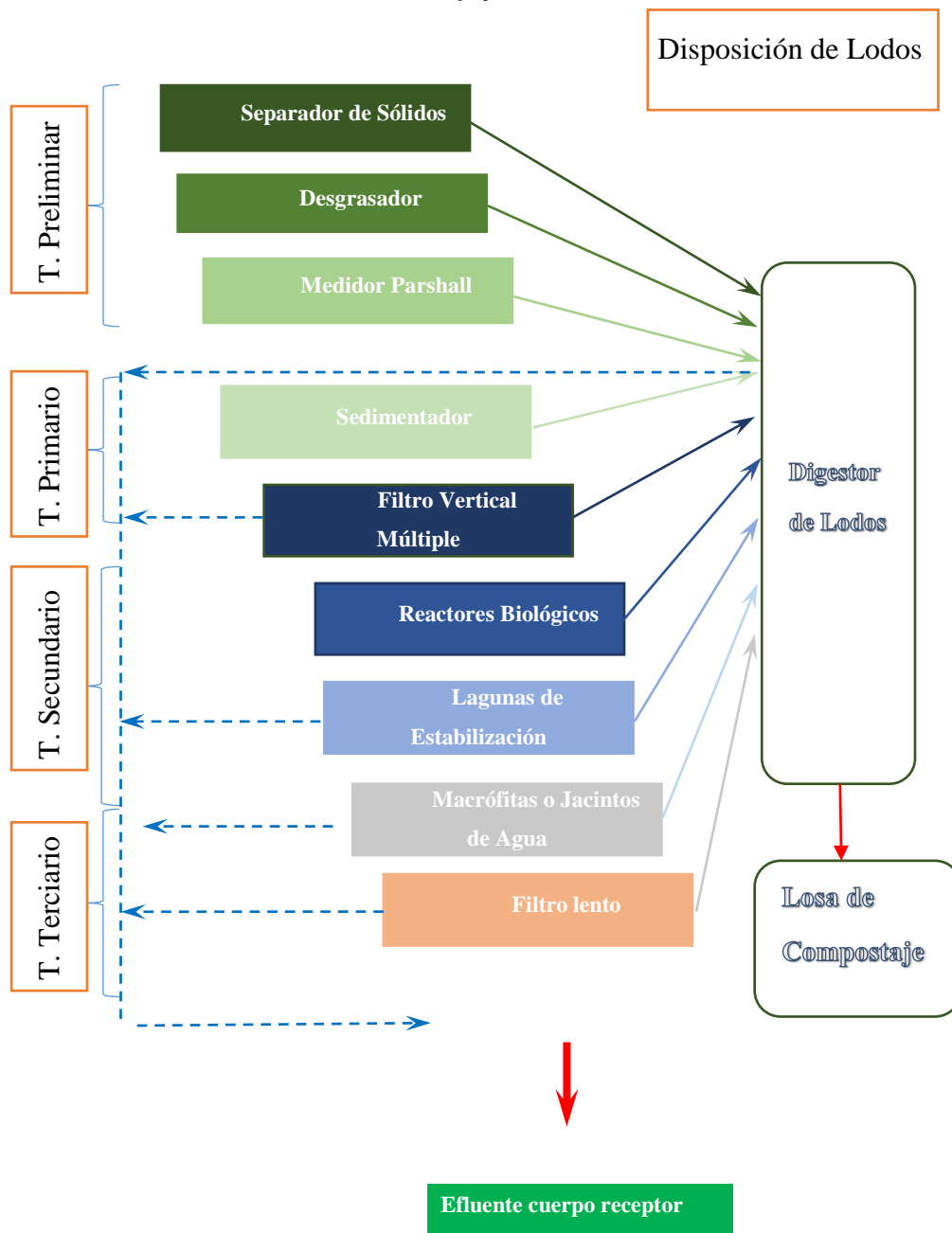
b) LOSA DE COMPOSTAJE: Después del proceso de deshidratación y estabilización del lodo, cuando el material esta semiseco, es transportado por medios manuales hasta la losa de compostaje, utilizando carretilla. Esta estructura es similar al digestor de lodos porque su función es terminar el secado del material, deshinibirlo de microorganismos y compostarlo si fuera el caso mezclandolo con totora, lenteja u otro elemento y sacar el abono orgánico para utilizarlo en chacra. La losa de compostaje esta cubierta por calamina transparente apoyada sobre tijerales y correas metálicos forrados con plástico.

FIGURA N° 39: Losa de Compostaje



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 40: Circuito de Recorrido de la Propuesta de Tratamiento del Distrito de Ajoyani



FUENTE: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- ❖ Se realizó la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR existente en la ciudad de Ajoyani, se determinó la situación actual, basándonos en los parámetros físicos, químicos y biológicos. Pudiéndose determinar que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO₅ 80.59% teniendo 850.28 mg/L en afluente y 165.01 mg/L en el efluente, lo cual significa de falta reducir por lo menos hasta 100 mg/L según reglamento. En el caso del DQO su eficiencia es de 80.59% teniendo 1700.48 mg/L en afluente y 330.03 mg/L en el efluente, lo cual significa de falta reducir por lo menos hasta 200 mg/L según reglamento, en Aceites y Grasas se mantiene, Sólidos totales en suspensión 7.77%. También se determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 55.14% y Coliformes Fecales 41.93%. Al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D.S. N° 003 – 2010 – MINAM, se concluye que el nivel de contaminación es alto ya que los contaminantes potenciales (DBO₅, DQO). Superan los LMP, contaminando y afectando de este modo a la vida acuática existente.
- ❖ Se plantea una propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani, para el buen funcionamiento del mismo, considerando las etapas de tratamiento según el RNE OS.090. Se adaptó al sistema las siguientes estructuras: separador de sólidos, desgrasador, medidor parshall, sedimentador, filtro vertical múltiple, reactor biológico, nave de macrófitas o jacintos de agua, filtro lento, digestor de lodos, losa compostaje. Esto fin de cumplir con el vertimiento de aguas residuales al río establecidos en el D.S. N° 003 – 2010 – MINAM.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar el mantenimiento de la planta de tratamiento en los periodos oportunos, el cual consistirá en actividades de limpieza de lodos, natas y sólidos suspendidos en las lagunas facultativas, así como en las nuevas estructuras de propuesta.

- ❖ Es fundamental la construcción de estructuras adicionales así como: mejoramiento de vertedores de control y conexión entre lagunas primarias y secundarias, mejoramiento de las lagunas colocando geo membranas para evitar la filtración al subsuelo, una casa para el operador, todo esto para que permita mejorar la eficiencia en el tratamiento del agua residual provenientes de las redes colectoras, con el propósito de lograr una calidad de efluente adecuada que este entre los límites máximos permisibles de vertido de aguas residuales al cuerpo receptor.

- ❖ Es necesario realizar gestiones para poder implementar nuevos sistemas con mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales que se adapten a la realidad del altiplano puneño, que vaya de acuerdo a los cambios de la tecnología y conservando nuestro medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

METCALF & EDDY. (1996). *Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. México: McGraw –Hill / Interamericana Editores.

CUERVO, H. (1987). *Evaluación Hidráulica y Optimización de las Lagunas de Estabilización de la Compañía Nacional de Chocolates*. Rionegro, Antioquia.

ALANOCA, N. (2008). *Evaluación de la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y biológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización en llave*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

JILAJA, R. (2010). *Tratamiento de aguas residuales por filtración biológica en dos barrios del distrito de Asillo*. Tesis para optar título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.

CORREA, G. (2008). *Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de santa fe de Antioquia, Colombia*. Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Sanitaria Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Sanitaria d Ambiental Maestría en Ingeniería Medellín.

CRITES, R. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. USA: McGraw – Hill. 550 p.

CRITES R, TCHOBANOGLIOUS G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: Editorial McGraw-Hill.

GAITAN M, ÁREAS MF. (2001). Monografía: *Evaluación modular de la calidad de las aguas de Lagunas de Mazaya*.

GUEVARA, VA. (1996). *Propuesta metodológica evaluación de lagunas de estabilización primera aproximación*. OPS/C.E.P.I.S. Lima – Perú

JARQUIN, GF. (2003). *Evaluación Operacional de las Lagunas de Estabilización*. León, Nicaragua.

LEÓN, SG. (1995). *Aspectos generales y principios básicos de los sistemas de lagunas de estabilización*. Santiago de Cali, Colombia. 12-14 de julio de 1995, Seminario Internacional / Lagunas de estabilización.

NOYOLA, A. (2003). *Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Cartagena (Colombia).

Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de estabilización*.

PALACIOS, FS, (1991). *Proyecto Ecológico e Hidráulico de Tratamiento de Aguas Residuales*. Miraflores, Lima, Perú.

RNE, D.S. N° 011 - 2006 – VIVIENDA, TITULO II, HABILITACIONES URBANAS; II.3. OBRAS DE SANEAMIENTO, OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

ROMERO, J. (2001). *Tratamiento de Aguas residuales por Lagunas de Estabilización*. Bogota Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Tercera Edición.

ROLIM, M.S. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Santa Fe Bogotá, Colombia: Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA.

RUIZ, I. (2001). *Tratamiento de Aguas residuales*. Granada - España.

SÁENZ, FR. OPS/OMS, (1992). *Predicción de la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización*. Washington, D. C.

SAENZ, FR. (1985). *Lagunas de Estabilización y Otros Sistemas Simplificados para el Tratamiento de aguas Residuales*. CEPIS/OPS.

SÁNCHEZ, V. (1995). *Características biológicas y microbiológicas de las aguas residuales*. Costa Rica.

TCHOBANOGLIOUS, G. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. México.

YAÑES, CF. (1996). *Manual de Métodos Experimentales: Evaluación de lagunas de estabilización en Serie*. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO.



FOTO N° 01: Se observa las lagunas primarias de estabilización distribuidas en paralelo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR del Distrito de Ajoyani - Carabaya – Puno



FOTO N° 02: Se observa caja de ingreso a la laguna primaria N° 01 de la PTAR sin ningún tipo de control de ingreso, ni tapa de concreto, esto perjudica el buen funcionamiento de la PTAR.



FOTO N° 03: Se observa la recolección de datos y el diagnóstico de laguna secundaria N° 04 de la PTAR.



FOTO N° 04: Se observa la recolección de datos y el diagnóstico de las cámaras o vertedores de conexión entre las lagunas primarias N° 01 y secundarias N° 03 de la PTAR del distrito de Ajoyani.



FOTO N° 05: Se observa la recolección de muestras de agua residual (Afluente y Efluente) de la PTAR de Ajoyani, luego son llevadas al Laboratorio de Ing. Química de la UNA PUNO antes de 24 horas.



FOTO N° 06: Se observa la filtración de agua residual por el talud de la laguna primaria N° 02, escurriendo directamente al río.

ANEXO 02: CERTIFICADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE QUIMICA 03691



LQ-2013

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL: AFLUENTE AL SISTEMA DE TRATAMIENTO

PROCEDENCIA : Laguna de estabilización del Distrito de Ajoyani, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno

INTERESADO : Bach. Julio Cesar Callata Barrantes

MOTIVO : Ejecución de tesis "Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización, del distrito de Ajoyani"

MUESTREO : M-1; 07/11/2013, M-2; 14/11/2013, M-3; 21/11/2013

ANÁLISIS : M-1; 08/11/2013, M-2; 15/11/2013, M-3; 22/11/2013

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Gris ligero
OLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FISICAS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Unidades
Potencial de Hidrógeno	7,20	7,20	7,40	Unid. pH
Temperatura	12,00	13,00	13,00	°Celsius
Conductividad Eléctrica	472,00	480,67	485,89	Micro S/cm
Oxígeno Disuelto	3,00	2,50	2,00	mg/L
Sólidos Totales Suspendedos	241,18	237,56	230,98	mg/L
Sólidos Totales Disueltos	229,00	248,56	256,78	mg/L
Sólidos Totales	470,18	486,12	487,06	mg/L
Materia Orgánica	0,155	0,161	0,169	mg/L

CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Unidades
DBO ₅	840,11	854,33	856,39	mg/L
DQO	1680,00	1708,67	1712,78	mg/L
Nitrógeno (org. + amoniacal, NK)	48,52	48,98	48,90	mg/L
Fosforo total como P	4,20	4,37	4,40	mg/L
Grasas y Aceites	0,011	0,012	0,012	mg/L

Puno, C.U. 29 de Noviembre del 2013.



Walter B. Aparicio Aragon Ph. D.
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO



Julio Cesar Callata Barrantes
JEFATURA
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ingeniería Química - Pabellón 94 - Telefax: (051)366142 - 352992



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE QUIMICA 03692



IQ-2013

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL: EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

PROCEDENCIA : Laguna de estabilización del Distrito de Ajoyani, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno

INTERESADO : Bach. Julio Cesar Callata Barrantes

MOTIVO : Ejecución de tesis "Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización, del distrito de Ajoyani"

MUESTREO : M-1; 07/11/2013, M-2; 14/11/2013, M-3; 21/11/2013

ANÁLISIS : M-1; 08/11/2013, M-2; 15/11/2013, M-3; 22/11/2013

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Verde ligero
OLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Unidades
Potencial de Hidrógeno	7,20	7,30	7,40	Unid. pH
Temperatura	12,00	12,00	13,00	°Celsius
Conductividad Eléctrica	374,00	379,27	385,80	Micro S/cm
Oxígeno Disuelto	2,00	2,10	2,00	mg/L
Sólidos Totales Suspendidos	219,45	217,43	217,71	mg/L
Sólidos Totales Disueltos	180,40	190,56	186,68	mg/L
Sólidos Totales	399,85	407,99	404,39	mg/L
Materia Orgánica	0,150	0,165	0,162	mg/L

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Unidades
DBO ₅	160,00	167,45	167,59	mg/L
DQO	320,00	334,90	335,18	mg/L
Nitrógeno (org. + amoniacal, NK)	43,92	43,04	42,90	mg/L
Fosforo total como P	2,90	3,19	2,98	mg/L
Grasas y Aceites	0,012	0,011	0,012	mg/L

Puno, C.U. 29 de Noviembre del 2013.



Walther B. Aparicio Aragón Ph. D.
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Química
Laboratorio de Química
PUNO - PERU
Ing. GERMÁN QUILLES CALIZAYA
Jefe Laboratorio Control de Calidad
FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ingeniería Química - Pabellón 94 - Telefax: (051)366142 - 352992



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
 DIRECCION DE ESTUDIOS DE LA CARRERA PROFESIONAL DE MEDICINA
 TELEF. 352912 - 352021 - APARTADO 291 - C.U.



RESULTADO DE ANALISIS BACTEREOLOGICO

MUESTRA : Afluente al sistema de Tratamiento
 PROCEDENCIA : Laguna de estabilización del Dist. de Ajoyani, Prov. de Carabaya, Dpto. de Puno
 INTERESADO : Bach. Julio Cesar Callata Barrantes
 ANALISIS SOLICITADO : Bacteriológico
 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : M-1- 07/11/2013; M-2 - 14/11/2013; M-3 - 21/11/2013
 FECHA DE ANALISIS : M-1- 07/11/2013; M-2 - 14/11/2013; M-3 -21/11/2013

RESULTADOS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 1	Muestra - 1	Unidades
Coliformes totales (10 ⁴)	1.15	1.21	1.12	(NMP/100 ml)
Escherichia Coli (10 ³)	5.67	5.78	5.72	(NMP/100 ml)

OBSERVACIONES: la muestra se recepcionó en laboratorio.-----

Puno, C. U. 27 de Noviembre del 2013.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

DIRECCION DE ESTUDIOS DE LA CARRERA PROFESIONAL DE MEDICINA

TELEF. 352912 - 352021 - APARTADO 291 - C.U.



RESULTADO DE ANALISIS BACTEREOLÓGICO

MUESTRA : Efluente del sistema de Tratamiento
 PROCEDENCIA : Laguna de estabilización del Dist. de Ajoyani, Prov. de Carabaya, Dpto. de Puno
 INTERESADO : Bach. Julio Cesar Callata Barrantes
 ANALISIS SOLICITADO : Bacteriológico
 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : M-1- 07/11/2013; M-2 - 14/11/2013; M-3 - 21/11/2013
 FECHA DE ANALISIS : M-1- 07/11/2013; M-2 - 14/11/2013; M-3 -21/11/2013

RESULTADOS

Parámetro	Muestra - 1	Muestra - 1	Muestra - 1	Unidades
Coliformes totales (10 ³)	4.95	5.41	5.25	(NMP/100 ml)
Escherichia Coli (10 ³)	3.55	3.05	3.37	(NMP/100 ml)

OBSERVACIONES: la muestra se recepcionó en laboratorio.-----

Puno, C. U. 27 de Noviembre del 2013.

Jorge Carlos Erisancho
 F I O C G O
 CEP 2109

ANEXO 03: CÁLCULOS.

MODELOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO OPERACIONAL Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

1. Carga Total Aplicada (Cta)

$$Cta = 86.4(Qa * DBO_5) \rightarrow (kg.DBO_5 / dia)$$

Dónde:

Cta: Carga Total Aplicada (kg/día).
 Qa: Caudal Promedio del Afluente (L/s)
 DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno del Afluente (g/L)

Qa= 2.14 L/s.
 DBO₅= 0.85 g/L.
 Cta= 156.85 kg /día

2. Carga Superficial Aplicada a la Laguna (Csa)

$$Csa = \frac{Cta}{Área} \rightarrow (kg.DBO_5 / Has * día)$$

Dónde:

Cta: Carga Total Aplicada (kg. DBO₅/día).
 Área: Extensión Superficial de la Laguna (Has)

Cta= 156.85 kg. DBO₅/día
 Área= 0.1908 Has. (Primaria y Secundaria)
 Csa= 822.04 kg. DBO₅/Has*día

3. Carga Superficial Limite Admisible para Lagunas Facultativas (Csm)

a) Norma de Saneamiento S 090 - Reglamento Nacional de Edificaciones

$$Csm = 250 * (1.05)^{(t-20)} \rightarrow (kg.DBO_5 / Has * día)$$

Dónde:

t= 12.67 Temperatura Promedio del Agua en (°C)
 Csm= 174.83 kg DBO 5/Has*día

b) CEPIS – Yanez

$$Csm = 357.4 * (1.085)^{(t-20)} \rightarrow (kg.DBO_5 / has.día)$$

$$C_{sm} = 196.54 \quad \text{kg DBO}_5/\text{Has} \cdot \text{día}$$

c) Mc Garry y Pescod (cuando no se encuentra datos de temperatura)

$$C_{sm} = 400.6 * (1.0993)^{(t_{ai}-20)} \rightarrow (\text{kg.DBO}_5 / \text{Has} * \text{día})$$

Dónde:

$t_{ai} = 17.71$	Temperatura Promedio del aire en el mes más frío (Celsius)
$C_{sm} = 322.52$	kg DBO ₅ /Has*día

4. Tiempo de Retención Hidráulico

$$PR_{Real} = PR_{Teorico} * Fch \rightarrow (\text{días})$$

$$PR_{teorico} = \frac{V}{Qa} \rightarrow (\text{días})$$

Dónde:

$V = 1434.40$	Volumen de la Laguna en m ³
$Qa = 184.50$	Caudal afluente a la laguna en m ³ /día
$Fch = 0.60$	Factor de corrección (0.3 a 0.8)
$PR \text{ teórico} = 7.77$	días
$PR \text{ real} = 4.66$	días

5. Constante de Biodegradabilidad de la DBO a 20 °C (K 20 °C)

$$K = \frac{PR}{(A + B * PR)}$$

$$K_{20}^{\circ C} = \frac{PR}{(-14.77 + 4.46 * PR)} \rightarrow (d^{-1})$$

$$K_{20}^{\circ C} = 0.77$$

6. Constante de Biodegradabilidad de la DBO a la Temperatura (Kt) del agua

$$K_t = K_{20}^{\circ C} * \theta^{(t-20)}$$

Dónde:

$K_{20}^{\circ C} = 0.77$	Velocidad de reacción a 20 °C
$\theta = 1.085$	Coefficiente actividad temperatura (1.085) para degradaciones de DBO
$t = 17.71$	Temperatura a que funcionan las lagunas primarias y secundarias
$Kt = 0.64$	

7. Factor de Dispersión en Lagunas de Estabilización

$$d = \frac{L/B}{(-0.26118 + 0.25392*(L/B) + 1.01368*(L/B)^2)}$$

Dónde:

L=	54.0	Largo de la laguna (m)
B=	27.0	Ancho de la laguna (m)
d=	0.46	

8. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO**a) Materia Orgánica Removida Según Metodología del CEPIS**

$$C_{sr} = 7.67 + 0.8063 * C_{sa} \rightarrow (kg.DBO_5 / Has.día)$$

Dónde:

C _{sa} =	822.04	Carga Superficial Aplicada (kg. DBO ₅ /Has*día)
C _{sr} =	670.48	DBO removido (kg. DBO/Has*día)
Eficiencia=	81.56	%

b) Remoción de la Materia Orgánica según Modelo en Equilibrio Continuo y Mezcla Completa

$$S = \frac{S_a}{(1 + K_t * PR)} \rightarrow (mg / L)$$

Dónde:

S _a =	850.28	DBO ₅ total afluente (mg/L)
K _t =	0.64	Constante de Biodegradabilidad
PR=	4.66	Periodo de Retención (días)
S=	213.03	DBO ₅ Soluble del Efluente (mg/L)
Eficiencia=	74.95	%

9. EFICIENCIA DE REMOCIÓN COLIFECAL**a) Tasa de Mortabilidad Neta de Coliformes Fecales (K_b)**

$$K_b = 0.84 * 1.07^{(t-20)} \rightarrow (d^{-1})$$

Dónde:

t=	12.67	Temperatura del agua de desecho (°C)
K _b =	0.51	

b) Modelo de Marais - Shaw (Mezcla Completa) para Reducción de Coliformes

$$N = \frac{N_o}{(1 + K_b * PR)} \rightarrow (NMP / 100mL)$$

$$Eficiencia = \frac{No - N}{No} * 100 \rightarrow (NMP / 100mL)$$

Dónde:

N°= 5723.33	Conteo de Coliformes fecales en el afluente (NMP/100mL)
Kb= 0.51	Tasa de mortalidad de coliformes (d ⁻¹)
PR= 4.66	Periodo de retención por módulos (Días)
N= 1690.422	NMP/100mL
Eficiencia= 70.46	%

c) Modelo de Werhner y Wilhelm (Flujo disperso para reducción de bacterias)

$$N = \frac{No * (4ae^{(1/2d)})}{((1+a)^2 * e^{a/2d} - (1-a)^2 * e^{-a/2d})} \rightarrow NMP / 100mL$$

$$a = (1 + 4 * K_b * d * PR)^{1/2} \rightarrow (Adimensional)$$

Dónde:

N°= 5723.33	Conteo de Coliformes fecales en el afluente (NMP/100mL)
a= 4.53	Constante del Modelo
e= 2.72	Exponencial
d= 0.60	Factor de dispersión
N= 178.69	Conteo de Coliformes fecales en el afluente (NMP/100mL)
Eficiencia= 96.88	%

CALCULO HIDRÁULICO DE LA RED COLECTORA Y EMISOR DE AGUAS RESIDUALES DE LA LOCALIDAD DE AJOYANI

1.- NOMBRE DEL PROYECTO:

"EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI - CARABAYA - PUNO - 2013 "

DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

A.- POBLACIÓN CALCULADA AL 2,033 (Población Futura)	3,098.00
B.- DOTACIÓN (L/HAB/DÍA)	180
C.- CONSUMO PROMEDIO ANUAL (L/s) Q p= Pob. x Dot./86,400	6.45
D.- CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES (L/día) Qprom. = 0.80 * Pob.* Dot./1,000	446.11
E.- CAUDAL MÁXIMO HORARIO (L/s) Qmáx. horario = 2.00 x Qprom.	10.33
F.- CAUDAL DE INFILTRACIÓN (L/s)	1.61
RED COLECTORA	1.58
Longitud total de la red (Km.)	7.91
Tasa de Contribución de Infiltración Varia entre 0.05 a 1.00 L/s/Km.	0.20
EMISOR	0.03
Longitud total de la red (Km.)	0.16
Tasa de Contribución de Infiltración Varia entre 0.05 a 1.00 L/s/Km.	0.20
G.- CONTRIBUCIÓN SINGULAR (L/s)	1.54
Aporte Por Precipitación en la Zona ((mm/día/m ²)/86,400.00)	
Precipitación Máxima Maximorum de la Zona a 3 Días en mm	121.90
Escorrentía por Hectárea	4.70
Área Neta del Proyecto (Has)	27.23
Coficiente en Función al área del Proyecto	0.030
< de 10 Has	0.02
> de 10 Has	0.03
Coficiente de Aporte en Función a las Condiciones Locales	0.40
Varia	0.40
H.- CAUDAL DE DISEÑO DE LA RED COLECTORA m ³ /s.	0.01345
APORTE UNITARIO m ³ /s/m	0.000002



Número Buzón Superior	Número Buzón Inferior	Cota Rasmussen Inc.	Cota Rasmussen Leg.	Buzón Inc.	Buzón Leg.	Cota Fondo Superior	Cota Fondo Leg.	Prof. Buzón Superior	Prof. Buzón Inferior	Longitud Tramo	Caudal Tramo	Q. Mínimo del Tramo	S. Pendiente	D. Teórico	D. Práctico	Velocidad Tramo	v	θ	Y	Área m ²	K	Ángulo	Área m ²	Perímetro m	Radio Hdr.	Tramite	Caudal a Sección	Velocidad a Sección	Relación q/Cb	YD	Relación V/D	Veloc. Real	So. Mín.	Tensión Trabaja
1	01	4279261	4278960	4278261	4277860	100	170	8528	0.00014	0.00150	0.0117	0.061	0.192	0.56	0.47	1.541	0.0272	0.02950	5.83E-12	269.67	0.0286	0.152	0.0283	0.0320	1.103	0.047	14.75	0.511	0.593	0.0045	2.02			
2	02	4279360	4277974	4277260	4276344	170	163	5045	0.00023	0.00150	0.0182	0.056	0.192	0.66	0.56	1.441	0.0239	0.02007	3.05E-12	274.53	0.0228	0.143	0.016	0.0255	0.0398	1.371	0.038	13.27	0.479	0.656	0.0045	2.84		
3	03	4277974	4276988	4276344	4275428	163	156	5045	0.00032	0.00150	0.0192	0.056	0.192	0.66	0.56	1.441	0.0239	0.02007	3.05E-12	274.53	0.0228	0.143	0.016	0.0255	0.0398	1.371	0.038	13.27	0.479	0.656	0.0045	2.84		
4	04	4276988	4276127	4275428	4274567	156	156	5050	0.00040	0.00150	0.0170	0.057	0.192	0.64	0.54	1.455	0.0243	0.02013	3.33E-12	273.95	0.0234	0.144	0.016	0.0259	0.0386	1.329	0.039	13.48	0.483	0.642	0.0045	2.70		
5	05	4275127	4274266	4273567	4272706	156	156	5050	0.00049	0.00150	0.0170	0.057	0.192	0.64	0.54	1.455	0.0243	0.02013	3.33E-12	273.95	0.0234	0.144	0.016	0.0259	0.0386	1.329	0.039	13.48	0.483	0.642	0.0045	2.70		
6	06	4274266	4273334	4272706	4272139	156	170	5050	0.00057	0.00150	0.0172	0.057	0.192	0.64	0.54	1.463	0.0243	0.02012	3.35E-12	273.94	0.0233	0.144	0.016	0.0259	0.0387	1.334	0.039	13.45	0.483	0.644	0.0045	2.72		
7	07	4273334	4272381	4271839	4271371	170	183	5050	0.00066	0.00150	0.0172	0.057	0.192	0.64	0.54	1.463	0.0243	0.02012	3.35E-12	273.94	0.0233	0.144	0.016	0.0259	0.0387	1.334	0.039	13.45	0.483	0.644	0.0045	2.72		
8	08	4272381	4271454	4270839	4270368	183	189	6775	0.00078	0.00150	0.0194	0.058	0.192	0.67	0.56	1.426	0.0234	0.02002	2.75E-12	275.23	0.0223	0.142	0.016	0.0251	0.0411	1.417	0.038	13.07	0.474	0.672	0.0045	2.99		
9	09	4271454	4270529	4269945	4269474	189	195	6775	0.00089	0.00150	0.0194	0.058	0.192	0.67	0.56	1.426	0.0234	0.02002	2.75E-12	275.23	0.0223	0.142	0.016	0.0251	0.0411	1.417	0.038	13.07	0.474	0.672	0.0045	2.99		
10	10	4270529	4269604	4269019	4268548	195	195	6775	0.00101	0.00150	0.0194	0.058	0.192	0.67	0.56	1.426	0.0234	0.02002	2.75E-12	275.23	0.0223	0.142	0.016	0.0251	0.0411	1.417	0.038	13.07	0.474	0.672	0.0045	2.99		
11	11	4269604	4268680	4268095	4267619	195	182	4337	0.0007	0.00150	0.0045	0.073	0.154	0.41	0.35	2.169	0.0409	0.03986	2.44E-11	239.97	0.0383	0.161	0.023	0.0385	0.0109	0.889	0.137	25.05	0.701	0.413	0.0045	1.00		
12	12	4268680	4267759	4267174	4266698	182	185	1648	0.00010	0.00150	0.0045	0.073	0.154	0.41	0.35	2.171	0.0410	0.03997	2.46E-11	239.76	0.0384	0.161	0.023	0.0385	0.0109	0.887	0.138	25.09	0.701	0.412	0.0045	1.00		
13	13	4267759	4266838	4266253	4265772	185	180	6175	0.00122	0.00150	0.0141	0.059	0.240	0.58	0.49	1.248	0.0226	0.02016	4.43E-12	283.96	0.0237	0.159	0.016	0.0255	0.0635	1.402	0.024	10.81	0.416	0.583	0.0045	2.23		
14	14	4266838	4265914	4265329	4264854	180	165	6175	0.00133	0.00150	0.0141	0.059	0.240	0.58	0.49	1.248	0.0226	0.02016	4.43E-12	283.96	0.0237	0.159	0.016	0.0255	0.0635	1.402	0.024	10.81	0.416	0.583	0.0045	2.23		
15	15	4265914	4264990	4264405	4263930	165	143	4352	0.0007	0.00150	0.0078	0.066	0.154	0.50	0.42	1.987	0.0349	0.0316	1.08E-11	248.46	0.0300	0.150	0.020	0.0336	0.0143	0.772	0.105	21.87	0.648	0.500	0.0045	1.53		
16	16	4264990	4264066	4263481	4263006	143	165	4352	0.00015	0.00150	0.0078	0.066	0.154	0.50	0.42	1.986	0.0348	0.0316	1.08E-11	248.51	0.0300	0.150	0.020	0.0336	0.0143	0.774	0.105	21.86	0.648	0.501	0.0045	1.53		
17	17	4263481	4262557	4261972	4261497	165	118	8996	0.00163	0.00163	0.0175	0.058	0.240	0.64	0.54	1.239	0.0223	0.02021	4.15E-12	284.45	0.0233	0.158	0.016	0.0252	0.0707	1.961	0.023	10.48	0.413	0.644	0.0044	1.73		
18	18	4262557	4261632	4261047	4260572	118	118	4430	0.00008	0.00150	0.0052	0.071	0.154	0.43	0.36	2.119	0.0392	0.0373	1.97E-11	242.22	0.0345	0.158	0.022	0.0371	0.0117	0.633	0.128	24.16	0.866	0.434	0.0045	1.12		
19	19	4261632	4260707	4260122	4259647	118	116	4430	0.00015	0.00150	0.0052	0.071	0.154	0.43	0.36	2.119	0.0392	0.0373	1.97E-11	242.22	0.0345	0.158	0.022	0.0371	0.0117	0.633	0.128	24.16	0.866	0.434	0.0045	1.12		
20	20	4260707	4259782	4259197	4258722	116	143	3463	0.00184	0.00184	0.0199	0.060	0.240	0.70	0.59	1.260	0.0230	0.0222	4.84E-12	283.41	0.0263	0.161	0.016	0.0258	0.0756	1.687	0.024	10.76	0.420	0.700	0.0044	3.20		
21	21	4259782	4258857	4258272	4257797	143	193	3335	0.00189	0.00189	0.0223	0.059	0.240	0.73	0.62	1.250	0.0227	0.0224	4.45E-12	283.38	0.0238	0.160	0.016	0.0255	0.0799	1.762	0.024	10.83	0.417	0.734	0.0044	3.53		
22	22	4258857	4257932	4257347	4256872	193	193	5372	0.00019	0.00150	0.0074	0.062	0.154	0.48	0.40	1.667	0.0311	0.0305	1.17E-11	264.13	0.0313	0.161	0.019	0.0317	0.0254	0.875	0.059	16.20	0.547	0.479	0.0045	1.41		
23	23	4257932	4257007	4256422	4255947	193	204	9058	0.00214	0.00214	0.0218	0.062	0.240	0.76	0.63	1.302	0.0246	0.0244	6.75E-12	281.32	0.0283	0.165	0.017	0.0272	0.0789	1.742	0.027	11.33	0.434	0.755	0.0038	3.67		
24	24	4257007	4256082	4255497	4255022	204	204	5822	0.00009	0.00150	0.0137	0.059	0.192	0.59	0.50	1.505	0.0260	0.0234	4.84E-12	271.40	0.0252	0.149	0.017	0.0273	0.0345	1.190	0.043	14.21	0.489	0.594	0.0045	2.28		
25	25	4256082	4255157	4254572	4254097	204	195	8985	0.00239	0.00239	0.0230	0.061	0.240	0.86	0.72	1.288	0.0241	0.0237	6.05E-12	281.98	0.0277	0.164	0.017	0.0268	0.0911	2.011	0.026	11.15	0.429	0.683	0.0037	4.81		
26	26	4255157	4254232	4253647	4253172	195	161	5198	0.00009	0.00150	0.0068	0.068	0.154	0.48	0.40	1.632	0.0363	0.0335	1.34E-11	246.32	0.0315	0.152	0.021	0.0348	0.0133	0.720	0.112	22.65	0.681	0.476	0.0045	1.37		
27	27	4254232	4253307	4252722	4252247	161	195	5198	0.00018	0.00150	0.0068	0.068	0.154	0.48	0.40	1.632	0.0363	0.0335	1.34E-11	246.36	0.0315	0.152	0.021	0.0348	0.0133	0.721	0.112	22.63	0.681	0.476	0.0045	1.37		
28	28	4253307	4252382	4251797	4251317	195	174	3700	0.00263	0.00263	0.0197	0.069	0.154	0.80	0.67	2.865	0.0374	0.0350	1.66E-11	244.74	0.0327	0.154	0.021	0.0357	0.0222	1.199	0.118	23.23	0.671	0.804	0.0035	3.88		
29	29	4252382	4251457	4250872	4250397	174	153	3545	0.00269	0.00269	0.0197	0.070	0.154	0.81	0.68	2.881	0.0380	0.0356	1.67E-11	244.00	0.0332	0.155	0.021	0.0361	0.0222	1.198	0.121	23.50	0.676	0.809	0.0035	3.91		
30	30	4251457	4250532	4249947	4249472	153	155	6663	0.00280	0.00280	0.0198	0.070	0.154	0.84	0.70	2.980	0.0393	0.0360	1.74E-11	243.58	0.0335	0.156	0.021	0.0363	0.0228	1.232	0.123	23.86	0.678	0.835	0.0034	4.16		
31	31	4250532	4249607	4249022	4248547	155	157	6663	0.00280	0.00280	0.0198	0.071	0.154	0.84	0.71	2.980	0.0393	0.0360	1.74E-11	243.58	0.0335	0.156	0.021	0.0363	0.0228	1.232	0.128	24.14	0.686	0.845	0.0033	4.23		
32	32	4249607	4248682	4248097	4247622	157	157	6663	0.00280	0.00280	0.0198	0.071	0.154	0.84	0.71	2.980	0.0393	0.0360	1.74E-11	243.58	0.0335	0.156	0.021	0.0363	0.0228	1.232	0.128	24.14	0.686	0.845	0.0033	4.23		
33	33	4248682	4247757	4247172	4246697	157	160	5877	0.00010	0.00150	0.0214	0.055	0.154	0.72	0.60	1.692	0.0259	0.0206	2.38E-12	282.44	0.0210	0.131	0.016	0.0262	0.0237	1.281	0.063	17.05	0.558	0.715	0.0045	3.36		
34	34	4247757	4246832	4246247	4245772	160	120	5810	0.00020	0.00150	0.0141	0.059	0.154	0.62	0.52	1.806	0.0292	0.0246	4.42E-12	281.01	0.0243	0.138	0.016	0.0290	0.0193	1.041	0.078	18.87	0.593	0.618	0.0045	2.43		
35	35	424																																



55	98	59	4.254.953	4.254.930	4.253.943	4.253.115	0.84	1.08	42.48	0.00027	0.01050	0.01448	0.068	0.154	0.63	0.53	1.793	0.0268	0.00241	4.13E-12	257.64	0.00239	0.137	0.017	0.0267	0.0197	1.066	0.076	18.66	0.589	0.628	0.0046	2.32
56	99	60	4.254.199	4.253.797	4.253.115	4.252.487	1.08	1.31	42.48	0.00035	0.01050	0.01448	0.068	0.154	0.63	0.53	1.793	0.0268	0.00241	4.13E-12	257.64	0.00239	0.137	0.017	0.0267	0.0197	1.066	0.076	18.66	0.589	0.628	0.0046	2.32
57	60	66	4.252.017	4.252.014	4.252.014	4.252.014	1.31	1.31	100.03	0.00546	0.00546	0.0178	0.092	0.154	0.37	0.62	2.860	0.0685	0.00648	1.51E-10	216.75	0.00561	0.192	0.029	0.0526	0.037	1.170	0.232	34.24	0.832	0.974	0.0025	5.11
58	66	76	4.252.014	4.250.937	4.250.704	4.245.837	1.31	3.10	95.18	0.00593	0.00593	0.0811	0.075	0.154	0.48	1.20	2.248	0.0436	0.00433	3.39E-11	236.19	0.00383	0.166	0.024	0.0407	0.0367	1.982	0.153	26.47	0.772	1.433	0.0024	11.86
59	66	90	4.252.014	4.250.937	4.250.937	4.250.937	1.31	3.10	45.06	0.00593	0.00593	0.0811	0.075	0.154	0.48	1.20	2.248	0.0436	0.00433	3.39E-11	236.19	0.00383	0.166	0.024	0.0407	0.0367	1.982	0.153	26.47	0.772	1.433	0.0024	11.86
60	90	91	4.250.409	4.250.706	4.250.706	4.251.406	1.31	1.30	45.06	0.00015	0.01050	0.01699	0.057	0.154	0.66	0.55	1.795	0.0277	0.00228	3.7E-12	259.45	0.00228	0.135	0.017	0.0277	0.0211	1.140	0.071	18.05	0.579	0.659	0.0046	2.81
61	91	93	4.250.706	4.251.406	4.251.406	4.256.366	1.30	1.38	42.14	0.00022	0.01050	0.01699	0.057	0.154	0.73	0.63	1.654	0.0248	0.00194	1.91E-12	264.26	0.00194	0.128	0.016	0.0253	0.0255	1.377	0.059	16.46	0.546	0.752	0.0046	3.76
62	93	95	4.257.746	4.256.100	4.256.366	4.264.420	1.38	1.76	59.53	0.00033	0.01050	0.0227	0.050	0.154	0.83	0.70	1.893	0.0228	0.00172	1.25E-12	267.66	0.00181	0.124	0.016	0.0238	0.0254	1.585	0.051	15.37	0.524	0.831	0.0046	4.88
63	94	95	4.256.100	4.256.100	4.256.366	4.264.420	1.38	1.76	45.95	0.00008	0.01050	0.0225	0.060	0.154	0.59	0.50	1.841	0.0303	0.00259	5.3E-12	258.36	0.00253	0.140	0.018	0.0289	0.0382	0.990	0.083	19.44	0.604	0.592	0.0046	2.22
64	95	96	4.256.062	4.256.121	4.254.862	4.264.644	1.20	1.48	42.90	0.00007	0.01050	0.0262	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0394	0.00375	2.01E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
65	96	99	4.256.121	4.256.100	4.254.864	4.264.420	1.48	1.76	42.36	0.00015	0.01050	0.0262	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0393	0.00375	2E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
66	96	99	4.256.121	4.256.100	4.254.864	4.264.420	1.48	1.76	42.36	0.00015	0.01050	0.0262	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0393	0.00375	2E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
67	100	99	4.252.298	4.252.272	4.254.016	4.263.592	1.27	1.63	44.84	0.00008	0.01050	0.0397	0.063	0.154	0.54	0.45	1.918	0.0227	0.00268	7.9E-12	251.72	0.00277	0.145	0.019	0.0318	0.0360	0.962	0.094	20.71	0.627	0.541	0.0046	1.81
68	99	104	4.252.272	4.254.624	4.253.982	4.263.064	1.63	1.56	33.37	0.00078	0.01050	0.01555	0.058	0.154	0.64	0.41	2.007	0.0284	0.00236	3.83E-12	258.29	0.00235	0.136	0.017	0.0283	0.0202	1.092	0.074	18.43	0.585	0.639	0.0046	2.82
69	105	104	4.254.624	4.254.624	4.253.700	4.263.064	1.25	1.84	50.17	0.00009	0.01050	0.0273	0.067	0.154	0.49	0.41	2.007	0.0355	0.00324	1.98E-11	241.51	0.00307	0.151	0.020	0.0341	0.0319	0.748	0.108	22.72	0.684	0.483	0.0046	1.45
70	104	110	4.253.700	4.253.700	4.253.664	4.261.860	1.40	1.84	61.91	0.00011	0.01050	0.0292	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0394	0.00375	2E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
71	110	119	4.253.700	4.253.700	4.253.664	4.261.860	1.40	1.84	61.91	0.00011	0.01050	0.0292	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0394	0.00375	2E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
72	110	119	4.253.700	4.253.700	4.253.664	4.261.860	1.40	1.84	61.91	0.00011	0.01050	0.0292	0.071	0.154	0.43	0.36	2.123	0.0394	0.00375	2E-11	242.03	0.00347	0.138	0.022	0.0372	0.0117	0.629	0.129	24.24	0.688	0.433	0.0046	1.11
73	118	119	4.252.628	4.252.357	4.250.948	4.260.357	1.78	2.00	42.88	0.00007	0.01050	0.01015	0.061	0.154	0.57	0.48	1.885	0.0311	0.00268	5.01E-12	254.18	0.00261	0.142	0.018	0.0305	0.0374	0.940	0.086	19.84	0.612	0.575	0.0046	4.19
74	120	119	4.252.403	4.252.357	4.250.753	4.260.357	1.65	2.00	61.82	0.00011	0.01050	0.0064	0.068	0.154	0.47	0.39	2.049	0.0369	0.00343	1.55E-12	258.98	0.00190	0.126	0.015	0.0244	0.0274	1.477	0.055	15.91	0.535	0.790	0.0046	4.19
75	119	125	4.252.357	4.250.988	4.250.357	4.259.033	2.00	1.86	56.65	0.00441	0.01050	0.0234	0.054	0.154	0.74	0.62	1.888	0.0329	0.00198	2.09E-12	263.98	0.00203	0.129	0.016	0.0256	0.0248	1.340	0.080	16.68	0.551	0.738	0.0046	3.61
76	125	131	4.250.988	4.259.419	4.259.033	4.257.709	1.86	1.71	56.64	0.00050	0.01050	0.0234	0.054	0.154	0.74	0.62	1.888	0.0329	0.00198	2.09E-12	263.98	0.00203	0.129	0.016	0.0256	0.0248	1.340	0.080	16.68	0.551	0.738	0.0046	3.61
77	130	131	4.250.988	4.259.419	4.259.033	4.257.709	1.86	1.71	49.74	0.00008	0.01050	0.0096	0.063	0.154	0.54	0.45	1.890	0.0327	0.00268	7.8E-12	251.61	0.00278	0.145	0.019	0.0319	0.0369	0.959	0.084	20.75	0.628	0.540	0.0046	1.80
78	131	136	4.250.988	4.259.419	4.259.033	4.257.709	1.86	1.71	49.74	0.00008	0.01050	0.0096	0.063	0.154	0.54	0.45	1.890	0.0327	0.00268	7.8E-12	251.61	0.00278	0.145	0.019	0.0319	0.0369	0.959	0.084	20.75	0.628	0.540	0.0046	1.80
79	135	136	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
80	136	140	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
81	140	145	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
82	97	107	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
83	97	98	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
84	98	101	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
85	101	109	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
86	109	108	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
87	108	107	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41	2.000	0.0363	0.00322	1.15E-11	241.82	0.00304	0.150	0.020	0.0340	0.0340	0.756	0.107	22.10	0.652	0.493	0.0046	1.48
88	107	113	4.250.685	4.259.411	4.257.709	4.265.941	1.36	1.53	52.91	0.00009	0.01050	0.0074	0.066	0.154	0.49	0.41																	

115	130	4.259787	4.258696	4.258187	4.257335	1.60	1.36	42.51	0.00078	0.00160	0.0200	0.055	0.154	0.70	0.93	1.709	0.0264	0.00212	2.61E-12	261.64	0.00215	0.132	0.016	0.0286	0.0230	0.653	0.827	0.086	2.114	0.635	0.529	0.0045	1.70																									
116	129	4.259911	4.259037	4.258261	4.257777	1.65	1.26	43.36	0.00007	0.00150	0.0112	0.062	0.154	0.57	0.48	1.874	0.0313	0.00271	6.29E-12	257.76	0.00264	0.142	0.019	0.0307	0.0172	0.926	0.926	0.087	1.939	0.614	0.569	0.0045	2.03																									
117	133	4.259996	4.259037	4.258151	4.257777	0.85	1.26	38.99	0.00007	0.00150	0.0096	0.063	0.154	0.54	0.46	1.920	0.0328	0.00289	7.89E-12	251.59	0.00278	0.145	0.019	0.0319	0.0159	0.868	0.868	0.084	20.76	0.628	0.539	0.0045	1.80																									
118	134	4.259037	4.258695	4.257777	4.257335	1.26	1.36	58.62	0.00024	0.00150	0.0075	0.066	0.154	0.50	0.41	1.996	0.0352	0.00320	1.13E-11	245.01	0.00303	0.150	0.020	0.0338	0.0141	0.761	0.761	0.106	22.04	0.651	0.495	0.0045	1.49																									
119	135	4.256995	4.257428	4.257335	4.255438	1.36	1.99	70.43	0.00114	0.00150	0.0269	0.052	0.154	0.78	0.65	1.631	0.0242	0.00187	1.68E-12	265.33	0.00193	0.127	0.015	0.0248	0.0267	1.438	1.438	0.056	16.11	0.539	0.776	0.0045	4.03																									
120	139	4.257428	4.255511	4.255688	4.253681	1.99	1.83	70.03	0.00125	0.00150	0.0251	0.053	0.154	0.76	0.63	1.650	0.0247	0.00193	1.87E-12	264.46	0.00198	0.128	0.015	0.0252	0.0257	1.388	1.388	0.058	16.39	0.545	0.757	0.0045	3.81																									
121	134	4.259037	4.256730	4.257777	4.255650	1.26	1.08	80.24	0.00014	0.00150	0.0265	0.052	0.154	0.77	0.65	1.636	0.0243	0.00188	1.72E-12	265.14	0.00194	0.127	0.015	0.0248	0.0264	1.427	1.427	0.057	16.18	0.541	0.772	0.0045	3.98																									
122	138	4.256730	4.255479	4.255650	4.254184	1.08	1.30	53.56	0.00023	0.00150	0.0274	0.052	0.154	0.78	0.65	1.627	0.0241	0.00185	1.64E-12	265.33	0.00192	0.127	0.015	0.0247	0.0269	1.450	1.450	0.056	16.05	0.538	0.780	0.0045	4.08																									
123	143	4.255479	4.255511	4.254184	4.253681	1.30	1.83	54.74	0.00022	0.00150	0.0092	0.064	0.154	0.53	0.44	1.934	0.0332	0.00295	8.42E-12	250.96	0.00282	0.146	0.019	0.0322	0.0156	0.840	0.840	0.086	20.98	0.632	0.531	0.0045	1.74																									
124	146	4.255724	4.255710	4.254454	4.254039	1.27	1.67	9.25	0.00242	0.00150	0.0449	0.057	0.154	1.07	0.89	1.749	0.0276	0.00226	3.27E-12	259.70	0.00226	0.134	0.017	0.0276	0.0344	1.866	1.866	0.070	17.96	0.576	1.070	0.0036	7.40																									
125	144	4.255511	4.255710	4.255710	4.253681	1.67	2.08	63.10	0.00011	0.00150	0.0449	0.057	0.154	0.37	0.31	2.281	0.0448	0.00449	3.88E-11	234.59	0.00405	0.168	0.024	0.0416	0.0094	0.506	0.506	0.160	27.07	0.732	0.570	0.0045	0.79																									
126	145	4.255710	4.254454	4.254039	4.253681	2.08	2.78	15.00	0.00455	0.00455	0.1307	0.059	0.154	1.88	1.57	1.805	0.0292	0.00245	4.39E-12	257.07	0.00242	0.138	0.018	0.0290	0.0587	3.168	3.168	0.078	18.68	0.593	1.879	0.0027	2.52																									
127	147	4.254454	4.253620	4.251670	4.250706	2.78	2.91	80.00	0.00469	0.00469	0.0120	0.093	0.154	0.81	0.68	2.701	0.0600	0.00871	1.71E-10	214.84	0.00579	0.195	0.030	0.0538	0.0178	0.982	0.982	0.263	35.03	0.843	0.814	0.0027	3.52																									
128	144	4.255511	4.253620	4.253881	4.252350	1.83	1.27	65.41	0.00169	0.00169	0.0203	0.058	0.154	0.73	0.61	1.789	0.0281	0.00232	3.63E-12	258.78	0.00232	0.136	0.017	0.0281	0.0232	1.250	1.250	0.073	16.27	0.592	0.728	0.0043	3.41																									
129	61	4.253620	4.253033	4.252350	4.251382	1.27	1.67	53.00	0.00647	0.00647	0.0186	0.097	0.154	1.04	0.88	2.800	0.0638	0.00727	2.33E-10	210.12	0.00624	0.201	0.031	0.0568	0.0222	1.197	1.197	0.282	37.01	0.867	1.037	0.0023	5.88																									
130	62	4.253033	4.252434	4.251382	4.250354	1.67	2.08	54.09	0.00656	0.00656	0.0186	0.097	0.154	1.04	0.88	2.815	0.0643	0.00735	2.44E-10	209.44	0.00630	0.202	0.031	0.0573	0.0222	1.196	1.196	0.286	37.29	0.870	1.041	0.0023	5.71																									
131	64	4.252434	4.252397	4.250354	4.249617	2.08	2.78	79.45	0.00669	0.00669	0.0093	0.112	0.154	0.81	0.69	3.223	0.0799	0.00975	7.39E-10	189.81	0.00826	0.228	0.036	0.0702	0.0195	0.844	0.844	0.428	45.72	0.960	0.814	0.0023	3.29																									
132	68	4.252397	4.251643	4.249617	4.248729	2.78	2.91	22.97	0.00673	0.00673	0.0387	0.086	0.154	1.36	1.15	2.502	0.0627	0.00882	8.82E-11	224.20	0.00493	0.182	0.027	0.0479	0.0319	1.723	1.723	0.211	31.19	0.792	1.365	0.0022	10.28																									
133	63	4.252706	4.251643	4.250356	4.248729	2.25	2.91	29.57	0.00005	0.00150	0.0584	0.045	0.154	1.02	0.85	1.447	0.0192	0.00134	5.25E-13	274.24	0.00147	0.115	0.013	0.0205	0.0392	2.118	2.118	0.088	13.36	0.481	1.018	0.0045	7.34																									
134	67	4.251643	4.249817	4.248729	4.246257	2.91	3.56	63.96	0.00689	0.00689	0.0386	0.086	0.154	1.37	1.16	2.522	0.0634	0.00973	9.47E-11	223.26	0.00502	0.183	0.027	0.0485	0.0319	1.723	1.723	0.216	31.57	0.797	1.374	0.0022	10.38																									
135	148	4.254350	4.253180	4.253000	4.251625	1.35	1.56	88.30	0.00015	0.00150	0.0195	0.058	0.154	0.64	0.54	1.778	0.0284	0.00236	3.82E-12	258.34	0.00234	0.136	0.017	0.0283	0.0203	1.084	1.084	0.074	18.42	0.585	0.840	0.0045	2.63																									
136	149	4.253180	4.251600	4.251625	4.249840	1.56	1.76	74.30	0.00028	0.00150	0.0240	0.053	0.154	0.75	0.62	1.661	0.0250	0.00196	1.99E-12	263.92	0.00201	0.129	0.016	0.0294	0.0252	1.358	1.358	0.080	16.57	0.549	0.745	0.0045	3.68																									
137	65	4.251600	4.251240	4.250260	4.249685	1.35	1.56	45.40	0.00035	0.00150	0.0124	0.060	0.154	0.59	0.49	1.842	0.0303	0.00259	5.34E-12	255.28	0.00254	0.140	0.018	0.0299	0.0181	0.978	0.978	0.083	19.46	0.605	0.591	0.0045	2.21																									
138	69	4.251240	4.250879	4.249885	4.248119	1.56	1.76	45.48	0.00043	0.00150	0.0124	0.060	0.154	0.59	0.49	1.842	0.0303	0.00259	5.34E-12	255.28	0.00254	0.140	0.018	0.0299	0.0181	0.978	0.978	0.083	19.46	0.605	0.591	0.0045	2.21																									
139	74	4.250879	4.250351	4.249419	4.248722	1.76	2.23	44.90	0.00051	0.00150	0.0088	0.064	0.154	0.52	0.44	1.946	0.0336	0.00289	8.92E-12	250.39	0.00286	0.147	0.019	0.0325	0.0153	0.824	0.824	0.088	21.18	0.636	0.524	0.0045	1.69																									
140	73	4.250351	4.251024	4.248722	4.248324	2.23	2.70	45.04	0.00058	0.00150	0.0088	0.064	0.154	0.52	0.44	1.946	0.0336	0.00289	8.92E-12	250.39	0.00286	0.147	0.019	0.0325	0.0153	0.824	0.824	0.088	21.18	0.636	0.524	0.0045	1.69																									
141	72	4.251024	4.250423	4.248324	4.247294	2.70	3.13	54.00	0.00068	0.00150	0.0191	0.056	0.154	0.69	0.57	1.722	0.0268	0.00216	2.81E-12	261.00	0.00218	0.133	0.016	0.0289	0.0224	1.210	1.210	0.087	17.53	0.568	0.887	0.0045	3.08																									
142	71	4.250423	4.249817	4.247294	4.246257	3.13	3.56	54.39	0.00077	0.00150	0.0191	0.056	0.154	0.69	0.57	1.722	0.0268	0.00216	2.82E-12	260.99	0.00218	0.133	0.016	0.0289	0.0224	1.210	1.210	0.087	17.53	0.568	0.887	0.0045	3.08																									
143	70	4.249817	4.249109	4.246257	4.246009	3.56	3.10	67.54	0.00777	0.00777	0.0037	0.141	0.238	0.59	0.50	2.657	0.0893	0.01925	4.64E-09	217.84	0.01523	0.295	0.045	0.0804	0.0316	0.711	0.711	0.246	33.79	0.827	0.898	0.0021	1.61																									
144	75	4.249109	4.248937	4.246009	4.245837	3.10	3.10	26.53	0.00782	0.00782	0.0065	0.127	0.238	0.72	0.61	2.402	0.0759	0.01219	2.01E-09	228.92	0.01083	0.272	0.040	0.0696	0.0419	0.944	0.944	0.187	29.30	0.765	0.722	0.0021	2.53																									
TOTAL RED COLECTORA		7999.68																																																								
EMISOR																																																										
145	76	4.248937	4.248212	4.245837	4.245682	3.10	2.53	55.00	0.01346	0.01346	0.0028	0.182	0.240	0.62	0.53	3.352	0.0327	0.02868	3.55E-08	183.50	0.02718	0.370	0.059	0.1154	0.0284	0.627	0.627	0.474	48.47	0.986	0.619	0.0016	1.63																									
146	77	4.248212	4.247371	4.245837	4.245521	2.53	1.85	57.02	0.01347	0.01347	0.0028	0.182	0.240	0.62	0.53	3.352	0.0327	0.02868	3.55E-08	183.51	0.02718	0.370	0.059	0.1154	0.0284	0.627	0.627	0.474	48.47	0.986	0.619	0.0016	1.63																									
147	78	4.247371	4.246606	4.245521	4.245326	1.85	1.28	50.72	0.01348	0.01348	0.0038	0.171	0.240	0.69	0.59	3.160	0.0212	0.02893	2.26E-08																																							

CÁLCULOS DE ESTRUCTURAS ADICIONALES COMO PROPUESTA DE TRATAMIENTO

1. DISEÑO HIDRAULICO DE LA CAMARA DE REJAS O SEPARADOR DE SOLIDOS

Para facilitar la remoción de sólidos y evitar sedimentar particular orgánicas se diseñó el desarenador según método Neerlandés tomando como base una carga superficial de 3 m³/m².h, valor probado con muy buena eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. Las tres rejillas dispuestas para el cribado y desbaste del agua son las responsables de la resistencia opuesta al paso del agua, por ello el diseño del desarenador aparece calculado con base en el cribado y no precisamente en el desarenador. Teniendo en cuenta que la criba opone resistencia, se toma como base una carga hidráulica o capacidad de cribado de 3m³/m².h, con el fin de evitar represamiento por taponamiento de las mallas.

PARÁMETROS DE DISEÑO	CANT.	UND
Caudal máximo de aguas residuales	= 13.45	L/s
Carga hidráulica o capacidad de cribado	= 3.00	m ³ /m ² .h
Relación ancho/largo	=	1 : 5
Área necesaria para cribado	= 16.14	m ²
$A = \frac{Qm^3 / h}{CCm^3 / m^2 . h}$		
Sección de la Estructura:		
Ancho		
(a) =	1.80 m	= 1.80 m
Largo		
(l) =	8.98 m	= 9.00 m
Altura		
(h) =	0.80 m	= 0.80 m

2. DISEÑO HIDRAULICO DE DESGRASADOR

PARÁMETROS DE DISEÑO	CANT.	UND.
Caudal de diseño	= 13.45	L/s.
Periodo de retención hidráulica (Pr)	= 20.00	min.
	= 1200.00	s.
	= 0.33	horas
Velocidad ascendente	= 4.00	mm/s
Diámetro de entrada	= 50.00	mm (min)
Diámetro de salida	= 150.00	mm (min)
El extremo final del tubo de entrada deberá tener una sumergencia mínima de 15 cm. La boca del tubo de salida deberá localizarse por lo menos 15 cm, del fondo del tanque y con una sumergencia no menor de 0.90 m.		
Relación ancho/largo	=	1 : 4
Volumen del tanque		
V = Pr x Q	= 16.14	m ³
Altura Útil (H)	= 1.25	m

Área superficial del tanque $A = V / H$	=	12.91 m ²
Sección de la Estructura:		
Ancho (a)	=	1.80 m
Largo (l)	=	7.19 m
Altura (h)	=	1.25 m

3.DISEÑO HIDRAULICO DEL SEDIMENTADOR

PARÁMETROS DE DISEÑO	CANT.	UND.
Caudal de Diseño	=	13.45 L/s
	=	0.0135 m ³ /s
Grado de remoción	=	75.00 %
Diámetro de la partícula	=	0.04 mm
Temperatura	=	4 °C
Grado del Desarenador n	=	1
Relación ancho/longitud	=	1 : 6
gravedad	=	981 cm/s ²
Densidad del sólido	=	2.65
Densidad del líquido	=	1.00
Viscosidad cinemática μ	=	0.0157 cm ² /s

Viscosidad cinemática del agua

T °C	0	2	4	6	8	10	12	14	15	16
μ	0.0179	0.0176	0.0157	0.0147	0.0139	0.0131	0.0124	0.0117	0.0115	0.0111

Calculo de la velocidad de sedimentación

$$V_s = g/18 \times (\rho_s - \rho/\mu) \times d^2 = 0.092 \text{ cm/s}$$

Para n = 1 y remoción al 75 %
 $\emptyset/t = 3.00$

Para una profundidad H = 1.15 m

Tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo sería:

$$t = H/V_s = 1,252.47 \text{ s}$$

El periodo de retención hidráulica será (0.5 ≤ θ ≤ 4 hr)

$$\emptyset = 3,757.40 \text{ s} = 1.04 \text{ horas}$$

El volumen del tanque será

$$V = \emptyset \times Q = 50.54 \text{ m}^3$$

El área superficial

$$A_s = V/H = 43.95 \text{ m}^2$$

Secciones del tanque:

Calculado a emplearse

a = 2.71 m 2.70 m
 l = 16.24 m 16.25 m

4. DISEÑO HIDRAULICO DE PREFILTRO MÚLTIPLE DE FLUJO VERTICAL

PARÁMETROS DE DISEÑO	CANT.	UND.
Caudal de Diseño	Q =	13.45 l/s
Turbiedad del agua	=	50-500 UT
Velocidad de filtración inicial V_{F1}	=	1.30 m/h
Velocidad de filtración en la segunda unidad V_{F2}	=	1.05 m/h
Velocidad de filtración en la tercera unidad V_{F3}	=	0.55 m/h

Cálculo de Áreas

$A_1 = Q/V_{F1} = 37.25 \text{ m}^2$
 $A_2 = Q/V_{F2} = 46.114 \text{ m}^2$
 $A_3 = Q/V_{F3} = 88.036 \text{ m}^2$

Cálculo de longitudes

$L = \sqrt{(25A_1)} = 30.51 \text{ m} = 30.40 \text{ m}$

Cálculo de anchos

$B_1 = A_1/L = 1.22 \text{ m} = 1.25 \text{ m}$
 $B_2 = A_2/L = 1.51 \text{ m} = 1.50 \text{ m}$
 $B_3 = A_3/L = 2.89 \text{ m} = 3.00 \text{ m}$

Turbiedad del Agua Cruda

$T_o = 500.00 \text{ UNT (Unidad Nefelométrica de Turbidez)}$
 $T_F = T_o e^{-1.15v}$
 $e = 2.718$
 $T_{F1} = (500) e^{-1.15}$
 $T_{F1} = 206.44 \text{ UT}$
 $T_{F2} = 69.04 \text{ UT}$
 $T_{F3} = 8.53 \text{ UT}$

5. DISEÑO HIDRAULICO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

A.- DATOS DE CALCULO:

- 1.- Población Inicial, año cero
- 2.- Tasa de Crecimiento (%)
- 3.- Periodo de Diseño (Años)
- 4.- Dotación
- 5.- Temperatura del mes más frío
- 6.- Evaporación neta del mes más cálido
- 7.- Coliformes Fecales Afluente
- 8.- Coliformes Fecales Efluente
- 9.- Demanda Bioquímica de Oxígeno

Po=	2182.00	Hab.
i=	2.10	%
t=	20	años
Q agua=	180	L/hab/día
T=	10	°C
e=	6	mm/d
Na	11600	NPM/100 ml
Ne	1000	NPM/100 ml
DBO5	850.28	mg/L

B.- CALCULO DE LA POBLACION FUTURA

$P = P_o(1 + i)^t$

Pf=	3098	Hab
-----	------	-----

C.- CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA DE CONSUMO

$$Q_{ac} = (Q_{agua} * Pf) / 1000$$

Qac= m3/día

D.- CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA RESIDUAL

Se considera el 80% del caudal de agua de dotación

$$Q_{ar} = (80\% * Q)$$

Qar= m3/día

METODO DE MARAIS

E.- LAGUNAS ANAEROBIAS

1.- Cálculo de la carga volumétrica

La carga volumétrica está en función de la temperatura y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\lambda_v = 20T - 100$$

λ_v = g/m3*día

2.- Cálculo de volumen de la laguna anaerobia

$$V_a = \frac{L_i * Q}{\lambda_v}$$

Li= m
Va= m3

3.- Cálculo del tiempo de residencia hidráulica

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q}$$

θ_a = días

4.- Cálculo del área de la laguna anaerobia

Considerando una profundidad promedio de H=

m
A=

5.- Cálculo de las dimensiones

Considerando una relación largo/ancho de:

Ancho

Largo

W= m
L= m

5.- Cálculo de la remoción del DBO

$$R = 2T + 20$$

R=

El DBO5 removido en la laguna anaerobia es de:

El DBO5 que sale de la laguna anaerobia es de:

%
 mg/L
 mg/L

6. DISEÑO HIDRAULICO DE FILTROS PERCOLADORES

Se aplica el método de la National Research Council (NRC) de los Estados Unidos de América

Este método es válido cuando se usa piedras como medio filtrante.

PARÁMETROS DE DISEÑO	CANT.	UND.
Población de diseño (P)	3098.00	habitantes
Dotación de agua (D)	180.00	L/(habitante.día)
Contribución de aguas residuales (C)	0.80	
Contribución per cápita de DBO5 (Y)	50.00	grDBO5/(habitante.día)

Producción per cápita de aguas residuales: $q = P \times C$	144.00 L/(habitante.día)
DBO5 teórica: $St = Y \times 1000 / q$	347.22 mg/L
Eficiencia de remoción de DBO5 del tratamiento primario (E_p)	60%
DBO5 remanente: $So = (1 - E_p) \times St$	138.89 mg/L
Caudal de aguas residuales: $Q = P \times q / 1000$	446.11 m3/día

Dimensionamiento del filtro percolador

DBO requerida en el efluente (Se)	55.9 mg/L
Eficiencia del filtro (E): $E = (So - Se)/So$	60%
Carga de DBO (W): $W = So \times Q / 1000$	61.96 kgDBO/día
Volumen del filtro (V): $V = (W/F) \times (0,4425E/(1-E))^2$	26.74 m3
Profundidad del medio filtrante (H):	1.10 m
Área del filtro (A): $A = V/H$	24.31 m2
Tasa de aplicación superficial (TAS): $TAS = Q/A$	2.55 m3/(m2.día)
Carga orgánica (CV): $CV = W/V$	2.32 kg DBO/(m3.día)
Filtro circular	
Diámetro del filtro (d): $d = (4A/3,1416)^{1/2}$	5.56 m
Filtro rectangular	
Largo del filtro (l):	2.25 m
Ancho del filtro (a):	10.80 m
Ancho de cada filtro	3.55 m
Número de Reactores	3.04 und

7. DISEÑO HIDRAULICO DE NAVES DE MACROFITAS

CONDICIONES DE DISEÑO	CANT.	UND.
Caudal de agua a tratar	=	13.45 L/s
	=	0.0135 m3/s
	=	48.42 m3/h
Eficiencia de tratamiento primario	=	90.00 %
Contribución per cápita de DBO5	=	50.00 gr DBO5/hab. día
Planta Acuática a utilizar	=	Totora y lenteja de agua
Profundidad de la losa H	=	0.60 m
Periodo de retención hidráulica	=	265 minutos
\emptyset	=	15900 s
	=	4.41667 horas
	=	0.18403 días
Relación ancho/longitud (por nave)	=	1 : 4

Volumen del tanque de macrofitas

$V = \emptyset \times Q$

213.855 m³

Área superficial del tanque

$$As = Qt / H$$

$$\begin{aligned} A &= 356.425 \text{ m}^2 \\ \text{N}^\circ \text{ de Naves} &= 10 \\ \text{A} &= 35.64 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Calculo de Sección de la estructura

Calculada		a emplearse	
a	=	2.99 m	3.00 m
l	=	11.94 m	12.00 m
H	=	0.60 m	0.60 m

8. DISEÑO HIDRAULICO DEL FILTRO LENTO

CONDICIONES DE DISEÑO	CANT.	UND.
Caudal de Diseño	=	13.45 L/s
	=	48.42 m ³ /h
Velocidad de Filtración	=	0.26 m/h
Relación ancho longitudinal	=	1: 6
Número de unidades	=	2

Área superficial del medio filtrante de cada unidad

$$A = Q / (N \times Vf) = 93.12 \text{ m}^2$$

Coefficiente de mínimo costo

$$K = 2N / N+1 = 1.33$$

Largo de cada unidad

$$L = \sqrt{(As \times K)} = 11.14 \text{ m}$$

Ancho de cada unidad

$$A = \sqrt{(As / K)} = 8.36 \text{ m}$$

Calculado a emplearse

$$\begin{aligned} a &= 3.94 \text{ m} && 3.95 \text{ m} \\ l &= 23.64 \text{ m} && 24.00 \text{ m} \end{aligned}$$

9. DISEÑO HIDRAULICO DEL DIGESTOR DE LODOS

CONDICIONES DE DISEÑO	CANT.	UND.
Población de diseño	=	3098.00 Habitantes
Intervalo entre operaciones sucesivas	=	0.22 Años
	=	79.39 días
Tasa de acumulación de lodos	=	70.00 L/hab-año
Tiempo de retención	=	75.00 días
Profundidad del Digestor	=	0.75 m

Calculo de condiciones hidráulicas

$$Vd = TA * P * N * 10^{-3}$$

$$= 47.17 \text{ m}^3$$

Calculo de area superficial

$$As = Vd/H = 62.89 \text{ m}^2$$

Determinación del ancho

$$2.5b^2 = As$$

	=	5.02	m
Determinación de la longitud			
$L=2.5*b$	=	12.54	m
Para una profundidad H	=	0.75	m
A	=	62.89	m ²
b	=	5.02	m
l	=	12.54	m
	=	12.55	m

10. DISEÑO HIDRAULICO DE LA LOSA DE COMPOSTAJE

CONDICIONES DE DISEÑO	CANT.	UND.
Volumen de tratamiento	=	47.17 m ³
Tiempo de retención	=	15.00 días
Intervalo entre operaciones sucesivas	=	5.00
Profundidad de la losa H	=	0.15 m

Calculo de las condiciones hidráulicas

Volumen de lodos a tratar

$$Vt = V/N = 9.43 \text{ m}^3$$

Determinación del área superficial necesaria

$$As = Vt/H = 62.89 \text{ m}^2$$

Medidas de la estructuras

b	=	5.00	m	=	5.00	m
l	=	12.58	m	=	12.60	m
h	=	0.15	m	=	0.10	m