

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES No.14 DE LA
PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO, CANTÓN
OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.

LEMA GUACHAMIN SANTIAGO DAVID

DIRECTOR: ING. FERNANDO CASTRO CARRERA

Quito, abril 2018

Agradecimiento

Quisiera agradecer a Dios por haberme dado la fortaleza y perseverancia para lograr este tan anhelado sueño, en segunda instancia a mis padres quienes mediante su duro trabajo y sacrificio me han apoyado incondicionalmente en mi formación personal y académica, a mi hermano por sus recomendaciones de superación personal, a Katherine, persona muy especial en mi vida que con su cariño y alegría pudo redefinir mis prioridades en la vida y a mi pequeño Alejandrito por su compañía mientras realizaba mi tesis.

También quisiera agradecer a mi director de tesis Ing. Fernando Castro, brillante profesional y maestro que permitió que este trabajo se realice de la mejor manera mediante su predisposición y conocimientos brindados.

Agradezco además a mis revisores Ing. Pablo Daza e Ing. Roberto Unda quienes mediante comentarios y sugerencias oportunas hicieron posible la finalización de mi tesis.

Por último, quisiera agradecer a toda mi familia por siempre estar presentes en mi vida llenándola de felicidad y satisfacción.

Dedicatoria

A Dios por siempre bendecir mi camino.

A mis padres Carmen y Jorge por enseñarme el valor del trabajo duro y sobre todo, por ser mi guía personal en mi superación.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Agradecimiento..... | ii |
| Dedicatoria..... | iii |
| ÍNDICE..... | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS | xv |
| RESUMEN..... | xvii |
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 Objetivo general | 2 |
| 1.3.2 Objetivo específicos | 3 |
| 1.4 Metodología..... | 3 |
| 1.5 Alcance..... | 3 |
| CAPÍTULO 2. INFORMACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO..... | 5 |
| 2.1 Información general del sector..... | 5 |
| 2.2 Descripción del sistema de alcantarillado en la parroquia San Pablo del Lago. | 5 |
| 2.3 Descripción general del sistema de plantas depuradoras en el área de influencia del lago San Pablo..... | 7 |

| | |
|---|----|
| 2.4 Descripción detallada de la planta depuradora No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago..... | 13 |
| 2.4.1 Descripción general..... | 13 |
| 2.4.2 Separador de caudal..... | 16 |
| 2.4.3 Sedimentadores | 18 |
| 2.4.4 Filtros anaerobios de flujo ascendente | 20 |
| 2.4.5 Estanques con plantas acuáticas | 21 |
| 2.4.6 Lechos de secado de lodos | 27 |
| 2.4.7 Casa de máquinas | 28 |
| 2.4.8 Salida y descarga..... | 29 |
| 2.5 Análisis de la información disponible sobre la planta depuradora de aguas residuales No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago..... | 32 |
| CAPÍTULO 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 36 |
| 3.1 Caracterización de aguas residuales..... | 36 |
| 3.1.1 Origen de aguas residuales | 37 |
| 3.1.2 Características de las aguas residuales | 38 |
| 3.1.2.1 Parámetros físicos..... | 38 |
| 3.1.2.2 Parámetros químicos | 39 |
| 3.1.2.3 Parámetros microbiológicos..... | 40 |
| 3.2 Plantas acuáticas flotantes. | 43 |
| 3.3 Tipos y niveles de tratamiento de aguas servidas..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 3.3.1 Tipos de tratamiento de aguas servidas..... | 47 |
| a) Físicos | 47 |
| b) Químicos | 48 |
| c) Biológicos | 48 |
| 3.3.2 Niveles de tratamiento de aguas servidas..... | 48 |
| a) Pretratamiento de aguas residuales | 48 |
| c.1) Según el contenido de oxígeno..... | 51 |
| c.2) Por microorganismos suspendidos y adheridos..... | 53 |
| c.3) Sistemas naturales | 53 |
| 3.4 Tratamiento secundario..... | 54 |
| 3.5 Tratamiento de aguas servidas con plantas acuáticas flotantes..... | 63 |
| 3.6 Predicción de la calidad del efluente. | 66 |
| 3.6.1 Reactor de flujo tipo pistón..... | 67 |
| 3.6.2 Reactor de mezcla completa..... | 69 |
| 3.7 Descarga de aguas servidas domésticas en lagos. | 72 |
| 3.8 Criterios de calidad del agua según sus usos y límites de descarga a cuerpos de agua dulce. | 73 |
| 3.8.1 Criterios de calidad del agua para descarga en cuerpos de agua dulce..... | 73 |
| 3.8.2 Criterios de calidad del agua en función de sus usos | 74 |
| Capítulo 4. Investigación experimental | 79 |
| 4.1 Metodología..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 Mediciones de campo. | 87 |
| 4.2.1 Aforos | 87 |
| 4.2.2 Medición de temperatura | 89 |
| 4.2.3 Muestreo y análisis de laboratorio | 90 |
| 4.2.3.1 DBO5 | 90 |
| 4.2.3.2 Coliformes fecales..... | 92 |
| 4.2.3.3 pH | 93 |
| CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. | 94 |
| 5.1 Resultados obtenidos..... | 94 |
| 5.2 Análisis de resultados. | 96 |
| 5.2.1 Eficiencia de la planta depuradora de aguas residuales N°14 de la parroquia San Pablo del Lago en la remoción de DBO5 y coliformes fecales (E. Coli). | 96 |
| 5.2.2 Tiempos de retención..... | 100 |
| 5.2.3 Carga orgánica superficial. | 102 |
| 5.2.4 Estimación de la DBO5 y concentración de coliformes fecales (C.F.) en el efluente secundario. | 104 |
| 5.2.4.1 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores tipo pistón en serie. . | 104 |
| 5.2.4.2 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores completamente mezclados en serie..... | 111 |
| 5.2.5 Comparación de la calidad del efluente con la normativa vigente. | 117 |
| 5.3 Recomendaciones para mejoramiento de la planta de tratamiento..... | 118 |
| CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 120 |

| | |
|---|-----|
| 6.1 Conclusiones | 120 |
| 6.2 Recomendaciones..... | 121 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 123 |
| ANEXOS 1 | 128 |
| ÁREA DE COBERTURA DE ALCANTARILLADO DE LA PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO | 128 |
| ANEXO 2 | 130 |
| ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14, UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO | 130 |
| ANEXO 3 | 132 |
| CÁLCULO DE LAS ÁREAS SUPERFICIALES DE LA SERIE 1, SERIE 2 Y SERIE 3 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14 | 132 |
| ANEXO 4 | 135 |
| TIEMPOS DE RETENCIÓN PARA CADA REACTOR DE CADA SERIE..... | 135 |
| ANEXO 5 | 138 |
| CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REMOCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES FECALES PARA REACTORES DE FLUJO TIPO PISTÓN | 138 |
| ANEXO 6 | 141 |
| PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PARA DBO ₅ Y C.F UTILIZANDO REACTORES DE FLUJO TIPO PISTÓN | 141 |
| ANEXO 7 | 146 |
| CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REMOCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES FECALES PARA REACTORES DE FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO | 146 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO 8 | 149 |
| PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PARA DBO ₅ Y C.F UTILIZANDO REACTORES DE FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO | 149 |
| ANEXO 9 | 154 |
| CARTA DE CERTIFICACION DE JACINTO DE AGUA, PROPORCIONADA POR LA FACULTAD DE BIOLOGÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR | 154 |
| ANEXO 10 | 156 |
| RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS ANALISIS DE AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14..... | 156 |
| ANEXO 11 | 167 |
| RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS ANÁLISIS DE AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14 DEL 1 DE FEBRERO DEL 2017 | 167 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1: Listado de los sistemas de tratamiento en la cuenca del lago San Pablo..... | 9 |
| Tabla 2: Dimensiones de estanques y porcentaje de cobertura con Jacinto de Agua..... | 24 |
| Tabla 3: Extracto de análisis de laboratorio, Planta N° 14 | 35 |
| Tabla 4: Criterios de diseño con Jacinto de Agua | 65 |
| Tabla 5: Criterios de diseño de sistemas con Lenteja de Agua | 66 |
| Tabla 6: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce | 75 |
| Tabla 7: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico. | 76 |
| Tabla 8: Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas, y en estuarios..... | 77 |
| Tabla 9: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola..... | 78 |
| Tabla 10: Cronograma de muestreo para análisis de agua de la planta N°14 San Pablo del Lago | 84 |
| Tabla 11: Medición in situ de caudal, pH y temperatura | 94 |
| Tabla 12: Valores de DBO ₅ obtenidos en la planta depuradora N°14 | 95 |
| Tabla 13: Valores de coliformes totales y coliformes Fecales, medidos en la planta depuradora N°14 | 95 |
| Tabla 14: Resultados obtenidos en la entrada y salida de la planta depuradora N°14..... | 96 |
| Tabla 15: Resumen de porcentajes de remoción DBO ₅ y coliformes fecales obtenidos en la planta N°14..... | 99 |
| Tabla 16: Tiempos de retención calculados de la Serie 1 | 100 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 17: Tiempos de retención calculados de la Serie 2..... | 101 |
| Tabla 18: Tiempos de retención calculados de la Serie 3..... | 101 |
| Tabla 19: Resumen de tiempos de retención y caudales promedio de cada serie | 101 |
| Tabla 20: Tabla resumen de áreas superficiales..... | 103 |
| Tabla 21: Predicción del efluente para la DBO ₅ con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 1 | 106 |
| Tabla 22: Predicción del efluente para la DBO ₅ con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2 | 107 |
| Tabla 23: Predicción del efluente para la DBO ₅ con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 3 | 107 |
| Tabla 24: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 1 | 109 |
| Tabla 25: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2 | 110 |
| Tabla 26: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2 | 110 |
| Tabla 27: Predicción del efluente para la DBO ₅ usando reactores completamente mezclados en la Serie 1 | 112 |
| Tabla 28: Predicción del efluente para la DBO ₅ usando reactores completamente mezclados en la Serie 2..... | 113 |
| Tabla 29: Predicción del efluente para la DBO ₅ usando reactores completamente mezclados en la Serie 3..... | 113 |
| Tabla 30: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie1 | 115 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 31: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie 2..... | 116 |
| Tabla 32: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie 3..... | 116 |
| Tabla 33: Cálculo de áreas superficiales para la Seri1, Seri2 y Serie 3 | 133 |
| Tabla 34: Tiempos de retención para cada reactor de cada serie durante los días de muestreo..... | 136 |
| Tabla 35: Constantes de velocidad de reacción para DBO_5 y coliformes fecales en reactores tipo pistón | 139 |
| Tabla 36: Predicción del efluente para DBO_5 para reactores de flujo tipo pistón | 142 |
| Tabla 37: Predicción del efluente para coliformes fecales con reactores de flujo tipo pistón | 144 |
| Tabla 38: Constantes de velocidad de reacción para DBO_5 y C.f en reactores de flujo completamente mezclado | 147 |
| Tabla 39: Predicción del efluente para DBO_5 para reactores de flujo completamente mezclado..... | 150 |
| Tabla 40: Predicción del efluente para C.F para reactores de flujo completamente mezclado | 152 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Esquema del sistema de alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas residuales de la parroquia San Pablo del Lago..... | 7 |
| Figura 2: Ubicación de las plantas de tratamiento en la cuenca del Lago San Pablo..... | 8 |
| Figura 3: Esquema de la planta de tratamiento N°14..... | 15 |
| Figura 4: Vista en planta cajas separadoras de caudal de la planta N°14, contiene tres vertederos cada una..... | 16 |
| Figura 5: Vista en planta caja separadora de caudal de la planta N°14. | 17 |
| Figura 6: Sección 1-1 de caja separadora de caudal..... | 17 |
| Figura 7: Detalle vertedero de pared delgada. | 17 |
| Figura 8: Vista en planta de los sedimentadores planta No. 14..... | 18 |
| Figura 9: Vista de perfil sedimentador planta No. 14 | 19 |
| Figura 10: Vista de perfil filtro anaerobio de flujo ascendente planta N°14..... | 20 |
| Figura 11: Vista en planta de filtros anaerobios de flujo ascendente planta No. 14..... | 21 |
| Figura 12: Tubería difusora de agua residual en el filtro anaerobio de flujo ascendente planta No. 14..... | 21 |
| Figura 13: Vista en planta de los estanques con macrófitas flotantes. Planta N°14. | 23 |
| Figura 14: Vista en transversal de los estanques con macrófitas flotantes. Planta N°14. | 24 |
| Figura 15: Emplazamiento de descarga de la planta N°14..... | 29 |
| Figura 16: Lemna Minor (Lenteja de Agua). | 45 |
| Figura 17 Morfología de la Eichhornia Crassipes..... | 46 |
| Figura 18: Diagrama de sistema de lodos activos..... | 56 |

| | |
|--|-----|
| Figura 19: Esquema de un sistema de zanjas de oxidación. | 56 |
| Figura 20: Filtro anaerobio de flujo ascendente. | 57 |
| Figura 21: Filtro percolador | 58 |
| Figura 22: Esquema de reactor de Biodiscos..... | 60 |
| Figura 23: Esquema de una laguna de estabilización..... | 61 |
| Figura 24: Humedal de flujo superficial..... | 63 |
| Figura 25: Humedal de flujo subsuperficial..... | 63 |
| Figura. 26: Descripción del proceso en un reactor..... | 67 |
| Figura 27: Esquema reactor tipo pistón | 67 |
| Figura 28: Reactor completamente mezclado | 69 |
| Figura 29: Esquema vertedero triangular planta N°14 | 88 |
| Figura 30: Esquema del alcantarillado de la parroquia San Pablo del Lago y área de cobertura..... | 129 |
| Figura 31: Lugares de muestreo para los análisis de agua en la planta N°14 | 131 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 1: Cajas separadoras de caudal..... | 18 |
| Fotografía 2: Sedimentadores..... | 19 |
| Fotografía 3: Estanques con Jacinto de Agua..... | 25 |
| Fotografía 4: Conexión entres estanques de Jacinto de Agua | 25 |
| Fotografía 5: Jacinto de Agua presente en la planta depuradora. | 27 |
| Fotografía 6: Lechos de secado de lodos..... | 28 |
| Fotografía 7: Casa de máquinas..... | 28 |
| Fotografía 8: Pozo de revisión, en la salida del sistema de tratamiento..... | 29 |
| Fotografía 9: Toma de caudal en la salida de los estanques con macrófitas flotantes | 30 |
| Fotografía 10: Canal receptor del efluente, planta N°14 | 30 |
| Fotografía 11: río Itambi..... | 31 |
| Fotografía 12: Unión del río Itambi con el lago San Pablo | 31 |
| Fotografía 13: Limpieza de filtros percoladores con agua a presión. | 33 |
| Fotografía 14: Limpieza de separadores de caudal con camión Hidrocleaner..... | 34 |
| Fotografía 15: Vista aérea de la planta depuradora N°14..... | 79 |
| Fotografía 16 Identificación de las tres series en la planta N°14 | 80 |
| Fotografía 17: Vista aérea de los módulos contenedores de separadores de caudal, sedimentadores y filtros anaerobios de flujo ascendente. | 80 |
| Fotografía 18: Medición de longitud y ancho de los estanques de plantas acuáticas de la planta de tratamiento N°14..... | 81 |

| | |
|--|----|
| Fotografía 19: Medición de la profundidad en los estanques de Jacinto de Agua | 81 |
| Fotografía 20: Aforo de caudal en la entrada de la planta depuradora N°14. | 82 |
| Fotografía 21: Aforo de caudal en la salida de la planta depuradora N°14. | 83 |
| Fotografía 22: Toma de muestras en la entrada de la planta depuradora N°14 | 84 |
| Fotografía 23: Toma de muestras en la salida de la planta depuradora N°14 | 85 |
| Fotografía 24: Toma de muestras en la entrada al sistema de estanques con Jacinto de Agua | 85 |
| Fotografía 25: Toma de muestras en la salida de la Serie 1 y Serie 2 del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua..... | 86 |
| Fotografía 26: Medicion de pH y temperatura in situ..... | 86 |
| Fotografía 27: Contenedor para el transporte de muestras al laboratorio | 87 |
| Fotografía 28: Módulos contenedores de vertederos triangulares y vertedero planta depuradora | 87 |
| Fotografía 29: Medición de caudal en la salida planta N°14..... | 89 |
| Fotografía 30: Medición de temperatura..... | 90 |
| Fotografía 31: Obtención de muestras para análisis DBO5 y botella estandarizada para toma de muestras de DBO | 90 |
| Fotografía 32: OxiTop Is 12 empleado en laboratorio EMAPAO para la determinación de la DBO5..... | 91 |
| Fotografía 33 Muestreo realizado para ensayo coliformes fecales y coliformes totales (E. Coli)..... | 92 |
| Fotografía 34: Medición in situ de pH y temperatura..... | 93 |

RESUMEN

La parroquia San Pablo del Lago, del cantón Otavalo, de la provincia de Imbabura, posee una planta de tratamiento de aguas residuales N°14, de la que se realizó la evaluación preliminar con la finalidad de determinar sus condiciones de funcionamiento eficiente. Con el fin de saber la eficiencia con que la planta depuradora se encuentra trabajando se realizó el estudio del sistema secundario de tratamiento, que está compuesto por 54 estanques con Jacinto de Agua que se encuentran agrupados en tres series, las cuales están compuestas por 24, 26 y 3 estanques respectivamente.

Para esta evaluación se realizó un muestreo de 10 días con un total 30 muestras en las que se realizaron los análisis de DBO₅ y coliformes fecales (E. coli) en laboratorio. Las muestras fueron obtenidas a la entrada del sistema con macrófitas flotantes y a la salida de cada serie que compone el sistema de estanques. Mediante estos resultados se pudo determinar los porcentajes de eficiencia de remoción de DBO₅ y coliformes fecales (E. coli). También se realizó la estimación teórica de la calidad del efluente mediante el uso de modelos cinéticos ideales (reactor de flujo tipo pistón y reactor de flujo completamente mezclado) y se calculó el tiempo de retención y la carga orgánica superficial en cada serie que compone el sistema de tratamiento secundario.

Éste análisis reflejó un porcentaje de remoción de DBO₅ para la Serie 1, Serie 2 y Serie 3 de 59,0%, 58,4% y 37,5% respectivamente, así también porcentajes de remoción de coliformes fecales de 97,5%, 94,7% y 41,2% para cada serie. Los tiempos de retención y cargas orgánicas superficiales fueron de 12,2, 11,1, 0,8 días y 158,1, 173,5, 982,8 (Kg DBO₅/ha x día) respectivamente. La estimación del efluente mediante el uso de los dos modelos ideales arrojó valores menores a los obtenidos en los análisis experimentales.

Finalmente, la calidad bacteriológica por coliformes fecales del efluente de la planta depuradora N°14 no cumple con los parámetros de descarga en cuerpos de agua dulce según la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, del registro oficial Edición Especial N° 387 de 4 de noviembre de 2015.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

La parroquia San Pablo del Lago, del cantón Otavalo, en la provincia de Imbabura, cuenta con una planta depuradora encargada del tratamiento de sus aguas residuales, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental que produciría la descargar dichas aguas residuales en el Lago San Pablo. La planta N°14, San Pablo se encuentra a cargo de la Empresa Municipal de Agua Potable y alcantarillado de Otavalo (EMAPAO), empresa que se encarga del monitoreo, operación y mantenimiento de la misma.

La planta N°14 sirve a la parroquia de San Pablo del lago y una pequeña parte de la comunidad de Cusinpamba. Comenzó su operación conjuntamente con 13 plantas de tratamiento implantadas estratégicamente en la cuenca del lago San Pablo en el año 2012, como resultado del programa “Juntos” de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), en cooperación y financiamiento del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo y el Ministerio del Ambiente.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran emplazadas en la cuenca del lago San Pablo, fueron concebidas con la finalidad de reducir la contaminación que se generaba en el lago debido a la descarga de aguas residuales, pues previo a su construcción las aguas residuales eran vertidas directamente al lago, afectando la vida acuática y generando un impacto negativo en sus aguas.

La planta depuradora N°14 está conformada por 3 módulos separadores de caudal en los que se encuentran 3 vertederos de pared delgada por modulo, permitiendo así la realización de aforos para cuantificar el caudal que ingresa a la planta depuradora, 9 sedimentadores como sistema de tratamiento primario encargado de retener en gran medida la materia sólida y lodos que el sistema recibe, 9 filtros anaerobios de flujo ascendente y un sistema de 54 estanques con Jacinto de Agua como tratamiento secundario encargado de la descomposición biológica y remoción de nutrientes. Su efluente es dirigido hacia un canal que llega hasta el río Itambi, para luego dirigirse directamente al lago San Pablo.

El lago San Pablo está ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, el cual se alimenta con aguas de las vertientes de Araque, el río Itambi y los riachuelos de San Agustín y Pivarinci.

El lago tiene un gran atractivo turístico, no solo paisajísticamente, al ser un esplendoroso lago de formación glacial, sino también por las actividades que se realizan en él. Los deportes acuáticos atraen a una gran cantidad de turistas; así también la atracción paisajística atrae a los turistas a la cuenca de este lago para descansar y admirar la belleza del entorno. El lago atrae directamente al turismo y ayuda en la economía de los pobladores, quienes principalmente dependen de las actividades agrícolas.

Según el diario El Comercio (2010), En la cuenca del lago San Pablo se asienta una población de 26 132 habitantes de las parroquias San Pablo del Lago, González Suárez, San Rafael, Eugenio Espejo y 32 comunidades de la cuenca del lago, en Otavalo. Esas aguas, en la actualidad, se descargan directamente en el lago.

1.2 Justificación.

En el año 2012 el GADM de Otavalo puso en marcha 14 sistemas de depuración con plantas acuáticas en el lago San Pablo, para tratar las aguas servidas de diferentes comunidades del sector. Por tratarse de sistemas no convencionales de tratamiento de aguas residuales, resulta interesante conocer su eficiencia. Por esta razón, se requiere realizar una evaluación que permita determinar la eficiencia de dicho sistema de depuración; con este propósito se evaluará una de las plantas depuradoras, la No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago.

Para realizar la investigación se cuenta con el auspicio de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Otavalo (EMAPAO-EP).

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar preliminarmente la planta de tratamiento de aguas residuales No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

1.3.2 Objetivo específicos

- Describir las características técnicas del sistema de alcantarillado y de la planta depuradora No.14 de la parroquia San Pablo del Lago.
- Describir los aspectos técnicos más relevantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas.
- Realizar mediciones de caudal y toma de muestras para caracterizar el agua residual cruda, el efluente primario y el efluente de la planta depuradora.
- Analizar los resultados obtenidos para determinar las condiciones de funcionamiento de la planta depuradora No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago.

1.4 Metodología.

Para el desarrollo de la presente disertación se seguirá la siguiente metodología:

1. Se efectuará una selección de bibliografía técnica sobre el tratamiento de aguas residuales mediante el uso de macrófitas flotantes.
2. Se ejecutará una serie de procedimientos en campo, con el fin de levantar información útil para el desarrollo del tema, mediante las siguientes actividades:
 - ✓ Medición de caudales a la entrada y salida de la planta de tratamiento
 - ✓ Levantamiento de información de los elementos que conforman la planta depuradora N°14, haciendo énfasis en el sistema secundario con plantas acuáticas.
 - ✓ Muestreo experimental para la medición de DBO₅ y coliformes fecales, temperatura y pH del agua residual.
3. Se realizará una discusión de los resultados obtenidos.
4. Para finalizar se presentarán conclusiones y recomendaciones de acuerdo al estudio de evaluación preliminar realizado.

1.5 Alcance

En la presente investigación se determinará la eficiencia del tratamiento secundario en la remoción de DBO₅ y coliformes fecales, para lo cual se tomará aproximadamente un total de

30 muestras de agua residual a la entrada de la planta, antes del tratamiento secundario y a la salida de la planta, que serán analizadas por un laboratorio de la localidad.

CAPÍTULO 2. INFORMACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO.

2.1 Información general del sector.

La parroquia San Pablo del Lago está ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo; fue creada el 29 de mayo de 1861 mediante la ordenanza emitida por el Municipio de Otavalo. Tiene una extensión de 64,08 kilómetros cuadrados, la temperatura de la zona oscila entre 12 y 19 grados centígrados, sus precipitaciones varían de 750 mm a 1000 mm anuales (Cevallos, 2015).

La parroquia se encuentra delimitada al norte por la población La Esperanza, que pertenece al cantón Ibarra; al sur con las parroquias rurales de Gonzales Suárez y San Rafael; al Este con los poblados de La Esperanza y Angochagua; y al oeste, con la naciente de la quebrada Macufishi que desemboca en el Lago San Pablo. La cuenca hidrográfica del lago San Pablo se ubica entre las coordenadas: longitud oeste 78° 15 '32" a 78° 07' 44" W y latitud norte 00° 07' 34" a 00° 15' 27" N (Cevallos, 2015).

La parroquia San Pablo del Lago fluctúa entre los 2680 y 4600 metros sobre el nivel del mar y se encuentra a una distancia aproximada de 95 kilómetros de la ciudad de Quito. La vía de acceso a la parroquia es directamente por la Panamericana Norte. Las calles del centro urbano son asfaltadas y adoquinadas (Cevallos, 2015).

2.2 Descripción del sistema de alcantarillado en la parroquia San Pablo del Lago.

La parroquia San Pablo del Lago es considerada como una de las principales del cantón Otavalo debido a su extensión y proximidad a la zona céntrica de la ciudad de Otavalo. Cuenta con la particularidad de ser una zona mixta, es decir que parte de su población es considerada como urbana y parte considerada como rural. La parroquia tiene una cobertura de alcantarillado entre un 85 y 90 por ciento, esta cobertura es mayor que la de parroquias rurales cercanas como Abatag, Araque y Cusimpamba que llegan a cobertura de alcantarillado promedio del 80 % (Moscoso, 2006).

Moscoso (2006) señala en su memoria técnica que el sistema de alcantarillado fue creado aproximadamente en los años de 1984 y 1985, el cual básicamente se encuentra conformado

por tuberías de hormigón simple con diámetros que varían entre 150 y 600 mm, tiene una longitud aproximada de 25,4 kilómetros, cuenta con 224 pozos de revisión y sirve además a un área de 267,76 hectáreas Ver Anexo 1.

El alcantarillado fue concebido inicialmente como un sistema sanitario, pero, mediante inspecciones realizadas por el personal de la EMAPAO, se ha comprobado que los habitantes del lugar dieron un mal uso a ésta infraestructura, conectando a la red sumideros y conexiones ilícitas de aguas lluvias. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo, con el objeto de dotar de infraestructura adecuada para mitigar los problemas que se presentan en las épocas invernales debido al arrastre de sedimentos que ocasionaba el taponamiento en rejillas, sumideros y pozos de la red de alcantarillado, realizó la construcción de un sistema de alcantarillado pluvial que culminó a fines del año 2015 (GAD, Otavalo, 2015).

La construcción de este nuevo sistema de alcantarillado solucionó en parte los problemas que frecuentemente ocurrían en épocas invernales, medida que no resulto del todo efectiva, ya que al no existir una red pluvial completa en toda la parroquia, tanto las aguas residuales como lluvias son mezcladas y conducidas hasta el sistema de tratamiento, ocasionando problemas que se producen en temporadas invernales tales como la saturación de la red de alcantarillado, según expresa el técnico encargado del monitoreo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la EMAPAO.

Según el diario regional independiente El Norte, mediante su página web (www.elnorte.ec) hizo pública la inauguración de 12 plantas depuradoras de un grupo de 14 plantas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca del lago San Pablo, las mismas que sirven a diferentes comunidades como se puede apreciar en la Tabla 1; este evento fue realizado el día 19 de marzo del 2012 por el entonces Presidente de la República. Este proyecto tenía por objeto principal mitigar la contaminación del lago, ya que las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado de todas las comunidades aledañas eran vertidas sin tratamiento al lago San Pablo (GCN, 2012).

El sistema de alcantarillado de la parroquia San Pablo del Lago conduce las aguas residuales hasta un pozo de revisión localizado en la avenida Unesco, el mismo que conectado mediante tuberías llega a la planta de tratamiento N° 14, que depura las aguas residuales de la parroquia San Pablo del Lago, para luego verter su efluente a un canal que se une más adelante con el

rio Itambi, principal afluente del lago San Pablo. En la Figura 1 se puede apreciar un esquema del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la parroquia San Pablo del Lago.

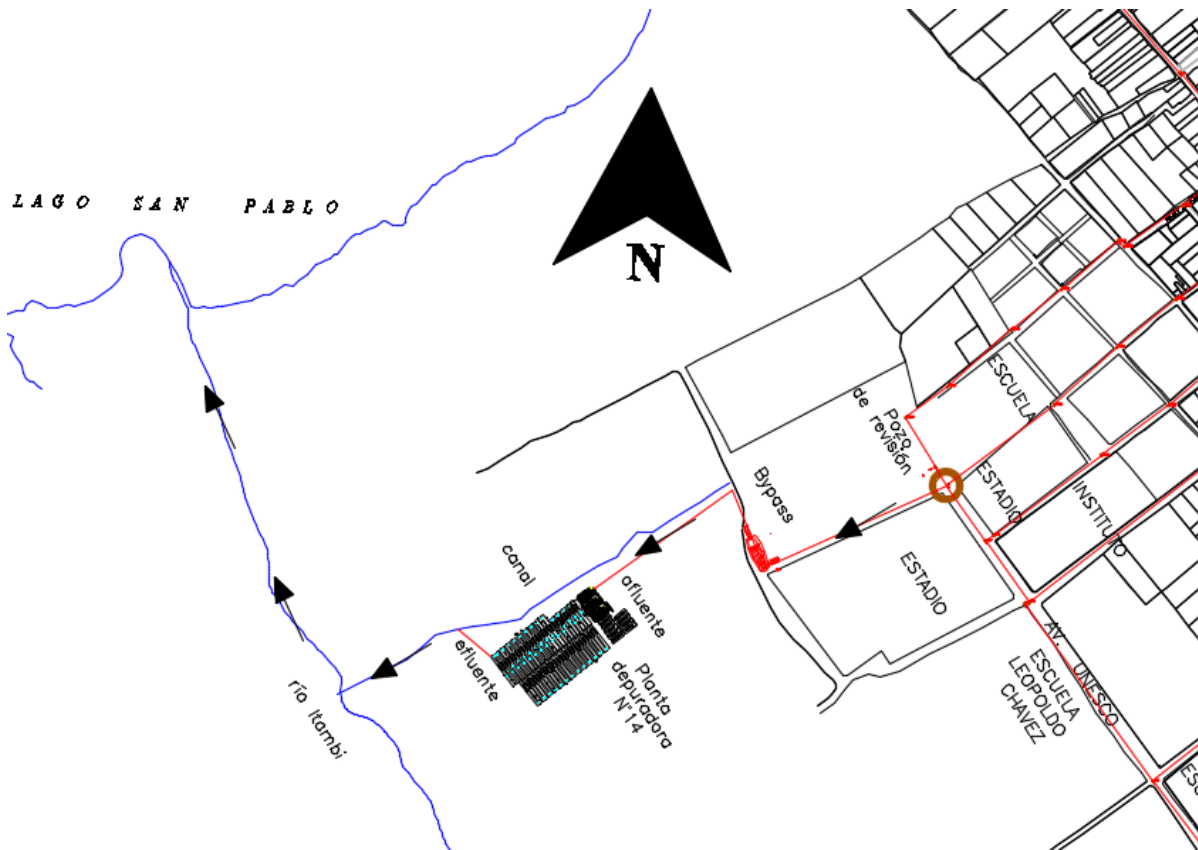


Figura 1: Esquema del sistema de alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas residuales de la parroquia San Pablo del Lago. Basado en Moscoso (2006).

2.3 Descripción general del sistema de plantas depuradoras en el área de influencia del lago San Pablo.

Mediante el programa “Juntos” de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) en trabajo conjunto con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo y el Ministerio del Ambiente, implementaron 14 plantas depuradoras de aguas residuales en el lago San Pablo con el objeto de mitigar el impacto ambiental generado por la descarga de aguas residuales (Moscoso, 2006).

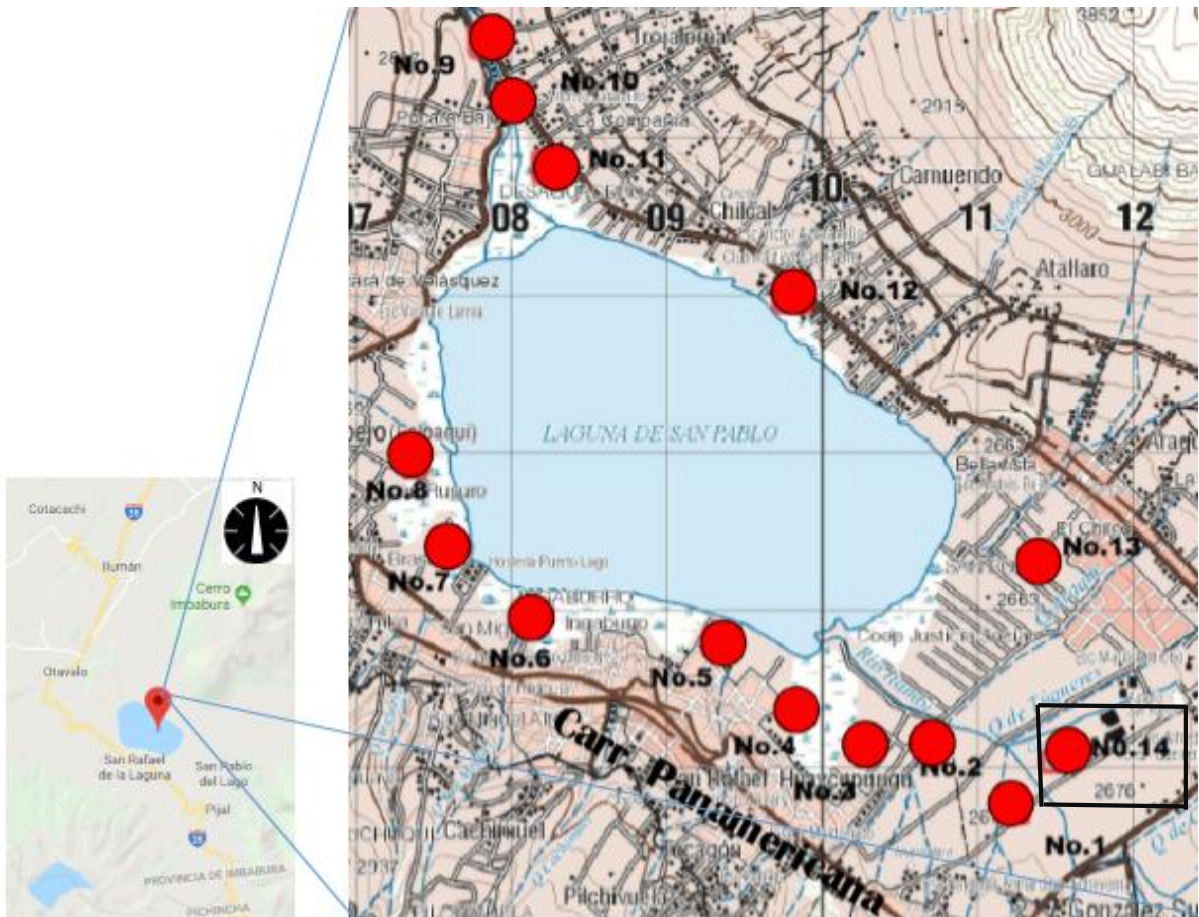


Figura 2: Ubicación de las plantas de tratamiento en la cuenca del Lago San Pablo. Tomado de IGM (2003)

Las plantas de tratamiento fueron financiadas conjuntamente por el Gobierno de Ecuador mediante el Ministerio del Ambiente y el GAD Municipal de Otavalo con una inversión de aproximadamente 4,5 millones de dólares, según lo expresa el diario El Comercio (2009).

Las plantas depuradoras se encuentran distribuidas para poder brindar servicio a las poblaciones aledañas del Lago San Pablo, por lo que en la Figura 2 se puede apreciar la ubicación de cada planta depuradora.

Tabla 1: Listado de los sistemas de tratamiento en la cuenca del lago San Pablo.

| Planta depuradora | Nombre | Parroquia |
|-------------------|----------------------|-----------------|
| N°1 | Gonzáles Suárez | Gonzáles Suárez |
| N°2 | Intihuaycopungo | Gonzáles Suárez |
| N°3 | Huaycopungo Sur | San Rafael |
| N°4 | Huaycopungo Norte | San Rafael |
| N°5 | Cachiviro | San Rafael |
| N°6 | San Miguel Bajo | San Rafael |
| N°7 | Cuaraburo | Eugenio Espejo |
| N°8 | Eugenio Espejo | Eugenio Espejo |
| N°9 | Pivarinci | Eugenio Espejo |
| N°10 | Desaguadero (Molino) | El Jordán |
| N°11 | La Compañía | El Jordán |
| N°12 | Camuendo | El Jordán |
| N°13 | Araque | San Pablo |
| N°14 | San Pablo | San Pablo |

Nota: Basada en Cuadro N°3 de Moscoso (2006), p.35

Los sistemas de tratamiento ejecutados tienen variaciones mínimas en su estructuración, ya que poseen elementos y características muy similares. Las plantas básicamente tienen la siguiente estructura general:

- Estaciones de bombeo.
- Unidades de separación de caudales.
- Sedimentador.
- Filtros anaerobios de flujo ascendente.
- Tratamiento secundario, con plantas acuáticas flotantes o pantanos artificiales secos con totorales.
- Lechos de secado de lodos.
- Descarga al cuerpo receptor.

A continuación, se describen las catorce plantas depuradoras emplazadas en la cuenca del lago San Pablo.

Planta No. 1 González Suárez

Esta planta depuradora cubre las poblaciones de González Suárez, Gualacata, La Marisca, Pijal Bajo y Caluquí; está conformada por tres colectores, separador de caudales, seis sedimentadores colocados en paralelo, seis filtros anaerobios, 25 estanques de plantas acuáticas con una descarga al canal San Agustín que es un afluente al río Itambi y este a su vez un afluente al lago San Pablo, y 9 unidades de lechos de secado (Moscoso, 2006)

Planta No. 2 Intihuaycopungo

Brinda cobertura a la comunidad de Intihuaycopungo; se compone de un colector, un separador de caudales, un sedimentador, un filtro anaerobio y tres humedales de totoras dispuestas en paralelo con descarga al río Itambi; además cuenta con un lecho de secado (Moscoso, 2006).

Planta No 3. Huaycopungo Sur (Cochapungo)

Este sistema cubre el servicio a las comunidades de Huaycopungo Sur y Tocagón; se compone de un colector, separador de caudales, estación de bombeo, dos sedimentadores colocados en paralelo, dos filtros anaerobios y cinco pantanos artificiales con totorales. La descarga se realiza en área de totorales ubicados junto a la vía Puerto Lago. Cuenta además con seis lechos de secado (Moscoso, 2006).

Planta No. 4 Huaycopungo Norte (Villagránpunro)

Este sistema depura las aguas provenientes de las comunidades de Huaycopungo zona norte, la zona baja de Cachiviro y un sector de la parroquia San Rafael. El sistema se compone de un colector, separador de caudales, dos sedimentadores colocados en paralelo, dos filtros anaerobios y seis pantanos artificiales con totoras; la descarga se realiza en área de totorales; tiene además cuatro lechos de secado (Moscoso, 2006).

Planta No. 5 Cachiviro

Este sistema brinda cobertura a las poblaciones de San Rafael (zona sur urbana), Cachimul Tocagón (zona norte) y Cachiviro; se compone de un separador de caudales, un cajón de tratamiento que incluye tres sedimentadores colocados en paralelo, tres filtros anaerobios, 11 pantanos artificiales con totoras y con descarga directa al Lago San Pablo; cuenta también con cinco lechos de secado (Moscoso, 2006).

Planta No. 6 San Miguel Bajo

Brinda servicio a las comunidades de Cuatro Esquinas, Mushuckñan, Cachimuel San Miguel Bajo y San Miguel Alto, el sistema consiste en cuatro sedimentadores colocados en paralelo, cuatro filtros anaerobios de flujo ascendente, 14 estanques con plantas acuáticas y su descarga la realiza en terrenos aledaños a la cuenca del lago San Pablo donde se cultiva totorales. Además cuenta con seis lechos de secado (Moscoso, 2006).

Planta No. 7 Cuaraburo

Esta planta brinda servicio a la comunidad Cuaraburo de la parroquia Eugenio Espejo. Consiste en un sistema de bombeo, un colector, separador de caudales, dos sedimentadores en paralelo, dos filtros anaerobios de flujo ascendente y cuatro pantanos artificiales con totoras; se realiza la descarga hacia los bosques de eucaliptos, área aledaña al lago San Pablo; cuenta también con dos unidades de secado de lodos (Moscoso, 2006).

Planta No. 8 Eugenio Espejo – Puerto Alegre

Brinda servicio a las comunidades de Censo Copacabana, Chuchuquí y Puerto Alegre; se compone de un colector, separador de caudales, seis sedimentadores colocados en paralelo, seis filtros anaerobios de flujo ascendente. Adicionalmente cuenta con un tratamiento de 24 estanques de plantas acuáticas y ocho lechos de secado; la descarga se la realiza en Puerto Alegre, área cercana a la cuenca San Pablo del Lago (Moscoso, 2006).

Planta No. 9 Pivarinci

Este sistema depura las aguas residuales de las comunidades de Pivarinci, Pucará Bajo y Pucará Vélez; se compone de un colector principal, dos estaciones de bombeo, cuatro

sedimentadores en paralelo, cuatro filtros anaerobios de flujo ascendente, 15 estanques de plantas acuáticas y 13 lechos de secado de lodos. La descarga se la realiza en el río Jatunyacu (Desaguadero) (Moscoso, 2006).

Planta No. 10 Desaguadero junto al Molino

El sistema brinda servicio a las comunidades de La Compañía Alta y La Compañía Baja (únicamente la zona norte); su estructura está compuesta de colectores, separadores de caudal, dos sedimentadores dispuestos en paralelo, dos filtros anaerobios de flujo ascendente, cinco pantanos secos con totorales y dos lechos de secado de lodos; la descarga se la realiza en el río Jatunyacu (Desaguadero) (Moscoso, 2006).

Planta No. 11 La Compañía – Cancha

Este sistema sirve a la zona sur de La Compañía de la Parroquia El Jordán; en su sistema de tratamiento posee cuatro sedimentadores colocados en paralelo, cuatro filtros anaerobios de flujo ascendente, 12 pantanos secos con totorales y seis lechos de secado de lodos; la descarga se la realiza en el margen derecho del río Jatunyacu (Desaguadero) (Moscoso, 2006).

Planta No. 12 Camuendo – Cancha

Esta planta depuradora brinda servicio a la comunidad Camuendo de la parroquia El Jordán. Está conformada por colectores, cuatro sedimentadores en paralelo, cuatro filtros anaerobios de flujo ascendente, 10 pantanos secos con totorales y cuatro lechos de secado de lodos; su descarga la realiza hacia el borde del Lago San Pablo (Moscoso, 2006).

Planta No. 13 Araque

Esta planta depura las aguas provenientes de las poblaciones de Abatag y Araque de la parroquia San Pablo. Está provista de un sistema de colectores, separadores de caudal, cuatro sedimentadores dispuestos en paralelo, cuatro filtros anaerobios, 12 estanques con plantas acuáticas flotantes y siete unidades de lecho de secado de lodos. La descarga se la realiza de manera directa al Lago San Pablo mediante un canal (Moscoso, 2006).

Planta No. 14 San Pablo

Ésta planta brinda su servicio de depuración a las aguas residuales de la zona urbana de San Pablo, además de la comunidad Cusinpamba que se ubica en la zona alta, al oriente del lago San Pablo. Éste sistema se encuentra conformado por tres módulos, en los que cada uno está conformado de tres separadores de caudal, tres sedimentadores y tres filtros anaerobios de flujo ascendente, luego de los módulos se cuenta con cincuenta y cuatro estanques con plantas acuáticas flotantes y nueve lechos de secado de lodos; además cuenta con un sistema de bombeo que no se encuentra en funcionamiento, ya que la descarga se la realiza a gravedad hacia un canal que se dirige al río Itambi que es un afluente del lago San Pablo (Moscoso, 2006).

2.4 Descripción detallada de la planta depuradora No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago.

2.4.1 Descripción general

La planta N°14 entró en operación a partir del año 2012, depurando las aguas residuales provenientes de la parroquia San Pablo del Lago y parte de la comunidad Cusinpamba. En el año 2017 ésta planta fue intervenida por la empresa Brontho del Ecuador; realizando la limpieza del filtro anaerobio de flujo ascendente mediante el uso de químicos desincrustantes.

Los criterios empleados para el diseño de la planta depuradora han sido tomados de la Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Servidas para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes, Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias, del año 1992. Estos diseños han sido realizados por el ingeniero Alonso Moscoso, quien fue el consultor encargado de los estudios y diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de las aguas servidas de las poblaciones de la cuenca del lago San Pablo.

La planta N°14 está conformada por tres módulos de ingreso, cada uno de los cuales contienen, un separador de caudal provisto de tres vertederos triangulares para contabilizar el caudal de ingreso, continuando con el sistema primario de tratamiento que está compuesto por tres sedimentadores en paralelo, seguidos por un sistema de filtración secundario compuesto de tres filtros anaerobios de flujo ascendente. Para complementar el sistema

secundario de filtración se cuenta con 54 estanques de forma rectangular que, contienen macrófitas flotantes (*Eichhornia Crassipes*, también conocida como Jacinto de Agua). Después del tratamiento secundario, las aguas ya tratadas se dirigen a un pozo de revisión, para luego continuar mediante tuberías a la descarga a un canal que se conecta al río Itambi, afluente del lago San Pablo, según señala Moscoso (2006).

El canal que lleva el efluente de la plantada depuradora hacia el río Itambi es usado para recibir las aguas residuales sin tratamiento de manera directa cuando se realizan actividades de mantenimiento en la planta de tratamiento.

En la Figura 3 se puede apreciar cómo se encuentra conformada la planta de tratamiento N°14.

El caudal de diseño de ésta planta ha sido determinada en base de la demanda de la población futura a la que servirá la planta hasta el año 2026, correspondiente a 8016 habitantes considerando que en ese año, se dotará de alcantarillado al 100% de la población. Dicho caudal de diseño es de 13,64 l/s según señala el consultor (Moscoso, 2006).

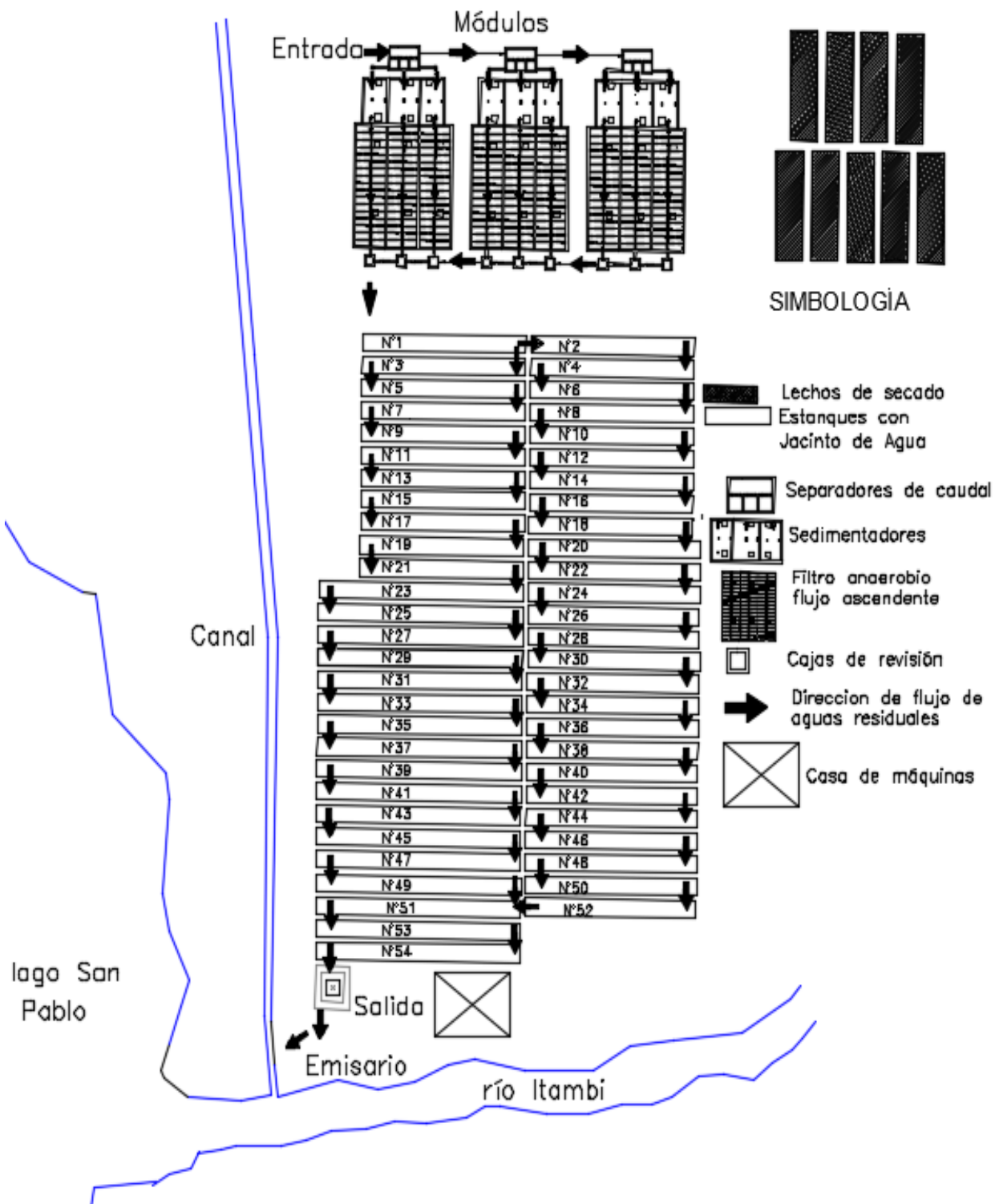


Figura 3: Esquema de la planta de tratamiento N°14. Basado en Moscoso (2006).

A continuación, se describe detenidamente cada elemento que compone la planta N°14.

2.4.2 Separador de caudal

Los separadores de caudal son estructuras que están provistas de vertederos triangulares, con la finalidad de medir los caudales de ingreso al sistema de tratamiento; esta medición se realiza mediante la toma de altura de agua que descarga a través del vertedero.

En base a las visitas de campo realizadas, en compañía del ingeniero Arsenio Coronado, encargado del mantenimiento de la planta, se ha podido realizar las mediciones de los elementos que componen la estructura, que contiene 9 vertederos. Dichos vertederos se encuentran agrupados en tres cajas de revisión, tal, como se muestra en la Figura 4, en la que además se puede notar las direcciones de flujo del caudal de aguas residuales.

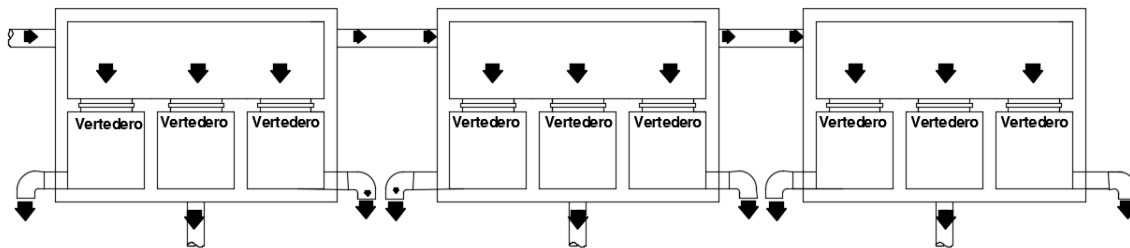


Figura 4: Vista en planta cajas separadoras de caudal de la planta N°14, contiene tres vertederos cada una. Basado en Moscoso (2006).

En la Figura 5, se puede observar las dimensiones típicas de las cajas. En la Figura 6 se puede apreciar una vista en corte de la misma.

En la Figura 7, podemos apreciar a detalle el vertedero de pared delgada triangular de 90° que permite la medición del caudal que ingresa a la planta de tratamiento; ésta estructura no posee regleta por lo que para realizar las mediciones se usó un flexómetro.

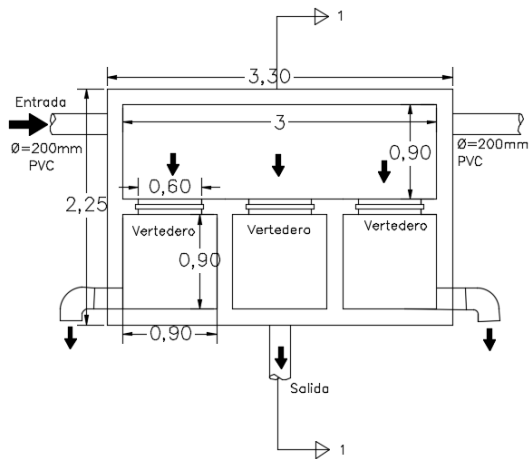


Figura 5: Vista en planta caja separadora de caudal de la planta N°14. Basado en Moscoso (2006).

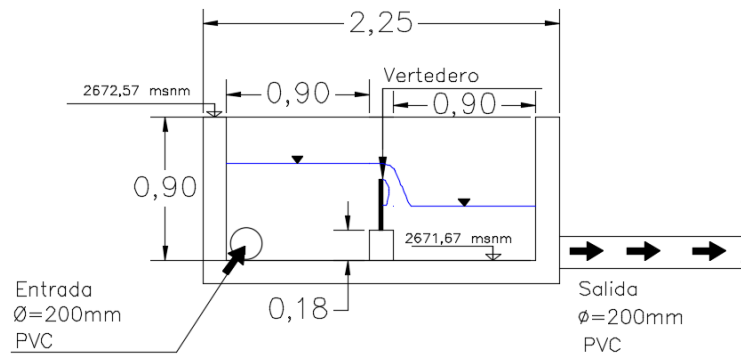


Figura 6: Sección 1-1 de caja separadora de caudal. Basado en Moscoso (2006).

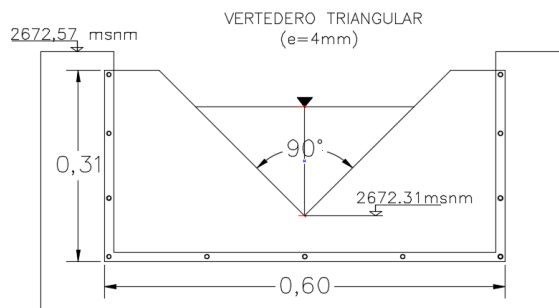


Figura 7: Detalle vertedero de pared delgada. Basado en Moscoso (2006).

En la Fotografía 1, se puede observar las cajas separadoras de caudal en la planta de tratamiento N°14.



Fotografía 1: Cajas separadoras de caudal

2.4.3 Sedimentadores

La planta cuenta con nueve sedimentadores en paralelo, agrupados en módulos de tres, construidos de hormigón armado, para cuyo diseño el consultor ha considerado un periodo de retención de 1,4 horas, tiempo en el cual el sedimentador retendrá la materia sólida que ingresa al sistema de tratamiento (Moscoso, 2006).

En la Figura 8, se puede observar los nueve sedimentadores en paralelo; en la Figura 9, se observa los detalles de uno de los sedimentadores.

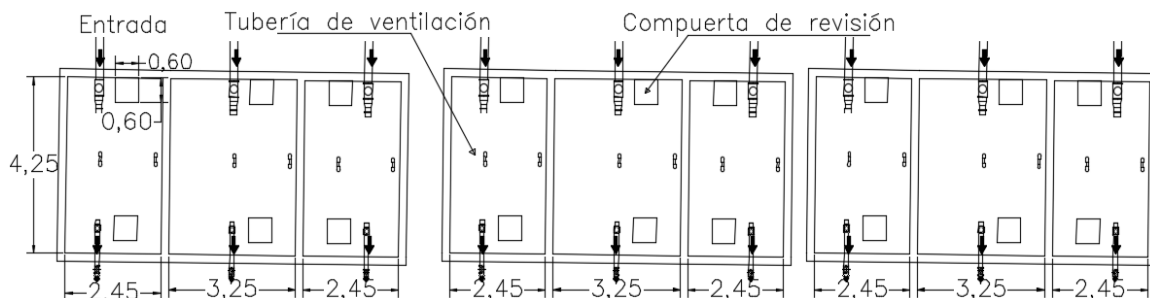


Figura 8: Vista en planta de los sedimentadores planta No. 14. Basado en Moscoso (2006).

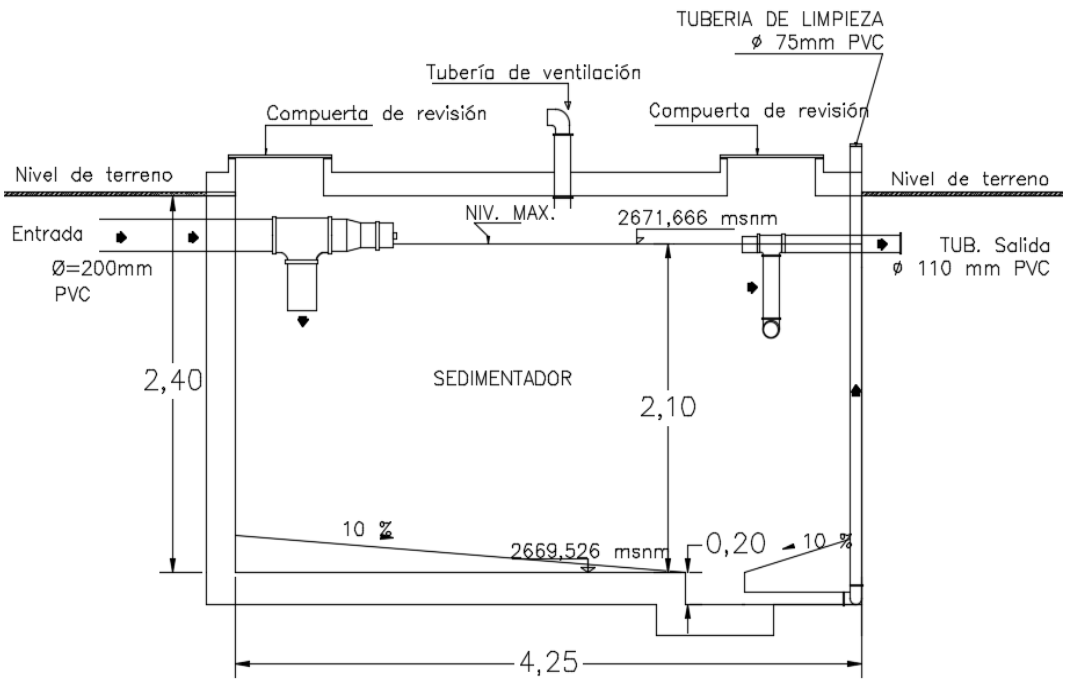


Figura 9: Vista de perfil sedimentador planta No. 14. Basado en Moscoso (2006).

En la Fotografía 2, se observa un módulo de tres sedimentadores de la planta de tratamiento N°14.



Fotografía 2: Sedimentadores

2.4.4 Filtros anaerobios de flujo ascendente

De acuerdo con la memoria técnica realizada por el consultor, el filtro está compuesto de una capa de 50 cm de material granular que consiste en piedra bola con diámetro nominal de 20 cm, una capa de grava de 1,2 m de altura con tamaños que varían entre 5 cm y 7,5 cm, que tiene una altura de 2,60 m (Moscoso, 2006). En la Figura 10, se observa uno de los filtros anaerobios de flujo ascendente.

El sistema de tratamiento secundario consta de 9 unidades en paralelo con un volumen de aproximadamente 78,96 m³ en cada unidad; su disposición geométrica como se puede ver en la Figura 10, mantiene dimensiones de 3,25 metros de ancho, 11,50 metros de largo y 2,60 metros de alto, la memoria técnica de diseño del consultor considera una eficiencia de remoción de carga orgánica estimada del 50% y un tiempo de retención estimado de 8 horas en cada uno de los filtros. Se ha previsto un tratamiento con plantas acuáticas como complemento del sistema secundario (Moscoso, 2006). En la Figura 11, se puede apreciar una vista en planta de los nueve filtros anaerobios.

En la Figura 12, se puede notar como está configurada la tubería perforada del filtro anaerobio de flujo ascendente, la cual distribuye el flujo de aguas residuales de tal manera que permita la ascensión del fluido, filtrando el caudal a través del lecho de grava

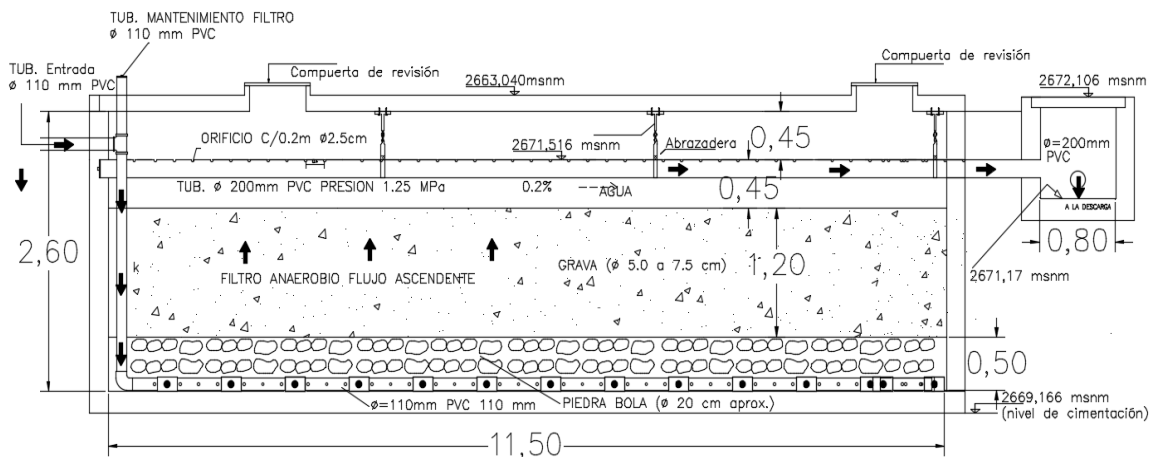


Figura 10: Vista de perfil filtro anaerobio de flujo ascendente planta N°14. Basado en Moscoso (2006).

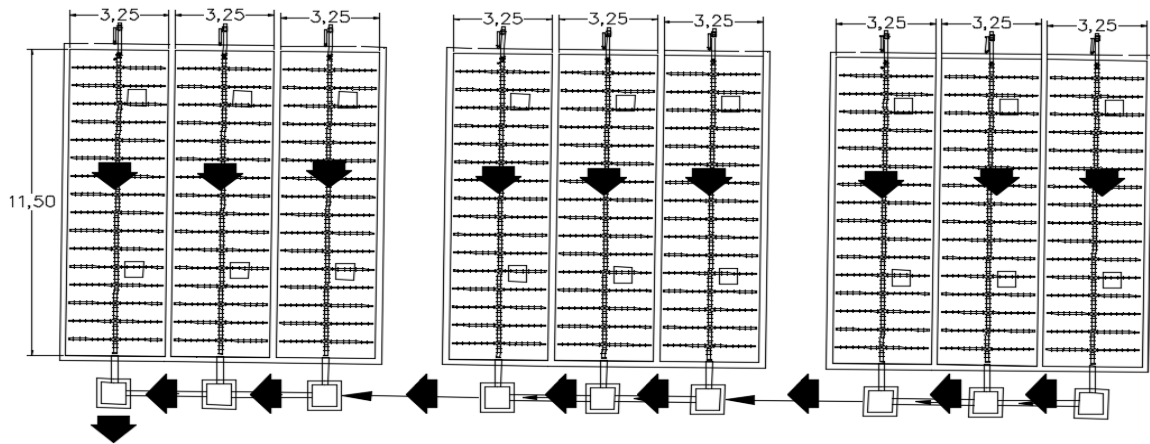


Figura 11: Vista en planta de filtros anaerobios de flujo ascendente planta No. 14.

Basado en Moscoso (2006).

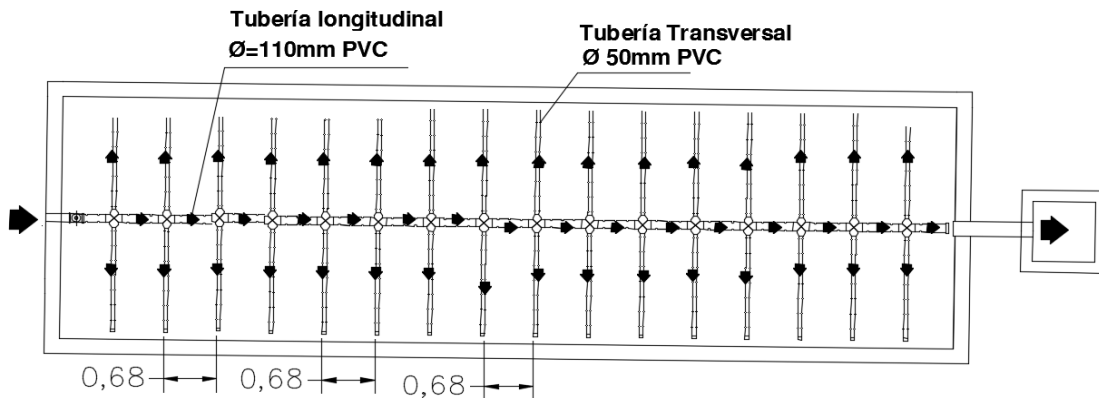


Figura 12: Tubería difusora de agua residual en el filtro anaerobio de flujo ascendente planta No. 14. Basado en Moscoso (2006).

2.4.5 Estanques con plantas acuáticas

a) Configuración del sistema de estanques

La planta depuradora se compone de 54 estanques con Jacinto de Agua, macrófita que se encuentra en flotación dentro de los mismos. Los estanques se encuentran agrupados en tres series identificadas en la Figura 13.

Los estanques están contruidos de hormigón armado en forma rectangular; sus medidas longitudinales varían, ya que los estanques han sido acomodados acorde a la forma del predio en el que fueron emplazados. Sus longitudes son 30, 32, 34 y 40 m, el ancho de los estanques es aproximadamente tres metros y la profundidad varía en cada estanque entre 1,22 m y 1,26m, teniendo una profundidad promedio de 1,23 m y un porcentaje promedio de cobertura

con Jacinto de Agua de 61%. En la Tabla 2 se observan las dimensiones de cada estanque, así como también el porcentaje de cobertura con Jacinto de Agua, el mismo que fue estimado mediante el proceso que se menciona en el capítulo 4, numeral 4.1.

Como se puede apreciar también, en la Figura 13, el caudal total ingresa al primer estanque del sistema de tratamiento con plantas acuáticas, cuyo efluente es dividido equitativamente por dos aberturas rectangulares de igual medida y posición que se encuentran en el estanque N°1 hacia la Serie 1 y Serie 2, mismas que están conformadas por 24 y 26 estanques, respectivamente, para luego unir nuevamente el caudal de las dos series en la Serie 3, que se encuentra conformada por 3 estanques. Al finalizar el tratamiento con los estanques de plantas acuáticas su efluente es conducido hacia a un pozo de revisión para posteriormente mediante tuberías dirigirlo a un canal que se une al río Itambi, que desemboca en el lago San Pablo.

Todos los estanques se encuentran conectado en serie, mediante tuberías, las mismas que en los extremos tienen accesorios de PVC tipo T, de 6 pulgadas de diámetro como se observa en la Figura 14. Estas tuberías y accesorios se encuentran colocadas estratégicamente para de esta manera facilitar y mantener un flujo uniforme sin crear cortocircuitos en el sistema, además de conservar un nivel adecuado de aguas residuales en cada estanque.

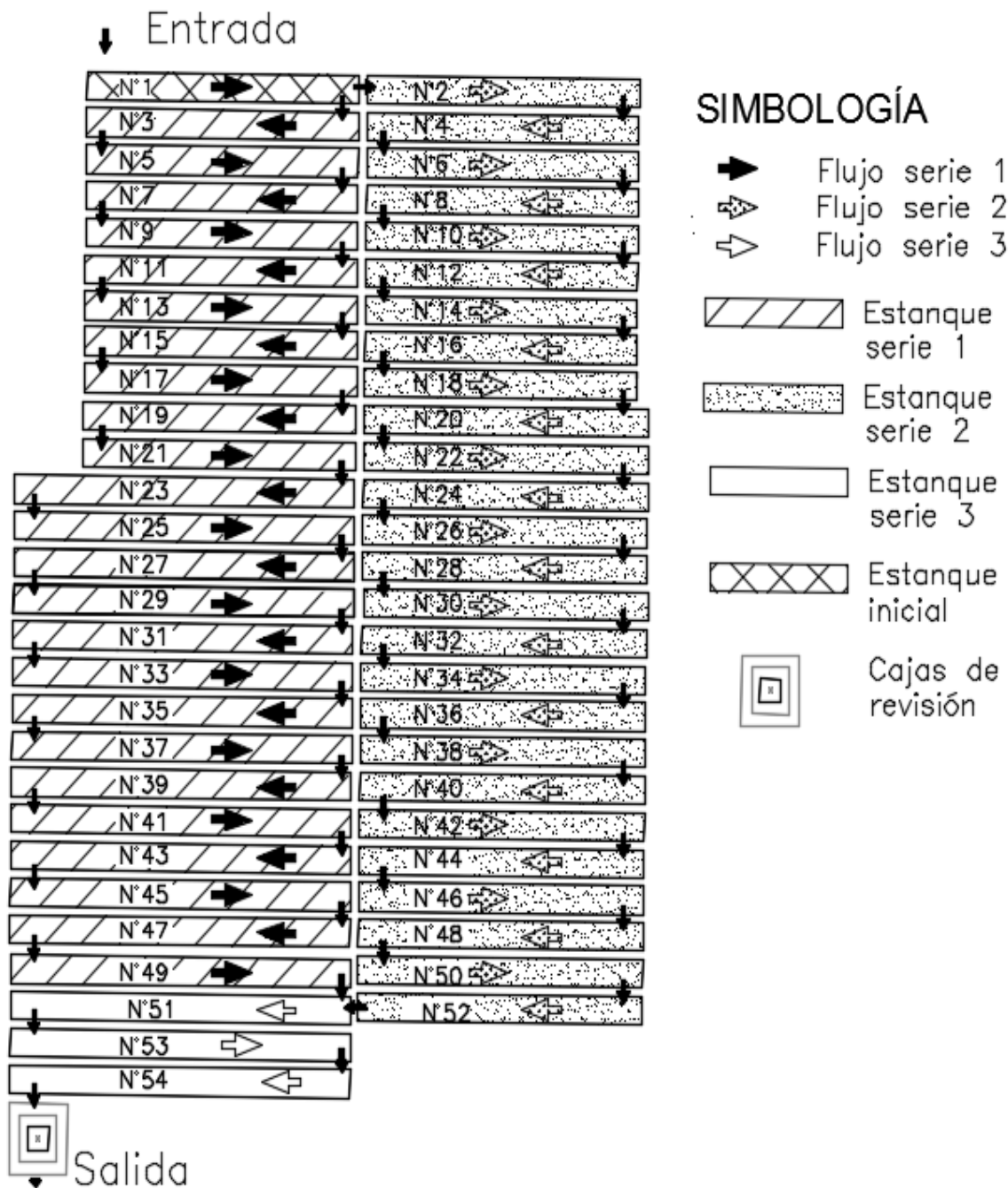


Figura 13: Vista en planta de los estanques con macrófitas flotantes. Planta N°14. Basado en Moscoso (2006).

Tabla 2: Dimensiones de estanques y porcentaje de cobertura con Jacinto de Agua

| ESTANQUE | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (m) | COBERTURA CON JACINTO DE AGUA (%) | ESTANQUE | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (m) | COBERTURA CON JACINTO DE AGUA (%) |
|----------|--------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|
| N°1 | 34,07 | 3,05 | 1,24 | 100% | N°28 | 32,04 | 3,04 | 1,24 | 69% |
| N°2 | 30,05 | 3,03 | 1,25 | 100% | N°29 | 40,05 | 3,01 | 1,23 | 45% |
| N°3 | 34,06 | 3,02 | 1,23 | 44% | N°30 | 32,04 | 3,05 | 1,23 | 81% |
| N°4 | 30,08 | 3,04 | 1,24 | 50% | N°31 | 40,03 | 3,00 | 1,22 | 55% |
| N°5 | 34,07 | 3,01 | 1,24 | 50% | N°32 | 32,07 | 3,00 | 1,23 | 53% |
| N°6 | 30,00 | 3,05 | 1,25 | 67% | N°33 | 40,06 | 3,00 | 1,23 | 40% |
| N°7 | 34,05 | 3,07 | 1,26 | 56% | N°34 | 32,05 | 3,00 | 1,23 | 66% |
| N°8 | 30,05 | 3,04 | 1,24 | 47% | N°35 | 40,05 | 3,03 | 1,23 | 55% |
| N°9 | 34,00 | 3,06 | 1,24 | 44% | N°36 | 32,00 | 3,02 | 1,24 | 59% |
| N°10 | 30,06 | 3,04 | 1,23 | 53% | N°37 | 40,00 | 3,04 | 1,24 | 43% |
| N°11 | 34,00 | 3,00 | 1,23 | 35% | N°38 | 32,00 | 3,01 | 1,23 | 56% |
| N°12 | 30,04 | 3,00 | 1,22 | 50% | N°39 | 40,04 | 3,05 | 1,23 | 38% |
| N°13 | 34,02 | 3,03 | 1,24 | 50% | N°40 | 32,04 | 3,07 | 1,22 | 75% |
| N°14 | 30,05 | 3,02 | 1,23 | 63% | N°41 | 40,00 | 3,04 | 1,24 | 63% |
| N°15 | 34,03 | 3,04 | 1,24 | 68% | N°42 | 32,00 | 3,00 | 1,24 | 91% |
| N°16 | 30,00 | 3,01 | 1,24 | 43% | N°43 | 40,06 | 3,00 | 1,23 | 65% |
| N°17 | 34,00 | 3,05 | 1,26 | 56% | N°44 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 81% |
| N°18 | 30,03 | 3,07 | 1,23 | 83% | N°45 | 40,00 | 3,04 | 1,22 | 55% |
| N°19 | 30,01 | 3,04 | 1,23 | 74% | N°46 | 32,04 | 3,00 | 1,23 | 53% |
| N°20 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 78% | N°47 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 40% |
| N°21 | 34,07 | 3,04 | 1,23 | 53% | N°48 | 32,00 | 3,03 | 1,24 | 66% |
| N°22 | 32,00 | 3,00 | 1,24 | 53% | N°49 | 40,05 | 3,02 | 1,23 | 55% |
| N°23 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 48% | N°50 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 78% |
| N°24 | 34,05 | 3,03 | 1,23 | 63% | N°51 | 40,00 | 3,04 | 1,22 | 83% |
| N°25 | 40,05 | 3,02 | 1,23 | 63% | N°52 | 32,00 | 3,01 | 1,23 | 47% |
| N°26 | 32,04 | 3,00 | 1,22 | 59% | N°53 | 40,05 | 3,05 | 1,23 | 100% |
| N°27 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 45% | N°54 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 100% |

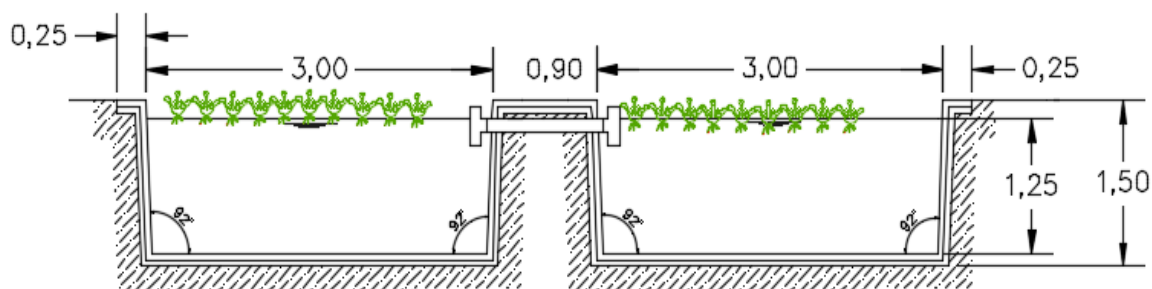


Figura 14: Vista en transversal de los estanques con macrófitas flotantes. Planta N°14. Basado en Moscoso (2006).

En la Fotografía 3, se pueden observar los estanques con plantas acuáticas, esta imagen fue tomada después de haberse realizado la cosecha de Jacinto de Agua, motivo por el cual se observa una población vegetal reducida en cada estanque. En la Fotografía 4, se aprecia la conexión entre estanques mediante un tubo y accesorio tipo T.



Fotografía 3: Estanques con Jacinto de Agua

Conexión
entre
estanques
mediante
accesorio
tipo T



Fotografía 4: Conexión entres estanques de Jacinto de Agua

b) Plantas acuáticas

Dentro de los estanques de tratamiento se cultivan plantas macrófitas flotantes del tipo *Eichhornia Crassipes*, cuyo nombre común es Jacinto de Agua.

“Una de las principales características del Jacinto de Agua es el gran potencial de remoción de materia orgánica, razón por la cual resulta ser una planta flotadora útil en el tratamiento de aguas residuales” (Fernández, Beascoechea, Muñoz y Fernández, 2005).

El desarrollo y crecimiento vegetativo del Jacinto de Agua en el sector cuenca del lago San Pablo se debe a dos razones: la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales de origen doméstico y las condiciones atmosféricas como la temperatura y humedad que existen en la zona en la que se encuentran implantadas, pues beneficiosamente coinciden con los parámetros ideales que se encuentran ampliamente explicados en el Capítulo 3 en el numeral 3.2.

Las plantas flotantes que se encuentran en los estanques del sistema depuratorio asimilan la materia orgánica por sus raíces, las cuales son abundantes y poseen un color negruzco; las macrófitas están compuestas de hojas redondeadas de color verde, dispuestas de tal manera que conjuntamente con las raíces permiten y facilitan la flotabilidad de las plantas (Fernández et al., 2005).

Dentro de los estanques de tratamiento las plantas crecen en todas las direcciones creando una capa vegetal espesa; su proliferación se debe también al viento que ayuda a transportar a la población de plantas sembradas de un lado a otro dentro del estanque, para así poder regar sus semillas y continuar con su crecimiento poblacional (Fernández et al., 2005).

La cobertura del Jacinto de Agua no es regular todo el año, ya que según las observaciones realizadas por el técnico encargado de la planta depuradora esto depende mucho de la cantidad de lluvias que se presenten en el año, pues en época invernal el crecimiento de las plantas flotantes incrementa considerablemente, razón por la cual se programan cosechas emergentes del Jacinto de Agua.

En la Fotografía 5, se presenta una muestra de Jacinto de Agua que se encuentra en los estanques de la planta N°14 de la parroquia San Pablo del Lago.

En el Anexo 9 se presenta una certificación de la clase de macrófita flotante que se encuentra presente en la planta depuradora N°14 de la parroquia San Pablo del Lago certificado por la PhD Catalina Quintana profesora de Botánica de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, quien certifica que las plantas efectivamente son Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*).



Fotografía 5: Jacinto de Agua presente en la planta depuradora.

2.4.6 Lechos de secado de lodos

Según el ingeniero encargado de la logística, planeación y mantenimiento de la planta de tratamiento, la cosecha del Jacinto de Agua se la realiza cada tres meses, esto con el afán de mantener un nivel moderado en la población del Jacinto de Agua dentro de los estanques. Esta cosecha se la realiza recolectando las plantas que se encuentren en mal estado, o estado de putrefacción, para luego ser depositadas en los lechos de secado.

La planta N°14 cuenta con 9 lechos de secado contruidos en hormigón armado, con una dimensión de 4,10 metros de ancho y 15,00 metros de largo; en ellos son depositadas las macrófitas flotantes que fueron cosechadas, para que luego de ser secadas por radiación

solar, ser removidas por maquinaria de la EMAPAO y posteriormente dispuesta en el relleno sanitario de la ciudad de Otavalo donde son enterradas, según menciona el técnico encargado de la planta depuradora.

A continuación, en la Fotografía 6, se observan los lechos de secado luego de la cosecha de Jacinto de Agua en las tareas de mantenimiento rutinario que realiza la EMAPAO.



Fotografía 6: Lechos de secado de lodos

2.4.7 Casa de máquinas

La planta depuradora cuenta con una casa de máquinas; en esta se encuentran emplazadas dos bombas las cuales no se encuentran en funcionamiento, ya que el efluente del sistema de tratamiento es vertido hacia un canal a gravedad.



Fotografía 7: Casa de máquinas

2.4.8 Salida y descarga

Luego del sistema de tratamiento con estanques de plantas acuáticas, el caudal de aguas tratadas es dirigido hasta un pozo de revisión, para luego mediante tuberías ser conducido a un canal que llega al río Itambi, afluente del Lago San Pablo como se puede apreciar en la Figura 15.



Figura 15: Emplazamiento de descarga de la planta N°14. Obtenido de Google Earth, 19 de febrero del 2018

En la Fotografía 8, se puede apreciar el pozo de revisión final, cuya sección es de 0,80 m por 0,80 m. Debido a la falta de un vertedero en la salida del sistema de tratamiento, los aforos de medición de caudal de salida de la planta se realizan de manera volumétrica.



Fotografía 8: Pozo de revisión, en la salida del sistema de tratamiento

En la Fotografía 9, se puede apreciar la toma de caudal del efluente de la planta depuradora; para lo cual se procedió con el taponamiento de la salida del efluente de la planta, vaciado del pozo de revisión, para luego descargar el flujo del efluente y tomar el tiempo en que llega a un volumen determinado, obteniendo así el caudal de salida de la planta depuradora.



Fotografía 9: Toma de caudal en la salida de los estanques con macrófitas flotantes

El pozo de revisión final es el último lugar donde se puede apreciar al agua tratada, ya que la tubería que conduce el efluente hasta el canal resulta estar oculta por la maleza, por lo que el acceso se dificulta. En la Fotografía 10, se puede apreciar el canal de descarga de la planta de tratamiento, el cual posteriormente descarga al río Itambi.



Fotografía 10: Canal receptor del efluente, planta N°14

En la Fotografía 11, se observa el río Itambi llevando su afluente hacia el lago San Pablo y en la Fotografía 12, se puede apreciar una vista aérea de la unión del río Itambi con el lago San Pablo.



Fotografía 11: río Itambi



Fotografía 12: Unión del río Itambi con el lago San Pablo

2.5 Análisis de la información disponible sobre la planta depuradora de aguas residuales No. 14 de la parroquia San Pablo del Lago.

La planta de tratamiento N°14 de la parroquia San Pablo del Lago dispone de un manual de operación y mantenimiento que fue elaborado como parte de los estudios del proyecto: “Diseño del modelo de gestión para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca del Imbakucha lago San Pablo, provincia de Imbabura”. Este proyecto contó con el cofinanciamiento del Fondo Ítalo Ecuatoriano (FIE) y el Gobierno Autónomo descentralizado Municipal de Otavalo (GADMO).

El mencionado manual contiene la descripción de la planta de tratamiento, los procesos de mantenimiento preventivo que se debe realizar en la planta de tratamiento, así como un plan de operación para el manejo de la planta depuradora.

El manual recomienda el monitoreo constante de la planta mediante el aforo de caudales tanto de la entrada como en la salida del sistema depuratorio, para lo cual se recomienda también la limpieza de las cajas separadoras de caudal con el camión hidrocleaner, succionando lodos y materia sólida atrapada en las cajas separadoras de caudal, facilitando así la visualización del vertedero en la entrada del sistema. En la salida del sistema de tratamiento se debe aforar el caudal de manera volumétrica (GAD Otavalo, 2016).

Dentro de las actividades de mantenimiento que recomienda realizar el manual de operación se encuentra la limpieza de las unidades de sedimentación, ya que en dicha unidad sedimenta y acumula toda la materia orgánica y sólidos en suspensión que arrastran las aguas residuales, por lo cual se recomienda la extracción de los lodos acumulados, periódicamente cada 3 o 6 meses (GAD Otavalo, 2016).

El manual de operación y mantenimiento recomienda además la limpieza de filtros de flujo ascendente, con el fin de remover los sólidos más finos acumulados y destapar la tubería de flauta, procesos que se realizará mediante la inyección de agua a presión con el camión hidrocleaner de la EMAPAO, para luego proceder a la succión de lodos que posteriormente serán depositados en los lechos de secado. Esta actividad se debe realizar cada 15 días o una vez por mes dependiendo de la acumulación (GAD Otavalo, 2016).

Según el manual de operación, la limpieza de los estanques con Jacinto de Agua se la debe realizar cuando los lodos y materia orgánica acumulados en el fondo de los estanques

sobrepasen el 1/3 de su altura. La acumulación puede darse a los dos o tres años, para lo cual se debe medir la altura del lodo especialmente en las primeras piscinas cada cierto período (GAD Otavalo, 2016).

La cosecha del Jacinto de Agua según el manual de operación se la debe realizar cada 15 o 21 días dependiendo de su crecimiento, para lo cual recomienda cosechar el 50 % de la totalidad de la superficie del estanque eliminando plantas con pecas bacterianas, viejas o en mal estado del centro u otro sector; menciona además la importancia de conservar espacios sin población vegetal que permita el ingreso de rayos solares para un mejor control de coliformes en los humedales (GAD Otavalo, 2016).

Después de la cosecha es recomendable además distribuir de manera uniforme el Jacinto de Agua en toda el área de los estanque para que la planta pueda reproducirse con libertad. La biomasa debe ser recolectada con trinche o pala y esta debe ser transportada en carretilla hacia los lechos de secado para su deshidratación y descomposición (GAD Otavalo, 2016).

En las Fotografías 13 y 14, se puede observar los procesos de limpieza de los elementos de la planta de tratamiento.



Fotografía 13: Limpieza de filtros percoladores con agua a presión.



Fotografía 14: Limpieza de separadores de caudal con camión Hidrocleaner.

El Laboratorio de Agua Potable y Alcantarillado de la EMAPAO, realiza análisis periódicos del agua residual de todas las plantas de tratamiento que se encuentran en la cuenca del lago San Pablo. Estos análisis son realizados con el interés de saber si las plantas depuradoras trabajan de manera adecuada, cumpliendo con la normativa de calidad de agua. Estos resultados son corroborados mediante un análisis anual realizado por un laboratorio externo certificado, en el cual se obtienen varios parámetros para verificar el cumplimiento de los límites de la Tabla 10 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluente al Recurso Agua. En la Tabla 3 se puede apreciar un extracto de los resultados de análisis de agua correspondientes a la planta N°14 de parroquia San Pablo realizados el 1 de febrero del 2017 por el Laboratorio de Agua Potable y Alcantarillado de la EMAPAO.

Tabla 3: Extracto de análisis de laboratorio, Planta N° 14

| REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL | | | | | | |
|--|------------------|------------------|-----------|------------|-----------|---------------|
| Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Pablo del Lago | | | | | | |
| Fecha: 01/02/2017 | | | | | | |
| Tipo de agua: Residual | | | | | | |
| CARACTERISTICAS FÍSICAS | | | | | | |
| Parámetros | Expresado como | Unidad de medida | Limite | Entrada | Salida | % de Remoción |
| Temperatura | °C | Unidades | C.natural | 17,1 | 17,8 | - |
| Potencial de hidrógeno | pH | Unidades | 6-9 | 7,66 | 7,71 | - |
| DETERMINACION DE COMPONENTES ORGÁNICOS | | | | | | |
| Parámetros | Expresado como | Unidad de medida | Limite | Entrada | Salida | % de Remoción |
| DQO | DQO | mg/l | 200 | 567 | 66 | 88,36 |
| DBO | DBO ₅ | mg/l | 100 | 360 | 16 | 95,56 |
| ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO | | | | | | |
| Parámetros | Expresado como | Unidad de medida | Limite | Entrada | Salida | % de Remoción |
| Coliformes totales | NMP | NMP/100ml | NI | 36 540 000 | 1 597 000 | 95,63 |
| E. Coli | NMP | NMP/100ml | 10000 | 11 300 000 | 10 000 | 99,91 |

Nota: Tomado del ANALISIS No. 032-2017 EMAPAO-EP.

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

3.1 Caracterización de aguas residuales.

Los desechos residuales producidos por las actividades domésticas e industriales en contacto con el agua, dan origen a las aguas residuales. Estas aguas son consideradas uno de los problemas más serios que afecta al medio ambiente ya que al ser vertidos de manera directa, causan contaminación; es por eso que se realizan distintos procesos de tratamiento para que dichas aguas puedan ser vertidas en cuerpos receptores sin causar un impacto ambiental considerable (Barón, 2006).

Pérez, Maraño, Bermúdez, Aguilera, Cambá y Abalos (2004), afirma que las aguas residuales pueden tener exceso de nutrientes, microorganismos patógenos, sustancias tóxicas, así como presencia de materia orgánica de origen biológico, por lo que el sistema de alcantarillado debe proveer un tratamiento adecuado para modificar las características físicas, microbiológicas y químicas, resultando el sistema de depuración el medio más favorable para poder disminuir el nivel nocivo de contaminación en los cuerpos receptores.

Mecalf & Eddy (2014), manifiesta que conocer la naturaleza y características de las aguas residuales, resulta ser esencial para fines medioambientales.

Con la interpretación de los resultados puntuales de la caracterización, se obtiene parámetros para diseñar un sistema de tratamiento adecuado y eficaz con el cual se reducirá el impacto ambiental (Pérez, et al., 2004).

Para realizar una caracterización adecuada de aguas residuales, se debe tomar en cuenta los parámetros físicos, químicos y físico-químicos, tales como la temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, indicadores de carga orgánica e inorgánica y organismos microbiológicos, para de esta manera relacionar con valores admisibles y evaluar sus posibles potenciales de contaminación (Pérez, et al., 2004).

3.1.1 Origen de aguas residuales

Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales de origen doméstico son las más comunes y se originan en todas las viviendas; están compuesta de excretas y todo desperdicio generado por las actividades cotidianas que se desarrollan dentro de las viviendas; estas producen agentes patógenos que se dispersarían en el ambiente rápidamente (Silva, Torres y Madera, 2008).

Las aguas residuales de origen doméstico contienen contaminantes perjudiciales para el ambiente, por lo que no deben ser vertidas de manera directa a cuerpos hídricos ni suelos; razón por la cual es importante que dichas aguas sean sometidas a un tratamiento adecuado previo, para de esta manera cumplir con los límites establecidos por la normativa vigente de cada país (Lazcano, 2016).

Aguas residuales agrícolas

Las aguas residuales de origen agrícola generalmente son producidas en las zonas rurales ya que son sectores en donde se realizan actividades ganaderas y agrícolas. Este tipo de aguas contienen diferente tipo de contaminantes como pesticidas y fungicidas que degradan las características del agua. Es importante recalcar que en América Latina la gran mayoría de agricultores emplea el agua cruda no tratada para el regadío de sus cosechas, acto que en diferentes partes del mundo es sancionado (Silva, Torres y Madera, 2008).

Aguas residuales industriales

Las aguas residuales producidas por la industria en su gran mayoría contienen elementos tóxicos o metales, los cuales son nocivos al entrar en contacto con el ambiente. Estos deben ser evaluados de acuerdo al proceso industrial en el que fueron utilizados, esto con el objeto de identificar el factor contaminante que contienen estas aguas para posteriormente determinar un tratamiento eficaz el cual ayude a la recuperación de estas aguas previo a su vertido en un cuerpo receptor (Valdez y Vázquez, 2003).

Aguas pluviales

Según Ramalho (2003), afirma que las aguas pluviales provienen de las precipitaciones que ocurren en las áreas específicas de estudio; son conducidas a desagües y alcantarillas, arrastrando a su paso sedimentos, lodos y basura, motivo por el cual este tipo de aguas pueden tener un efecto de contaminación significativa.

3.1.2 Características de las aguas residuales

3.1.2.1 Parámetros físicos

Sólidos totales

Se puede definir a los sólidos totales como la cantidad de materia excedente residual que se obtiene al someter al agua a un proceso de evaporación, exponiendo al fluido a una temperatura que fluctúa entre 103° y 105°C (Metcalf & Eddy, 2014).

Olores

Según Metcalf & Eddy Inc (1995) refiere que los olores provenientes de aguas residuales se originan debido a los gases que emana la materia orgánica en su proceso de descomposición. Los microorganismos anaerobios reducen los sulfatos a sulfitos, lo que produce el olor característico de las aguas residuales por la presencia de sulfuro de hidrógeno.

Temperatura

La temperatura en las aguas residuales suele ser elevada respecto a la de suministro, debido a las actividades domésticas e industriales que se desarrollan en las poblaciones. Este parámetro físico es sumamente importante ya que la variación del mismo puede generar un impacto negativo para el desarrollo de la biota acuática, velocidad en las reacciones químicas, así como la reducción de la presencia de oxígeno disuelto en el agua (Metcalf & Eddy, 2014).

Densidad

Metcalf & Eddy. Inc (1995) afirma respecto de la densidad que, “Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento” (p.73).

Color

Es el parámetro físico encargado de dar una descripción cualitativa a las aguas residuales sobre su coloración, característica importante ya que acompañada del olor, se puede identificar de cierto modo la edad del agua residual, teniendo así un color grisáceo, obscureciendo su tonalidad conforme va pasando por la redes de alcantarillado, hasta el punto de llegar a tener un color negruzco, razón por la cual al agua residual con esta coloración, se le denomina agua séptica (Mecalf & Eddy, 2014).

Turbiedad

La turbiedad es considerada como la capacidad que poseen los materiales suspendidos en el agua para obstaculizar el paso de la luz; es ocasionada directamente por el contacto del agua con desperdicios y desechos generados por la industria y las actividades domésticas (Mecalf & Eddy, Inc, 1995).

La turbidez es un indicador de eficacia en los procesos de tratamiento de aguas residuales, debido a que a mayor turbidez exista, mayor es la contaminación del agua (Seoáñez, 2002).

3.1.2.2 Parámetros químicos

Aceites y grasas

La principal característica que poseen los aceites y grasas es su insolubilidad al estar en contacto con el agua; estos elementos se encuentran presentes en aguas residuales provenientes del uso doméstico, principalmente del uso que se le puede dar al agua en actividades de cocina y al estar en contacto con productos derivados del petróleo como los aceites de cocina. Las grasas y aceites que se encuentran en las aguas residuales son los agentes formadores de natas, las mismas que restringen el intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010).

Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en el agua, puede provenir de diferentes fuentes: una, es la obtención directa de la atmósfera mediante distintos procesos de aireación; y o, la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas al absorber el dióxido de carbono y su transformación en

oxígeno. Este parámetro permite la vida y el desarrollo de microorganismos aerobios, los mismos que incrementan su población a medida que los niveles de oxígeno aumentan (Delgadillo et al., 2010).

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias en un período de 5 días, para realizar la oxidación de la materia orgánica mediante procesos aerobios. Este proceso se da bajo ciertos lineamientos y condiciones como la oscuridad y la temperatura. La prueba estándar de la DBO determina que la temperatura debe ser de 20° C (Delgadillo et al., 2010).

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesario para que mediante un proceso químico se descomponga la materia orgánica biodegradable y no biodegradable. El ensayo para la obtención del DQO consiste en medir el contenido de materia orgánica bajo la acción del ácido sulfúrico o dicromato de potasio, compuestos capaces de oxidar la materia orgánica que los microorganismos no pudieron degradar (Delgadillo et al., 2010).

Durante la prueba de la DQO, además de la determinación de los compuestos degradables como los no degradables biológicamente, también se incluyen aquellos compuestos inorgánicos reductores que pueden ser oxidados por el dicromato en medio ácido, como es el caso común del anión cloruro (Lazcano, 2016, p.108).

3.1.2.3 Parámetros microbiológicos

Bacterias

Romero (1999), define a las bacterias como organismos unicelulares de suma importancia en la descomposición de la materia orgánica, expresando además que las bacterias presentes en las excretas pueden producir problemas sanitarios de gravedad.

Entre las bacterias más conocidas resaltan las entéricas, que resultan ser dañinas al ser humano ya que colonizan el tracto gastrointestinal siendo eliminadas a través de la materia

fecal según expresa la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (como se citó en Delgadillo et al., 2010).

Coliformes

Los coliformes son las bacterias más comunes, consideradas como organismos indicadores de la presencia de bacterias patógenas. Los coliformes se clasifican en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales.

Coliformes Totales

Los coliformes totales son bacterias aerobias y anaerobias que son capaces de reproducirse fuera de los intestinos de animales de sangre caliente en donde las condiciones son óptimas en pH y humedad. Se conoce además que estas bacterias pueden reproducirse en biopelículas que se van formando en tuberías de redes de agua potable (Delgadillo et al., 2010).

Según Mecalff & Eddy. Inc. (1995), “El grupo de coliformes incluye cuatro géneros de la familia Enterobacteriácea. Estos son el Escherichia, Klebsiella, Citrobacter y Enterobacter” (p.108).

Escherichia: Son organismos propios del tracto intestinal de los vertebrados, considerados como un indicador de contaminación por desechos fecales presentes en agua y alimentos. Pueden presentar diferentes formas y tamaños como; tipo bastón curvo, espiral y filamentosas (Mecalff & Eddy. Inc, 1995).

Klebsiella: Pertenece a la familia de Enterobacteriácea, considerada como un patógeno de suma importancia debido a que puede producir graves problemas de salud mediante infecciones (Gonzales, Nieves, Solórzano, Cruz, Puig y Moreno, 2013).

Citrobacter: Son consideradas como enterobacterias que presentan una fermentación lenta a la lactosa. Estos microorganismos pueden presentar problemas infecciosos de gravedad cuando el ser humano presenta un nivel de defensas bajo, afectando el sistema urinario y respiratorio (Granados y Vilaverde, 1997).

Enterobacter: Son conocidas también como bacterias oportunistas ya que su desarrollo no presenta exigencias nutritivas altas, por lo que se encuentran perfectamente adaptadas al

medio ambiente, no se consideran patógenas y presentan gran inmunidad a la presencia de antibiótico (Granados y Vilaverde, 1997).

Coliformes fecales

Constituyen un subgrupo de los coliformes totales, son de tipo bastoncitos de 0,0002-0,0003 mm por 0,002 a 0,003 mm, son aerobios/anaerobios facultativos no esporulados. Se diferencian de los coliformes totales por ser tolerantes a las temperaturas elevadas (creciendo a 44,5°C), lo que les permite estar mejor adaptadas a la vida al interior del animal. (Delgadillo et al., 2010, p.63)

Los coliformes fecales solos no representan una amenaza perjudicial para el ser humano, de hecho, son los encargados de la degradación de la materia orgánica en los distintos métodos de tratamiento; el problema radica en el hecho de que el ser humano descarga junto con los coliformes fecales, microorganismos patógenos, los mismos que pueden causar distintas enfermedades como el cólera, tifoidea, disentería y demás. Los microorganismos patógenos en aguas residuales presentan complejidad al momento de ser identificados, sin embargo se los identifica como un indicador de la presencia de coliformes fecales (Ramalho, 2003).

La *Escherichia Coli* (*E. Coli*) es el microorganismo más común, ya que aproximadamente se encuentra en un porcentaje del 90 y 100% en las excretas humanas, lo que conlleva a notar que aproximadamente en un gramo de heces fecales se podría encontrar aproximadamente 5 mil millones de coliformes fecales (Delgadillo et al., 2010).

Para la identificación de la presencia de bacterias, existen cuatro métodos empleados en laboratorio: conteo directo expresado, cultivo en placa, método de membrana filtrante y fermentación de tubos múltiples, cuyos resultados son expresados en NMP/100ml a excepción del método de membrana filtrante que es expresado en UFC/100ml (Delgadillo et al., 2010).

Protozoos

Los protozoos son también conocidos como protistas unicelulares, y se encuentran principalmente en aguas residuales. Los protozoos patógenos que resultan perjudiciales para la salud humana son: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*. Existen protozoos que se alimentan de bacterias y de otros microorganismos; entre ellos los Ciliados

que pueden mejorar la calidad del efluente en el tratamiento biológico de aguas residuales (Romero, 1999).

Helmintos

Los helmintos son parásitos que se caracterizan por presentar resistencia en el medio ambiente, ya que son capaces de vivir en el suelo por periodos prolongado. Estos grupos de organismos incluyen a los nemátodos, cestodos, así como también a los tremátodos. Los helmintos son clasificados epidemiológicamente como patógenos entéricos, mismos que cuentan con un alto potencial para causar infecciones fuertes si el ser vivos que lo contiene posee un sistema inmunológico bajo, según expresa la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (como se citó en Delgadillo et al., 2010).

Los huevos y larvas de helmintos tienen un tamaño que varía entre 10 y 100 μm ; pueden resistir condiciones ambientales extremas y subsistir a procesos de tratamiento de desinfección de aguas residuales. Sin embargo, los huevos de helminto pueden ser removidos por procesos de sedimentación, filtración y lagunas de estabilización (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.2 Plantas acuáticas flotantes.

Se denominan plantas acuáticas flotantes aquellas cuyos órganos de asimilación de nutrientes se encuentran sobre la superficie del agua, es decir se encuentran flotando; tienen la particularidad de presentar sus raíces suspendidas en el agua; un claro ejemplo de este tipo de planta es la Lenteja de Agua y el Jacinto de Agua. Existe una variedad de plantas flotantes, que tienen su raíz sumergida y anclada en los humedales, pero sus hojas se encuentran flotando en la superficie del agua; un ejemplo de este tipo de planta son los Nenúfares (Fernández et al., 2005).

Lemna Minor (Lenteja de Agua)

La Lemna Minor es una planta macrófita flotante que proviene de la familia de las Lamnaceae, se caracteriza por su peculiar tamaño, ya que mide de 1 a 15 mm de longitud, sus hojas tienen forma redondeada, por el hecho de ser extremadamente pequeña, no existe una diferencia

notoria entre el tallo y las hojas; la lenteja de agua es conocida también por su capacidad de proliferación de crecimiento vegetativo (Fernández et al., 2005).

Esta planta es considerada como la planta más invasiva a nivel mundial por tener una tasa de crecimiento sumamente alta, su tasa relativa de reproducción puede estar entre 1 y 0,5 d⁻¹; pese a su pequeño tamaño puede soportar variaciones de temperatura y pH (Rodríguez, Gómez, Garavito y López, 2010).

Esta planta puede ser sembrada por el hombre o también puede regar su semilla a través de aves migratorias o simplemente cuando el agua toma curso donde se encuentra esta planta flotante; su reproducción es rápida, ya que puede duplicarse en apenas 24 horas, siempre y cuando se encuentre en condiciones adecuadas de temperatura, humedad y clima. Esta planta puede reproducirse con gran facilidad en medios acuáticos en los cuales exista grandes niveles de contaminación orgánica, tomando en cuenta que bajo esta condición y con una temperatura aproximada de 27°C esta macrófita duplicara su área de cobertura vegetativa en tan solo 4 días (Fernández et al., 2005).

Las condiciones adversas que pueden afectar a la reproducción, crecimiento e incluso existencia de esta especie son las heladas, ya que afectan directamente a la planta. Bajo estas circunstancias, esta macrófita tomará una tonalidad rojiza, interrumpiendo su crecimiento vegetativo a temperaturas de 1 a 3° C (Fernández et al., 2005).

La Lenteja de Agua es considerada como una planta monoica, es decir posee flores unisexuales debido a que sus flores femeninas poseen únicamente un carpelo y las flores masculinas poseen únicamente un solo estambre (Arroyave, 2004).

Esta planta puede ser empleada también en la alimentación de animales de granja sobre todo en épocas de gestación por su nivel proteico, pues resulta ser beneficiosa para ayudar a la nutrición de los animales. También es empleada en el tratamiento de aguas residuales debido a su facilidad de absorción de nutrientes y asimilación de materia orgánica (Arroyave, 2004).

En la Figura 16 se puede apreciar una ilustración de la Lenteja de Agua.



Figura 16: Lemna Minor (Lenteja de Agua). Tomado de University of Florida Center for Aquatic and Invasive Plants (2011)

Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua)

El Jacinto de Agua es una macrófita flotadora que se encuentra en los climas tropicales. Su origen proviene principalmente de la Amazonía, pero su territorio se ha extendido considerablemente, adaptándose a diversos tipos de clima. Esta planta es catalogada en varias regiones a nivel mundial como una planta dañina por sus dotes de invasión, caracterizada además por su excelente potencial de remoción de nutrientes de las aguas residuales debido a su crecimiento y rapidez de asimilación de nutrientes, cualidad que le permite absorber el contenido orgánico de las aguas en las que ésta flota. Por sus características físicas es capaz de producir sombra por sus grandes hojas, evitando así el ingreso de luz, acción que limita la formación de algas dentro del agua. Sin un control adecuado las plantas flotadoras como el Jacinto de Agua podrían presentar serios inconvenientes, ya que su sobre población podría limitar la difusión de oxígeno que el agua podría obtener desde la atmósfera, así como también obstruyendo en demasía el paso de luz a otras plantas acuáticas que se encuentren sumergidas (Fernández et al., 2005).

Fernández et al, (2005) refiere que el Jacinto de Agua consta de raíces densas y de color oscuro que se encuentran sumergidas en el agua. Estas cumplen con la función de absorber los nutrientes del agua en las que se encuentran, para de esta manera permitir su desarrollo; sus pétalos de color verde son muy vistosos, su principal característica es el peciolo que presenta una apariencia de hinchazón, característica que beneficia a que la planta se

encuentre flotando en la superficie del agua. Esta planta desarrolla también un tallo vertical que contiene una flor de color azul, la misma que dura abierta aproximadamente un día, su reproducción se realiza por medio de su fruto, cápsula ovalada que contiene numerosas semillas. En la Figura 17 se puede apreciar la morfología del Jacinto de Agua.

El desarrollo de esta planta se realiza de manera lateral en todas las direcciones, la misma que al extenderse se va densificando hasta crear una espesa capa vegetal que cubre la superficie del agua.

De igual manera el Jacinto de Agua tiene limitantes para su desarrollo; uno de ellos es la temperatura, la cual se recomienda mantenerse dentro del rango de 20 a 30° C para su rápido crecimiento ya que su potencial reproductivo es mermado fuera de ese rango hasta el punto de estancarse a temperaturas de 8 a 15° C; las temperaturas muy elevadas también resultan ser perjudiciales para su desarrollo. Un 90% de humedad relativa en el ambiente junto con la temperatura adecuada garantizará que el Jacinto de Agua tenga una capacidad de desarrollo y reproducción óptima (Fernández et al., 2005).

Según Crites, Gunther, Kruzic, Pelz & Tchobanoglous (1998), el Jacinto de Agua presenta vulnerabilidad a las temperaturas extremas, pues al ser expuesto a -3°C durante 12 horas sus hojas se destruyen y a una exposición de -5°C por el lapso de 48 horas muere; es por eso que para regiones donde se cuenta con temperaturas extremas es aconsejable crear un ambiente controlado que no permita que las temperaturas dañen a la integridad de la planta.

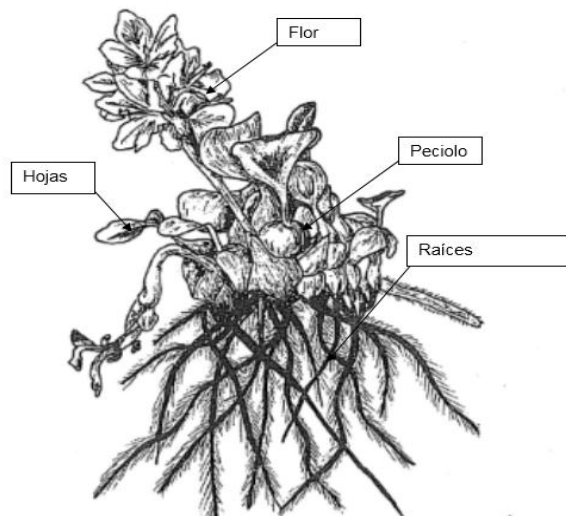


Figura 17 Morfología de la *Eichhornia Crassipes*. Basado en Valderrama (1996)

La aplicación de estas plantas resulta ser muy eficaz en ambientes controlados como en estanques de tratamientos de aguas residuales domésticas, tomando en cuenta que para su diseño se empleará como principal parámetro la carga orgánica. La filtración con Jacinto de Agua puede funcionar como un sistema secundario no aireado o como un sistema terciario empleado para la remoción de fósforo y nitrógeno (Fernández et al., 2005).

La eficiencia del Jacinto de Agua en la remoción de materia orgánica es proporcional a la cobertura de capa vegetal existente en los estanques, también conocida como biomasa.

Esta macrófita en flotación también es empleada para generar bioenergía debido a su facilidad para biodegradarse y a su alto contenido de celulosa. En recientes investigaciones por el centro Tecnológico de Costa Rica se ha comprobado que el Jacinto de Agua puede aumentar la producción de gas metano a partir de agua residual (Rodríguez, Colmenares, Barragán y Mayorga, 2017).

Como todo ser vegetal, se encuentra expuesto a plagas y enfermedades, entre las cuales tenemos los coleópteros, lepidópteros y hongos, así como también varios peces predadores, que se alimentan de las raíces del Jacinto de Agua (Fernández et al., 2005).

3.3 Tipos y niveles de tratamiento de aguas servidas.

En los siguientes literales se menciona los principales tipos y niveles de tratamiento de aguas residuales.

3.3.1 Tipos de tratamiento de aguas servidas

a) Físicos

Se denomina tratamiento físico de aguas servidas a todos los procesos en los que intervienen las fuerzas físicas. Su origen está basado principalmente en observaciones realizadas a la autodepuración existente en la naturaleza; es por eso que es considerado como el tipo de tratamiento de aguas residuales más antiguo existente. Dentro de los principales tratamientos físicos se tiene: desbaste, floculación, sedimentación, transferencia de gases, mezclado y flotación (Mecalf & Eddy. Inc, 1995).

b) Químicos

Este tipo de tratamiento es caracterizado por el uso de productos químicos o reacciones químicas controladas para la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales. Dentro de los procesos químicos más utilizados se tiene la adsorción, precipitación y la desinfección (Mecalf & Eddy. Inc, 1995).

c) Biológicos

Los procesos biológicos son empleados para la eliminación de contaminantes, mediante la biodegradación de materia orgánica presentes en las aguas residuales. Estos procesos se encargan de convertir dicha materia orgánica en gases y tejido celular biológico que posteriormente serán evacuados hacia la atmosfera y sometidos a procesos de sedimentación respectivamente (Mecalf & Eddy. Inc, 1995).

3.3.2 Niveles de tratamiento de aguas servidas

a) Pretratamiento de aguas residuales

Ramalho (2003) indica que este tipo de tratamiento básicamente tiene por objeto la eliminación de la materia sólida; se encarga además de la remoción de aceites y grasas que son vertidas en las aguas residuales domésticas. Dentro de los tipos de pretratamiento se encuentran:

- Cribado.
- Sedimentación.
- Flotación.
- Homogeneización.

Cribado

Este procedimiento se encarga de la retención de sólidos de diferentes tamaños, mediante el uso de rejillas generalmente fabricadas de mallas de acero con diferentes aberturas dependiendo el nivel de pretratamiento que se requiera, pese a la existencia de un pretratamiento de cribado, este proceso logrará una remoción de sólidos de hasta un 25%, siendo los procesos de sedimentación los que posteriormente alcanzarán un 40 o 60%. Las rejillas encargadas del cribado deben ser limpiadas de manera mecánica o manual, tomando

en cuenta que después de su limpieza estos residuos deben destruirse o ser sometidos a procesos de digestión anaerobia (Ramalho, 2003).

Sedimentación

Existen varios tipos de sedimentación los cuales son seleccionables de acuerdo a la clase y naturaleza de sólidos presentes en las aguas residuales municipales.

Las clases de sedimentación y su principal característica se lista a continuación:

- Sedimentación discreta: según Ramalho (2003) son procesos que permite mantener las propiedades físicas de la partícula sin cambiar durante el proceso de sedimentación.
- Sedimentación con floculación: en este tipo de procesos la aglomeración de las partículas que son retenidas, van cambiando progresivamente la velocidad de sedimentación, teniendo en cuenta que uno de los mejores ejemplos de sedimentación por floculación son los clarificadores o también conocidos como sedimentadores primarios (Ramalho, 2003).
- Sedimentación por zonas: este proceso permite la formación de una especie de capa de partículas retenidas que se encargan de la sedimentación en una interfaz diferida de la fase líquida, teniendo como ejemplo a los procesos de sedimentación de lodos activos (Ramalho, 2003).

Flotación

Este proceso unitario permite la separación de sólidos que se presentan en las aguas residuales, mediante la introducción de aire en forma de finas burbujas, cuya función al adherirse a las partículas sólidas es levantarlas hacia a la superficie. La flotación presenta una ventaja significativa sobre la sedimentación convencional, ya que permite rápidamente la eliminación de partículas pequeñas (Mecalf & Eddy, 2014).

Homogeneización

Este pretratamiento se puede realizar bajo los siguientes casos y circunstancias:

- Antes de realizar la descarga en un cuerpo receptor en donde se tenga vida acuática, ya que esta es muy susceptible a los cambios del pH.
- Antes de verter aguas residuales de origen industrial a un alcantarillado municipal.
- Antes de un tratamiento químico o biológico.

Este proceso consiste primordialmente en la mezcla de corrientes de aguas residuales en un tanque de homogenización o reactores completamente mezclados; este proceso tiene por objeto reducir la variación de caudal, procurando tener una corriente uniforme, así como también reducir las variaciones de DBO en el efluente (Ramalho, 2003).

b) Tratamiento primario

Este tratamiento es el encargado de la remoción de materia sólida fina y cierto nivel de materia orgánica contenida en las aguas residuales. Los procesos de tratamiento primario son físicos y químicos. Entre los procesos físicos tenemos la tamización y la sedimentación. Estos procesos no garantizan una depuración completa debido a que el efluente descargado por este sistema contiene grandes cantidades de materia orgánica y altos niveles de DBO. Según análisis realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, concluyeron que este tipo de tratamiento no es considerado como un sistema de depuración completo (Mecalf & Eddy, 2014).

Sedimentación primaria

La sedimentación primaria es considerada como el primer tratamiento de importancia al que las aguas residuales deben ser sometidas después de recibir un pretratamiento.

La sedimentación de sólidos en un tanque adecuado, en un periodo de entre 0,5 a 3 horas puede ser capaz de lograr una remoción del 40 al 50% de los sólidos más finos que no fueron retenidos en el pretratamiento. Estos sólidos se acumulan en el fondo del tanque sedimentador, formando una capa de materia sólida que debe ser extraída en forma de lodos antes que se desarrollen condiciones anaerobias dentro del tanque; de realizarse la descomposición de estos lodos existiría formación de burbujas que adheridas a estos lodos provocarían que la sedimentación se vea interrumpida y al contrario se elevarían hasta la superficie. Los procesos de limpieza se deben realizar mediante el uso de colectores

mecánicos, esto debido al peligro de la formación de gases nocivos para la salud, impidiendo así la limpieza de la materia sólida de forma manual (Valdez y Vázquez, 2003).

Tanque séptico

Los tanques sépticos son compartimentos en los que se realiza la sedimentación y la digestión de sólidos, siendo un importante sistema de tratamiento en comunidades en las que no se cuenta con servicio de alcantarillado sanitario, en donde sirve para la eliminación de sólidos y materia flotante. (Romero, 1999).

Según Romero (1999) los tanques sépticos empleados para el tratamiento de aguas residuales domésticas pueden realizar una remoción de 30 al 50% de DBO, 70 a 80% de remoción de grasas y aceites, 15% de fósforo y aproximadamente un 50 a 70% de remoción de sólidos en suspensión.

c) Tratamiento secundario

Este tratamiento se enfoca en mejorar la remoción de materia sólida y orgánica biodegradable, mediante procesos físico-químicos o biológicos que se benefician de la presencia de microorganismos encargados de la degradación de materia orgánica (Valdez y Vázquez, 2003).

La función del tratamiento secundario también es remover la materia sólida más fina que el sistema primario no retuvo, ya que el afluente que ingresa al sistema secundario aun contiene entre el 40 y 50% de sólidos suspendidos (Valdez y Vázquez, 2003).

Dentro del tratamiento secundario se tiene dos grandes grupos acorde a la existencia de oxígeno disuelto en las aguas residuales: tratamientos aerobios y anaerobios; por otra parte, se tienen tratamiento con microorganismos en suspensión y microorganismos fijos.

c.1) Según el contenido de oxígeno

Tratamiento aerobio

El tratamiento aerobio o tratamiento convencional, es aquel que se desarrolla al existir oxígeno disuelto en las aguas residuales. En este tratamiento el agente biológico son los

microorganismos aerobios que actúan sobre las aguas residuales, alimentándose de la materia orgánica (Orozco, 2005).

Para el tratamiento aerobio resulta ser beneficioso la introducción de un oxidante como el oxígeno directamente desde la atmósfera, proceso que resulta ser costoso ya que se requiere el uso de procesos mecánicos que encarecen la operación de este sistema (Rodríguez, sf).

Según Orozco (2005), los principales sistemas aerobios de tratamiento de aguas residuales son: el tratamiento de lodos activados, zanjonés de oxidación, lagunas de estabilización, filtros percoladores y biodiscos.

Tratamiento anaerobio

Este tipo de tratamiento es presentado como un sistema de tratamiento biológico que se desarrolla en ausencia de oxígeno (Mecalf & Eddy, 2014).

El sistema anaerobio o de fermentación fue catalogado como un sistema de vida sin oxígeno, en el cual se desarrolla la oxidación de materia orgánica sin necesidad de que exista oxígeno libre para el crecimiento de organismos anaerobios (Romero, 1999).

Romero (1999), afirma que los procesos anaerobios resultan ser menos eficientes en producción de energía que los procesos aerobios debido a que la energía proveniente de los procesos anaerobios proviene de las sustancias descompuestas, que aún se mantiene presente en los productos finales orgánicos generando así una cantidad mucho menor de biomasa que los sistemas aerobios; un ejemplo de remanencia de productos finales orgánicos es la presencia de gas metano.

Orozco (2005), menciona que los principales tipos de tratamiento anaerobio son: Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente o sus siglas en inglés (UASB), reactor anaerobio a pistón (RAP), filtro anaerobio, reactor de contacto y el lecho fluidizado.

c.2) Por microorganismos suspendidos y adheridos

Microorganismos en suspensión

Orozco (2005) señala que los tratamientos en suspensión consideran el hecho de que “la biomasa bacteriana está íntimamente mezclada con el Agua Residual, en una mixtura denominada Licor Mixto” (p.73).

Dentro de los tratamientos con microorganismos en suspensión tenemos: lodos activados, lagunas de estabilización y zanjas de oxidación (Orozco, 2005).

Microorganismos fijos

El tratamiento con microorganismos fijos se fundamenta en el hecho de que la biomasa crece adherida a medios sólidos como plásticos de alta resistencia. Por lo general se usa los siguientes sistemas: filtros biológicos o percoladores, filtros anaerobios de flujo ascendente y los biodiscos (Orozco, 2005).

c.3) Sistemas naturales

El sistema de tratamiento natural no solo se enfoca en el uso de métodos naturales para realizar la depuración de aguas residuales, sino también van dirigidos al aspecto económico de su implementación y operación, por el uso de procesos biológicos sin oxigenación mecánica. Estos sistemas depuratorios son mayormente empleados en poblaciones no centralizadas y rurales en las que el factor económico juega un papel importante para su funcionamiento, debido al bajo costo y consumo de recursos que estas exigen (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Dentro de los sistemas naturales más conocidos se tienen:

- Lagunas de estabilización.
- Humedales.
- Tratamiento con plantas acuáticas flotantes.

d) Tratamiento terciario

La principal preocupación de la EPA por la contaminación de cuerpos receptores marcaron un giro en la concepción de la idea de tratamiento de aguas residuales, considerando que el control de nutrientes será el encargado de brindar un equilibrio tal que permita que la vegetación y biota que se encuentren en los medios de disposición final de las aguas residuales tratadas no se vean afectados, así como también pretende evitar la contaminación indirecta de aguas subterráneas que en un futuro podrían ser usadas, razón por la cual se busca un sistema de depuración de aguas residuales avanzado (Crites et al., 1998).

El tratamiento terciario resulta ser necesario ya que los sistemas de tratamiento secundarios que normalmente son empleados remueven hasta un 85% de la DBO y sólidos en suspensión, así como también realizan una escasa remoción de nitrógeno, fosforo y metales pesados (Valdez y Vázquez, 2003).

Los tratamientos terciarios son conocidos también como tratamientos superiores, ya que con su implementación mejoran la calidad del efluente considerablemente, haciendo que ésta sea superior al tratamiento secundario (Ramalho, 2003).

Dentro de los principales tratamientos terciarios tenemos: eliminación de sólidos en suspensión, adsorción en carbón activo, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, cloración, eliminación de nitrógeno y fósforo.

El tratamiento terciario seleccionado dependerá de la calidad de efluente que se desee tener en el sistema de tratamiento, así como también de la disponibilidad de recursos económicos con los que se cuente al momento de su implementación, operación y mantenimiento (Ramalho, 2003).

3.4 Tratamiento secundario.

Como se indicó anteriormente el tratamiento secundario puede clasificarse según el contenido de oxígeno y si los microorganismos están adheridos o no. A continuación se describen algunos sistemas de tratamiento secundario.

Lodos activados

Los lodos activados son sistemas de tratamiento con microorganismos en suspensión considerados como procesos aerobios que datan del año 1914; fueron desarrollados por Ardern y Lockett. El nombre de lodos activados proviene de la creación de una masa de microorganismos activados capaces de estabilizar los residuos por vía aerobia (Mecalf & Eddy. Inc, 1995).

Este proceso transforma los sustratos contaminantes solubles o insolubles presentes en las aguas residuales en forma de DBO en biomasa; este proceso es llevado a cabo por microorganismos en suspensión. Posteriormente los sólidos que fueron separados por este sistema deben ser estabilizados para su disposición final (Orozco, 2005).

El proceso de lodos activados inicia el momento en que los residuos orgánicos ingresan a un reactor, en el que se mantiene una condición aerobia conseguida mediante el uso de sistema de aireación mecánica o difusores de oxígeno, en este proceso las bacterias aerobias son los microorganismos más importantes ya que son los encargados de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Mecalf & Eddy. Inc, 1995).

En la Figura 18 se puede apreciar un diagrama del funcionamiento del proceso de lodos activados.

Los parámetros que gobiernan el diseño de los lodos activados son la carga orgánica, edad de lodos, carga volumétrica y el coeficiente de retorno, sabiendo además que este sistema trabaja de manera más adecuada como un reactor de flujo pistón a un reactor de mezcla completa (Orozco, 2005).

El sistema de lodos activados presenta una mayor eficiencia sobre otros sistemas de tratamiento de aguas residuales ya que su eficiencia de remoción de DBO se mantiene en el rango entre 80 y 99% siempre y cuando exista un diseño óptimo y un buen proceso de operación (Orozco, 2005).



Figura 18: Diagrama de sistema de lodos activos. Tomada de Russell, 2012, p. 99.

Zanjas de oxidación

El sistema aerobio de zanjas de oxidación trabaja con microorganismos en suspensión, proceso que se realiza en reactores de flujo tipo pistón, funcionando como un sistema de aireación extendida, lo que hace que el sustrato realice un circuito cerrado por medio de reactores aireados generalmente en forma de cepillo en combinación con agitadores que permitan mantener la rotación del fluido, este sistema también puede asimilar una aireación extendida en reactores de mezcla completa siempre y cuando se opere de manera continua (Orozco, 2005).

A continuación, en la Figura 19 se puede observar un esquema de un sistema con zanjas de oxidación.

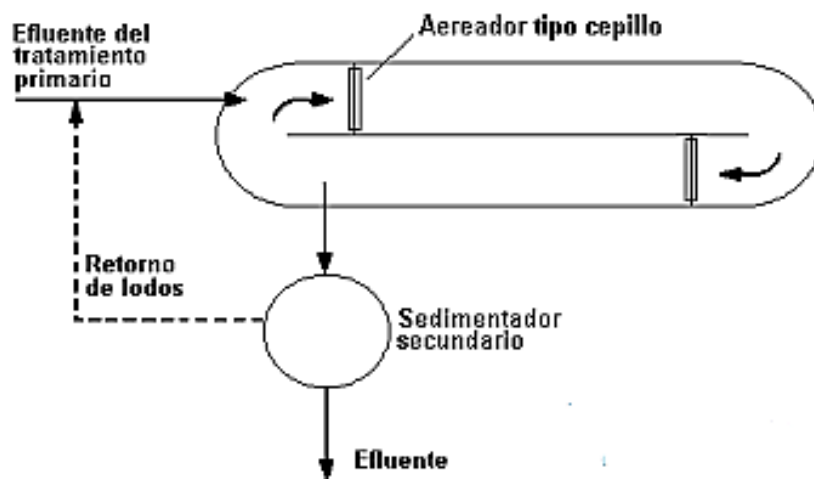


Figura 19: Esquema de un sistema de zanjas de oxidación. Tomado de Valdez y Vásquez, 2003, p. 178

Filtros anaerobios de flujo ascendente

Los filtros anaerobios de flujo ascendente con microorganismos fijos, fueron propuestos en el año de 1969 por Young y MacCarty; este tipo de filtración es sencilla ya que su operación y funcionamiento no presentan inconvenientes al realizarlos, debido a que la biomasa microbial permanece adherida y su flujo ascendente no permite que existan taponamientos (Romero, 1999).

Estos sistemas anaerobios son tanques dispuestos de manera horizontal o vertical rellenos de materiales solidos como gravas de diferentes diámetros y texturas, anillos plásticos o bioanillos que cumplen con el papel de soporte de crecimiento bacteriano, ya que esta capa hace posible que las bacterias anaerobias se encuentren adheridas y no asciendan a la superficie (Romero, 1999).

La biopelícula que se forma dentro de los espacios del medio del sistema de filtración anaerobia de flujo ascendente es de 1 a 3 mm, este residuo debe mantener una alcalinidad tal que permita que en la zona de lodos exista un pH superior a 6,5 (Romero, 1999).

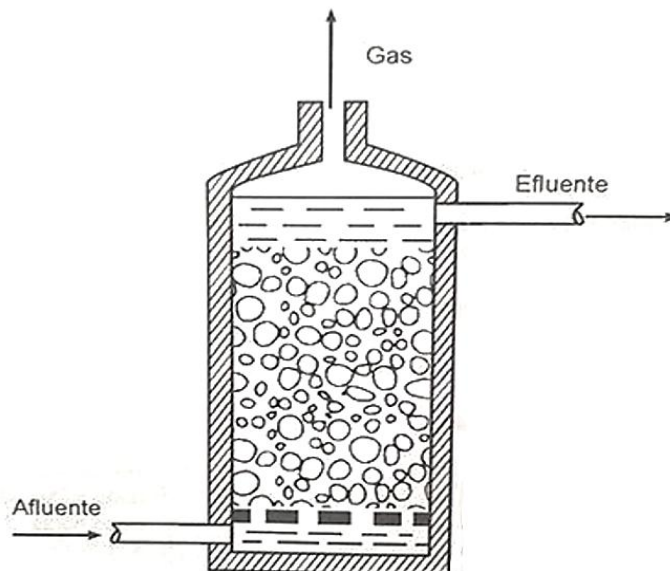


Figura 20: Filtro anaerobio de flujo ascendente. Tomado de Romero, 1999, p.706.

Filtros percoladores

Los filtros percoladores datan del año 1983. Son sistemas filtrantes anaerobios formados de un lecho sumamente permeable que permite la adherencia de microorganismos que degradan la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales, permitiendo así la percolación de las aguas residuales que este sistema trata (Mecalf & Eddy, 2014).

El medio filtrante que contienen los filtros percoladores puede ser variado como material plástico o rocas con diámetros que pueden variar de 2,5 a 10 centímetros. Para los filtros con medio rocoso se recomienda una profundidad de 0,9 a 2,5 metros. Su forma puede ser circular, en cuyo caso se requiere una distribución del agua residual por la parte superior mediante una distribución rotativa. En el caso que su lecho sea material plástico se recomienda una profundidad de 4 y 12 metros, teniendo tres tipos de modelos con material plástico filtrante: relleno de flujo transversal, relleno de flujo vertical y relleno a granel (Mecalf & Eddy, 2014).

Debido a que el afluente que ingresa los sistemas percoladores es de flujo descendente es necesaria la implementación de un drenaje inferior que permita la recolección de aguas ya tratadas, así como los sólidos biológicos que mediante el sistema fueron separados (Mecalf & Eddy, 2014).

En la Figura 21 se puede observar el esquema transversal de un filtro percolador.

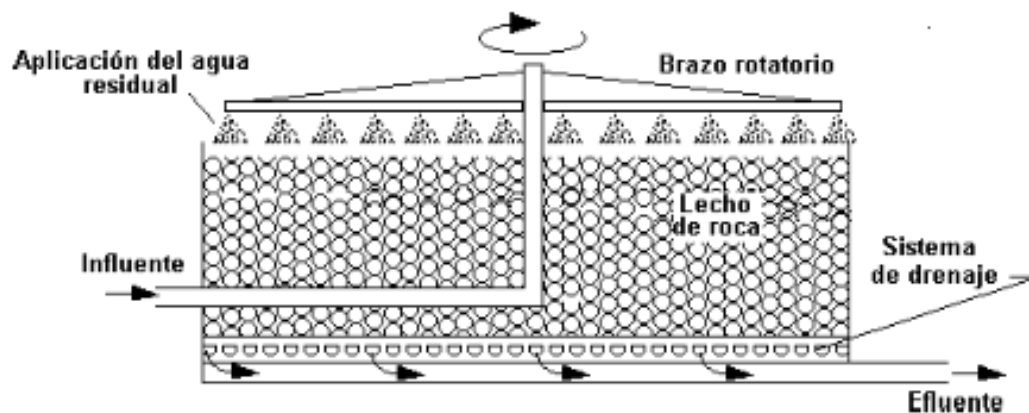


Figura 21: Filtro percolador. Tomado de Valdez y Vásquez, 2003, p.221.

Biodiscos

Los Contactores Biológicos Rotativos o comúnmente conocidos como Biodiscos son considerados como un tratamiento aerobio de aguas residuales por microorganismos adheridos. Estos son semejantes al sistema de filtros percoladores debido a que su biomasa se presenta en forma de crecimiento asistido; de igual manera presentan gran similitud con el sistema de lodos activos por su crecimiento en suspensión (Ramalho, 2003).

Los biodiscos pueden estar conformados de cualquier estructura rotatoria mecánica que gira lentamente con el fin de lograr aireación en la parte superior y que en la parte inferior sumergida se produzca la reacción con el sustrato (Orozco, 2005).

Este sistema está conformado por tres etapas, cada una de ellas formada por grupos de discos paralelos entre sí y conectados a un eje horizontal, mismo que rota con velocidades comprendidas entre 1 a 2 rpm; estos discos tienen un diámetro que varía entre 3 a 4 metros, y son elaborados de polietileno o poliestireno (Ramalho, 2003).

Si los biodiscos son implementados en un sistema de tratamiento por etapas sucesivas, trabajará como reactores en serie, mismo que se asemejará al principio de reactores de flujo tipo pistón (Orozco, 2005).

En la Figura 22 se puede apreciar un sistema de tratamiento empleando los Biodiscos.

El sistema de biodiscos cuentan con la ventaja de tener un bajo consumo energético, así como un mantenimiento sencillo; presenta un mayor grado de flexibilidad, ya que cada disco es una etapa de cultivo diferente, su principal desventaja es que debido a la película líquida expuesta al ambiente que se forma en las secciones húmedas del disco tiende a existir congelación en sectores donde la temperatura es baja, motivo por el cual al presentarse estas condiciones la recomendación es construirlos dentro de edificaciones, lo que aumenta considerablemente el costo de estos sistemas (Ramalho, 2003).

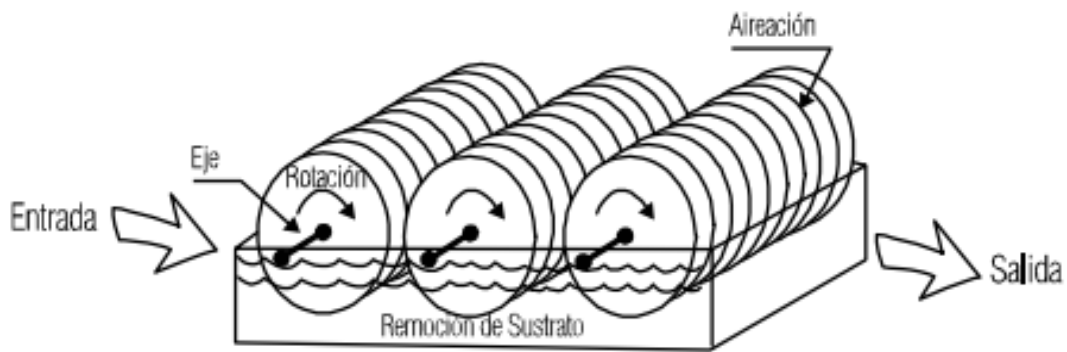


Figura 22: Esquema de reactor de Biodiscos. Tomado de Orozco, 2005, p.279

Lagunas de estabilización

Los sistemas de lagunas de estabilización son grandes estanques de agua residual de poca profundidad generalmente excavados en grandes extensiones de terreno; este sistema es empleado para el tratamiento de aguas residuales por medio de procesos naturales por lo que resulta eficiente en poblaciones pequeñas debido a su bajo costo de operación (Mecalf & Eddy, 2014).

Las lagunas de estabilización resultan ser económicas pues no dependen de sistemas mecánicos de aireación para su funcionamiento ya que el oxígeno necesario para que las bacterias logren descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales es obtenido de la atmosfera y del oxígeno producido por algas mediante los procesos de fotosíntesis (Ramalho, 2003).

Los sistemas de lagunas de estabilización están diseñados para remover los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales como nutrientes, patógenos, sólidos suspendidos y DBO (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

El oxígeno que necesita las bacterias para que exista la degradación aerobia de la materia orgánica proviene de fuentes naturales a través de la superficie y por medio de procesos de fotosíntesis que realizan las algas sumergidas (Mecalf & Eddy, 2014).

Las lagunas de estabilización tienen porcentaje de remoción de DBO superior al 90% y reducción de coliformes fecales entre 90 y 95% considerando un tiempo de retención de 2 a 6 días (Romero, 2005).

En la Figura 23 se puede observar una laguna de estabilización.



Figura 23: Esquema de una laguna de estabilización. Basado en Romero, 2005, p.461.

Existen varios tipos de lagunas de estabilización debido a sus diferentes procesos biológicos:

Laguna aireada: estos estanques son colocados generalmente en serie; cuentan con aireadores mecánicos superficiales o sumergidos, por lo que son catalogados como sistemas aerobios. Estos estanques requieren menor área de terreno para su implantación, su profundidad se encuentra en el rango de 1,8 hasta 5 metros con un tiempo de retención de 10 a 30 días (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Lagunas facultativas: este tipo de laguna soporta cargas orgánicas reducidas; poseen una zona aeróbica en la superficie que es mantenida con algas y bacterias aeróbicas y una zona anaeróbica en la profundidad, en la que predomina la existencia de microorganismos anaerobios metanogénicos productores de metano (Lazcano, 2016).

Lagunas aerobias: son lagunas destinadas al tratamiento del efluente de lagunas facultativas, debido a que no pueden recibir baja carga por su poca profundidad. Tiene por objetivo la eliminación de microorganismos patógenos, mediante bacterias aerobias encargadas de la descomposición de residuos y algas que dan oxígeno al sistema (Ferrer y Seco, 2008).

Lagunas anaerobias: son lagunas que tienen la posibilidad de tratar aguas residuales con cargas orgánicas altas; realizando la eliminación de microorganismos patógenos mediante procesos anaerobios. Su profundidad varía entre 3 y 5 metros; su principal desventaja es la producción de malos olores debido a la presencia de bacterias reductoras que producen ácido sulfhídrico (Gloyna y Espino, 1969).

Humedales

El sistema de tratamiento mediante humedales es considerado como un prototipo para elevar la calidad del agua mediante uso de sistemas naturales, excluyendo el uso de mecanismos o materiales costosos pues la operación humana de estos sistemas es mínima (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Estos sistemas de tratamiento requieren un pretratamiento para aumentar su efectividad, estos pueden ser creados o naturales, los que son capaces de depurar con gran efectividad a las aguas residuales de origen doméstico, industrial, agrícola etc (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Los humedales son considerados como sistemas de fitodepuración de aguas residuales, usan plantas macrófitas enraizadas que, mediante procesos complejos de oxidación bacteriana, filtración y precipitaciones químicas depuran progresivamente al afluyente que ingresa al sistema de humedales en los que se da lugar la remoción de DBO, oxidación de amonio, reducción de nitratos y fosforo (Delgadillo et al., 2010).

El sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales puede ser clasificado por el tipo de planta acuática que se utilicen para su acción depuratoria como es el caso de macrófitas enraizadas a un sustrato y macrófitas flotantes (Delgadillo et al., 2010).

A su vez los humedales pueden ser diferenciados por su flujo.

Humedales artificiales de flujo superficial: la circulación del agua es realizada a través de los tallos de las plantas enraizadas, los humedales tienen una profundidad aproximada de 0,60 metros, a continuación, en la siguiente figura se aprecia un esquema de un humedal de flujo superficial (Delgadillo et al., 2010).

Estos humedales de flujo superficial resultan ser más económicos en su construcción y operación, sobre los humedales de flujo subsuperficial, presentan además la facilidad de tratar aguas residuales con mayor contenido de sólidos en suspensión y presentan además la ventaja de permitir un hábitat de vida silvestre (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

En la Figura 24 se presenta humedal de flujo superficial.

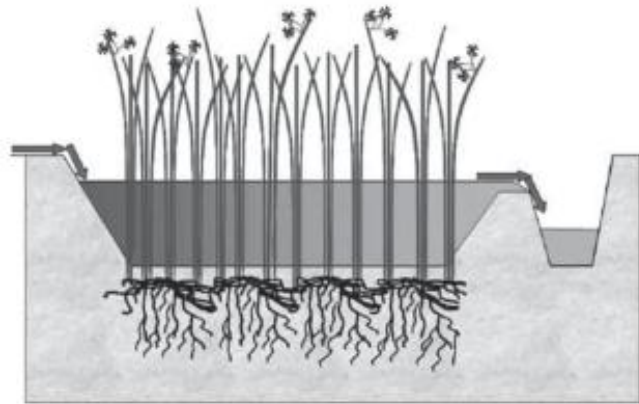


Figura 24: Humedal de flujo superficial: Tomado de Delgadillo et al, 2010, p.9.

Humedales de flujo subsuperficial: se caracterizan por tener un flujo de agua que pasa por el medio granular en el que la planta se encuentra enraizada, haciendo contacto directo con las raíces de la macrófita, tiene una superficie inclinada con pendientes de al menos 1% para facilitar el flujo a través de sus raíces y evitar que el agua residual se estanque, este a su vez se divide en flujo subsuperficial horizontal y vertical (Delgadillo et al¹., 2010).

A continuación, se presenta un esquema de un humedal de flujo subsuperficial.

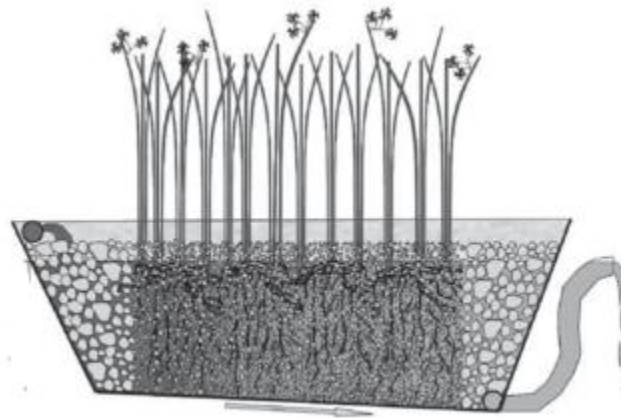


Figura 25: Humedal de flujo subsuperficial: Tomado de Delgadillo et al, 2010, p.10.

3.5 Tratamiento de aguas servidas con plantas acuáticas flotantes.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de plantas acuáticas flotantes llevan el nombre de fito-sistemas con macrófitas flotantes, los mismos que en contacto con la energía solar producen procesos biológicos naturales como la fotosíntesis, logrando la depuración de aguas residuales cuya composición contenga materia orgánica y

nutrientes, aprovechando las características de la autodepuración natural (Martelo, Lara, 2012).

Estos sistemas de tratamiento son empleados primordialmente en el sector rural, siendo un sistema depuratorio relativamente novedoso debido a su bajo consumo de recursos en su construcción y sencillez en su operación. Se tiene en cuenta además que las plantas empleadas en estos sistemas biológicos posteriormente pueden ser usadas como alimento animal, abonos y producción de energía (Valderrama, 1996).

Las macrófitas flotantes gracias a sus órganos suspendidos en las superficies de agua han dado buenos resultados en la remoción de nutrientes considerados como contaminantes para el agua, como DBO, sólidos en suspensión, organismos patógenos y metales pesados (Valderrama, 1996).

Pese a su excelente capacidad de remoción de materia orgánica y contaminantes tóxicos, las macrófitas flotantes presentan el inconveniente de tener una ilimitada acumulación de biomasa, motivo por el cual es necesario la implementación de un plan de cosecha para que las plantas sigan creciendo controladamente; este costo de mantenimiento podría ser un factor negativo ya que encarece su funcionamiento. Otro inconveniente que presente el sistema es la necesidad de grandes extensiones de terreno para su implantación, así como también la proliferación de mosquitos que podrían transmitir enfermedades en comunidades pobladas próximas a la planta de tratamiento (Martelo, Lara, 2012).

Las macrófitas en flotación libre para la fitodepuración más usadas son: la Eichhornia Crassipes o Jacinto de Agua y a la Lemna Minor también conocida como Lenteja de agua.

Jacinto de Agua

El Jacinto de Agua es considerado como una planta que crece con facilidad, motivo por el cual ocupan el octavo lugar dentro de las 10 plantas más invasivas de todo el mundo. La consecuencia negativa de su potencial crecimiento invasivo se debe a que disminuye la velocidad de flujo de agua en canales naturales; característica que resulta ser ventajosa en el tratamiento de aguas residuales. Si el Jacinto de Agua se encuentra bajo condiciones normales puede tener una mínima cobertura de agua de 10 kg/m² y una máxima cobertura de 50 kg/m² (Crites et al., 1998).

Para la implantación de estos sistemas se debe contar con grandes extensiones de terreno. Como se mencionó en el capítulo 3 en el numeral 3.2, en estas áreas se dispondrá de un determinado número de estanques con una profundidad que puede variar de 0,4 a 1,8 metros, medio en el cual el desarrollo del Jacinto de Agua es realizado con facilidad (Crites et al., 1998).

Crites et al. (1998) clasifica los sistemas de tratamiento Jacinto de Agua como sistemas aerobios con sin aireación suplementaria y con aireación suplementaria, teniendo este último una ventaja sobre el sistema sin aireación suplementaria, ya que al tener la presencia de más oxígeno en el sistema, las extensiones de terreno en los que se implanta los estanques se reduce considerablemente, es por eso que el parámetro más imprescindible para el diseño de este tipo de filtración secundaria es la carga orgánica presente en las aguas residuales.

Los procedimientos de cosecha y secado del Jacinto de Agua deben ser realizados periódicamente con el fin de mantener funcional el sistema de tratamiento; de no ser realizado correctamente la disposición final de las plantas podrían generar serios inconvenientes ya que las raíces de la biomasa cosechada podrían acumular contaminantes que al descomponerse podrían generar malos olores atrayendo a mosquitos que pueden propagar enfermedades en las comunidades aledañas (Fernández et al., 2005).

A continuación, se presentan los criterios de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales con Jacinto de Agua.

Tabla 4: Criterios de diseño con Jacinto de Agua

| Tipos de tratamiento con Jacinto de Agua | | | |
|--|--------------------|--------------------|-----------------|
| Parámetros | Aeróbio no aireado | Aeróbio no aireado | Aeróbio aireado |
| Afluente | Sedimentado | Secundario | sedimentado |
| DBO ₅ en el afluente (mg/l) | 130-180 | 30 | 130-180 |
| Cargada orgánica de DBO ₅ (kg/ha-día) | 40 -80 | 10-40 | 150-300 |
| Efluente esperado (mg/l) | | | |
| DBO ₅ | <30 | <10 | <15 |
| Sólidos suspendidos | <30 | <10 | <15 |
| Profundidad de agua (m) | 0,5-0,8 | 0,6-0,9 | 0,9-1,4 |
| Tiempo de retención (días) | 10-36 | 6-18 | 4-8 |
| Carga hidráulica (m ³ /ha.día) | >200 | <800 | 550-1000 |
| Cosecha | Anual | Dos veces por mes | Mensual |

Nota: Basada en Crites et al, 1998, p.53.

Lenteja de Agua

La Lemna Minor también conocida como Lenteja de Agua, pese a su tamaño, tiene una velocidad de crecimiento vegetal 30% más rápida que el Jacinto de Agua (Crites et al., 1998).

La tasa reproductora relativa de la Lemna Minor puede estar entre 0,1 y 0,5 d^{-1} , razón por la cual en condiciones ideales su biomasa puede duplicarse en tan solo dos días, pues a comparación del Jacinto de Agua que absorbe sus nutrientes únicamente por las raíces, la Lenteja de Agua puede absorber dichos nutrientes a través del lado inferior de la fronda y sus raíces (Rodríguez et al, 2010).

En la siguiente tabla se presentan los criterios de diseño para pulir la calidad de efluente usando Lemna Minor:

Tabla 5: Criterios de diseño de sistemas con Lenteja de Agua

| Factor | Tratamiento secundario |
|---|--------------------------------|
| Entrada de las aguas residuales | Efluente de laguna facultativa |
| Carga de DBO ₅ (kg/ha-d) | 22-28 |
| Carga hidráulica (m ³ /ha-d) | <50 |
| Profundidad del agua (m) | 1,5-2,0 |
| Tiempo de retención (días) | 15-25 |
| Temperatura del agua (°C) | >7 |
| Cosecha | mensual |

Nota: Basada en Crites et al, 1998, p.54.

3.6 Predicción de la calidad del efluente.

Para la estimación de la calidad de efluente se consideraron dos tipos de reactores: el reactor tipo pistón y el reactor de mezcla completa.

Los reactores son considerados recipientes o depósitos en los que se realizan reacciones químicas y biológicas (Mecalf & Eddy, 2014).

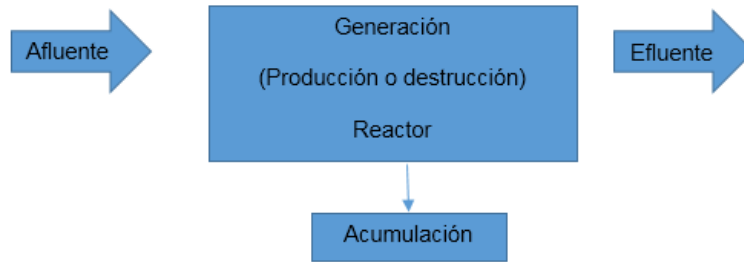


Figura. 26: Descripción del proceso en un reactor. Tomado de Romero, 1999, p. 258.

3.6.1 Reactor de flujo tipo pistón.

El reactor de flujo tipo pistón también es conocido con el nombre de flujo tubular; el principio de este tipo de reactor consiste en mantener la integridad del fluido que ingresa, es decir que no exista dispersión longitudinal, permaneciendo en el reactor un periodo igual al tiempo de retención hidráulica (Romero, 1999).

Para que el sistema trabaje como un reactor tipo pistón, debe estar formado con tanques cuya relación longitud/ancho sea mayor para que de esta manera asegure que la dispersión longitudinal sea mínima (Romero, 1999).

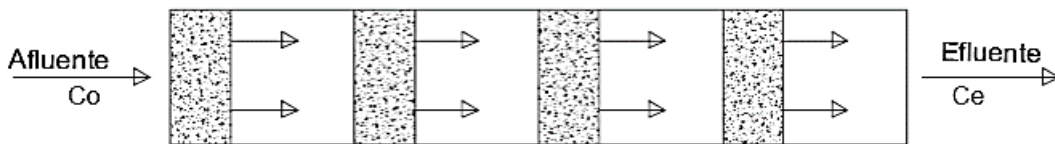


Figura 27: Esquema reactor tipo pistón. Basado en Romero, 1999, p. 267.

En la Figura 27 podemos apreciar el reactor flujo pistón, en el que el afluente al llegar al reactor, es encerrado en paquetes, para posteriormente moverse dentro del reactor sin que exista transferencia de ninguna sustancia de un paquete a otro. Si existiera mezcla completa dentro de cada paquete sellado se considerará como un mini reactor de mezcla completa (Romero, 1999).

Según Romero (1999) la remoción de DBO realizada dentro de los reactores de flujo tipo pistón obedece a la siguiente ecuación:

$$r = \frac{dc}{dt} \quad (1.1)$$

$$t = \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{r}$$

En la que según Romero (1999) la tasa de remoción del DBO, obedece a la ley de primer orden, según la siguiente ecuación:

$$r = -KC \quad (1.2)$$

Si realiza el reemplazo de (1.2) en (1.1) tenemos:

$$t = - \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{KC} \quad (1.3)$$

Desarrollando la ecuación (1.3) se obtiene la siguiente ecuación:

$$t = -\frac{1}{K} \ln \frac{C_e}{C_0} \quad (1.4)$$

$$C_e = C_0 \times e^{-Kt} \quad (\text{Romero, 1999}) \quad (1.5)$$

En donde:

C_e = DBO en el efluente, en mg/l.

C_0 = DBO en el afluente, en mg/l.

K = constante de remoción de primer orden para DBO, en d^{-1} ,

t = tiempo en que se realiza la reacción en d.

Rodríguez et al. (2010), recomienda el valor de K_{20} de 0,22 para sistemas de tratamiento con Jacinto de Agua. El valor de K para temperaturas diferentes de 20°, puede ser calculado empleando la siguiente ecuación (Crites et al¹., 1998):

$$K = K_{20}(\theta)^{(T^\circ - 20^\circ C)} \quad (1.6)$$

En donde:

K_{20} =constante de remoción de primer orden a 20°C.

θ = coeficiente empírico de temperatura, según Crites et al. (1998), θ toma un valor de 1,06

T° = temperatura del agua, en $^\circ\text{C}$.

3.6.2 Reactor de mezcla completa.

Este tipo de reactores se caracterizan por el hecho de que en su interior se realiza una mezcla completa e instantánea del afluente en el reactor, ya que las partículas que ingresan se dispersan de manera inmediata teniendo como resultado una dispersión infinita, homogenizando el contenido del reactor (Romero,1999).

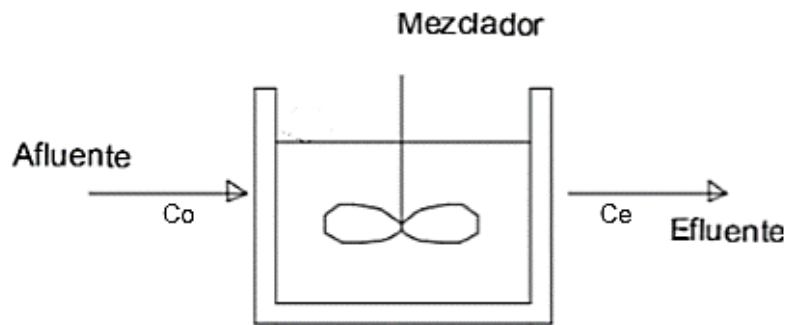


Figura 28: Reactor completamente mezclado. Basado en Romero, 1999, p.263.

El tiempo de retención que se tendrá dentro del reactor está relacionado directamente con su forma, pues la mezcla en este sistema se puede obtener adecuada y eficientemente en reactores con forma cuadrada o circular, sin alterar el mezclado de las partículas dentro del mismo (Mecalf & Eddy, 2014).

Este tipo de reactor es usado comúnmente en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, razón por la cual el uso de agitadores superficiales para la realización de una mezcla completa es habitual (Orozco, 2005).

Para una predicción del efluente en sistemas de mezcla completa, Romero (1999) presenta las siguientes ecuaciones:

$$V \frac{dc}{dt} = QCo - QCe + Vr \quad (1.7)$$

La remoción de DBO responde a la tasa de remoción de primer orden como se pudo apreciar en la ecuación (1.2) según expresa Romero (1999)

$$r = -KC \quad (1.8)$$

Realizando el reemplazo de (1.8) en (1.7)

$$V \frac{dC}{dt} = QCo - QCe - VkCe \quad (1.9)$$

En donde:

V= volumen del reactor, en m³.

Q= caudal, en m³/d.

Ce= DBO en el efluente, en mg/l.

Co= DBO en el afluente, en mg/l.

K= constante de remoción de DBO de primer orden, en d⁻¹.

t= tiempo en que se realiza la reacción, en d.

Las condiciones de estado permanente se satisfacen por la ecuación (1.9) propuesta por Romero (1999)

$$\frac{dC}{dt} = 0 \quad (1.10)$$

Reemplazando (1.10) en (1.9) se tiene:

$$QCo - QCe - VKCe = 0 \quad (1.11)$$

El tiempo de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (1.12)$$

Reemplazando la ecuación (1.12) en la ecuación (1.11) y despejando obtenemos:

$$Q(C_o - C_e) = VKC_e$$

$$\frac{C_o - C_e}{KC_e} = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{1}{K} \left(\frac{C_o}{C_e} - 1 \right)$$

$$\frac{C_o}{C_e} = Kt + 1$$

$$C_e = \frac{C_o}{1 + Kt} \quad (1.13)$$

En donde:

C_e = DBO en el efluente, en mg/l.

C_o = DBO en el afluente, en mg/l.

K = constante de remoción de primer orden, para DBO medida en d^{-1} , constante a cada temperatura.

t = tiempo en que se realiza la reacción, en d.

Para otras temperaturas, se puede calcular la constante de remoción de primer orden empleando la ecuación (1.6), en donde se puede tomar como referencia un valor θ recomendado por de 1,06. Rodríguez et al. (2010) recomienda para reactores de mezcla completa con Jacinto de agua un valor de K_{20} de $0,52 d^{-1}$.

La ecuación (1.13) responde al modelo de primer orden de un reactor de mezcla completa, mediante la cual se podrá diseñar sistemas biológicos depuradores de aguas residuales (Romero, 1999).

Romero (1999) afirma que la eficiencia en porcentaje de los sistemas para remoción de DBO se satisface mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (1.14)$$

3.7 Descarga de aguas servidas domésticas en lagos.

El vertido de aguas residuales mediante fuentes puntuales; como tuberías de efluentes dispuestas en lagos y ríos, se define como la inclusión de sustancias que reducen los beneficios de un recurso hídrico, afectando directamente a la acuicultura, vida silvestre, recreación y a la salud humana (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Desde un punto de vista ambiental resulta de gran importancia el impacto que presenta la descarga de aguas residuales a los lagos, debido a que se adiciona nutrientes que pueden causar daños ecológicos no deseados; tales como el excesivo crecimiento de algas y sobre todo el potencial riesgo a la salud humana (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

El vertido de aguas residuales en lagos afecta directamente a su vida acuática pues la materia orgánica inestable presente en las aguas residuales puede ocasionar que los niveles de oxígeno reduzcan significativamente; de igual manera la presencia de materia orgánica en descomposición provoca malos olores y condiciones desfavorables, afectando a los seres humanos (Valdez y Vázquez, 2003).

Metcalf & Eddy Inc (1995) manifiesta que los parámetros considerados al momento de verter aguas servidas en cuerpos receptores como lagos, lagunas, ríos son: el oxígeno disuelto en el agua OD, sólidos en suspensión, bacterias, nutrientes, presencia de metales, pH, principalmente por el hecho de que estos factores al no ser asimilados por el cuerpo receptor desencadenarían en un foco de contaminación importante.

Si el nivel de OD del agua se sitúa en niveles por debajo de 4 mg/l, podría existir consecuencias nocivas en la vida acuática de los lagos, así como también la presencia de grandes cantidades de sólidos disueltos afectara la estética de los lagos creando turbiedad en el agua (Metcalf & Eddy, 2014).

Metcalf & Eddy Inc (1995) menciona que la eutrofización puede presentarse como un problema de importancia ya que, mediante procesos naturales de aprovechamiento de oxígeno y nutrientes obtenidos por materia orgánica presente en las aguas residuales, aumenta considerablemente la población vegetal de plantas acuáticas dentro del lago, creando zonas pantanosas. Al incrementar la población vegetativa aumenta también la presencia de plantas muertas y sedimentadas, mismas que exigen el incremento de oxígeno, razón por la cual la

vida acuática se ve afectada al existir variaciones en la producción de oxígeno por la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas.

La estratificación juega un papel importante en el vertido de aguas residuales domésticas en lagos, pues la profundidad de este tipo de cuerpos hídricos fluctúa entre los 5 metros o más, razón por la cual al incrementar la temperatura en épocas de verano o reducir esta en épocas de invierno, existirá una diferencia en la densidad en el agua entre la parte superficial y el fondo del lago, provocando que en la zonas más densas exista menos niveles de oxígeno disuelto, dañando la vida acuática y generando problemas en su ecosistema (Metcalf & Eddy Inc, 1995) .

3.8 Criterios de calidad del agua según sus usos y límites de descarga a cuerpos de agua dulce.

3.8.1 Criterios de calidad del agua para descarga en cuerpos de agua dulce.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador a través del Acuerdo Ministerial N° 097-A, publicado el 4 de noviembre del 2015, en el numeral 5.2.4.10, menciona la prohibición de descarga de residuos líquidos que no hayan tenido un tratamiento adecuado, a cualquier cuerpo receptor como canales, ríos, embalses, canales de riego y lagos.

En la Tabla 6 se puede apreciar los parámetros límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece el Acuerdo Ministerial N° 097-A, en el numeral 5.2.4, Tabla 9.

El Acuerdo Ministerial N° 097-A define los criterios de calidad del agua para los siguientes usos:

- a) Consumo humano
- b) Preservación de la vida acuática y silvestre
- c) Uso agrícola o de riego
- d) Uso pecuario
- e) Uso recreativo
- f) Usos estéticos

3.8.2 Criterios de calidad del agua en función de sus usos

a) Consumo humano

El Acuerdo Ministerial No. 097-A en el numeral 5.1.1.1 menciona que se entiende como agua de consumo humano y doméstico a las aguas que son obtenidas de fuentes superficiales o subterráneas, mismas que mediante un tratamiento previo pueden ser consumidas como bebidas, preparación de alimentos, higiene personal y limpieza. La norma además recalca que para que el agua de una fuente sea catalogada apta para ser captada deberá cumplir con los límites y criterios que se indican en la Tabla 7.

b) Preservación de la vida acuática y silvestre

El Acuerdo Ministerial No. 097-A en el numeral 5.1.2 .1 menciona que se entiende como uso de agua para la preservación de la vida acuática, a las aguas que cumplen con los niveles límites y criterios mencionados en la Tabla 8, obtenida del Acuerdo Ministerial No. 097A. Estos parámetros aseguran que los ecosistemas acuáticos no se vean afectados ni alterados en desarrollo y reproducción y que los mismos pueden ser empleados en actividades de pesca para consumo humano.

c) Uso agrícola o de riego

El Acuerdo Ministerial No. 097-A en el numeral 5.1.3 menciona que se entiende como agua para uso agrícola a todas las aguas empleadas en irrigación de cultivos y demás actividades relacionadas con la agricultura, prohibiendo expresamente el uso de aguas residuales no tratadas para estas actividades, exceptuando las aguas que cumplen con los niveles límites y criterios mencionados en la Tabla 9.

Tabla 6: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

| Parámetros | Expresados como | Unidad | Límite máximo permisible |
|--|--|-------------------|--------------------------------|
| Aceites y grasas. | Sust. solubles en hexano | mg/l | 30,0 |
| Alkil mercurio | | mg/l | No detectable |
| Aluminio | Al | mg/l | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/l | 0,1 |
| Bario | Ba | mg/l | 2,0 |
| Boro total | B | mg/l | 2,0 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro total | CN | mg/l | 0,1 |
| Cinc | Zn | mg/l | 5,0 |
| Cloro Activo | Cl | mg/l | 0,5 |
| Cloroformo | Ext. Carbón cloroformo ECC | mg/l | 0,1 |
| Cloruros | Cl | mg/l | 1000,0 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,5 |
| Coliformes Fecales | NMP | NMP/100ml | 2000 |
| Color real ¹ | Color real | unidades de color | Inapreciable en dilución: 1/20 |
| Compuestos fenólicos | Fenol | mg/l | 0,2 |
| Cromo hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/l | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBOs | mg/l | 100,0 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 200,0 |
| Estaño | Sn | mg/l | 5,0 |
| Fluoruros | F | mg/l | 5,0 |
| Fósforo Total | P | mg/l | 10,0 |
| Hierro Total | Fe | mg/l | 10,0 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 20,0 |
| Manganeso Total | Mn | mg/l | 2,0 |
| Materia Flotante | Visibles | | Ausencia |
| Mercurio Total | Hg | mg/l | 0,005 |
| Niquel | Ni | mg/l | 2,0 |
| Nitrógeno Amoniacal | N | mg/l | 30,0 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | N | mg/l | 50,0 |
| Compuestos Organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Compuestos Organofosforados | Organofosforados totales | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,1 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,2 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,1 |
| Sólidos Suspentidos Totales | SST | mg/l | 130,0 |
| Sólidos totales | ST | mg/l | 1600,0 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | mg/l | 1000,0 |
| Sulfuros | S ⁻² | mg/l | 0,5 |
| Temperatura | °C | | Condición natural ± 3 |
| Tensoactivos | sustancias Activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |

Nota: Tomada del Acuerdo Ministerial No. 097- A, Registro Oficial de la República del Ecuador N°387, 2015.

Tabla 7: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

| PARÁMETRO | EXPRESADO COMO | UNIDAD | CRITERIO DE CALIDAD DE AGUA |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Aceites y Grasas | Sustancias solubles en hexano | mg/l | 0,3 |
| Arsénico | As | mg/l | 0,1 |
| Coliformes Fecales | NMP | MNP/100ml | 1000 |
| Bario | Ba | mg/l | 1 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro | CN | mg/l | 0,1 |
| Cobre | Cu | mg/l | 2 |
| Color | Color real | Unidades de Platino Cobalto | 75 |
| Cromo hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/l | 0,05 |
| Fluoruro | F | mg/l | 1,5 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | <4 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO ₅ | mg/l | <2 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 1,0 |
| Mercurio | Hg | mg/l | 0,006 |
| Nitratos | NO ₃ | mg/l | 50 |
| Nitritos | NO ₂ | mg/l | 0,2 |
| Potencial Hidrógeno | pH | Unidades de pH | 6-9 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,01 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,01 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | mg/l | 500 |
| Hidrocarburos Totales de | TPH | mg/l | 0,2 |
| Turbiedad | Unidades nefelométricas de turbiedad | UNT | 100 |

Nota: Tomada del Acuerdo Ministerial No. 097- A, Registro Oficial de la República del Ecuador N°387, 2015.

Tabla 8: Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas, y en estuarios.

| PARÁMETRO | EXPRESADO COMO | UNIDAD | Criterios de calidad | |
|--------------------------------------|--|-----------------|---|----------------------------|
| | | | Agua Dulce | Agua marina y de estuarios |
| Aluminio | Al | mg/l | 0,1 | 1,5 |
| Amoniaco Total | NH3 | mg/l | - | 0,4 |
| Arsénico | As | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Bario | Ba | mg/l | 1 | 1 |
| Berilio | Be | mg/l | 0,1 | 1,5 |
| Bifenilos Policlorados | Concentración de PCBs totales | ug/l | 1 | 1 |
| Boro | B | mg/l | 0,75 | 5 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,001 | 0,005 |
| Cianuros | CN | mg/l | 0,01 | 0,01 |
| Cinc | Zn | mg/l | 0,03 | 0,015 |
| Cloro residual total | Cl2 | mg/l | 0,01 | 0,01 |
| Clorofenoles | | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,2 | 0,2 |
| Cobre | Cu | mg/l | 0,005 | 0,005 |
| Cromo total | Cr | mg/l | 0,032 | 0,05 |
| Estaño | Sn | mg/l | | 2 |
| Fenoles monohídricos | Expresado como fenoles | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Aceites y grasas | Sustancias solubles en hexano | mg/l | 0,3 | 0,3 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Hierro | Fe | mg/l | 0,3 | 0,3 |
| Manganeso | Mn | mg/l | 0,1 | 0,1 |
| Materia flotante de origen antrópico | visible | | Ausencia | Ausencia |
| Mercurio | Hg | mg/l | 0,0002 | 0,0001 |
| Níquel | Ni | mg/l | 0,025 | 0,1 |
| Oxígeno Disuelto | OD | % de saturación | >80 | >60 |
| Peretroides | Concentración de piretroides totales | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Plaguicidas organoclorados totales | Organoclorados totales | ug/l | 10 | 10 |
| Plaguicidas organofosforados totales | Organofosforados totales | ug/l | 10 | 10 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,01 | 0,005 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Potencial de Hidrógeno | pH | unidades de pH | 6,5-9 | 65-9,5 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Tensoactivos | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Nitritos | NO ₂ | mg/l | 0,2 | |
| Nitratos | NO ₃ | mg/l | 13 | 200 |
| DQO | DQO | mg/l | 40 | - |
| DBO ₅ | DBO ₅ | mg/l | 20 | - |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | max incremento de 10% de la condicion natural | - |

Nota: Tomada del Acuerdo Ministerial No. 097- A, Registro Oficial de la República del Ecuador N°387, 2015.

Tabla 9: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola

| PARÁMETRO | EXPRESADO COMO | UNIDAD | CRITERIO DE CALIDAD DE AGUA |
|---------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------------|
| Aceites y Grasas | Película visible | | Ausencia |
| Aluminio | Al | mg/l | 5 |
| Arsénico | As | mg/l | 0,1 |
| Berilio | Be | mg/l | 0,1 |
| Boro | Be | mg/l | 0,75 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,05 |
| Cinc | Zn | mg/l | 2 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,01 |
| Cobre | Cu | mg/l | 0,2 |
| Coliformes fecales | NMP | NMP/100ml | 1000 |
| Cromo | Cr ⁺⁶ | mg/l | 0,1 |
| Flúor | F | mg/l | 1 |
| Hierro | Fe | mg/l | 5 |
| Huevos de parásitos | | | Ausencia |
| Litio | Li | mg/l | 2,5 |
| Materia flotante | Visible | | Ausencia |
| Mercurio | Hg | mg/l | 0,01 |
| Manganeso | Mn | mg/l | 0,2 |
| Molibdeno | Mo | mg/l | 0,01 |
| Niquel | Ni | mg/l | 0,2 |
| Nitritos | NO ₂ | mg/l | 0,5 |
| Oxígeno Disuelto | OD | mg/l | 3 |
| pH | pH | | 6-9 |
| Plomo | Pb | mg/l | 5 |
| selenio | Se | mg/l | 0,02 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | mg/l | 250 |
| Vanadio | V | mg/l | 0,1 |

Nota: Tomada del Acuerdo Ministerial No. 097- A, Registro Oficial de la República del Ecuador N°387, 2015.

Capítulo 4. Investigación experimental

4.1 Metodología.

Para el desarrollo del trabajo experimental en campo se siguió la siguiente metodología:

- a) Levantamiento de información general de la planta depuradora.
- b) Levantamiento de las dimensiones de cada elemento que conforma la planta depuradora.
- c) Medición porcentual de cobertura de Jacinto de Agua en los estanques de tratamiento secundario.
- d) Aforos de caudal en la entrada y salida de la planta depuradora.
- e) Recolección de muestras para análisis de aguas.

Levantamiento de información general de la planta depuradora

Se levantó información fotográfica aérea de la planta de tratamiento de aguas residuales N°14 de la parroquia San Pablo del Lago, con el propósito de tener una visión general sobre la implantación del proyecto, para de esta manera comprender la concepción del sistema de depuración de la planta.

En la Fotografía 15 se puede apreciar una vista aérea de la planta depuradora N°14, en la que se observa los estanques con macrófitas flotantes y los lechos de secado de lodos. La fotografía fue tomada una semana después de la recolección de muestras para los análisis de agua, momento en el que se realizaba la cosecha del Jacinto de Agua, motivo por el cual se muestra una incipiente población de Jacinto de Agua en los estanques del tratamiento.



Fotografía 15: Vista aérea de la planta depuradora N°14

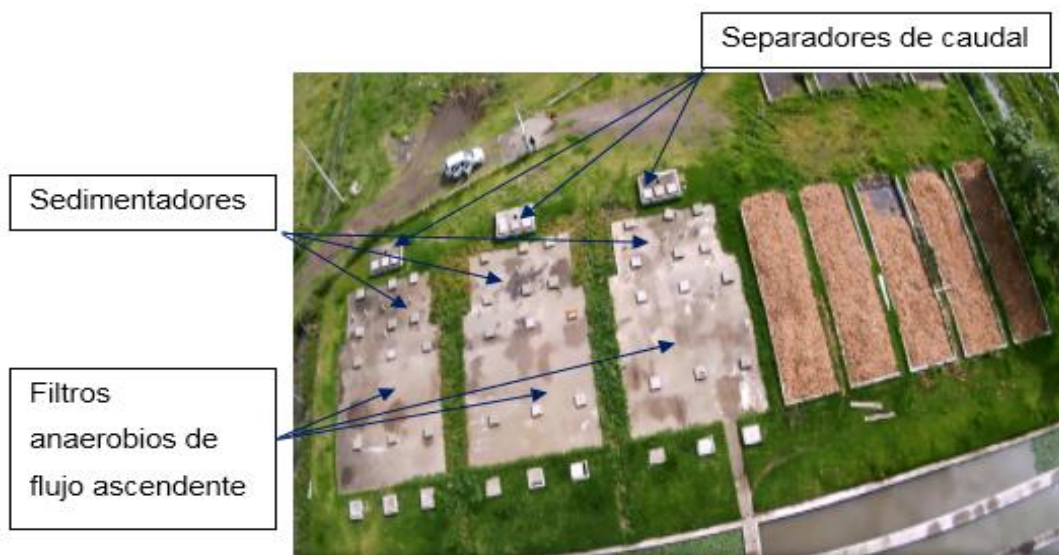
Los estanques están divididos en tres series: la Serie 1, conformada por 24 estanques; la Serie 2, por 26 estanques; y, la Serie 3, por los tres últimos estanques.

Las series antes referidas se pueden observar en la Fotografía 16.



Fotografía 16: Identificación de las tres series en la planta N°14

En la Fotografía 17 se puede observar los módulos que contienen los separadores de caudal, sedimentadores y filtros anaerobios de flujo ascendente, así como también los lechos de secado de lodos.



Fotografía 17: Vista aérea de los módulos contenedores de separadores de caudal, sedimentadores y filtros anaerobios de flujo ascendente.

Levantamiento de las dimensiones de cada elemento que conforma la planta depuradora

Se realizó el levantamiento de las dimensiones de todos y cada uno de los elementos que conforman la planta de tratamiento. Se prestó especial atención en la medición de los estanques del sistema biológico con plantas acuáticas, en los que se tomaron mediciones de largo, ancho y profundidad, como se puede apreciar en las Fotografías 18 y 19, para de ésta manera encontrar el volumen de cada estanque y así calcular su tiempo de retención.



Fotografía 18: Medición de longitud y ancho de los estanques de plantas acuáticas de la planta de tratamiento N°14



Fotografía 19: Medición de la profundidad en los estanques de Jacinto de Agua

Medición porcentual de cobertura de Jacinto de Agua en los estanques de tratamiento secundario.

Se realizó la medición del porcentaje de cobertura de Jacinto de Agua en cada estanque del sistema de tratamiento con plantas acuáticas, para lo cual se procedió a reagrupar las plantas dentro del estanque, para luego medir la superficie que el Jacinto de Agua cubre. Con esta información se pudo comparar la cobertura con la superficie total del estanque, obteniendo así el porcentaje de población vegetativa dentro de los estanques, según se describe en el numeral 2.4.5 y se presenta en la Tabla 2.

Aforos de caudal en la entrada y salida de la planta depuradora.

Para determinar la variación de caudal en la planta de tratamiento N°14 San Pablo del Lago, se realizaron aforos en la entrada y salida del sistema de tratamiento durante tres días. Estos aforos fueron realizados los días 14, 19 y 20 de septiembre del 2017 en el horario de 8h00 a 17h00, cada hora; ésta información permitió determinar un caudal promedio, identificando de ésta manera la hora en las que la planta de tratamiento recibe el mayor y menor caudal dentro del horario ya mencionado. En las Fotografía 20 y 21 se puede apreciar las mediciones de caudal realizadas en la planta depuradora en la entrada y salida respectivamente.



Fotografía 20: Aforo de caudal en la entrada de la planta depuradora N°14.



Fotografía 21: Aforo de caudal en la salida de la planta depuradora N°14.

La realización de los aforos ayudó además a establecer la hora en la que se debía obtener las muestras para los análisis de agua la cual corresponde a la de menor caudal, pues a menor caudal existe mayor tiempo de retención en el sistema depurador. En los días investigados se determinó que a las 12h00 ingresa el menor caudal a la planta de tratamiento, por lo que se decidió realizar las mediciones a esa hora.

Recolección de muestras para análisis de agua.

Durante la obtención de muestras para los análisis de agua, se contó con la supervisión y ayuda de la Directora del Laboratorio de Agua Potable y Alcantarillado de la EMAPAO, laboratorio encargado de la realización de los análisis de agua de la planta depuradora N° 14.

En total se recolectaron 32 muestras, para realizar los ensayos en laboratorio de DBO₅ y Coliformes Fecales (E. Coli), así como también la medición in situ de la temperatura y pH. Los muestreos fueron realizados aproximadamente alrededor de las 12h00 durante un periodo de 10 días, mismo que inició el 26 de septiembre del 2017 y terminó el 12 de octubre del 2017, de acuerdo al cronograma mostrado en la Tabla 10.

Tabla 10: Cronograma de muestreo para análisis de agua de la planta N°14 San Pablo del Lago

| Cronograma de muestreo realizado y número de muestras recolectadas | | | |
|--|------------|------------------|--------------------|
| Día | Fecha | Hora de muestreo | Número de muestras |
| Martes | 26/09/2017 | 12h10 | 5 |
| Miércoles | 27/09/2017 | 12h17 | 3 |
| Jueves | 28/09/2017 | 12h05 | 3 |
| Lunes | 02/10/2017 | 12h15 | 3 |
| Martes | 03/10/2017 | 12h14 | 3 |
| Miércoles | 04/10/2017 | 12h24 | 3 |
| Jueves | 05/10/2017 | 12h30 | 3 |
| Martes | 10/10/2017 | 12h07 | 3 |
| Miércoles | 11/10/2017 | 12h35 | 3 |
| Jueves | 12/10/2017 | 12h08 | 3 |

El primer día del muestreo se tomaron 5 muestras, que fueron obtenidas en el ingreso de la planta depuradora se tomó una, en el ingreso a los estanques con Jacinto de Agua una, en la salida de la Serie 1 se tomó una, en la salida de la Serie 2 una y en el pozo de revisión final de la planta depuradora una. En los días posteriores se tomaron tres muestras por día: en la entrada al sistema de tratamiento secundario una y en la salida de cada serie dos; como se puede apreciar en las siguientes fotografías.



Fotografía 22: Toma de muestras en la entrada de la planta depuradora N°14



Fotografía 23: Toma de muestras en la salida de la planta depuradora N°14



Fotografía 24: Toma de muestras en la entrada al sistema de estanques con Jacinto de Agua



Fotografía 25: Toma de muestras en la salida de la Serie 1 y Serie 2 del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua



Fotografía 26: Medición de pH y temperatura in situ

En el Anexo 2 se indica un esquema de la planta depuradora en el que se encuentran señalados los lugares exactos en los que se realizaron los muestreos.

El transporte de las muestras obtenidas para los ensayos de DBO₅ y coliformes fecales (E. Coli) se lo realizó en un contenedor cooler, con el propósito de que las muestras no sufran alteración alguna al momento de ser transportadas. Las muestras fueron transportadas lo

antes posible al laboratorio de la EMAPAO, que se encuentra ubicado próximo a la planta depuradora.



Fotografía 27: Contenedor para el transporte de muestras al laboratorio

4.2 Mediciones de campo.

4.2.1 Aforos

Los aforos fueron realizados al ingreso de la planta depuradora N°14 en el vertedero triangular de pared delgada; y, a la salida de la planta, de manera volumétrica dentro de la caja de revisión final de la planta.

Como se indicó en 2.4.2 la planta de tratamiento se compone de tres módulos separadores de caudal, en los que se encuentran tres vertederos por cada módulo; es por ello que el caudal total que ingresa a la planta depuradora, será la sumatoria de los caudales registrados en los 9 vertederos.

En la Fotografía 28 se puede observar uno de los módulos en el que se encuentran los tres vertederos; además se puede apreciar el vertedero en la parte interna de uno de ellos.



Fotografía 28: Módulos contenedores de vertederos triangulares y vertedero planta depuradora

Para la obtención de caudal en vertederos triangulares de 90° de pared delgada, se utilizará sugiere la siguiente fórmula (Franzini & Finnemore, 1999):

$$Q = Cd \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \quad (1.15)$$

En donde:

Q= Caudal.

θ = Ángulo de 90° de abertura del vertedero triangular.

h= Altura de desde el vértice al nivel de agua

Cd= Coeficiente de descarga

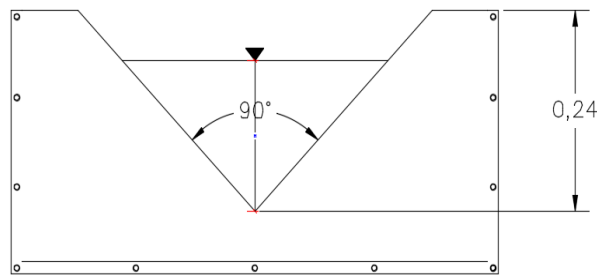


Figura 29: Esquema vertedero triangular planta N°14, Basado en Moscoso, 2006

En la planta de tratamiento N°14 de la parroquia San Pablo del Lago se encuentran implantados 9 vertederos de pared delgada de 90 grados, cuya altura es de 0,24 m. Según Franzini & Finnemore (1999) para vertederos de pared delgada con medidas de entre 5 a 25 centímetros de altura, el coeficiente de descarga (Cd) es 0,593. Resolviendo la ecuación (1.15) se tiene:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2 \times 9,81} \tan\left(\frac{90}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \times 0,593 \quad (1.16)$$

$$Q = 1,4h^{\frac{5}{2}} \quad (1.17)$$

Dimensionalmente el caudal obtenido de la ecuación (1.17) estará expresado en m³/s y la altura (h) será ingresada en m.

Para el aforo a la salida de la planta de tratamiento se procedió con el taponamiento de la tubería de salida y vaciado de la caja de revisión, para luego proceder con la liberación del caudal y cuantificación del tiempo en el que se llegó a una determinada altura, obteniendo el volumen de salida en función del tiempo. El caudal se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (1.18)$$

En donde:

Q= caudal, en m³/s

v= Volumen, en m³

t= tiempo, en s

En la Fotografía 29 se puede observar los procesos realizados para la medición de caudal de salida.



Fotografía 29: Medición de caudal en la salida planta N°14

4.2.2 Medición de temperatura

La medición de la temperatura se la realizó in situ, en tres puntos específicos: al ingreso del sistema de tratamiento, a la salida de cada ramal del sistema con plantas acuáticas y a la salida del sistema de tratamiento en la caja de revisión final. Para la medición de la temperatura se utilizó el pH-metro portátil de marca HACH, modelo HQ11.



Fotografía 30: Medición de temperatura

4.2.3 Muestreo y análisis de laboratorio

4.2.3.1 DBO₅

Para la obtención y cuantificación de la DBO₅ en laboratorio, se tomó muestras en botellas estandarizadas y esterilizadas de vidrio obscuro con capacidad de un litro, cuyo objeto principal fue impedir la contaminación de las muestras, evitando de ésta manera que existan imprevistos en la manipulación. Las muestras se transportaron de manera inmediata luego del muestreo realizado, hacia el laboratorio de la EMAPAO.

En la Fotografía 31 se puede evidenciar el proceso de muestreo en la planta N° 14 para la prueba de la DBO₅, en la toma de muestras de agua residual en el ingreso al sistema de tratamiento con plantas acuáticas y a la salida del mismo.



Fotografía 31: Obtención de muestras para análisis DBO₅ y botella estandarizada para toma de muestras de DBO

Se siguió la metodología Standard Methods 5210D para la obtención de DBO₅, cuyos resultados fueron dimensionalmente expresados en mg/l.

Este ensayo fue realizado en un equipo de medición respirométrico modelo OxiTop Is12 de la marca WTW.

El método Standard Methods 5210D también es conocido como método respirométrico, el cual consiste en medir la cantidad de oxígeno consumido dentro de la botella estandarizada debido a la degradación biológica, este procedimiento se puede llevar a cabo mediante la utilización de manómetros de alta precisión que miden la diferencia de presión dentro de la botella que se encuentra en condiciones de temperatura y agitación constante (Eaton, Clesceri, Greenberg, & Franson, 1998).

Para la realización del método se introduce dentro de la botella ámbar un imán que conjuntamente con la base de la incubadora permitirá una mezcla constante, luego se coloca aproximadamente 400 ml de la muestra de agua residual, después se debe colocar la cámara de goma en la que se coloca hidróxido de sodio, que permite realizar la absorción del CO₂ producido. Posteriormente se coloca el cabezal previamente encerado, el mismo que permitirá la medición directa de la DBO luego de un periodo de 5 días (Easton et al., 1998).

En la Fotografía 32 se puede apreciar los manómetros empleados en el análisis.



Fotografía 32: OxiTop Is 12 empleado en laboratorio EMAPAO para la determinación de la DBO₅.

4.2.3.2 Coliformes fecales

Los muestreos realizados para los ensayos de coliformes fecales (*E. Coli*) y coliformes totales se realizaron en frascos esterilizados de vidrio con capacidad de 200 ml. Estos frascos fueron transportados independientemente en un recipiente esterilizado y cuidadosamente protegido para prevenir su contaminación. Al igual que para la toma de muestras para la obtención de la DBO_5 , se realizó la toma de muestras al ingreso del sistema de tratamiento con plantas acuáticas y a la salida del mismo.

En la Fotografía 33 se puede apreciar el muestreo realizado para coliformes fecales (CF).

La metodología empleada en la realización del ensayo de coliformes fecales (*E. Coli*) y coliformes totales fue la Standard Methods 9223 B. Sus resultados dimensionalmente fueron expresados en NMP/100ml.



Fotografía 33: Muestreo realizado para ensayo coliformes fecales y coliformes totales (*E. Coli*).

El Standard Methods 9223 B, también conocido como el método enzima sustrato, catalogado como un test microbiológico; consiste en mezclar un volumen de aproximadamente 100 ml de muestra de agua residual con sustratos enzimáticos producido comercialmente como; orto-nitrofenil-beta-D-galactopiranósido y 4-metilumbeliferil-beta-D-glucurónido, los cuales

mediante su hidrólisis detectan la presencia de coliformes totales y E. Coli respectivamente (NEMI, 2018).

Los sustratos hidrolizados para los coliformes totales presentan un color amarillento después de una incubación durante 24 a 48 horas, mientras que los sustratos hidrolizados para E. coli, presenta un color magenta o rojo después de una incubación de 28 a 48 horas (NEMI, 2018).

Para determinar los coliformes fecales luego del tiempo de incubación se cuenta los pozos grandes y pequeños que presenten la coloración amarillenta, para luego con la ayuda de tablas identificar el resultado final (NEMI, 2018).

Para los resultados de E. coli se coloca el recipiente bajo luz ultravioleta de onda larga 366 nm, luego se realiza el conteo de los pozos grandes y pequeños, para después mediante interpolación llegar al resultado total (NEMI, 2018).

4.2.3.3 pH

La medición del pH se realizó paralelamente a la medición de temperatura, utilizando el mismo equipo medidor pH-metro portátil HQ11D de marca HACH.



Fotografía 34: Medición in situ de pH y temperatura.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

5.1 Resultados obtenidos.

En la Tabla 11 podemos observar los resultados de pH y temperatura, así como también los resultados de aforos de caudal que fueron realizados en la planta depuradora N°14.

Tabla 11: Medición in situ de caudal, pH y temperatura

| PARAMETROS GENERALES | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| Día | Fecha | Hora de muestreo | pH | | | Temperatura°C | | | Caudales | |
| | | | Ingreso a estanques | Salida Serie 1 | Salida Serie 2 | Ingreso a estanques | Salida Serie 1 | Salida Serie 2 | Entrada (l/s) | Salida (l/s) |
| 1 | 26/09/2017 | 12h10 | 7,02 | 7,78 | 7,67 | 17,2 | 17,5 | 16,6 | 6,32 | 5,78 |
| 2 | 27/09/2017 | 12h17 | 7,12 | 7,71 | 7,69 | 17,1 | 17,5 | 17,1 | 6,71 | 5,93 |
| 3 | 28/09/2017 | 12h05 | 7,11 | 7,68 | 7,71 | 17,3 | 17,0 | 16,0 | 8,10 | 6,51 |
| 4 | 02/10/2017 | 12h15 | 6,79 | 7,59 | 7,30 | 17,2 | 17,2 | 16,6 | 7,28 | 6,28 |
| 5 | 03/10/2017 | 12h14 | 7,08 | 7,54 | 7,57 | 17,4 | 17,4 | 16,5 | 7,28 | 6,36 |
| 6 | 04/10/2017 | 12h24 | 6,94 | 7,39 | 7,34 | 17,5 | 17,4 | 17,0 | 6,53 | 7,20 |
| 7 | 05/10/2017 | 12h30 | 7,03 | 7,41 | 7,45 | 16,4 | 17,0 | 16,8 | 6,68 | 5,05 |
| 8 | 10/10/2017 | 12h07 | 7,17 | 7,32 | 7,36 | 16,8 | 16,2 | 16,0 | 5,40 | 6,20 |
| 9 | 11/10/2017 | 12h35 | 7,08 | 7,31 | 7,36 | 16,2 | 16,5 | 16,6 | 6,04 | 5,45 |
| 10 | 12/10/2017 | 12h08 | 7,08 | 7,27 | 7,26 | 17,2 | 16,9 | 16,7 | 7,55 | 5,27 |
| Promedio | | | 7,04 | 7,50 | 7,47 | 17,0 | 17,1 | 16,6 | 6,79 | 6,00 |

En las Tablas 12 y 13 se muestran los resultados de los análisis de DBO₅, coliformes totales (C.T) y coliformes fecales (C.F) de las muestras obtenidas a la entrada del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua y a la salida de la Serie 1 y Serie 2.

Tabla 12: Valores de DBO₅ obtenidos en la planta depuradora N°14

| Día | Fecha | Hora de muestreo | DBO ₅ en el ingreso a estanques (mg/l) | DBO ₅ en la salida Serie 1 (mg/l) | DBO ₅ en la salida Serie 2 (mg/l) |
|----------|------------|------------------|---|--|--|
| 1 | 26/09/2017 | 12h10 | 160 | 55 | 60 |
| 2 | 27/09/2017 | 12h17 | 200 | 60 | 80 |
| 3 | 28/09/2017 | 12h05 | 180 | 60 | 80 |
| 4 | 02/10/2017 | 12h15 | 140 | 85 | 75 |
| 5 | 03/10/2017 | 12h14 | 160 | 95 | 60 |
| 6 | 04/10/2017 | 12h24 | 130 | 65 | 55 |
| 7 | 05/10/2017 | 12h30 | 130 | 45 | 50 |
| 8 | 10/10/2017 | 12h07 | 155 | 50 | 55 |
| 9 | 11/10/2017 | 12h35 | 125 | 65 | 70 |
| 10 | 12/10/2017 | 12h08 | 170 | 55 | 60 |
| Promedio | | | 155,0 | 63,5 | 64,5 |

Tabla 13: Valores de coliformes totales y coliformes Fecales, medidos en la planta depuradora N°14

| Día de muestreo | Fecha | Hora de muestreo | COLIFORMES TOTALES (N.M.P/100ml) | | | C.FECALES(E.COLI)(N.M.P/100ml) | | |
|-----------------|------------|------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | Ingreso estanques | Salida Serie 1 | Salida Serie 2 | Ingreso estanques | Salida Serie 1 | Salida Serie 2 |
| 1 | 26/09/2017 | 12h10 | 2419,60E+4 | 58,60E+4 | 65,00E+4 | 593,80E+4 | 24,90E+4 | 35,00E+4 |
| 2 | 27/09/2017 | 12h17 | 1722,00E+4 | 52,90E+4 | 82,00E+4 | 857,00E+4 | 27,20E+4 | 41,40E+4 |
| 3 | 28/09/2017 | 12h05 | 1017,00E+4 | 25,90E+4 | 21,60E+4 | 414,00E+4 | 8,50E+4 | 7,40E+4 |
| 4 | 02/10/2017 | 12h15 | 1658,00E+4 | 45,50E+4 | 547,50E+4 | 771,00E+4 | 21,60E+4 | 248,90E+4 |
| 5 | 03/10/2017 | 12h14 | 2282,00E+4 | 26,90E+4 | 27,20E+4 | 1176,00E+4 | 9,50E+4 | 14,50E+4 |
| 6 | 04/10/2017 | 12h24 | 1789,00E+4 | 36,90E+4 | 43,50E+4 | 1500,00E+4 | 12,20E+4 | 17,10E+4 |
| 7 | 05/10/2017 | 12h30 | 959,00E+4 | 69,10E+4 | 48,00E+4 | 546,00E+4 | 24,90E+4 | 28,80E+4 |
| 8 | 10/10/2017 | 12h07 | 2098,00E+4 | 98,70E+4 | 71,20E+4 | 1236,00E+4 | 40,20E+4 | 38,40E+4 |
| 9 | 11/10/2017 | 12h35 | 1467,00E+4 | 85,20E+4 | 83,60E+4 | 657,00E+4 | 28,20E+4 | 30,50E+4 |
| 10 | 12/10/2017 | 12h08 | 4352,00E+4 | 66,30E+4 | 63,80E+4 | 1725,00E+4 | 42,60E+4 | 39,90E+4 |
| Promedio | | | 1976,36E+4 | 56,60E+4 | 105,34E+4 | 947,58E+4 | 23,98E+4 | 50,19E+4 |

En la Tabla 14 se puede observar los resultados de los análisis de pH, temperatura, DBO₅, coliformes totales, coliformes fecales y las mediciones de caudal a la entrada y salida de la planta de tratamiento, realizados el primer día de muestreo a la hora antes señalada.

Tabla 14: Resultados obtenidos en la entrada y salida de la planta depuradora N°14

| PLANTA N° 14 | LUGAR DE MUESTREO | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| | ENTRADA A LA PLANTA | SALIDA DE LA PLANTA |
| FECHA: 26/09/2017 | | |
| Caudal (l/s) | 6,32 | 5,78 |
| pH | 7,53 | 7,56 |
| Temperatura °C | 17,2 | 17,2 |
| DBO ₅ (mg/l) | 340 | 40 |
| Coliformes totales (N.M.P/100ml) | 2420,00E+4 | 54,80E+4 |
| Coliformes fecales (N.M.P/100ml) | 816,00E+4 | 21,80E+4 |

En el Anexo 10 se muestran los reportes de los resultados de los análisis de agua realizados en el laboratorio de la EMAPAO.

5.2 Análisis de resultados.

5.2.1 Eficiencia de la planta depuradora de aguas residuales N°14 de la parroquia San Pablo del Lago en la remoción de DBO₅ y coliformes fecales (E. Coli).

Para el cálculo de la eficiencia de la remoción de la DBO₅ y los coliformes fecales (E. Coli) se empleó la siguiente ecuación (Romero, 1999):

$$\text{Eficiencia(\%)} = \frac{\text{Concentracion en el afluente} - \text{Concentracion en el efluente}}{\text{Concentracion en el afluente}} \times 100 \quad (1.14)$$

Por el hecho de tener tres series dentro del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua, se obtuvo tres eficiencias independientes, tanto para la DBO₅ y para los coliformes fecales (E. Coli), de igual manera, se calculó las eficiencias del tratamiento previo a los sistemas de estanques con Jacinto de Agua, es decir la eficiencia del sedimentador y filtro anaerobio de flujo ascendente juntos.

a) Eficiencia de remoción de DBO₅

$$\text{Eficiencia de remoción DBO}_5 \text{ del sedimentador y filtro anaerobio} = \frac{340 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - 155 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{340 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} \times 100 = 54,41\%$$

$$\text{Eficiencia de remoción DBO}_5 \text{ Serie 1} = \frac{155\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - 63,5\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{155\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} \times 100 = 59,03\%$$

$$\text{Eficiencia de remoción DBO}_5 \text{ Serie 2} = \frac{155\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - 64,5\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{155\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} \times 100 = 58,39\%$$

Para obtener la DBO_5 en el afluente de la Serie 3 se utilizó la ecuación de balance de masas:

$$Q_1 \times (\text{DBO}_5)_1 + Q_2 \times (\text{DBO}_5)_2 = Q_3 \times (\text{DBO}_5)_3 \quad (1.20)$$

En donde:

Q_1 = Caudal efluente Serie 1

$(\text{DBO}_5)_1$ = DBO_5 de la Serie 1

Q_2 = Caudal efluente Serie 2

$(\text{DBO}_5)_2$ = DBO_5 de la Serie 2

Q_3 = Caudal efluente Serie 3

$(\text{DBO}_5)_3$ = DBO_5 de la Serie 3

El caudal promedio del sistema de tratamiento es 6,40 l/s y este a su vez se divide para la Serie 1 y Serie 2 en dos caudales iguales mediante dos orificios rectangulares de misma dimensión y posición que se encuentran en el primer estanque donde se divide el caudal. Este caudal tiene el valor de 3,20 l/s. Después de pasar por la Serie 1 y Serie 2, el caudal se une nuevamente para ingresar en la Serie 3, por lo que reemplazando se tiene:

$$3,20 \text{ l/s } (63,5 \text{ mg/l}) + 3,20 \text{ l/s } (64,5 \text{ mg/l}) = 6,40 \text{ l/s } (\text{DBO}_5)_3$$

De donde se obtiene un valor referencial aproximado para la $(\text{DBO}_5)_3$:

$$(\text{DBO}_5)_3 = 64 \text{ mg/l}$$

$$\text{Eficiencia de remoción DBO}_5 \text{ Serie N}^\circ 3 = \frac{64\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - 40\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{64\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} \times 100 = 37,50\%$$

$$\text{Eficiencia total de remoción DBO}_5 \text{ de la planta} = \frac{340\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - 40\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{340\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} \times 100 = 88,24\%$$

b) Eficiencia de remoción de coliformes fecales

Eficiencia de remoción de C.F

$$\text{en el sedimentador y filtro anaerobio} = \frac{816,00 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right) - 593,80 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)}{816,00 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)} \times 100 = 27,23\%$$

$$\text{Eficiencia de remoción C.F Serie 1} = \frac{947,58 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right) - 23,98 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)}{947,58 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)} \times 100 = 97,47\%$$

$$\text{Eficiencia de remoción C.F Serie 2} = \frac{947,58 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right) - 50,19 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)}{947,58 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}\right)} \times 100 = 94,70\%$$

Para obtener la coliformes fecales en el afluente de la Serie 3 se la ecuación de balance de masas:

$$Q_1 \times (C.F)_1 + Q_2 \times (C.F)_2 = Q_3 \times (C.F)_3 \quad (1.20)$$

En Donde:

Q1= Caudal efluente Serie 1, en l/s

(C.F)₁ = Coliformes fecales de la Serie 1, en $\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}$

Q2= Caudal efluente Serie 2, en l/s

(C.F)₂ = Coliformes fecales de la Serie 2, en $\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}$

Q3= Caudal efluente Serie 3, en l/s

(C.F)₃ = Coliformes fecales de la Serie 3, en $\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}}$

Reemplazando se tiene:

$$3,20 \text{ l/s} \left(23,98 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}} \right) \right) + 3,20 \text{ l/s} \left(50,19 \times 10^4 \left(\frac{\text{N.M.P}}{100\text{ml}} \right) \right) = 6,40 (C.F)_3$$

Despejando (C.F)₃ se obtiene:

$$(C.F)_3 = 37,08 \times 10^4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right)$$

$$\text{Eficiencia de remoción C.F Serie N°3} = \frac{37,08E+4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right) - 21,80E+4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right)}{37,08E+4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right)} \times 100 = 41,21\%$$

$$\text{Eficiencia total de remoción C.F de la planta} = \frac{816 \times 10^4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right) - 21,80 \times 10^4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right)}{816 \times 10^4 \left(\frac{N.M.P}{100ml} \right)} \times 100 = 97,33\%$$

A continuación se presenta un resumen de los porcentajes de remoción.

Tabla 15: Resumen de porcentajes de remoción DBO5 y coliformes fecales obtenidos en la planta N°14

| Porcentajes de remoción (%) | | |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Planta N°14 | Remoción de DBO ₅ | Remoción de coliformes |
| Serie 1 | 59,03% | 97,47% |
| Serie 2 | 58,39% | 94,70% |
| Serie 3 | 37,50% | 41,21% |
| Sedimentador y flitro anaerobio | 54,41% | 27,23% |
| Total de la planta | 88,24% | 97,33% |

Zimmels, Kirzhner & Malkovskaja (2006), expresan que los porcentajes de remoción de DBO₅ de la Eichhornia Crassipes o Jacinto de Agua fluctúa entre 37 y 91% con temperaturas que fluctúan entre 16 y 21°C.

Los porcentajes obtenidos en la remoción de la DBO₅ en la planta depuradora N°14 fueron de 59,03% en la Serie 1, 58,39% en la Serie 2 y 37,50% en la Serie 3, valores que corresponden a series de estanques, mientras que los porcentajes mencionados por Zimmels, Kirzhner, & Malkovskaja (2006), corresponden a estanques individuales.

El porcentaje de remoción esperado de coliformes fecales según Rodríguez (2002) es de 98,4% con una profundidad de agua de 1,12 metros, profundidad similar a los estanques de la planta depuradora N°14.

Los valores porcentuales obtenidos son de 97,47% en la Serie 1, 94,70% en la Serie 2 y 41,21% en la Serie 3, resultando ser inferiores al valor referencial mencionado por Rodríguez

(2002), no obstante, se aclara que la eficiencia lograda en la planta N°14 corresponde a varios estanques en serie, mientras que el valor reportado por Rodríguez (2002) corresponde a 1 estanque.

5.2.2 Tiempos de retención.

Para realizar el cálculo de los tiempos de retención del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua se consideró las tres series de las cuales obtendremos sus respectivos tiempos de retención.

En el Anexo 4 se encuentran los volúmenes de cada estanque y los tiempos de retención calculados para cada reactor de cada serie, en cada día de muestreo.

Los tiempos de retención en días fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$t(d) = \frac{\text{Volúmen total de reactores(estanques)}(m^3)}{\text{Caudal promedio}(\frac{l}{s})} \times \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ seg}} \times \frac{1000 l}{1 m^3} \quad (1.21)$$

En el Anexo 4 se puede observar los tiempos de retención calculados para cada reactor de cada serie.

Tabla 16: Tiempos de retención calculados de la Serie 1

| Tiempos de retencion en la Serie 1 | | | |
|------------------------------------|---|--------------------|----------------------------|
| Fecha de muestreo | Volúmen total de estanques, Serie 1 (m ³) | Caudal medio (l/s) | TIEMPO DE RETENCIÓN (días) |
| 26/09/2017 | 3349,97 | 3,03 | 12,80 |
| 27/09/2017 | 3349,97 | 3,16 | 12,27 |
| 28/09/2017 | 3349,97 | 3,66 | 10,59 |
| 02/10/2017 | 3349,97 | 3,39 | 11,44 |
| 03/10/2017 | 3349,97 | 3,41 | 11,37 |
| 04/10/2017 | 3349,97 | 3,44 | 11,27 |
| 05/10/2017 | 3349,97 | 2,94 | 13,19 |
| 10/10/2017 | 3349,97 | 2,90 | 13,37 |
| 11/10/2017 | 3349,97 | 2,88 | 13,46 |
| 12/10/2017 | 3349,97 | 3,21 | 12,08 |
| Promedio | | | 12,18 |

Tabla 17: Tiempos de retención calculados de la Serie 2

| Tiempos de retencion en la Serie 2 | | | |
|------------------------------------|---|--------------------|----------------------------|
| Fecha de muestreo | Volúmen total de estanques, Serie 1 (m ³) | Caudal medio (l/s) | TIEMPO DE RETENCIÓN (días) |
| 26/09/2017 | 3043,50 | 3,03 | 11,63 |
| 27/09/2017 | 3043,50 | 3,16 | 11,15 |
| 28/09/2017 | 3043,50 | 3,66 | 9,62 |
| 02/10/2017 | 3043,50 | 3,39 | 10,39 |
| 03/10/2017 | 3043,50 | 3,41 | 10,33 |
| 04/10/2017 | 3043,50 | 3,44 | 10,24 |
| 05/10/2017 | 3043,50 | 2,94 | 11,98 |
| 10/10/2017 | 3043,50 | 2,90 | 12,15 |
| 11/10/2017 | 3043,50 | 2,88 | 12,23 |
| 12/10/2017 | 3043,50 | 3,21 | 10,97 |
| Promedio | | | 11,07 |

Tabla 18: Tiempos de retención calculados de la Serie 3

| Tiempos de retencion en la Serie 3 | | | |
|------------------------------------|---|--------------------|----------------------------|
| Fecha de muestreo | Volúmen total de estanques, Serie 1 (m ³) | Caudal medio (l/s) | TIEMPO DE RETENCIÓN (días) |
| 26/09/2017 | 447,40 | 6,06 | 0,85 |
| 27/09/2017 | 447,40 | 6,32 | 0,82 |
| 28/09/2017 | 447,40 | 7,32 | 0,71 |
| 02/10/2017 | 447,40 | 6,78 | 0,76 |
| 03/10/2017 | 447,40 | 6,82 | 0,76 |
| 04/10/2017 | 447,40 | 6,88 | 0,75 |
| 05/10/2017 | 447,40 | 5,88 | 0,88 |
| 10/10/2017 | 447,40 | 5,80 | 0,89 |
| 11/10/2017 | 447,40 | 5,76 | 0,90 |
| 12/10/2017 | 447,40 | 6,42 | 0,81 |
| Promedio | | | 0,81 |

Tabla 19: Resumen de tiempos de retención y caudales promedio de cada serie

| Tiempos de retención promedio | |
|-------------------------------|------------|
| Serie 1 | 12,18 días |
| Serie 2 | 11,07 días |
| Serie 3 | 0,81 días |
| Total | 12,44 días |

Según Crites et al. (1998), los criterios de diseño para sistemas de tratamiento con Eichhornia Crassipes (Jacinto de Agua) señalan que el tiempo de retención total para estos sistemas, se encuentra entre 10 y 36 días.

En la Tabla 19 podemos observar los tiempos de retención promedios calculados para cada serie, notando así que el tiempo de retención total calculado aproximado en los estanques con macrófitas flotantes es de 12,44 días.

El tiempo total estimado se calculó con la siguiente ecuación:

$$Tiempo\ total = \frac{t_1+t_2}{2} + t_3 \quad (1.22)$$

En donde:

t1= tiempo de retención en la Serie 1, en días

t2= tiempo de retención en la Serie 2, en días

t3= tiempo de retención en la Serie 3, en días

Reemplazando valores en la ecuación

$$Tiempo\ total = \frac{12,18\ días + 11,07\ días}{2} + 0,81\ días = 12,44\ días$$

El tiempo estimado total del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua, se encuentra dentro de los tiempos de retención recomendados por la bibliografía.

5.2.3 Carga orgánica superficial.

La carga superficial será calculada para el sistema de estanques con macrófitas y para las tres series de estanques de la planta de tratamiento, por lo que se empleará los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de DBO₅ a la entrada del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua y de los caudales medios tomados en la planta de tratamiento.

Para realizar el cálculo de la carga orgánica superficial se usa la siguiente ecuación (Crites, Middlebrooks & Reed, 2006).

$$Carga\ orgánica\ \left(\frac{kg}{día}\right) = Q \cdot med\ \left(\frac{l}{s}\right) \times DBO_5\ \left(\frac{mg}{l}\right) \times \left(\frac{86400\ \frac{s}{día}}{1000000\ \frac{mg}{kg}}\right) \quad (1.23)$$

En donde:

Q.med= Caudal promedio, en (l/s)

DBO₅ = DBO₅ promedio en el afluente de aguas residuales, en (mg/l)

$$Carga\ orgánica\ total = 6,40 \left(\frac{l}{s}\right) \times 155 \left(\frac{mg}{l}\right) \times \left(\frac{1kg}{10^6mg}\right) \times \left(\frac{86400s}{d}\right) = 85,70 \left(\frac{kg}{día}\right)$$

$$Carga\ orgánica\ Serie\ 1 = 3,20 \left(\frac{l}{s}\right) \times 155 \left(\frac{mg}{l}\right) \times \left(\frac{1kg}{10^6mg}\right) \times \left(\frac{86400s}{d}\right) = 42,85 \left(\frac{kg}{día}\right)$$

$$Carga\ orgánica\ Serie2 = 3,20 \left(\frac{l}{s}\right) \times 155 \left(\frac{mg}{l}\right) \times \left(\frac{1kg}{10^6mg}\right) \times \left(\frac{86400s}{d}\right) = 42,85 \left(\frac{kg}{día}\right)$$

$$Carga\ orgánica\ Serie3 = 6,40 \left(\frac{l}{s}\right) \times 64 \left(\frac{mg}{l}\right) \times \left(\frac{1kg}{10^6mg}\right) \times \left(\frac{86400s}{d}\right) = 35,38 \left(\frac{kg}{día}\right)$$

Las áreas superficiales para cada serie y total se pueden apreciar en la Tabla 20.

Para obtener el área superficial, se sumó las áreas de cada estanque que compone cada serie, para luego sumarlos y obtener su área superficial, estos cálculos se los puede encontrar en el Anexo 3.

Tabla 20: Tabla resumen de áreas superficiales

| Serie | Área superficial (ha) |
|---------|-----------------------|
| Serie 1 | 0,271 |
| Serie 2 | 0,247 |
| Serie 3 | 0,036 |
| Total | 0,554 |

La carga orgánica superficial aplicada responde a la siguiente ecuación (Crites, Middlebrooks & Reed, 2006).

$$Carga\ orgánica\ superficial\ aplicada = \frac{carga\ orgánica\left(\frac{kg}{día}\right)}{Área\ superficial\ (ha)} \quad (1.24)$$

$$Carga\ orgánica\ superficial\ aplicada\ Serie\ 1 = \frac{42,85 \left(\frac{kg}{día}\right)}{0,271(ha)} = 158,12 \left(\frac{Kg\ DBO_5}{ha\ x\ día}\right)$$

$$\text{Carga orgánica superficial aplicada Serie 2} = \frac{42,85 \left(\frac{kg}{\text{día}}\right)}{0,247(\text{ha})} = 173,48 \left(\frac{Kg \text{ DBO}_5}{\text{ha} \times \text{día}}\right)$$

$$\text{Carga orgánica superficial aplicada Serie 3} = \frac{35,38 \left(\frac{kg}{\text{día}}\right)}{0,036(\text{ha})} = 982,78 \left(\frac{Kg \text{ DBO}_5}{\text{ha} \times \text{día}}\right)$$

$$\text{Carga orgánica superficial aplicada total} = \frac{85,70 \left(\frac{kg}{\text{día}}\right)}{0,565(\text{ha})} = 151,68 \left(\frac{Kg \text{ DBO}_5}{\text{ha} \times \text{día}}\right)$$

Crites et al¹ (1998), menciona que la carga orgánica superficial recomendada para sistemas de tratamiento con Jacinto de Agua se debe mantener en un valor entre 40 y 80 (kgDBO₅/ha. día).

Los valores obtenidos en el sistema de tratamiento con Jacinto de Agua de la planta N°14 sobrepasan los límites recomendados en la bibliografía.

5.2.4 Estimación de la DBO₅ y concentración de coliformes fecales (C.F.) en el efluente secundario.

Para modelar la estimación de DBO₅ y coliformes fecales en el efluente en el sistema de tratamiento se hizo uso de los modelos de reactores tipo pistón y completamente mezclados para cada reactor de cada serie, teniendo en cuenta que la planta depuradora está compuesta por tres series en donde la Serie 1 está compuesta de 26 reactores, la Serie 2 está compuesta de 24 reactores y la Serie 3 está compuesta de 3 reactores.

5.2.4.1 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores tipo pistón en serie.

a) Predicción de la DBO₅ presente en el efluente de los estanques con macrófitas considerando reactores tipo pistón en serie.

Para estimación los niveles teóricos de presencia de la DBO₅ en el sistema de tratamiento con Jacinto de Agua en el efluente se utilizaron las ecuaciones (1.5) y (1.6)

$$C_e = C_o \times e^{-Kt} \quad (1.5)$$

$$K = K_{20}(\theta)^{(T^\circ - 20^\circ c)} \quad (1.6)$$

En donde:

C_e = DBO₅ en el efluente de cada reactor, mg/l.

C_o = DBO₅ en el afluente de cada reactor, mg/l.

K = constante de remoción de primer orden, para DBO₅ corregida la temperatura, d^{-1} .

t = tiempo en que se realiza la reacción, en d.

K_{20} = constante de remoción de DBO₅ de primer orden a 20°C.

θ = coeficiente empírico de temperatura.

T° = Temperatura del agua, en °C.

A continuación se muestra el cálculo realizado para el primer estanque de la Serie 1 en el primer día, para lo cual primero se corrigió la constante de remoción de primer orden para DBO₅.

Para corregir la constante de primer orden para la remoción de la DBO₅ a una temperatura promedio de 17,4°C del primer reactor de la Serie 1 en el primer día, se adoptó el valor de $K_{20} = 0,22 d^{-1}$, valor recomendado por Rodríguez et al. (2010) para modelaciones de estanques con Jacinto de Agua con reactores de flujo tipo pistón, y el coeficiente empírico de temperatura θ tiene un valor de 1,06 según Crites et al. (1998).

$$K_{17,4} = 0,22 d^{-1} (1,06)^{(17,4^\circ c - 20^\circ c)} = 0,189 d^{-1}$$

El valor de la DBO₅ obtenido por los análisis de agua en el afluente de la Serie 1 en el primer día es de 160 mg/l y el tiempo de retención para el primer reactor de esta serie es 0,48 días; reemplazando en la ecuación (1.5) tenemos:

$$C_e = 160 \text{ mg/l} \times e^{-(0,189 \text{ d}^{-1} \times 0,48 \text{ d})} = 146,1 \text{ mg/l}$$

En las Tablas 21 y 22 se encuentran las estimaciones diarias del efluente para cada serie; así también se puede apreciar los resultados de los análisis de agua para la DBO₅.

En el Anexo 5 se encontrará la constante de remoción de primer orden para DBO₅ corregida para temperaturas promedio diarias para la serie 1 y 2 en todos los días de muestreo.

En el Anexo 6 se podrá observar la predicción de la DBO₅ presente en el efluente para cada reactor en cada día de muestreo, para la Serie 1 y Serie 2, mismas que se encuentran conformadas por 24 y 26 reactores respectivamente.

Tabla 21: Predicción del efluente para la DBO₅ con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 1

| Serie 1 | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO5 (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO ₅ en el efluente calculada (mg/l) | DBO ₅ en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 160 | 17,4 | 0,189 | 12,80 | 14,2 | 55 |
| 27/09/2017 | 200 | 17,3 | 0,190 | 12,27 | 19,4 | 60 |
| 28/09/2017 | 180 | 17,2 | 0,187 | 10,59 | 24,8 | 60 |
| 02/10/2017 | 140 | 17,2 | 0,190 | 11,44 | 15,9 | 85 |
| 03/10/2017 | 160 | 17,4 | 0,190 | 11,37 | 18,4 | 95 |
| 04/10/2017 | 130 | 17,5 | 0,190 | 11,27 | 15,3 | 65 |
| 05/10/2017 | 130 | 16,7 | 0,182 | 13,19 | 11,8 | 45 |
| 10/10/2017 | 155 | 16,5 | 0,179 | 13,37 | 14,2 | 50 |
| 11/10/2017 | 125 | 16,4 | 0,178 | 13,46 | 11,4 | 65 |
| 12/10/2017 | 170 | 17,1 | 0,186 | 12,08 | 18,0 | 55 |
| Promedio | | | | | 16,3 | 63,5 |

Tabla 22: Predicción del efluente para la DBO5 con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2

| Serie 2 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO ₅ (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO ₅ en el efluente calculada (mg/l) | DBO ₅ en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 160 | 16,9 | 0,184 | 11,63 | 18,8 | 60 |
| 27/09/2017 | 200 | 17,1 | 0,186 | 11,15 | 25,1 | 80 |
| 28/09/2017 | 180 | 16,7 | 0,182 | 9,62 | 31,3 | 80 |
| 02/10/2017 | 140 | 16,9 | 0,184 | 10,39 | 20,7 | 75 |
| 03/10/2017 | 160 | 17,0 | 0,185 | 10,33 | 23,7 | 60 |
| 04/10/2017 | 130 | 17,3 | 0,188 | 10,24 | 19,0 | 55 |
| 05/10/2017 | 130 | 16,6 | 0,180 | 11,98 | 15,0 | 50 |
| 10/10/2017 | 155 | 16,4 | 0,178 | 12,15 | 17,8 | 55 |
| 11/10/2017 | 125 | 16,4 | 0,178 | 12,23 | 14,2 | 70 |
| 12/10/2017 | 170 | 17,0 | 0,185 | 10,97 | 22,3 | 60 |
| Promedio | | | | | 20,8 | 64,5 |

La predicción de calidad del efluente para la Serie 3 se realizó para los datos del 26 de septiembre del 2017 ya que no se cuenta con datos experimentales de temperatura y DBO₅ para todos los días de experimentación en el efluente de la Serie 3.

Tabla 23: Predicción del efluente para la DBO5 con reactores de flujo tipo pistón en la Serie 3

| Serie 3 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO ₅ (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO ₅ en el efluente calculada (mg/l) | DBO ₅ en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 57,5 | 17,2 | 0,187 | 0,85 | 49,0 | 40,0 |

En la Serie 1, en la Serie 2 y Serie 3, los valores promedio de la DBO₅ estimada con reactores de flujo tipo pistón son significativamente menores a los valores de la DBO₅ promedio obtenida en los análisis de laboratorio.

b) Predicción de la concentración de coliformes fecales presentes en el efluente del sistema de estanques con macrófitas flotantes considerando reactores tipo pistón.

Para realizar la modelación como reactor de flujo tipo pistón, para la remoción de coliformes fecales se hizo uso de las ecuaciones (1.5) y (1.6), con las que se pudo calcular teóricamente los niveles de coliformes fecales en el efluente de cada reactor.

$$CFe = CFo \times e^{-k_b t} \quad (1.5)$$

$$Kb = K_{b20}(\theta)^{(T^\circ - 20^\circ c)} \quad (1.6)$$

En donde:

CFe = Coliformes fecal teórico calculado en el efluente de cada reactor, en N.M.P/100ml.

CFo = CF en el afluente de cada reactor, en N.M.P/100ml.

k_b = constante de primer orden en la remoción de coliformes fecales, en d^{-1} .

t = tiempo de retención en cada reactor, en días.

K_{20} = constante de remoción de DBO₅ de primer orden a 20°C, en d^{-1} .

θ = coeficiente derivado empírico de corrección por temperatura.

T° = Temperatura del agua, °C.

Para la modelación del primer reactor de flujo pistón de la Serie 1 en el primer día, se realizó la corrección de la constante de remoción de primer orden para coliformes Fecales a una temperatura promedio de 17,4°C, para lo cual se adoptó el valor de $K_{20} = 2,6$, (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006) y el coeficiente empírico de temperatura $\theta = 1,19$ según Crites, Middlebrooks, & Reed (2006).

$$Kb_{17,4} = 2,6(1,19)^{(17,4^\circ c - 20^\circ c)} = 1,654 d^{-1}$$

Para realizar la predicción del efluente se usó el valor de los coliformes fecales presente en el afluente de la Serie 1 y el tiempo de retención para el primer reactor cuyos valores son $593,80 \times 10^4$ NMP/100ml y 0,48 días respectivamente.

$$CFe = 593,80 \times 10^4 \frac{N.M.P}{100ml} \times e^{-(1,654 d^{-1} \times 0,48d)} = 268,43 \times 10^4 \frac{N.M.P}{100ml}$$

Los valores presentados en las Tablas 24 y 25 son el resultado de la modelación del reactor de flujo tipo pistón para coliformes fecales (E.coli) para cada día de muestreo en cada serie, y los valores de coliformes fecales (E.coli) obtenidos en los análisis de agua.

En el Anexo 5 se encontrará la constante de remoción de primer orden, para coliformes fecales corregida por temperatura para todos los reactores de cada serie, con excepción de la Serie 3 debido a que no se cuenta con datos experimentales de temperatura y coliformes fecales para todos los días en la salida de la serie; solo se cuenta con la información del día 26 de septiembre del 2017

En el Anexo 6 se podrá observar la predicción de coliformes fecales presente en el efluente para cada reactor en cada día de muestreo, para la Serie 1 y Serie 2 mismas que se encuentran conformadas por 24 y 26 reactores respectivamente.

Tabla 24: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 1

| Serie 1 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 593,80E+4 | 17,4 | 1,654 | 12,80 | 37,94E-4 | 24,90E+4 |
| 27/09/2017 | 857,00E+4 | 17,3 | 1,630 | 12,27 | 176,62E-4 | 27,20E+4 |
| 28/09/2017 | 414,00E+4 | 17,2 | 1,598 | 10,59 | 1851,45E-4 | 8,50E+4 |
| 02/10/2017 | 771,00E+4 | 17,2 | 1,600 | 11,44 | 866,42E-4 | 21,60E+4 |
| 03/10/2017 | 1176,00E+4 | 17,4 | 1,650 | 11,37 | 837,19E-4 | 9,50E+4 |
| 04/10/2017 | 1500,00E+4 | 17,5 | 1,683 | 11,27 | 868,26E-4 | 12,20E+4 |
| 05/10/2017 | 546,00E+4 | 16,7 | 1,464 | 13,19 | 224,33E-4 | 24,90E+4 |
| 10/10/2017 | 1236,00E+4 | 16,5 | 1,414 | 13,37 | 761,38E-4 | 40,20E+4 |
| 11/10/2017 | 657,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 13,46 | 492,24E-4 | 28,20E+4 |
| 12/10/2017 | 1725,00E+4 | 17,1 | 1,570 | 12,08 | 1000,31E-4 | 42,60E+4 |
| Promedio | | | | | 711,62E-4 | 23,98E+4 |

Tabla 25: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2

| Serie 2 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 593,80E+4 | 16,9 | 1,516 | 11,63 | 1307,90E-4 | 35,00E+4 |
| 27/09/2017 | 857,00E+4 | 17,1 | 1,570 | 11,15 | 2140,10E-4 | 41,40E+4 |
| 28/09/2017 | 414,00E+4 | 16,7 | 1,464 | 9,62 | 3,17E+0 | 7,40E+4 |
| 02/10/2017 | 771,00E+4 | 16,9 | 1,516 | 10,39 | 1,11E+0 | 248,90E+4 |
| 03/10/2017 | 1176,00E+4 | 17,0 | 1,543 | 10,33 | 1,41E+0 | 14,50E+4 |
| 04/10/2017 | 1500,00E+4 | 17,3 | 1,626 | 10,24 | 8810,20E-4 | 17,10E+4 |
| 05/10/2017 | 546,00E+4 | 16,6 | 1,439 | 11,98 | 1779,50E-4 | 28,80E+4 |
| 10/10/2017 | 1236,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 12,15 | 5720,50E-4 | 38,40E+4 |
| 11/10/2017 | 657,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 12,23 | 2720,80E-4 | 30,50E+4 |
| 12/10/2017 | 1725,00E+4 | 17,0 | 1,543 | 10,97 | 7684,40E-4 | 39,90E+4 |
| Promedio | | | | | 8701,61E-4 | 50,19E+4 |

La predicción de calidad del efluente para la Serie 3 se realizó para los datos del 26 de septiembre del 2017 ya que no se cuenta con datos experimentales de temperatura y coliformes fecales para todos los días de experimentación en el efluente de la Serie 3.

Tabla 26: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) usando reactores de flujo tipo pistón en la Serie 2

| Serie 3 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 37,080E+4 | 17,2 | 1,598 | 0,85 | 9,53E+4 | 21,80E+4 |

Se puede apreciar que los niveles de coliformes fecales estimados para las series 1, 2 y 3 son significativamente inferiores a los valores obtenidos en laboratorio.

5.2.4.2 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores completamente mezclados en serie.

a) Predicción de la DBO₅ presente en el efluente del sistema de los estanques con macrófitas considerando reactores completamente mezclados en serie

Para obtener los niveles teóricos de la DBO₅ presente en el efluente del sistema de tratamiento con Jacinto de Agua mediante el uso del modelo de reactor completamente mezclado se hizo uso de las ecuaciones (1.13) y (1.6).

$$DBO_5(e) = \frac{DBO_{5o}}{1+Kt} \quad (1.13)$$

$$K = K_{20}(\theta)^{(T^{\circ}-20^{\circ}c)} \quad (1.6)$$

En la que:

$DBO_5(e)$ = DBO₅ calculada en el efluente de cada reactor, en mg/l

DBO_{5o} = DBO₅ en el afluente de cada reactor, en mg/l

K= constante de remoción primer orden de DBO₅ de corregida para distintas temperaturas, en (d^{-1}),

t= tiempo de retención en cada reactor, en (d).

K_{20} = constante de remoción de DBO₅ de primer orden a 20°C

θ = coeficiente derivado empírico de temperatura.

T°= Temperatura del agua, en °C

A continuación se presenta el cálculo realizado para el primer reactor de la Serie 1, en el primer día de muestreo, para lo cual se corrigió la constante de primer orden para la remoción de la

DBO₅, la temperatura promedio del primer reactor es de 17,4°C. Para esta corrección se adoptó el valor de $K_{20} = 0,52 \text{ d}^{-1}$, valor que recomienda Rodríguez et al (2010) para modelaciones de estanques con Jacinto de Agua como reactores de mezcla completa y el coeficiente empírico de temperatura con un valor de 1,06 según Crites et al. (1998).

$$K_{17,1} = 0,52 \text{ d}^{-1} (1,06)^{(17,4^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})} = 0,447 \text{ d}^{-1}$$

Para continuar con el modelo se tomó el valor de la DBO₅ presente en el afluente de la Serie 1, cuyo valor es de 160 mg/l y el tiempo de retención para el primer reactor de esta serie con un valor de 0,48 días.

$$DBO_5(e) = \frac{160 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{1 + (0,447 \text{ d}^{-1} \times 0,48 \text{ d})} = 131,7 \text{ mg/l}$$

Los resultados obtenidos en la estimación de la DBO₅ para las series 1 y 2 se encuentran en las Tablas 27 y 28, así como también los resultados obtenidos mediante los análisis de agua.

En el Anexo 7 se aprecia las constantes de remoción de primer orden para DBO₅ corregidas por temperatura, para todas las series en todos los días de muestreo.

La predicción de la DBO₅ presente en el efluente para cada reactor en cada día de muestreo, para la Serie 1 y Serie 2, mismas que se encuentran conformadas por 24 y 26 reactores respectivamente se la podrá apreciar en el Anexo 8.

Tabla 27: Predicción del efluente para la DBO₅ usando reactores completamente mezclados en la Serie 1

| Serie 1 | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO5 (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO5 en el efluente calculada (mg/l) | DBO5 en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 160 | 17,4 | 0,4470 | 12,800 | 0,9 | 55 |
| 27/09/2017 | 200 | 17,3 | 0,440 | 12,27 | 1,5 | 60 |
| 28/09/2017 | 180 | 17,2 | 0,442 | 10,59 | 2,5 | 60 |
| 02/10/2017 | 140 | 17,2 | 0,440 | 11,44 | 1,5 | 85 |
| 03/10/2017 | 160 | 17,4 | 0,450 | 11,37 | 1,6 | 95 |
| 04/10/2017 | 130 | 17,5 | 0,450 | 11,27 | 1,3 | 65 |
| 05/10/2017 | 130 | 16,7 | 0,429 | 13,19 | 0,8 | 45 |
| 10/10/2017 | 155 | 16,5 | 0,424 | 13,37 | 1,0 | 50 |
| 11/10/2017 | 125 | 16,4 | 0,422 | 13,46 | 0,8 | 65 |
| 12/10/2017 | 170 | 17,1 | 0,439 | 12,08 | 1,4 | 55 |
| Promedio | | | | | 1,3 | 63,5 |

Tabla 28: Predicción del efluente para la DBO5 usando reactores completamente mezclados en la Serie 2

| Serie 2 | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO5 (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO5 en el efluente calculada (mg/l) | DBO5 en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 160 | 16,9 | 0,434 | 11,63 | 1,6 | 60 |
| 27/09/2017 | 200 | 17,1 | 0,439 | 11,15 | 2,3 | 80 |
| 28/09/2017 | 180 | 16,7 | 0,429 | 9,62 | 3,9 | 80 |
| 02/10/2017 | 140 | 16,9 | 0,434 | 10,39 | 2,2 | 75 |
| 03/10/2017 | 160 | 17,0 | 0,437 | 10,33 | 2,5 | 60 |
| 04/10/2017 | 130 | 17,3 | 0,444 | 10,24 | 2,0 | 55 |
| 05/10/2017 | 130 | 16,6 | 0,427 | 11,98 | 1,2 | 50 |
| 10/10/2017 | 155 | 16,4 | 0,422 | 12,15 | 1,4 | 55 |
| 11/10/2017 | 125 | 16,4 | 0,422 | 12,23 | 1,1 | 70 |
| 12/10/2017 | 170 | 17,0 | 0,437 | 10,97 | 2,1 | 60 |
| Promedio | | | | | 2,0 | 64,5 |

La predicción de calidad del efluente para la Serie 3 se realizó para los datos del 26 de septiembre del 2017 ya que no se cuenta con datos experimentales de temperatura y DBO₅ para todos los días de experimentación en el efluente de la Serie 3.

Tabla 29: Predicción del efluente para la DBO5 usando reactores completamente mezclados en la Serie 3

| Serie 3 | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Fecha de muestreo | Afluente DBO5 (mg/l) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | DBO5 en el efluente calculada (mg/l) | DBO5 en el efluente resultados de laboratorio (mg/l) |
| 26/09/2017 | 57,5 | 17,2 | 0,442 | 0,85 | 40,4 | 40,0 |

Como se puede apreciar, los niveles de DBO₅ obtenidos en laboratorio son mayores a los valores estimados en la modelación como reactor completamente mezclado.

b) Predicción de la cantidad de coliformes fecales (E. coli) presentes en el efluente de los estanques con macrófitas considerando reactores completamente mezclados en serie.

Mediante el uso de las ecuaciones (1.13) y (1.6) para reactores de mezcla completa se pudo realizar la modelación del primer reactor de la Serie 1, en el primer día para la remoción de coliformes fecales

$$CF(e) = \frac{CFo}{1+k_b t} \quad (1.13)$$

$$Kb = K_{20}(\theta)^{(T^\circ - 20^\circ c)} \quad (1.6)$$

En las que:

CF_e = CF teórico calculado en el efluente de cada reactor, en N.M.P/100ml.

CF_o = CF en el afluente de cada reactor medida, en N.M.P/100ml.

K_b = constante de primer orden en la remoción de coliformes fecales, corregida para distintas temperaturas, en d^{-1} .

t = tiempo de retención en cada reactor, en días.

K_{20} = constante de remoción de DBO₅ de primer orden a 20°C, en d^{-1} .

θ = coeficiente empírico de temperatura.

T° = Temperatura del agua, °C.

Para corregir la constante de primer orden de remoción coliformes fecales a la temperatura promedio de 17,4°C del primer reactor de la Serie 1 en el primer día, se adoptó el valor de $K_{20} = 2,6$, (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006) y el coeficiente empírico de temperatura $\theta = 1,19$ según Crites, Middlebrooks, & Reed (2006).

$$K_{b_{17,4}} = 2,6d^{-1}(1,19)^{(17,4^\circ c - 20^\circ c)} = 1,654 d^{-1}$$

El valor de los coliformes fecales obtenido por los análisis de agua en el afluente de la Serie 1 fue de $593,80 \times 10^4$ NMP/100ml y el tiempo de retención para el primer reactor de esta serie es 0,46 días.

$$CF(e) = \frac{593,80 \times 10^4 \frac{N.M.P}{100ml}}{1 + (1,654d^{-1} \times 0,48d)} = 331,00 \times 10^4 \frac{N.M.P}{100ml}$$

En las siguientes tablas se podrá observar los valores teóricos obtenidos de coliformes fecales (E.coli) de la series 1 y 2, así como los valores obtenidos de los análisis de agua que se realizaron.

En el Anexo 7 se encontrará la constante de remoción de primer orden, para coliformes Fecales corregida por temperatura para todos los reactores de las series 1 y 2 en cada día.

En el Anexo 8 muestra los valores de teóricos de coliformes Fecales presente en el efluente para cada reactor en cada día de muestreo, para la Serie 1 y Serie 2, mismas que se encuentran conformadas por 24 y 26 reactores respectivamente.

Tabla 30: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie1

| Serie 1 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 593,80E+4 | 17,4 | 1,654 | 12,80 | 1,54E+0 | 24,90E+4 |
| 27/09/2017 | 857,00E+4 | 17,3 | 1,630 | 12,27 | 4,19E+0 | 27,20E+4 |
| 28/09/2017 | 414,00E+4 | 17,2 | 1,598 | 10,59 | 11,41E+0 | 8,50E+4 |
| 02/10/2017 | 771,00E+4 | 17,2 | 1,600 | 11,44 | 9,77E+0 | 21,60E+4 |
| 03/10/2017 | 1176,00E+4 | 17,4 | 1,650 | 11,37 | 11,41E+0 | 9,50E+4 |
| 04/10/2017 | 1500,00E+4 | 17,5 | 1,683 | 11,27 | 12,85E+0 | 12,20E+4 |
| 05/10/2017 | 546,00E+4 | 16,7 | 1,464 | 13,19 | 3,90E+0 | 24,90E+4 |
| 10/10/2017 | 1236,00E+4 | 16,5 | 1,414 | 13,37 | 11,32E+0 | 40,20E+4 |
| 11/10/2017 | 657,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 13,46 | 6,46E+0 | 28,20E+4 |
| 12/10/2017 | 1725,00E+4 | 17,1 | 1,570 | 12,08 | 15,06E+0 | 42,60E+4 |
| Promedio | | | | | 8,79E+0 | 23,98E+4 |

Tabla 31: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie 2

| Serie 2 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 593,80E+4 | 16,9 | 1,516 | 11,63 | 8,73E+0 | 35,00E+4 |
| 27/09/2017 | 857,00E+4 | 17,1 | 1,570 | 11,15 | 13,46E+0 | 41,40E+4 |
| 28/09/2017 | 414,00E+4 | 16,7 | 1,464 | 9,62 | 54,71E+0 | 7,40E+4 |
| 02/10/2017 | 771,00E+4 | 16,9 | 1,516 | 10,39 | 35,31E+0 | 248,90E+4 |
| 03/10/2017 | 1176,00E+4 | 17,0 | 1,543 | 10,33 | 47,95E+0 | 14,50E+4 |
| 04/10/2017 | 1500,00E+4 | 17,3 | 1,626 | 10,24 | 38,76E+0 | 17,10E+4 |
| 05/10/2017 | 546,00E+4 | 16,6 | 1,439 | 11,98 | 9,79E+0 | 28,80E+4 |
| 10/10/2017 | 1236,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 12,15 | 27,63E+0 | 38,40E+4 |
| 11/10/2017 | 657,00E+4 | 16,4 | 1,390 | 12,23 | 13,50E+0 | 30,50E+4 |
| 12/10/2017 | 1725,00E+4 | 17,0 | 1,543 | 10,97 | 36,64E+0 | 39,90E+4 |
| Promedio | | | | | 28,65E+0 | 50,19E+4 |

La predicción de calidad del efluente para la Serie 3 se realizó para los datos del 26 de septiembre del 2017 ya que no se cuenta con datos experimentales de temperatura y coliformes fecales para todos los días de experimentación en el efluente de la Serie 3.

Tabla 32: Predicción del efluente para coliformes fecales (E.coli) mediante reactor completamente mezclado, Serie 3

| Serie 3 | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| Fecha de muestreo | Afluente C.F (N.M.P/100ml) | Temperatura promedio (°C) | K corregida (d ⁻¹) | Tiempo de retención (d) | CF calculada (N.M.P/100ml) | CF obtenidos en laboratorio (N.M.P/100ml) |
| 26/09/2017 | 37,080E+4 | 17,2 | 1,598 | 0,85 | 12,09E+4 | 21,80E+4 |

Los valores promedio obtenidos en cada serie dan a notar que los niveles de coliformes fecales (E.coli) presentes en el efluente según los análisis de laboratorio son sumamente altos a los niveles teóricos estimados mediante el modelo de reactores de flujo completamente mezclado.

En base al análisis de los cuadros comparativos para cada modelación es decir para reactores de flujo tipo pistón y reactores de flujo completamente mezclado, la diferencia de los valores teóricos de cada modelo con los valores obtenidos en laboratorio es considerable, pues los

valores teóricos son menores a los valores obtenidos con los análisis de agua realizados por el laboratorio.

La razón de que exista una diferencia significativa de valores entre las estimaciones teóricas de ambos modelos de reactor y los resultados experimentales obtenidos de los análisis de agua, se pudo originar por el uso de constantes cinéticas de remoción de DBO₅ y coliformes fecales, que han sido determinadas bajo parámetros controlados de laboratorio, puesto que dichas constantes cinéticas influyen significativamente en los resultados de la modelación de reactores.

5.2.5 Comparación de la calidad del efluente con la normativa vigente.

Para el caso de la planta depuradora N°14 los análisis de agua reportaron los siguientes resultados: 40 mg/l en DBO₅, coliformes fecales (E.coli) 21,8 x10⁴ NMP/100 ml, pH 7,56 y temperatura de 17,2 °C. Estos parámetros serán comparados con, los estándares de calidad del Acuerdo Ministerial No. 097-A, publicado en el Registro Oficial de la República del Ecuador N°387 en el año 2015.

- Para descargas en cuerpos de agua dulce el acuerdo establece que no se debe sobrepasar los valores de DBO₅ de 100mg/l, coliformes fecales de 2000 NMP/100ml, pH entre 6-9 y temperatura en condiciones naturales ±3. Por lo tanto, el efluente de la planta de tratamiento N°14 cumple con los parámetros de DBO₅ y pH, pero supera los límites de coliformes fecales.
- Para calidad de fuentes de agua captadas para consumo humano y uso doméstico el acuerdo establece que no se debe superar los valores de DBO₅ <2 mg/l, coliformes fecales de 1000 NMP/100ml y pH entre 6-9. De modo que en el efluente de la planta cumple únicamente con el valor de pH, sobrepasando los límites de DBO₅ y coliformes fecales.
- Para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, la normativa refiere los valores máximos de DBO₅ en 20 mg/l y pH entre 6,5-9. Notando así que la planta de tratamiento sobrepasa los niveles de DBO₅, pero si cumple con los niveles de pH recomendados.

- Para calidad de aguas de uso agrícola o de riego, el Acuerdo Ministerial No. 097-A establece que los límites admisibles para coliformes fecales es 1000 NMP/100ml y pH entre 6-9. Por lo cual la planta depuradora no cumple con los niveles admisibles para coliformes fecales, sin embargo si cumple con los límites de pH.

5.3 Recomendaciones para mejoramiento de la planta de tratamiento.

Después del análisis del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales N°14 y la interpretación de los resultados experimentales obtenidos de laboratorio, se establecerán las siguientes recomendaciones que podrían ayudar a mejorar la eficiencia de la planta depuradora.

- 1) Realizar mantenimientos periódicos de al menos dos veces por semana en los módulos separadores de caudal y sedimentadores, esto con la finalidad de evitar la acumulación y reboce de lodos que se presenta constantemente, dificultando la realización de aforos al ingreso de la planta depuradora.
- 2) Realizar aforos en la entrada y salida de la planta depuradora, con el objeto de mantener un control de tiempos de retención y cargas aplicadas.
- 3) Realizar un mejoramiento del cercado en los linderos de la planta de tratamiento para evitar el ingreso de animales domésticos que pueden caer en los estanques y morir, aumentando los niveles de contaminación.
- 4) Implementar vertederos triangulares de pared delgada en la salida del sistema de tratamiento para facilitar la medición de los caudales de salida.
- 5) Capacitar al personal y fomentar el cumplimiento de los procedimientos de mantenimiento descritos en el manual de operación de la planta depuradora N°14, así como llevar un registro estadístico con formatos mencionados en el manual.
- 6) Realizar de manera periódica la limpieza de lodos presentes en el primer estanque del sistema de tratamiento con macrófitas flotantes, debido a que la planta presenta problemas de rebose de lodos en el sistema primario, ocasionando que los sólidos sean arrastrados al primer estanque.

- 7) Implementar un sistema de desinfección o lagunas de estabilización para de ésta manera reducir el nivel de coliformes fecales presentes en el efluente de la planta de tratamiento.
- 8) Dado el número de plantas que la EMAPAO mantiene operativas, se considera apropiado analizar la conveniencia de la adquisición de un camión hidrocleaner adicional, para que de este modo se pueda cumplir con los planes de limpieza y mantenimiento periódico de las plantas.
- 9) Ejecutar cosechas del Jacinto de Agua con la frecuencia requerida con la finalidad de que se remuevan las plantas cuya sobrepoblación afecta el sistema de la planta.
- 10) Dar a conocer a la población que la biomasa resultante de las cosechas de Jacinto de Agua puede ser reutilizado como abono, alimento de animales de granja y obtención de biogás según afirma Rodríguez, C. (2002) con la finalidad de que esta biomasa no sea dispuesta únicamente en rellenos sanitarios.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En la actualidad existen varias publicaciones científicas sobre el uso de macrófitas flotantes para tratamiento de aguas residuales a nivel internacional, sin embargo, es necesario continuar con investigaciones en Ecuador con el objeto de determinar el comportamiento de dicho sistema en condiciones locales.
- La planta depuradora N°14 cuenta con un sistema primario de sedimentación de lodos compuesto por 9 sedimentadores, un sistema secundario conformado de 9 filtros anaerobios de flujo ascendente complementado además por un sistema de tratamiento con macrófitas flotantes compuesto de 54 estanques.
- La planta depuradora N°14 recibe un caudal promedio de 6,79 l/s, notando así que aún no llega a su caudal de diseño de 13,64 l/s como menciona Moscoso (2006), sin embargo, la planta adicionalmente produce una carga orgánica superficial de 151,68 Kg DBO₅/ha x día que excede los límites recomendados por la bibliografía para sistemas con Jacinto de Agua que es de 40 a 80 Kg DBO₅/ha x día.
- El valor de DBO₅ en el efluente de la planta, obtenidos por los análisis de laboratorio de 40 mg/l no sobrepasan los límites establecidos en la normativa para descarga en cuerpos de agua dulce de 100 mg/l. El uso de Jacinto de Agua como tratamiento secundario es óptimo para este parámetro.
- En el sistema de tratamiento secundario de la planta N°14 con Jacinto de Agua se evidenció mediante los análisis de agua que los niveles de coliformes fecales presentes en el efluente sobrepasan los límites establecidos para descarga en cuerpos de agua dulce, uso de fuentes para consumo humano y uso agrícola y riego.
- Los estanques con macrófitas flotantes de la planta N°14 se asemejan a un reactor de tipo pistón por su forma y flujo, pese a la diferencia existente entre los valores teóricos y experimentales.

- Los tiempos de retención obtenidos para la Serie 1, Serie 2 y Serie 3, fueron de 12,18, 11,07 y 0,81 días, respectivamente. El tiempo de retención total fue de 12,44 días.
- La eficiencia de la Serie 1, Serie 2 y Serie 3 para remoción de la DBO₅ fueron de 59,03, 58,39 y 37,50%, respectivamente. La eficiencia total de remoción de DBO₅ fue de 88,24%.
- La eficiencia de la Serie 1, Serie 2 y Serie 3 para remoción de coliformes fecales (E. coli) fueron de 97,47, 94,70 y 41,21%, respectivamente. La eficiencia total del sistema de estanques con macrófitas de la planta en la remoción de coliformes fecales fue de 97,33%.

6.2 Recomendaciones.

- Utilizar equipos de protección personal apropiado al momento de realizar la recolección de muestras para análisis de agua.
- Realizar un tratamiento terciario que permita mejorar la calidad del efluente de la planta de tratamiento N°14 con el fin de que los valores de coliformes fecales disminuyan, para que de esta manera cumpla con los niveles de descarga en cuerpos de agua dulce y a su vez disminuya los valores de DBO₅ de modo que no afecte las condiciones ambientales en el lago San Pablo.
- Elaborar los planos as-built de la planta de tratamiento N° 14 con el objeto de actualizar la información de la planta depuradora con el afán de mantener actualizado un registro que posteriormente puede ser utilizado para el mejoramiento y aprovechamiento de la infraestructura existente.
- Colocar vertederos triangulares de pared delgada en la salida del sistema de tratamiento para facilitar la medición de caudales de salida.

- Efectuar una evaluación del tratamiento de sedimentación de la planta depuradora, ya que este sistema requiere limpieza constante debido a la acumulación de lodos, que al no ser retirados el sistema colapsa constantemente.
- Implementar las recomendaciones para el mejoramiento de la planta enunciadas en el numeral 5.3.
- Monitorear la calidad del agua residual afluyente y efluente para mantener registros de la eficiencia de la planta.
- Realizar investigaciones más detalladas y que se enfoque en otros parámetros de calidad del agua residual de la planta con el propósito de profundizar el conocimiento de su comportamiento y desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

- REGISTRO OFICIAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (4 de noviembre de 2015). Edición especial Año III- N° 387. Acuerdo Ministerial No. 097-A. Quito, Pichincha, Ecuador.
- American Water Works Association. (2002). *Calidad y tratamiento del agua*. España: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Arroyave, M. (2004). Lenteja de agua (Lemna Minor L.): una planta acuática promisoría. *EIA*, (1), 33-38.
- Barón, L. (2006). *Aguas Residuales*. Recuperado de <http://puceftp.puce.edu.ec:2057/lib/pucesp/reader.action?docID=10311594>.
- Cevallos, M. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San Pablo, Actualización 2015-2019*. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060014720001_PD_OT%20SAN%20PABLO_27-10-2015_11-33-45.pdf.
- Crites, R., Gunther, A., Kruzic, J., Pelz., & Tchobanoglous, G. (1998). *Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Washington D.C, U.S: Environmental Protection Agency, EPA/625/1-88/022.
- Crites, R. W., Middlebrooks, J. E., & Reed, S. C. (2006). *Natural Wastewater Treatment Systems*. E.E.U.U: Taylor & Francis Group.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua).
- Dordio, A., Carvalho, P., & Pinto, A. P. (2008). *Wetlands: Water "living filters"*. Évora, Portugal: Nova Science Publishers.

- Eaton, A., Clesceri, L., Greenberg, A., & Franson, M.A.H. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- El Comercio. (2009, 14 de septiembre). 14 Plantas para salvar a San Pablo. *El Comercio*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/actualidad/14-plantas-salvar-san-pablo.html>.
- Farinango, G. (2014). *Criterios de optimización en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales Huaycopungo norte, en la parroquia San Rafael, cantón Otavalo, provincia Imbabura* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Fernández, G. (2013). *Validación de los métodos de ensayo para DBO₅ en aguas residuales, TPH, aceites y grasas en aguas residuales y suelos* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Fernández, J., Beascochea, E., Muñoz, y Fernández, M. (2005). *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en Flotación*. Madrid, España: EDITA.
- Ferrer, J. y Seco, A. (2008). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. México: Alfaomega.
- Franzini, B., & Feinnemore, E. (1999). *Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería*. España: McGrawHill.
- GAD, Otavalo. (2015, 2 de junio). Inició la construcción del alcantarillado pluvial en la Parroquia San Pablo. *GAD Municipal de Otavalo administración 2015-2019*. Recuperado de <http://www.otavalo.gob.ec/noticias/item/117-inicio-construccion-de-alcantarillado-pluvial-en-san-pablo.html>.
- GAD, Otavalo. (2016). *Manual de Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De Agua residual N°14 San Pablo*. Ecuador: Fondo Ítalo Ecuatoriano (FIE).
- González, A., Nieves, B., Solórzano, M., Cruz, J., Pluig, J. y Moreno, M. (2013). Caracterización de cepas de *Klebsiella pneumoniae* productora de B-lactamasa de espectro extendido aisladas en dos unidades de cuidados intensivos. *Revista chilena de infectología*, 30.

- GCN. (20 de marzo de 2012). Obra vital para el lago San Pablo. El Norte. Recuperado de <http://www.elnorte.ec/ibarra/comunidad.html?id=19029:obra-vital-para-el-lago-san-pablo>.
- Gloyna, E y Espino, O. (1969). Sulfide production in Waste Stabilization Pond, Journal of The Sanitary Engineering Division. 95(SA3), 607-608.
- Granados, R., y Vilaverde. (1997). Bacteriología. Características y clasificación bacteriana. Virología. Características y técnicas bioquímicas. Madrid, España: Magallanes 25.
- IGM. (2003). *Cartografía de libre acceso. Carta topográfica escala 1:50000, formato JPG. San Pablo del Lago*. Recuperado de <http://www.geoportaligm.gob.ec/cartografia/50kxhojas/SAN%20PABLO%20DE%20LAGO%203ra.%20Ed..jpg>.
- INEC. (2010). *Censo De Población Y Vivienda Área # 100457 San Pablo*. Recuperado de <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&BASE=CPV2010>.
- Martelo, J., Lara, A. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte (8)*. Bogotá, Colombia.
- Melcaf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª Ed. Madrid, España: Mc Graw-Hill.
- Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery (Vol. 1)*. New York, United States: Mc GrawHill.
- Mihelcic, J., y Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Alfaomega.
- Moscoso, A. (2006). *Estudios y diseños de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de las aguas servidas de las poblaciones de la cuenca del lago San Pablo (Memoria Técnica)*. Ecuador: Organización Internacional para las Migraciones (OIM).
- NEMI. (2018). *Enzyme Substrate Coliform Test: 9223B Enzyme Substrate Test*. United States of America: National Environmental Methods Index. Recuperado de https://www.nemi.gov/methods/method_summary/5583/.

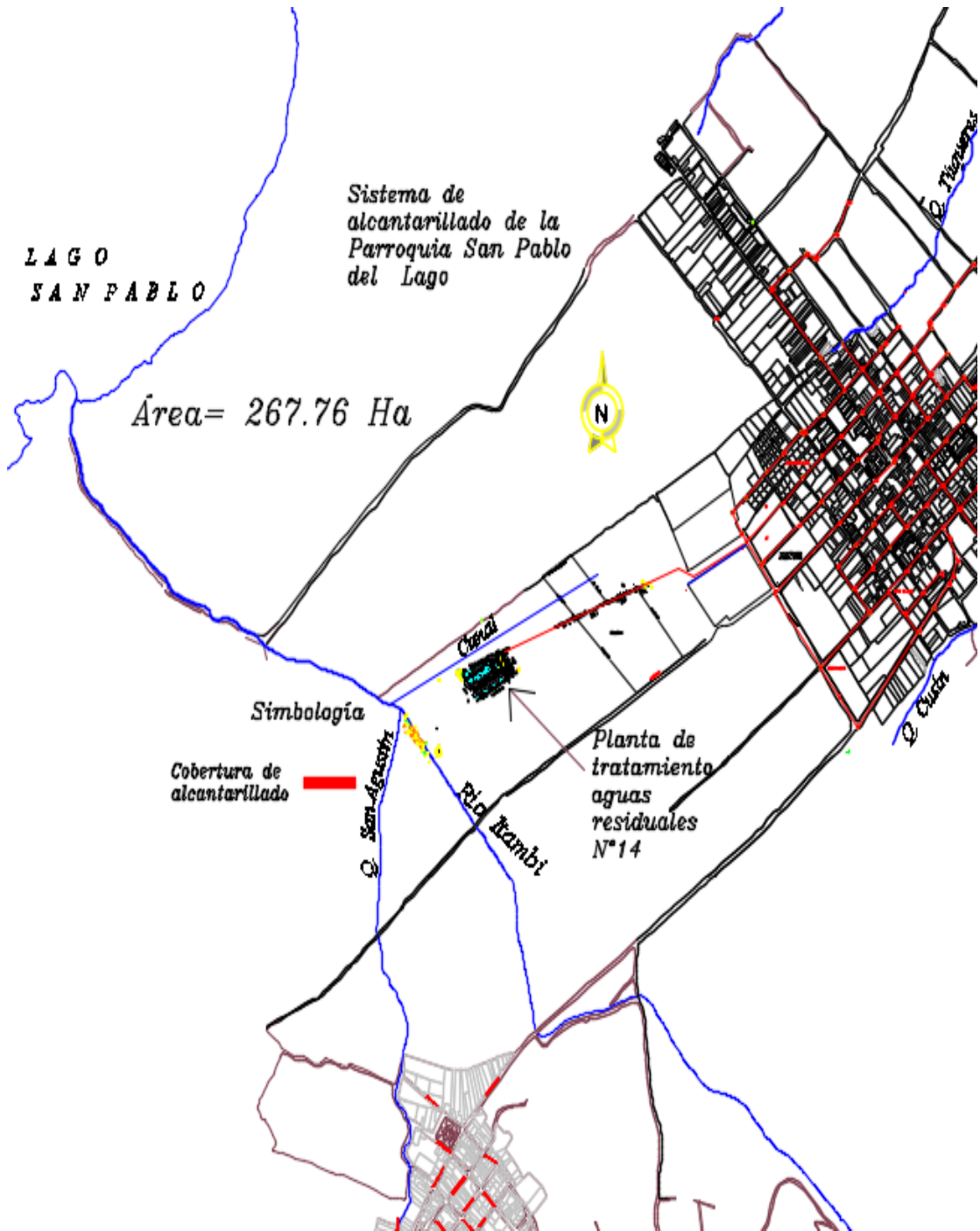
- Laboratorio de Agua Potable EMAPAO-EP. (2017). *Reporte de Análisis de Agua Residual, (No.032-2017 EMAPAO-EP)*. Otavalo, Ecuador: EMAPAO-EP.
- Lascano, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales. 2a. Ed.* Bogotá: Ecoe ediciones.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales Teoría y diseño*. Colombia: Acodal.
- Pérez, Marañón, Bermúdez, Aguilera, Cambá y Abalos. (2004) Caracterización de las aguas residuales de la refinería "Hermanos Díaz". *Revista cubana de química*. Recuperado de <http://puceftp.puce.edu.ec:2057/lib/pucesp/reader.action?docID=10307134>.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona, España: Reverté.
- Rodríguez, A., Colmenares, F., Barragán, J., y Mayorga, M. (2017). Aprovechamiento energético integral de la Eichhornia Crassipes (Buchón de agua). *Ingenium*, 18, 134-151.
- Rodríguez, C. (2002). *Obtención de parámetros cinéticos en sistemas acuáticos con jacinto de agua. XXIV Congreso de la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/cubtar002.pdf>.
- Rodríguez, C., Díaz, M., Guerra, L., Hernández, J. M. (1996). *Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales*. Presentado en: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, D.F.
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., y López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando Lentejas y Buchón de Agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencia del agua*, 1, 59-68.
- Rodríguez, J. (s./f.). *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*. Universidad del Valle de Cali, Colombia. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>.

- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales (teoría y principios de diseño)*. Colombia, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de Aguas Residuales: Un enfoque práctico*. Bogotá, Colombia: Reverté S.A.
- Seoánez, M. (2002). *Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732020>.
- Valderrama, L. (1996). Macrófitas Acuáticas Para Tratar Aguas Residuales. *Vniversitas Scientiarum*, 3(1), 83-97. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/download/5058/3904>:pdf.
- Valdez, E., y Vázquez, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. Distrito Federal, México: Fundación ICA, A.C.
- Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of Eichhornia Crassipes and Pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Enviromental Managment*, 81, 420-428. Recuperado de http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/gwri_abstracts/2006/5.pdf.

ANEXOS 1

ÁREA DE COBERTURA DE ALCANTARILLADO DE LA PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO

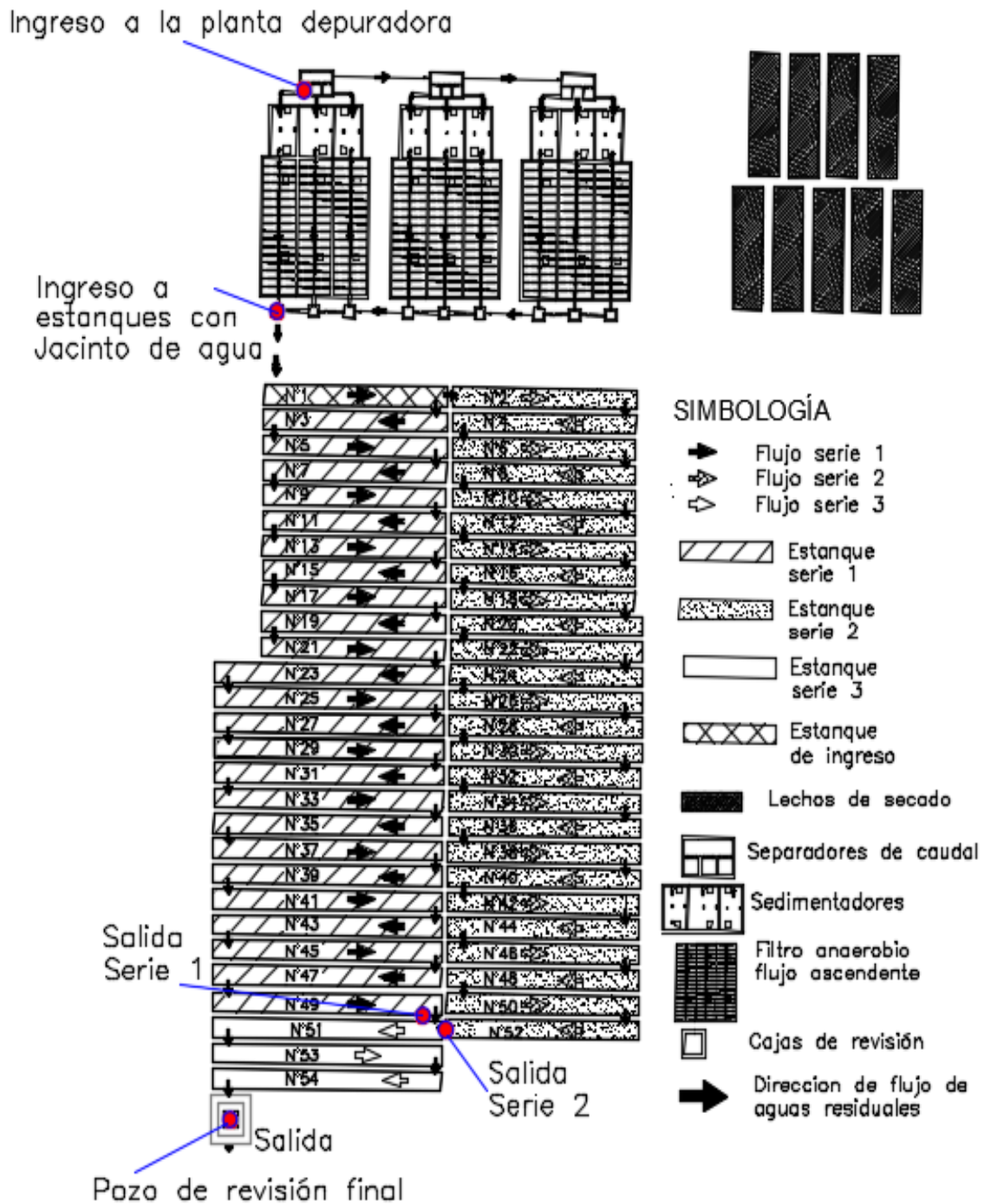
Figura 30: Esquema del alcantarillado de la parroquia San Pablo del Lago y área de cobertura. Basado en Moscoso, 2006.



ANEXO 2

ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14, UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

Figura 31: Lugares de muestreo para los análisis de agua en la planta N°14



Fuente: Moscoso (2006)

ANEXO 3

CÁLCULO DE LAS ÁREAS SUPERFICIALES DE LA SERIE 1, SERIE 2 Y SERIE 3 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N°14

Tabla 33: Cálculo de áreas superficiales para la Seri1, Seri2 y Serie 3

| Dimensiones de estanques de la Serie 1 | | | | | |
|--|--------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| Estanque | Longitud (m) | Ancho (m) | Profundidad (m) | Área (m ²) | Volúmen (m ³) |
| N°3 | 34,06 | 3,02 | 1,23 | 102,86 | 126,52 |
| N°5 | 34,07 | 3,01 | 1,24 | 102,55 | 127,16 |
| N°7 | 34,05 | 3,07 | 1,26 | 104,53 | 131,71 |
| N°9 | 34,00 | 3,06 | 1,24 | 104,04 | 129,01 |
| N°11 | 34,00 | 3,00 | 1,23 | 102,00 | 125,46 |
| N°13 | 34,02 | 3,03 | 1,24 | 103,08 | 127,82 |
| N°15 | 34,03 | 3,04 | 1,24 | 103,45 | 128,28 |
| N°17 | 34,00 | 3,05 | 1,26 | 103,70 | 130,66 |
| N°19 | 30,01 | 3,04 | 1,23 | 91,23 | 112,21 |
| N°21 | 34,07 | 3,04 | 1,23 | 103,57 | 127,39 |
| N°23 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 120,00 | 148,80 |
| N°25 | 40,05 | 3,02 | 1,23 | 120,95 | 148,77 |
| N°27 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 120,00 | 148,80 |
| N°29 | 40,05 | 3,01 | 1,23 | 120,55 | 148,28 |
| N°31 | 40,03 | 3,00 | 1,22 | 120,09 | 146,51 |
| N°33 | 40,06 | 3,00 | 1,23 | 120,18 | 147,82 |
| N°35 | 40,05 | 3,03 | 1,23 | 121,35 | 149,26 |
| N°37 | 40,00 | 3,04 | 1,24 | 121,60 | 150,78 |
| N°39 | 40,04 | 3,05 | 1,23 | 122,12 | 150,21 |
| N°41 | 40,00 | 3,04 | 1,24 | 121,60 | 150,78 |
| N°43 | 40,06 | 3,00 | 1,23 | 120,18 | 147,82 |
| N°45 | 40,00 | 3,04 | 1,22 | 121,60 | 148,35 |
| N°47 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 120,00 | 148,80 |
| N°49 | 40,05 | 3,02 | 1,23 | 120,95 | 148,77 |
| Total | | | | 2712,18 | 3349,97 |

| Dimensiones de estanques de la Serie 2 | | | | | |
|--|--------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| Estanque | Longitud (m) | Ancho (m) | Profundidad (m) | Área (m ²) | Volúmen (m ³) |
| N°2 | 30,05 | 3,03 | 1,25 | 91,05 | 113,81 |
| N°4 | 30,08 | 3,04 | 1,24 | 91,44 | 113,39 |
| N°6 | 30,00 | 3,05 | 1,25 | 91,50 | 114,38 |
| N°8 | 30,05 | 3,04 | 1,24 | 91,35 | 113,28 |
| N°10 | 30,06 | 3,04 | 1,23 | 91,38 | 112,40 |
| N°12 | 30,04 | 3,00 | 1,22 | 90,12 | 109,95 |
| N°14 | 30,05 | 3,02 | 1,23 | 90,75 | 111,62 |
| N°16 | 30,00 | 3,01 | 1,24 | 90,30 | 111,97 |
| N°18 | 30,03 | 3,07 | 1,23 | 92,19 | 113,40 |
| N°20 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 96,00 | 118,08 |
| N°22 | 32,00 | 3,00 | 1,24 | 96,00 | 119,04 |
| N°24 | 34,05 | 3,03 | 1,23 | 103,17 | 126,90 |
| N°26 | 32,04 | 3,00 | 1,22 | 96,12 | 117,27 |
| N°28 | 32,04 | 3,04 | 1,24 | 97,40 | 120,78 |
| N°30 | 32,04 | 3,05 | 1,23 | 97,72 | 120,20 |
| N°32 | 32,07 | 3,00 | 1,23 | 96,21 | 118,34 |
| N°34 | 32,05 | 3,00 | 1,23 | 96,15 | 118,26 |
| N°36 | 32,00 | 3,02 | 1,24 | 96,64 | 119,83 |
| N°38 | 32,00 | 3,01 | 1,23 | 96,32 | 118,47 |
| N°40 | 32,04 | 3,07 | 1,22 | 98,36 | 120,00 |
| N°42 | 32,00 | 3,00 | 1,24 | 96,00 | 119,04 |
| N°44 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 96,00 | 118,08 |
| N°46 | 32,04 | 3,00 | 1,23 | 96,12 | 118,23 |
| N°48 | 32,00 | 3,03 | 1,24 | 96,96 | 120,23 |
| N°50 | 32,00 | 3,00 | 1,23 | 96,00 | 118,08 |
| N°52 | 32,00 | 3,01 | 1,23 | 96,32 | 118,47 |
| Total | | | | 2467,57 | 3043,50 |

| Dimensiones de estanques de la Serie 3 | | | | | |
|--|--------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| Estanque | Longitud (m) | Ancho (m) | Profundidad (m) | Área (m ²) | Volúmen (m ³) |
| N°51 | 40,00 | 3,04 | 1,22 | 121,60 | 148,35 |
| N°53 | 40,05 | 3,05 | 1,23 | 122,15 | 150,25 |
| N°54 | 40,00 | 3,00 | 1,24 | 120,00 | 148,80 |
| Total | | | | 363,75 | 447,40 |

ANEXO 4

TIEMPOS DE RETENCIÓN PARA CADA REACOR DE CADA SERIE

Tabla 34: Tiempos de retención para cada reactor de cada serie durante los días de muestreo

| TIEMPOS DE RETENCION PARA CADA REACTOR DURANTE LOS DIAS DE MUESTREO PARA LA SERIE 1 | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DÍA | | | | | | | | | | |
| REACTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| N°3 | 0,48 | 0,46 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,46 |
| N°5 | 0,49 | 0,47 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,46 |
| N°7 | 0,50 | 0,48 | 0,42 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,52 | 0,53 | 0,53 | 0,47 |
| N°9 | 0,49 | 0,47 | 0,41 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,47 |
| N°11 | 0,48 | 0,46 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,42 | 0,49 | 0,50 | 0,50 | 0,45 |
| N°13 | 0,49 | 0,47 | 0,40 | 0,44 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,46 |
| N°15 | 0,49 | 0,47 | 0,41 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,46 |
| N°17 | 0,50 | 0,48 | 0,41 | 0,45 | 0,44 | 0,44 | 0,51 | 0,52 | 0,53 | 0,47 |
| N°19 | 0,43 | 0,41 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,40 |
| N°21 | 0,49 | 0,47 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,46 |
| N°23 | 0,57 | 0,55 | 0,47 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,54 |
| N°25 | 0,57 | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,54 |
| N°27 | 0,57 | 0,55 | 0,47 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,54 |
| N°29 | 0,57 | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,53 |
| N°31 | 0,56 | 0,54 | 0,46 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 0,58 | 0,58 | 0,59 | 0,53 |
| N°33 | 0,56 | 0,54 | 0,47 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,53 |
| N°35 | 0,57 | 0,55 | 0,47 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,59 | 0,60 | 0,60 | 0,54 |
| N°37 | 0,58 | 0,55 | 0,48 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,54 |
| N°39 | 0,57 | 0,55 | 0,48 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,59 | 0,60 | 0,60 | 0,54 |
| N°41 | 0,58 | 0,55 | 0,48 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,54 |
| N°43 | 0,56 | 0,54 | 0,47 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,53 |
| N°45 | 0,57 | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,53 |
| N°47 | 0,57 | 0,55 | 0,47 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,54 |
| N°49 | 0,57 | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,54 |
| Sumatoria | 12,80 | 12,27 | 10,59 | 11,44 | 11,37 | 11,27 | 13,19 | 13,37 | 13,46 | 12,08 |

| TIEMPOS DE RETENCION PARA CADA REACTOR DURANTE LOS DIAS DE MUESTREO PARA LA SERIE 2 | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DÍA | | | | | | | | | | |
| REACTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| N°2 | 0,43 | 0,42 | 0,36 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,41 |
| N°4 | 0,43 | 0,42 | 0,36 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,41 |
| N°6 | 0,44 | 0,42 | 0,36 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,41 |
| N°8 | 0,43 | 0,41 | 0,36 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,41 |
| N°10 | 0,43 | 0,41 | 0,36 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,41 |
| N°12 | 0,42 | 0,40 | 0,35 | 0,38 | 0,37 | 0,37 | 0,43 | 0,44 | 0,44 | 0,40 |
| N°14 | 0,43 | 0,41 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,40 |
| N°16 | 0,43 | 0,41 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,40 |
| N°18 | 0,43 | 0,42 | 0,36 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,41 |
| N°20 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | 0,43 |
| N°22 | 0,45 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°24 | 0,48 | 0,46 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,46 |
| N°26 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,39 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | 0,42 |
| N°28 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,44 |
| N°30 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,41 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°32 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| N°34 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| N°36 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,41 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°38 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| N°40 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,41 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°42 | 0,45 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°44 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | 0,43 |
| N°46 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| N°48 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,41 | 0,41 | 0,40 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,43 |
| N°50 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | 0,43 |
| N°52 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| Sumatoria | 11,63 | 11,15 | 9,62 | 10,39 | 10,33 | 10,24 | 11,98 | 12,15 | 12,23 | 10,97 |

| TIEMPOS DE RETENCION PARA CADA REACTOR DURANTE LOS DIAS DE MUESTREO PARA LA SERIE 3 | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| DÍA | | | | | | | | | | |
| REACTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| N°51 | 0,28 | 0,27 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,27 |
| N°53 | 0,29 | 0,28 | 0,24 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,27 |
| N°54 | 0,28 | 0,27 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,27 |
| Sumatoria | 0,85 | 0,82 | 0,71 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,88 | 0,89 | 0,90 | 0,81 |

ANEXO 5

CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REMOCIÓN DE DBO₅ Y COLIFORMES FECALES PARA REACTORES DE FLUJO TIPO PISTÓN

Tabla 35: Constantes de velocidad de reacción para DBO₅ y coliformes fecales en reactores tipo pistón

$$KT = K_{20}(\theta)^{(T^{\circ}-20^{\circ}c)}$$

a) Constante para DBO₅

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB ₅ SERIE1 | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promed | 17,4 | 17,3 | 17,2 | 17,2 | 17,4 | 17,5 | 16,7 | 16,5 | 16,4 | 17,1 |
| KT | 0,189 | 0,190 | 0,187 | 0,190 | 0,190 | 0,190 | 0,182 | 0,179 | 0,178 | 0,186 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB ₅ SERIE2 | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promed | 16,9 | 17,1 | 16,7 | 16,9 | 17,0 | 17,3 | 16,6 | 16,4 | 16,4 | 17,0 |
| KT | 0,184 | 0,186 | 0,182 | 0,184 | 0,185 | 0,188 | 0,180 | 0,178 | 0,178 | 0,185 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB ₅ SERIE 3 | |
|--|-------|
| Día | 1 |
| Temperatura promed | 17,2 |
| KT | 0,187 |

b) Constante para coliformes fecales

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 1 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 17,4 | 17,3 | 17,2 | 17,2 | 17,4 | 17,5 | 16,7 | 16,5 | 16,4 | 17,1 |
| KT | 1,654 | 1,630 | 1,598 | 1,600 | 1,650 | 1,683 | 1,464 | 1,414 | 1,390 | 1,570 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 2 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 16,9 | 17,1 | 16,7 | 16,9 | 17,0 | 17,3 | 16,6 | 16,4 | 16,4 | 17,0 |
| KT | 1,516 | 1,570 | 1,464 | 1,516 | 1,543 | 1,626 | 1,439 | 1,390 | 1,390 | 1,543 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 3 | |
|--|-------|
| Día | 1 |
| Temperatura promedio | 17,2 |
| KT | 1,598 |

ANEXO 6

PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PARA DBO_5 Y C.F UTILIZANDO REACTORES DE FLUJO TIPO PISTÓN

Tabla 36: Predicción del efluente para DBO5 para reactores de flujo tipo pistón

a) Serie 1

| Serie 1 | DBO ₅ (mg/l) | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 160,0 | 200,0 | 180,0 | 140,0 | 160,0 | 130,0 | 130,0 | 155,0 | 125,0 | 170,0 | |
| N°3 | 146,0 | 183,1 | 167,0 | 129,0 | 147,5 | 119,9 | 118,7 | 141,6 | 114,2 | 156,2 | |
| N°5 | 133,2 | 167,6 | 154,9 | 118,8 | 135,9 | 110,5 | 108,4 | 129,3 | 104,3 | 143,4 | |
| N°7 | 121,1 | 153,0 | 143,3 | 109,0 | 124,8 | 101,6 | 98,6 | 117,7 | 94,9 | 131,3 | |
| N°9 | 110,4 | 139,8 | 132,8 | 100,3 | 114,8 | 93,6 | 89,9 | 107,3 | 86,5 | 120,4 | |
| N°11 | 100,8 | 128,1 | 123,3 | 92,4 | 105,9 | 86,4 | 82,2 | 98,1 | 79,1 | 110,7 | |
| N°13 | 91,9 | 117,2 | 114,3 | 85,1 | 97,5 | 79,6 | 75,0 | 89,6 | 72,2 | 101,6 | |
| N°15 | 83,8 | 107,2 | 106,0 | 78,3 | 89,8 | 73,3 | 68,4 | 81,7 | 65,9 | 93,2 | |
| N°17 | 76,2 | 97,9 | 98,1 | 71,9 | 82,5 | 67,4 | 62,3 | 74,4 | 60,0 | 85,4 | |
| N°19 | 70,3 | 90,5 | 91,8 | 66,9 | 76,8 | 62,8 | 57,5 | 68,7 | 55,3 | 79,2 | |
| N°21 | 64,1 | 82,9 | 85,1 | 61,6 | 70,7 | 57,9 | 52,5 | 62,7 | 50,5 | 72,7 | |
| N°23 | 57,6 | 74,7 | 78,0 | 55,9 | 64,2 | 52,6 | 47,2 | 56,4 | 45,4 | 65,8 | |
| N°25 | 51,7 | 67,4 | 71,4 | 50,8 | 58,4 | 47,8 | 42,4 | 50,7 | 40,8 | 59,6 | |
| N°27 | 46,5 | 60,7 | 65,4 | 46,1 | 53,0 | 43,5 | 38,1 | 45,6 | 36,7 | 53,9 | |
| N°29 | 41,8 | 54,8 | 59,9 | 41,9 | 48,2 | 39,6 | 34,3 | 41,0 | 33,0 | 48,8 | |
| N°31 | 37,6 | 49,5 | 54,9 | 38,1 | 43,8 | 36,0 | 30,9 | 36,9 | 29,7 | 44,2 | |
| N°33 | 33,8 | 44,6 | 50,3 | 34,6 | 39,9 | 32,8 | 27,8 | 33,2 | 26,8 | 40,1 | |
| N°35 | 30,3 | 40,2 | 46,1 | 31,4 | 36,2 | 29,8 | 24,9 | 29,9 | 24,0 | 36,2 | |
| N°37 | 27,2 | 36,2 | 42,1 | 28,5 | 32,8 | 27,1 | 22,4 | 26,8 | 21,6 | 32,8 | |
| N°39 | 24,4 | 32,6 | 38,6 | 25,8 | 29,8 | 24,6 | 20,1 | 24,1 | 19,4 | 29,6 | |
| N°41 | 21,9 | 29,4 | 35,3 | 23,4 | 27,1 | 22,3 | 18,0 | 21,6 | 17,4 | 26,8 | |
| N°43 | 19,7 | 26,5 | 32,3 | 21,3 | 24,6 | 20,3 | 16,2 | 19,5 | 15,7 | 24,2 | |
| N°45 | 17,7 | 23,9 | 29,6 | 19,3 | 22,3 | 18,5 | 14,6 | 17,5 | 14,1 | 21,9 | |
| N°47 | 15,9 | 21,6 | 27,1 | 17,5 | 20,3 | 16,8 | 13,1 | 15,7 | 12,7 | 19,9 | |
| N°49 | 14,2 | 19,4 | 24,8 | 15,9 | 18,4 | 15,3 | 11,8 | 14,2 | 11,4 | 18,0 | |

b) Serie 2

| Serie 2 | DBO ₅ (mg/l) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 160,0 | 200,0 | 180,0 | 140,0 | 160,0 | 130,0 | 130,0 | 155,0 | 125,0 | 170,0 |
| N°2 | 147,7 | 185,1 | 168,6 | 130,3 | 149,0 | 121,0 | 119,9 | 143,0 | 115,2 | 157,6 |
| N°4 | 136,4 | 171,3 | 157,9 | 121,4 | 138,7 | 112,6 | 110,7 | 131,9 | 106,2 | 146,1 |
| N°6 | 125,9 | 158,5 | 147,9 | 113,0 | 129,1 | 104,7 | 102,1 | 121,6 | 97,9 | 135,4 |
| N°8 | 116,3 | 146,7 | 138,5 | 105,2 | 120,2 | 97,5 | 94,2 | 112,2 | 90,3 | 125,5 |
| N°10 | 107,5 | 135,9 | 129,9 | 98,0 | 112,1 | 90,8 | 87,0 | 103,6 | 83,3 | 116,4 |
| N°12 | 99,5 | 126,1 | 121,9 | 91,5 | 104,6 | 84,7 | 80,5 | 95,8 | 77,0 | 108,2 |
| N°14 | 92,0 | 116,9 | 114,3 | 85,3 | 97,5 | 78,9 | 74,3 | 88,5 | 71,1 | 100,4 |
| N°16 | 85,0 | 108,3 | 107,2 | 79,5 | 90,9 | 73,5 | 68,7 | 81,7 | 65,6 | 93,2 |
| N°18 | 78,5 | 100,2 | 100,4 | 74,0 | 84,6 | 68,4 | 63,4 | 75,4 | 60,5 | 86,4 |
| N°20 | 72,2 | 92,5 | 93,8 | 68,7 | 78,6 | 63,5 | 58,3 | 69,3 | 55,6 | 79,9 |
| N°22 | 66,4 | 85,3 | 87,6 | 63,8 | 72,9 | 58,9 | 53,6 | 63,7 | 51,1 | 73,8 |
| N°24 | 60,7 | 78,2 | 81,4 | 58,9 | 67,3 | 54,4 | 49,0 | 58,2 | 46,6 | 67,8 |
| N°26 | 55,9 | 72,2 | 76,1 | 54,7 | 62,6 | 50,5 | 45,1 | 53,6 | 42,9 | 62,7 |
| N°28 | 51,4 | 66,5 | 71,0 | 50,7 | 58,0 | 46,8 | 41,4 | 49,2 | 39,3 | 57,8 |
| N°30 | 47,2 | 61,3 | 66,3 | 47,0 | 53,8 | 43,3 | 38,0 | 45,1 | 36,1 | 53,4 |
| N°32 | 43,4 | 56,6 | 61,9 | 43,7 | 49,9 | 40,2 | 34,9 | 41,5 | 33,2 | 49,3 |
| N°34 | 39,9 | 52,2 | 57,8 | 40,5 | 46,4 | 37,3 | 32,1 | 38,2 | 30,5 | 45,6 |
| N°36 | 36,7 | 48,1 | 54,0 | 37,6 | 43,0 | 34,6 | 29,5 | 35,0 | 28,0 | 42,1 |
| N°38 | 33,8 | 44,4 | 50,4 | 34,9 | 39,9 | 32,1 | 27,1 | 32,2 | 25,7 | 38,9 |
| N°40 | 31,1 | 40,9 | 47,0 | 32,4 | 37,0 | 29,8 | 24,9 | 29,6 | 23,6 | 35,9 |
| N°42 | 28,6 | 37,7 | 43,9 | 30,0 | 34,3 | 27,6 | 22,9 | 27,2 | 21,7 | 33,2 |
| N°44 | 26,3 | 34,8 | 41,0 | 27,9 | 31,9 | 25,6 | 21,1 | 25,0 | 19,9 | 30,6 |
| N°46 | 24,2 | 32,1 | 38,3 | 25,9 | 29,6 | 23,8 | 19,4 | 23,0 | 18,3 | 28,3 |
| N°48 | 22,2 | 29,6 | 35,8 | 24,0 | 27,5 | 22,0 | 17,8 | 21,1 | 16,8 | 26,1 |
| N°50 | 20,4 | 27,3 | 33,4 | 22,3 | 25,5 | 20,4 | 16,4 | 19,4 | 15,4 | 24,2 |
| N°52 | 18,8 | 25,1 | 31,3 | 20,7 | 23,7 | 19,0 | 15,0 | 17,8 | 14,2 | 22,3 |

c) Serie 3

| Serie 3 | DBO ₅ (mg/l) |
|----------|-------------------------|
| DÍA | 1 |
| AFLUENTE | 57,5 |
| N°51 | 54,6 |
| N°53 | 51,7 |
| N°54 | 49,0 |

Tabla 37: Predicción del efluente para coliformes fecales con reactores de flujo tipo pistón

a) Serie 1

| Serie 1 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 593,80E+4 | 857,00E+4 | 414,00E+4 | 771,00E+4 | 1176,00E+4 | 1500,00E+4 | 546,00E+4 | 1236,00E+4 | 657,00E+4 | 1725,00E+4 |
| N°3 | 268,44E+4 | 404,90E+4 | 218,47E+4 | 387,49E+4 | 578,46E+4 | 727,44E+4 | 262,60E+4 | 609,50E+4 | 323,37E+4 | 837,80E+4 |
| N°5 | 119,36E+4 | 188,21E+4 | 115,29E+4 | 194,74E+4 | 284,54E+4 | 352,78E+4 | 126,29E+4 | 296,34E+4 | 159,16E+4 | 406,91E+4 |
| N°7 | 52,20E+4 | 86,07E+4 | 58,93E+4 | 94,79E+4 | 135,42E+4 | 168,23E+4 | 58,99E+4 | 140,06E+4 | 76,19E+4 | 194,55E+4 |
| N°9 | 23,21E+4 | 40,01E+4 | 30,60E+4 | 46,88E+4 | 65,52E+4 | 81,58E+4 | 27,96E+4 | 68,10E+4 | 36,98E+4 | 93,02E+4 |
| N°11 | 10,49E+4 | 18,90E+4 | 16,15E+4 | 23,56E+4 | 32,23E+4 | 40,24E+4 | 13,64E+4 | 33,58E+4 | 18,46E+4 | 45,89E+4 |
| N°13 | 4,67E+4 | 8,79E+4 | 8,52E+4 | 11,65E+4 | 15,85E+4 | 19,51E+4 | 6,56E+4 | 16,33E+4 | 9,08E+4 | 22,29E+4 |
| N°15 | 2,07E+4 | 4,08E+4 | 4,43E+4 | 5,76E+4 | 7,67E+4 | 9,46E+4 | 3,11E+4 | 7,94E+4 | 4,41E+4 | 10,83E+4 |
| N°17 | 9074,31E+0 | 1,87E+4 | 2,30E+4 | 2,81E+4 | 3,71E+4 | 4,51E+4 | 1,47E+4 | 3,81E+4 | 2,11E+4 | 5,18E+4 |
| N°19 | 4455,89E+0 | 9572,77E+0 | 1,31E+4 | 1,53E+4 | 1,98E+4 | 2,38E+4 | 7740,64E+0 | 2,01E+4 | 1,13E+4 | 2,76E+4 |
| N°21 | 1981,33E+0 | 4449,64E+0 | 6934,10E+0 | 7677,34E+0 | 9751,87E+0 | 1,15E+4 | 3722,83E+0 | 9791,56E+0 | 5557,62E+0 | 1,34E+4 |
| N°23 | 771,81E+0 | 1815,43E+0 | 3271,97E+0 | 3394,90E+0 | 4203,68E+0 | 4976,49E+0 | 1569,45E+0 | 4251,45E+0 | 2413,72E+0 | 5746,36E+0 |
| N°25 | 300,65E+0 | 752,86E+0 | 1543,93E+0 | 1501,21E+0 | 1842,20E+0 | 2145,18E+0 | 661,64E+0 | 1845,96E+0 | 1048,30E+0 | 2461,49E+0 |
| N°27 | 117,12E+0 | 307,16E+0 | 728,53E+0 | 663,83E+0 | 794,10E+0 | 924,71E+0 | 278,93E+0 | 801,51E+0 | 455,29E+0 | 1054,40E+0 |
| N°29 | 45,62E+0 | 127,38E+0 | 343,77E+0 | 293,54E+0 | 348,00E+0 | 398,61E+0 | 119,32E+0 | 348,01E+0 | 197,73E+0 | 458,80E+0 |
| N°31 | 18,07E+0 | 52,82E+0 | 164,83E+0 | 131,90E+0 | 152,51E+0 | 174,74E+0 | 51,05E+0 | 153,26E+0 | 87,08E+0 | 199,64E+0 |
| N°33 | 7,16E+0 | 21,91E+0 | 77,78E+0 | 59,27E+0 | 66,83E+0 | 75,32E+0 | 21,84E+0 | 66,54E+0 | 38,35E+0 | 86,87E+0 |
| N°35 | 2,79E+0 | 8,94E+0 | 36,70E+0 | 26,21E+0 | 28,81E+0 | 32,47E+0 | 9,21E+0 | 28,49E+0 | 16,66E+0 | 37,21E+0 |
| N°37 | 1,07E+0 | 3,65E+0 | 17,04E+0 | 11,59E+0 | 12,42E+0 | 13,76E+0 | 3,88E+0 | 12,20E+0 | 7,13E+0 | 15,94E+0 |
| N°39 | 4160,47E-4 | 1,49E+0 | 7,91E+0 | 5,12E+0 | 5,35E+0 | 5,83E+0 | 1,64E+0 | 5,22E+0 | 3,10E+0 | 6,83E+0 |
| N°41 | 1594,10E-4 | 6070,03E-4 | 3,68E+0 | 2,27E+0 | 2,31E+0 | 2,47E+0 | 6897,40E-4 | 2,24E+0 | 1,33E+0 | 2,92E+0 |
| N°43 | 631,33E-4 | 2517,24E-4 | 1,73E+0 | 1,02E+0 | 1,01E+0 | 1,07E+0 | 2950,65E-4 | 9704,42E-4 | 5843,96E-4 | 1,27E+0 |
| N°45 | 245,93E-4 | 1043,90E-4 | 8183,43E-4 | 4502,41E-4 | 4431,77E-4 | 4594,71E-4 | 1262,26E-4 | 4213,62E-4 | 2538,08E-4 | 5537,86E-4 |
| N°47 | 95,80E-4 | 425,91E-4 | 3861,48E-4 | 1990,95E-4 | 1910,38E-4 | 1980,61E-4 | 532,14E-4 | 1829,53E-4 | 1102,31E-4 | 2372,18E-4 |
| N°49 | 37,94E-4 | 176,62E-4 | 1851,45E-4 | 866,42E-4 | 837,19E-4 | 868,26E-4 | 224,33E-4 | 761,38E-4 | 492,24E-4 | 1000,31E-4 |

b) Serie 2

| Serie 2 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 593,80E+4 | 857,00E+4 | 414,00E+4 | 771,00E+4 | 1176,00E+4 | 1500,00E+4 | 546,00E+4 | 1236,00E+4 | 657,00E+4 | 1725,00E+4 |
| N°2 | 309,41E+4 | 443,21E+4 | 244,40E+4 | 426,86E+4 | 644,26E+4 | 808,63E+4 | 285,74E+4 | 661,25E+4 | 346,64E+4 | 916,31E+4 |
| N°4 | 161,22E+4 | 229,21E+4 | 144,28E+4 | 236,33E+4 | 358,44E+4 | 435,92E+4 | 149,53E+4 | 353,77E+4 | 182,89E+4 | 486,74E+4 |
| N°6 | 82,74E+4 | 118,54E+4 | 85,18E+4 | 130,84E+4 | 196,37E+4 | 235,00E+4 | 78,25E+4 | 186,65E+4 | 96,49E+4 | 258,55E+4 |
| N°8 | 43,11E+4 | 62,27E+4 | 50,28E+4 | 72,44E+4 | 109,25E+4 | 126,68E+4 | 40,95E+4 | 99,86E+4 | 50,91E+4 | 137,34E+4 |
| N°10 | 22,47E+4 | 32,72E+4 | 29,69E+4 | 40,72E+4 | 60,78E+4 | 68,29E+4 | 21,74E+4 | 53,42E+4 | 27,24E+4 | 72,95E+4 |
| N°12 | 11,88E+4 | 17,46E+4 | 17,78E+4 | 22,89E+4 | 34,34E+4 | 37,42E+4 | 11,71E+4 | 28,98E+4 | 14,78E+4 | 39,36E+4 |
| N°14 | 6,19E+4 | 9,17E+4 | 10,65E+4 | 12,86E+4 | 19,11E+4 | 20,17E+4 | 6,22E+4 | 15,50E+4 | 7,90E+4 | 21,23E+4 |
| N°16 | 3,23E+4 | 4,82E+4 | 6,38E+4 | 7,23E+4 | 10,63E+4 | 10,87E+4 | 3,30E+4 | 8,29E+4 | 4,23E+4 | 11,45E+4 |
| N°18 | 1,68E+4 | 2,49E+4 | 3,77E+4 | 4,00E+4 | 5,91E+4 | 5,86E+4 | 1,73E+4 | 4,44E+4 | 2,23E+4 | 6,08E+4 |
| N°20 | 8499,50E+0 | 1,27E+4 | 2,19E+4 | 2,18E+4 | 3,19E+4 | 3,06E+4 | 8910,80E+0 | 2,31E+4 | 1,16E+4 | 3,13E+4 |
| N°22 | 4296,53E+0 | 6358,06E+0 | 1,26E+4 | 1,17E+4 | 1,72E+4 | 1,60E+4 | 4530,96E+0 | 1,18E+4 | 5957,61E+0 | 1,61E+4 |
| N°24 | 2075,35E+0 | 3088,00E+0 | 6996,51E+0 | 6109,92E+0 | 8864,72E+0 | 7934,06E+0 | 2206,56E+0 | 5831,77E+0 | 2932,25E+0 | 7936,14E+0 |
| N°26 | 1049,09E+0 | 1572,12E+0 | 4070,36E+0 | 3331,80E+0 | 4782,10E+0 | 4208,16E+0 | 1138,25E+0 | 3034,42E+0 | 1525,72E+0 | 4151,08E+0 |
| N°28 | 522,34E+0 | 787,91E+0 | 2333,60E+0 | 1789,53E+0 | 2540,22E+0 | 2160,56E+0 | 570,51E+0 | 1557,09E+0 | 772,11E+0 | 2105,28E+0 |
| N°30 | 260,07E+0 | 394,88E+0 | 1337,89E+0 | 961,17E+0 | 1349,34E+0 | 1127,46E+0 | 290,09E+0 | 799,01E+0 | 396,20E+0 | 1084,32E+0 |
| N°32 | 131,47E+0 | 201,03E+0 | 778,34E+0 | 524,13E+0 | 727,91E+0 | 588,35E+0 | 147,51E+0 | 415,75E+0 | 203,31E+0 | 558,48E+0 |
| N°34 | 66,46E+0 | 102,35E+0 | 452,82E+0 | 285,82E+0 | 392,67E+0 | 307,02E+0 | 75,00E+0 | 216,32E+0 | 104,33E+0 | 287,65E+0 |
| N°36 | 33,09E+0 | 51,29E+0 | 259,61E+0 | 153,51E+0 | 208,58E+0 | 160,22E+0 | 38,14E+0 | 111,01E+0 | 53,53E+0 | 148,15E+0 |
| N°38 | 16,73E+0 | 26,11E+0 | 151,03E+0 | 83,71E+0 | 112,52E+0 | 83,61E+0 | 19,39E+0 | 57,76E+0 | 27,47E+0 | 76,31E+0 |
| N°40 | 8,33E+0 | 13,09E+0 | 86,59E+0 | 44,96E+0 | 59,77E+0 | 43,63E+0 | 9,86E+0 | 29,64E+0 | 14,10E+0 | 39,30E+0 |
| N°42 | 4,21E+0 | 6,56E+0 | 49,64E+0 | 24,15E+0 | 32,24E+0 | 22,77E+0 | 5,01E+0 | 15,21E+0 | 7,23E+0 | 20,24E+0 |
| N°44 | 2,13E+0 | 3,34E+0 | 28,88E+0 | 13,17E+0 | 17,39E+0 | 11,88E+0 | 2,59E+0 | 7,91E+0 | 3,76E+0 | 10,43E+0 |
| N°46 | 1,08E+0 | 1,70E+0 | 16,80E+0 | 7,18E+0 | 9,38E+0 | 6,20E+0 | 1,32E+0 | 4,12E+0 | 1,93E+0 | 5,37E+0 |
| N°48 | 5356,27E-4 | 8520,40E-4 | 9,63E+0 | 3,86E+0 | 4,98E+0 | 3,24E+0 | 6687,26E-4 | 2,11E+0 | 9910,65E-4 | 2,77E+0 |
| N°50 | 2707,61E-4 | 4337,78E-4 | 5,60E+0 | 2,10E+0 | 2,69E+0 | 1,69E+0 | 3449,62E-4 | 1,10E+0 | 5156,77E-4 | 1,42E+0 |
| N°52 | 1307,90E-4 | 2140,10E-4 | 3,17E+0 | 1,11E+0 | 1,41E+0 | 8810,20E-4 | 1779,50E-4 | 5720,50E-4 | 2720,80E-4 | 7684,40E-4 |

c) Serie 3

| Serie 3 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) |
|----------|----------------------------------|
| DÍA | 1 |
| AFLUENTE | 37,08E+4 |
| N°51 | 23,70E+4 |
| N°53 | 14,91E+4 |
| N°54 | 9,53E+4 |

ANEXO 7

CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REMOCIÓN DE DBO₅ Y COLIFORMES FECALES PARA REACTORES DE FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO

Tabla 38: Constantes de velocidad de reacción para DBO₅ y C.f en reactores de flujo completamente mezclado

$$KT = K_{20}(\theta)^{(T^{\circ}-20^{\circ}c)}$$

a) Para remoción de DBO₅

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB5 SERIE 1 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 17,4 | 17,3 | 17,2 | 17,2 | 17,4 | 17,5 | 16,7 | 16,5 | 16,4 | 17,1 |
| KT | 0,447 | 0,440 | 0,442 | 0,440 | 0,450 | 0,450 | 0,429 | 0,424 | 0,422 | 0,439 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB5 SERIE 2 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 16,9 | 17,1 | 16,7 | 16,9 | 17,0 | 17,3 | 16,6 | 16,4 | 16,4 | 17,0 |
| KT | 0,434 | 0,439 | 0,429 | 0,434 | 0,437 | 0,444 | 0,427 | 0,422 | 0,422 | 0,437 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA DOB5 SERIE 3 | |
|--|-------|
| Día | 1 |
| Temperatura promedio | 17,2 |
| KT | 0,442 |

b) Para remoción de C.F

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 1 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 17,4 | 17,3 | 17,2 | 17,2 | 17,4 | 17,5 | 16,7 | 16,5 | 16,4 | 17,1 |
| KT | 1,654 | 1,630 | 1,598 | 1,600 | 1,650 | 1,683 | 1,464 | 1,414 | 1,390 | 1,570 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 2 | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura promedio | 16,9 | 17,1 | 16,7 | 16,9 | 17,0 | 17,3 | 16,6 | 16,4 | 16,4 | 17,0 |
| KT | 1,516 | 1,570 | 1,464 | 1,516 | 1,543 | 1,626 | 1,439 | 1,390 | 1,390 | 1,543 |

| CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCION PARA COLIFORMES FECALES SERIE 3 | |
|--|-------|
| Día | 1 |
| Temperatura promedio | 17,2 |
| KT | 1,598 |

ANEXO 8

PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PARA DBO_5 Y C.F UTILIZANDO REACTORES DE FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO

Tabla 39: Predicción del efluente para DBO₅ para reactores de flujo completamente mezclado

a) Serie 1

| Serie 1 | DBO ₅ (mg/l) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 160,0 | 200,0 | 180,0 | 140,0 | 160,0 | 130,0 | 130,0 | 155,0 | 125,0 | 170,0 |
| N°3 | 131,7 | 166,3 | 153,0 | 117,7 | 134,1 | 108,9 | 107,0 | 127,9 | 102,9 | 141,4 |
| N°5 | 108,1 | 137,8 | 130,0 | 99,0 | 112,3 | 91,3 | 88,1 | 105,2 | 84,6 | 117,7 |
| N°7 | 88,3 | 113,8 | 109,6 | 82,6 | 93,4 | 76,2 | 72,1 | 85,9 | 69,2 | 97,5 |
| N°9 | 72,5 | 94,3 | 92,8 | 69,2 | 78,0 | 63,8 | 59,1 | 70,6 | 56,7 | 80,9 |
| N°11 | 59,7 | 78,4 | 78,9 | 58,2 | 65,3 | 53,7 | 48,9 | 58,2 | 46,8 | 67,5 |
| N°13 | 48,9 | 65,0 | 67,0 | 48,8 | 54,7 | 45,0 | 40,2 | 47,9 | 38,5 | 56,2 |
| N°15 | 40,1 | 53,8 | 56,7 | 40,9 | 45,7 | 37,7 | 33,0 | 39,4 | 31,6 | 46,7 |
| N°17 | 32,8 | 44,5 | 48,0 | 34,1 | 38,1 | 31,5 | 27,1 | 32,3 | 25,8 | 38,7 |
| N°19 | 27,5 | 37,7 | 41,6 | 29,2 | 32,6 | 26,9 | 22,8 | 27,1 | 21,7 | 33,0 |
| N°21 | 22,6 | 31,2 | 35,3 | 24,6 | 27,3 | 22,5 | 18,8 | 22,3 | 17,9 | 27,4 |
| N°23 | 18,0 | 25,1 | 29,3 | 20,1 | 22,2 | 18,4 | 15,0 | 17,8 | 14,3 | 22,2 |
| N°25 | 14,3 | 20,3 | 24,2 | 16,4 | 18,1 | 15,0 | 11,9 | 14,3 | 11,4 | 17,9 |
| N°27 | 11,4 | 16,3 | 20,1 | 13,4 | 14,7 | 12,2 | 9,5 | 11,4 | 9,1 | 14,5 |
| N°29 | 9,1 | 13,2 | 16,6 | 10,9 | 12,0 | 10,0 | 7,6 | 9,1 | 7,2 | 11,8 |
| N°31 | 7,3 | 10,7 | 13,8 | 9,0 | 9,8 | 8,2 | 6,1 | 7,3 | 5,8 | 9,5 |
| N°33 | 5,8 | 8,6 | 11,4 | 7,3 | 8,0 | 6,7 | 4,9 | 5,9 | 4,6 | 7,7 |
| N°35 | 4,6 | 6,9 | 9,5 | 6,0 | 6,5 | 5,5 | 3,9 | 4,7 | 3,7 | 6,3 |
| N°37 | 3,7 | 5,6 | 7,8 | 4,9 | 5,3 | 4,4 | 3,1 | 3,7 | 2,9 | 5,1 |
| N°39 | 2,9 | 4,5 | 6,4 | 4,0 | 4,3 | 3,6 | 2,5 | 3,0 | 2,4 | 4,1 |
| N°41 | 2,3 | 3,6 | 5,3 | 3,3 | 3,5 | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 1,9 | 3,3 |
| N°43 | 1,9 | 2,9 | 4,4 | 2,7 | 2,9 | 2,4 | 1,6 | 1,9 | 1,5 | 2,7 |
| N°45 | 1,5 | 2,4 | 3,6 | 2,2 | 2,3 | 2,0 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 2,2 |
| N°47 | 1,2 | 1,9 | 3,0 | 1,8 | 1,9 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,8 |
| N°49 | 0,9 | 1,5 | 2,5 | 1,5 | 1,6 | 1,3 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 1,4 |

b) Serie 2

| Serie 2 | DBO ₅ (mg/l) | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 160,0 | 200,0 | 180,0 | 140,0 | 160,0 | 130,0 | 130,0 | 155,0 | 125,0 | 170,0 |
| N°2 | 134,8 | 168,9 | 155,9 | 119,7 | 136,7 | 111,2 | 109,0 | 130,3 | 104,7 | 144,2 |
| N°4 | 113,6 | 142,6 | 135,1 | 102,4 | 117,2 | 95,2 | 91,5 | 109,5 | 87,7 | 122,3 |
| N°6 | 95,4 | 120,4 | 117,0 | 87,6 | 100,2 | 81,4 | 76,7 | 91,7 | 73,4 | 103,7 |
| N°8 | 80,4 | 102,0 | 101,3 | 74,9 | 85,9 | 69,7 | 64,4 | 77,0 | 61,5 | 87,9 |
| N°10 | 67,8 | 86,5 | 87,8 | 64,3 | 73,7 | 59,6 | 54,2 | 64,8 | 51,7 | 74,6 |
| N°12 | 57,3 | 73,5 | 76,3 | 55,2 | 63,4 | 51,2 | 45,8 | 54,6 | 43,6 | 63,5 |
| N°14 | 48,3 | 62,3 | 66,4 | 47,4 | 54,4 | 43,8 | 38,5 | 45,9 | 36,6 | 54,0 |
| N°16 | 40,7 | 52,8 | 57,7 | 40,7 | 46,6 | 37,5 | 32,4 | 38,6 | 30,8 | 46,0 |
| N°18 | 34,3 | 44,6 | 50,0 | 34,8 | 40,0 | 32,1 | 27,2 | 32,4 | 25,8 | 39,0 |
| N°20 | 28,7 | 37,5 | 43,1 | 29,6 | 34,0 | 27,2 | 22,7 | 27,0 | 21,5 | 32,8 |
| N°22 | 24,0 | 31,4 | 37,1 | 25,2 | 29,0 | 23,1 | 18,9 | 22,5 | 17,9 | 27,6 |
| N°24 | 19,9 | 26,2 | 31,7 | 21,2 | 24,4 | 19,4 | 15,6 | 18,5 | 14,7 | 23,0 |
| N°26 | 16,6 | 22,0 | 27,3 | 18,1 | 20,8 | 16,6 | 13,0 | 15,4 | 12,3 | 19,4 |
| N°28 | 13,9 | 18,4 | 23,5 | 15,3 | 17,6 | 14,0 | 10,8 | 12,8 | 10,2 | 16,3 |
| N°30 | 11,6 | 15,5 | 20,2 | 13,0 | 14,9 | 11,9 | 9,0 | 10,7 | 8,5 | 13,7 |
| N°32 | 9,7 | 13,0 | 17,4 | 11,1 | 12,7 | 10,1 | 7,5 | 8,9 | 7,0 | 11,6 |
| N°34 | 8,1 | 10,9 | 15,0 | 9,5 | 10,8 | 8,6 | 6,3 | 7,4 | 5,9 | 9,7 |
| N°36 | 6,7 | 9,2 | 12,9 | 8,0 | 9,2 | 7,3 | 5,2 | 6,2 | 4,9 | 8,2 |
| N°38 | 5,6 | 7,7 | 11,2 | 6,8 | 7,8 | 6,2 | 4,3 | 5,2 | 4,0 | 6,9 |
| N°40 | 4,7 | 6,5 | 9,6 | 5,8 | 6,6 | 5,3 | 3,6 | 4,3 | 3,4 | 5,8 |
| N°42 | 3,9 | 5,4 | 8,3 | 4,9 | 5,6 | 4,5 | 3,0 | 3,6 | 2,8 | 4,9 |
| N°44 | 3,3 | 4,6 | 7,1 | 4,2 | 4,8 | 3,8 | 2,5 | 3,0 | 2,3 | 4,1 |
| N°46 | 2,8 | 3,8 | 6,1 | 3,6 | 4,1 | 3,2 | 2,1 | 2,5 | 1,9 | 3,5 |
| N°48 | 2,3 | 3,2 | 5,3 | 3,0 | 3,5 | 2,7 | 1,7 | 2,1 | 1,6 | 2,9 |
| N°50 | 1,9 | 2,7 | 4,6 | 2,6 | 2,9 | 2,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 2,5 |
| N°52 | 1,6 | 2,3 | 3,9 | 2,2 | 2,5 | 2,0 | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 2,1 |

c) Serie 3

| Serie 3 | DBO ₅ (mg/l) |
|----------|-------------------------|
| DÍA | 1 |
| AFLUENTE | 57,5 |
| N°51 | 51,2 |
| N°53 | 45,4 |
| N°54 | 40,4 |

Tabla 40: Predicción del efluente para C.F para reactores de flujo completamente mezclado

a) Serie 1

| Serie 1 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 593,80E+4 | 857,00E+4 | 414,00E+4 | 771,00E+4 | 1176,00E+4 | 1500,00E+4 | 546,00E+4 | 1236,00E+4 | 657,00E+4 | 1725,00E+4 |
| N°3 | 331,01E+4 | 489,77E+4 | 252,56E+4 | 456,75E+4 | 687,92E+4 | 870,23E+4 | 315,24E+4 | 724,08E+4 | 384,46E+4 | 1001,63E+4 |
| N°5 | 182,83E+4 | 277,32E+4 | 154,08E+4 | 270,59E+4 | 402,41E+4 | 504,86E+4 | 182,01E+4 | 420,70E+4 | 224,97E+4 | 581,60E+4 |
| N°7 | 100,07E+4 | 155,59E+4 | 92,20E+4 | 157,32E+4 | 230,94E+4 | 290,06E+4 | 103,34E+4 | 240,48E+4 | 129,54E+4 | 334,65E+4 |
| N°9 | 55,27E+4 | 88,10E+4 | 55,70E+4 | 92,32E+4 | 133,80E+4 | 168,28E+4 | 59,17E+4 | 139,72E+4 | 75,19E+4 | 192,56E+4 |
| N°11 | 30,81E+4 | 50,35E+4 | 33,98E+4 | 54,69E+4 | 78,27E+4 | 98,59E+4 | 34,45E+4 | 81,85E+4 | 44,36E+4 | 112,84E+4 |
| N°13 | 17,02E+4 | 28,51E+4 | 20,73E+4 | 32,10E+4 | 45,78E+4 | 57,20E+4 | 19,89E+4 | 47,56E+4 | 25,96E+4 | 65,52E+4 |
| N°15 | 9,40E+4 | 16,14E+4 | 12,52E+4 | 18,84E+4 | 26,53E+4 | 33,18E+4 | 11,39E+4 | 27,63E+4 | 15,07E+4 | 38,05E+4 |
| N°17 | 5,15E+4 | 9,06E+4 | 7,57E+4 | 10,95E+4 | 15,37E+4 | 19,07E+4 | 6,52E+4 | 15,92E+4 | 8,68E+4 | 21,89E+4 |
| N°19 | 3,01E+4 | 5,43E+4 | 4,85E+4 | 6,81E+4 | 9,45E+4 | 11,63E+4 | 3,97E+4 | 9,73E+4 | 5,34E+4 | 13,45E+4 |
| N°21 | 1,66E+4 | 3,07E+4 | 2,96E+4 | 4,03E+4 | 5,53E+4 | 6,75E+4 | 2,29E+4 | 5,65E+4 | 3,12E+4 | 7,81E+4 |
| N°23 | 8548,36E+0 | 1,62E+4 | 1,69E+4 | 2,22E+4 | 3,00E+4 | 3,66E+4 | 1,23E+4 | 3,08E+4 | 1,70E+4 | 4,23E+4 |
| N°25 | 4400,07E+0 | 8619,58E+0 | 9655,06E+0 | 1,22E+4 | 1,64E+4 | 1,99E+4 | 6591,39E+0 | 1,68E+4 | 9285,90E+0 | 2,29E+4 |
| N°27 | 2264,83E+0 | 4544,99E+0 | 5513,84E+0 | 6736,98E+0 | 8928,38E+0 | 1,08E+4 | 3536,61E+0 | 9161,39E+0 | 5063,20E+0 | 1,24E+4 |
| N°29 | 1165,77E+0 | 2417,29E+0 | 3148,86E+0 | 3709,79E+0 | 4892,26E+0 | 5866,40E+0 | 1912,59E+0 | 4994,60E+0 | 2760,74E+0 | 6754,95E+0 |
| N°31 | 605,20E+0 | 1285,66E+0 | 1814,82E+0 | 2061,00E+0 | 2680,69E+0 | 3215,05E+0 | 1034,32E+0 | 2744,10E+0 | 1516,81E+0 | 3687,00E+0 |
| N°33 | 314,19E+0 | 683,79E+0 | 1036,41E+0 | 1145,00E+0 | 1468,87E+0 | 1745,88E+0 | 559,36E+0 | 1496,03E+0 | 833,36E+0 | 2012,44E+0 |
| N°35 | 161,72E+0 | 360,55E+0 | 591,88E+0 | 630,51E+0 | 797,65E+0 | 948,08E+0 | 300,12E+0 | 809,36E+0 | 454,40E+0 | 1089,10E+0 |
| N°37 | 82,54E+0 | 190,11E+0 | 334,95E+0 | 347,19E+0 | 433,15E+0 | 510,18E+0 | 161,03E+0 | 437,87E+0 | 245,90E+0 | 589,40E+0 |
| N°39 | 42,49E+0 | 100,24E+0 | 189,56E+0 | 191,19E+0 | 235,22E+0 | 274,54E+0 | 86,40E+0 | 236,89E+0 | 134,08E+0 | 318,98E+0 |
| N°41 | 21,68E+0 | 52,86E+0 | 107,27E+0 | 105,28E+0 | 127,73E+0 | 147,73E+0 | 46,36E+0 | 128,16E+0 | 72,56E+0 | 172,63E+0 |
| N°43 | 11,26E+0 | 28,11E+0 | 61,26E+0 | 58,49E+0 | 69,99E+0 | 80,22E+0 | 25,07E+0 | 69,87E+0 | 39,86E+0 | 94,22E+0 |
| N°45 | 5,79E+0 | 14,95E+0 | 34,99E+0 | 32,21E+0 | 38,35E+0 | 43,56E+0 | 13,56E+0 | 38,09E+0 | 21,74E+0 | 51,43E+0 |
| N°47 | 2,98E+0 | 7,88E+0 | 19,98E+0 | 17,74E+0 | 20,83E+0 | 23,66E+0 | 7,27E+0 | 20,77E+0 | 11,85E+0 | 27,83E+0 |
| N°49 | 1,54E+0 | 4,19E+0 | 11,41E+0 | 9,77E+0 | 11,41E+0 | 12,85E+0 | 3,90E+0 | 11,32E+0 | 6,46E+0 | 15,06E+0 |

b) Serie 2

| Serie 2 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| AFLUENTE | 593,80E+4 | 857,00E+4 | 414,00E+4 | 771,00E+4 | 1176,00E+4 | 1500,00E+4 | 546,00E+4 | 1236,00E+4 | 657,00E+4 | 1725,00E+4 |
| N°2 | 359,47E+4 | 516,45E+4 | 271,11E+4 | 484,53E+4 | 734,19E+4 | 927,14E+4 | 331,40E+4 | 760,38E+4 | 400,76E+4 | 1056,58E+4 |
| N°4 | 217,61E+4 | 311,23E+4 | 177,54E+4 | 304,50E+4 | 462,82E+4 | 573,06E+4 | 201,15E+4 | 467,78E+4 | 244,45E+4 | 647,16E+4 |
| N°6 | 130,54E+4 | 187,55E+4 | 116,27E+4 | 191,36E+4 | 288,94E+4 | 354,20E+4 | 122,09E+4 | 285,34E+4 | 149,11E+4 | 396,39E+4 |
| N°8 | 79,02E+4 | 114,11E+4 | 76,14E+4 | 120,26E+4 | 182,14E+4 | 218,93E+4 | 74,10E+4 | 175,54E+4 | 90,95E+4 | 242,79E+4 |
| N°10 | 47,84E+4 | 69,42E+4 | 49,86E+4 | 76,30E+4 | 114,82E+4 | 135,32E+4 | 45,37E+4 | 107,99E+4 | 55,95E+4 | 148,71E+4 |
| N°12 | 29,23E+4 | 42,64E+4 | 32,97E+4 | 48,41E+4 | 73,09E+4 | 84,49E+4 | 28,03E+4 | 67,01E+4 | 34,72E+4 | 91,96E+4 |
| N°14 | 17,69E+4 | 25,94E+4 | 21,80E+4 | 30,72E+4 | 46,08E+4 | 52,22E+4 | 17,16E+4 | 41,22E+4 | 21,36E+4 | 56,86E+4 |
| N°16 | 10,71E+4 | 15,78E+4 | 14,41E+4 | 19,49E+4 | 29,05E+4 | 32,28E+4 | 10,51E+4 | 25,36E+4 | 13,14E+4 | 35,16E+4 |
| N°18 | 6,48E+4 | 9,51E+4 | 9,44E+4 | 12,25E+4 | 18,31E+4 | 19,95E+4 | 6,38E+4 | 15,60E+4 | 8,02E+4 | 21,54E+4 |
| N°20 | 3,85E+4 | 5,68E+4 | 6,12E+4 | 7,62E+4 | 11,32E+4 | 12,09E+4 | 3,84E+4 | 9,44E+4 | 4,85E+4 | 12,95E+4 |
| N°22 | 2,29E+4 | 3,36E+4 | 3,93E+4 | 4,70E+4 | 7,00E+4 | 7,32E+4 | 2,29E+4 | 5,66E+4 | 2,91E+4 | 7,78E+4 |
| N°24 | 1,33E+4 | 1,95E+4 | 2,48E+4 | 2,85E+4 | 4,21E+4 | 4,31E+4 | 1,33E+4 | 3,31E+4 | 1,70E+4 | 4,55E+4 |
| N°26 | 7884,50E+0 | 1,16E+4 | 1,61E+4 | 1,77E+4 | 2,60E+4 | 2,64E+4 | 8011,91E+0 | 2,00E+4 | 1,03E+4 | 2,76E+4 |
| N°28 | 4645,15E+0 | 6884,66E+0 | 1,03E+4 | 1,09E+4 | 1,59E+4 | 1,58E+4 | 4738,75E+0 | 1,20E+4 | 6122,39E+0 | 1,65E+4 |
| N°30 | 2736,69E+0 | 4071,83E+0 | 6643,84E+0 | 6738,73E+0 | 9763,18E+0 | 9589,99E+0 | 2826,86E+0 | 7207,50E+0 | 3672,26E+0 | 9889,34E+0 |
| N°32 | 1626,85E+0 | 2430,80E+0 | 4309,48E+0 | 4194,93E+0 | 6037,09E+0 | 5810,70E+0 | 1686,34E+0 | 4359,46E+0 | 2202,65E+0 | 5944,94E+0 |
| N°34 | 967,10E+0 | 1451,14E+0 | 2795,31E+0 | 2611,38E+0 | 3733,05E+0 | 3520,79E+0 | 1005,97E+0 | 2636,82E+0 | 1321,17E+0 | 3573,77E+0 |
| N°36 | 569,77E+0 | 858,26E+0 | 1796,10E+0 | 1610,41E+0 | 2286,52E+0 | 2133,29E+0 | 600,10E+0 | 1581,59E+0 | 792,45E+0 | 2148,36E+0 |
| N°38 | 338,70E+0 | 512,36E+0 | 1165,03E+0 | 1002,50E+0 | 1413,88E+0 | 1292,59E+0 | 357,99E+0 | 956,62E+0 | 475,32E+0 | 1291,48E+0 |
| N°40 | 199,55E+0 | 303,03E+0 | 748,58E+0 | 618,23E+0 | 866,01E+0 | 783,20E+0 | 213,55E+0 | 573,79E+0 | 285,10E+0 | 776,37E+0 |
| N°42 | 118,62E+0 | 179,22E+0 | 480,99E+0 | 381,26E+0 | 535,50E+0 | 474,55E+0 | 127,39E+0 | 344,16E+0 | 171,00E+0 | 466,71E+0 |
| N°44 | 70,52E+0 | 106,99E+0 | 311,99E+0 | 237,34E+0 | 331,13E+0 | 287,54E+0 | 76,65E+0 | 208,17E+0 | 103,43E+0 | 280,56E+0 |
| N°46 | 41,92E+0 | 63,87E+0 | 202,37E+0 | 147,74E+0 | 204,75E+0 | 174,22E+0 | 45,73E+0 | 125,91E+0 | 62,04E+0 | 168,66E+0 |
| N°48 | 24,70E+0 | 37,78E+0 | 130,03E+0 | 91,11E+0 | 125,41E+0 | 105,56E+0 | 27,28E+0 | 75,52E+0 | 37,21E+0 | 101,39E+0 |
| N°50 | 14,68E+0 | 22,55E+0 | 84,34E+0 | 56,72E+0 | 77,55E+0 | 63,96E+0 | 16,41E+0 | 45,68E+0 | 22,51E+0 | 60,95E+0 |
| N°52 | 8,73E+0 | 13,46E+0 | 54,71E+0 | 35,31E+0 | 47,95E+0 | 38,76E+0 | 9,79E+0 | 27,63E+0 | 13,50E+0 | 36,64E+0 |

c) Serie 3

| Serie 3 | Coliformes fecales (N.M.P/100ml) |
|----------|----------------------------------|
| DÍA | 1 |
| AFLUENTE | 37,08E+4 |
| N°51 | 25,62E+4 |
| N°53 | 17,51E+4 |
| N°54 | 12,09E+4 |

ANEXO 9

**CARTA DE CERTIFICACION DE JACINTO DE AGUA, PROPORCIONADA
POR LA FACULTAD DE BIOLOGÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL ECUADOR**

Quito, 29 de noviembre del 2017

A quien corresponda:

Por medio de la presente, certifico que las plantas que el alumno Santiago David Lema trajo al Herbario QCA corresponde a muestras de "Jacinto de agua" *Eichhornia crassipes*. Estas plantas están formando parte de la flora de las plantas de agua residuales de su estudio de titulación.

Agradeciendo la atención que se de a la presente.

Atentamente,

A handwritten signature in cursive script that reads "Catalina Quintana M.".

Catalina Quintana PhD
Profesora de Botánica
Escuela de Ciencias Biológicas PUCE

ANEXO 10

**RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS ANALISIS DE AGUA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO N°14**

LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema
Fecha de recolección de la muestra: 26 de septiembre del 2017
Recolectado por: Sr. Santiago Lema
Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 26 de septiembre del 2017
Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 123-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | ENTRADA SISTEMA DE TRATAMIENTO 12:41 | INGRESO A ESTANQUES 12:32 | SALIDA RAMAL 1 12:24 | SALIDA RAMAL 2 12:19 | SALIDA PTARs 12:10 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,53 | 7,02 | 7,78 | 7,67 | 7,56 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,2 | 17,2 | 17,5 | 16,6 | 17,2 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 340 | 160 | 55 | 60 | 40 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 2419,6 x 10 ⁴ (a) | 2419,6 x 10 ⁴ (a) | 58,6 x 10 ⁴ (a) | 65,0 x 10 ⁴ (a) | 54,8 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 816,4 x 10 ⁴ (a) | 593,8 x 10 ⁴ (a) | 24,9 x 10 ⁴ (a) | 35,0 x 10 ⁴ (a) | 21,8 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

18/10/2017

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



EMAPAO-EP
LABORATORIO

LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 27 de septiembre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 27 de septiembre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 124-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:30 | SALIDA RAMAL 1 12:21 | SALIDA RAMAL 2 12:17 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|---------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,12 | 7,71 | 7,69 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,1 | 17,5 | 17,1 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 200 | 60 | 80 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P./100 ml | N/A | 1722,0 x 10 ⁴ (b) | 52,9 x 10 ⁴ (a) | 82,0 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P./100 ml | 2000 (1) | 857,0 x 10 ⁴ (b) | 27,2 x 10 ⁴ (a) | 41,4 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

18/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/1000000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE

EMAPAO-EP
LABORATORIO

LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 28 de septiembre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 28 de septiembre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 125-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:17 | SALIDA RAMAL 1 12:11 | SALIDA RAMAL 2 12:05 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,11 | 7,68 | 7,71 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,3 | 17,0 | 16,0 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 180 | 60 | 80 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 1017 x 10 ⁴ (b) | 25,9 x 10 ⁴ (a) | 21,6 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 414 x 10 ⁴ (b) | 8,5 x 10 ⁴ (a) | 7,4 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

20/10/2017

(1) Valor del limite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/1000000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 2 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 2 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 126-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:28 | SALIDA RAMAL 1 12:20 | SALIDA RAMAL 2 12:15 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 6,79 | 7,59 | 7,30 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,2 | 17,2 | 16,6 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 140 | 85 | 75 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 1658 x 10 ⁴ (b) | 45,5 x 10 ⁴ (a) | 547,5 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 771 x 10 ⁴ (b) | 21,6 x 10 ⁴ (a) | 248,9 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

20/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 3 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 3 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 127-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:27 | SALIDA RAMAL 1 12:18 | SALIDA RAMAL 2 12:14 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,08 | 7,54 | 7,57 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,4 | 17,4 | 16,5 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 160 | 95 | 60 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 2282 x 10 ⁴ (b) | 26,9 x 10 ⁴ (a) | 27,2 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 1176 x 10 ⁴ (b) | 9,5 x 10 ⁴ (a) | 14,5 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE

LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 4 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 4 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 128-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:34 | SALIDA RAMAL 1 12:28 | SALIDA RAMAL 2 12:24 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 6,94 | 7,39 | 7,34 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,5 | 17,4 | 17,0 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 130 | 65 | 55 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P./100 ml | N/A | 1789 x 10 ⁴ (b) | 36,9 x 10 ⁴ (a) | 43,5 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P./100 ml | 2000 (1) | 1500 x 10 ⁴ (b) | 12,2 x 10 ⁴ (a) | 17,1 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del limite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/1000000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quim. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 5 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 5 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 129-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:43 | SALIDA RAMAL 1 12:32 | SALIDA RAMAL 2 12:30 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|---------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,03 | 7,41 | 7,45 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 16,4 | 17,0 | 16,8 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 130 | 45 | 50 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P./100 ml | N/A | 959 x 10 ⁴ (b) | 69,1 x 10 ⁴ (a) | 48,0 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P./100 ml | 2000 (1) | 546 x 10 ⁴ (b) | 24,9 x 10 ⁴ (a) | 28,8 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



Dirección: Calle Guayaquil # 407 entre García Moreno y Juan Montalvo.
Teléfono: (06) 2 928 390 / (06) 2 928 005
OTAVALO - ECUADOR
www.emapao.gob.ec



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 10 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 10 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 130-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:17 | SALIDA RAMAL 1 12:12 | SALIDA RAMAL 2 12:07 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,17 | 7,32 | 7,36 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 16,8 | 16,2 | 16,0 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 155 | 50 | 55 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 2098 x 10 ⁴ (b) | 98,7 x 10 ⁴ (a) | 71,2 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 1236 x 10 ⁴ (b) | 40,2 x 10 ⁴ (a) | 38,4 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 11 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 11 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 131-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:44 | SALIDA RAMAL 1 12:39 | SALIDA RAMAL 2 12:35 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,08 | 7,31 | 7,36 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 16,2 | 16,5 | 16,6 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 125 | 65 | 70 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P./100 ml | N/A | 1467 x 10 ⁴ (b) | 85,2 x 10 ⁴ (a) | 83,6 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P./100 ml | 2000 (1) | 657 x 10 ⁴ (b) | 28,2 x 10 ⁴ (a) | 30,5 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Análisis solicitado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de recolección de la muestra: 12 de octubre del 2017

Recolectado por: Sr. Santiago Lema

Fecha de entrega de la muestra en el laboratorio: 12 de octubre del 2017

Tipo de agua: AGUAS RESIDUALES

Reporte: 132-2017 LABA

| PARAMETRO | UNIDADES | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | INGRESO A ESTANQUES 12:22 | SALIDA RAMAL 1 12:12 | SALIDA RAMAL 2 12:08 | METODOLOGIA DE REFERENCIA |
|---|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GENERALES | | | | | | |
| POTENCIAL DE HIDROGENO | pH | 6 - 9 | 7,08 | 7,27 | 7,26 | Standard Methods 4500 H-B |
| TEMPERATURA | °C | Condición natural ± 3 | 17,2 | 16,9 | 16,7 | Standard Methods 2550 B |
| ORGANICOS | | | | | | |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) | mg/l | 100 | 170 | 55 | 60 | Standard Methods 5210 D |
| MICROBIOLOGICOS | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | N.M.P/100 ml | N/A | 4352 x 10 ⁴ (b) | 66,3 x 10 ⁴ (a) | 63,8 x 10 ⁴ (a) | Standard Methods 9223 B |
| E. COLI | N.M.P/100 ml | 2000 (1) | 1725 x 10 ⁴ (b) | 42,6 x 10 ⁴ (a) | 39,9 x 10 ⁴ (a) | |

N/A no aplica

23/10/2017

(1) Valor del límite establecido correspondiente a coliformes fecales.

(a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/10000

(b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 1/100000

REFERENCIA

TULSMA, AM 097-A. Anexo 1. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE



ANEXO 11

**RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS ANÁLISIS DE AGUA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO N°14 DEL 1 DE FEBRERO DEL 2017**

**LABORATORIO DE AGUA POTABLE
 REPORTE DE ANALISIS DE AGUA RESIDUAL**

DATOS DE LAS MUESTRAS **ANALISIS No. 032-2017 EMAPAO-EP**

| | |
|---|---|
| Fuente: Planta de tratamiento de Aguas Residuales San Pablo | Recolectada por: Ing. Michael Bermúdez |
| Fecha de recolección: 01/02/2017 | Fecha de análisis: 01/02/2017 al 07/02/2017 |
| Tipo de agua: Aguas servidas | Numero de muestras: Dos |
| Sector: Cuenc del Lago San Pablo | Localidad: San Pablo |

RESULTADOS OBTENIDOS

| 1) CARACTERISTICAS FISICAS | | | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|-----------|----------|------------|
| PARAMETRO | EXPRESADO COMO | Unidad de medida | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE * | ENTRADA | SALIDA | % REMOCION |
| Potencial de hidrógeno | pH | Unidades | 6 - 9 | 7,66 | 7,71 | |
| Temperatura | °C | Unidades | condición natural ±3 | 17,10 | 17,80 | |
| Turbiedad | NTU | Unidades | No indica | 175,00 | 6,70 | 96,17 |
| Oxígeno disuelto | O | mg/l | No indica | 1,44 | 0,27 | |
| Color real | color real \ | Pt-Co | ** Inapreciable en dilución: 1/20 | 158 | 86 | 45,57 |
| Materia Flotante | Visibles | | Ausencia | presencia | ausencia | |
| Sólidos Totales | ST | mg/l | 1600 | 532 | 304 | 42,86 |
| Sólidos Suspendedos | SST | mg/l | 130 | 124,16 | 11,43 | 90,79 |
| Sólidos Totales Disueltos | SDT | mg/l | No indica | 285 | 268 | 5,96 |
| Conductividad | | µS/cm | No indica | 494 | 473 | 4,25 |

| 2) DETERMINACIÓN DE CONSTITUYENTES INORGANICOS METALICOS Y NO METALICOS | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|--------------------------|---------|--------|------------|
| PARAMETRO | EXPRESADO COMO | Unidad de medida | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | ENTRADA | SALIDA | % REMOCION |
| Nitrógeno amoniacal | N-NH ₄ | mg/l | 30,0 | 27,50 | 17,00 | 38,18 |
| Fluoruros | F ⁻ | mg/l | 5,0 | 0,49 | 0,40 | 18,37 |
| Hierro Total | Fe | mg/l | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,00 |
| Manganeso Total | Mn | mg/l | 2,0 | 1,05 | 0,350 | 66,67 |
| Sulfuros | S ²⁻ | mg/l | 0,5 | 0,350 | 0,075 | 78,57 |
| Fósforo Total | P-PO ₄ | mg/l | 10,0 | 4,00 | 4,00 | 0,00 |

| 3) DETERMINACIÓN DE COMPONENTES ORGANICOS | | | | | | |
|---|------------------|------------------|--------------------------|---------|--------|------------|
| PARAMETRO | EXPRESADO COMO | Unidad de medida | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | ENTRADA | SALIDA | % REMOCION |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 200 | 567 | 66 | 88,36 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | DBO ₅ | mg/l | 100 | 360 | 16 | 95,56 |

| 4) ANALISIS BACTERIOLOGICO | | | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------|--------------------------|----------|---------|------------|
| PARAMETRO | EXPRESADO COMO | Unidad de medida | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | ENTRADA | SALIDA | % REMOCION |
| COLIFORMES TOTALES | NMP | N.M.P./100 ml | No indica | 36540000 | 1697000 | 95,63 |
| E. COLI | NMP | N.M.P./100 ml | 10000 | 11300000 | 10000 | 99,91 |

*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce según Tabla 10 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente:


Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efuentes al Recurso Agua.

** La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

ABREVIATURAS: N.M.P. Número más probable

Elaborado por:

Revisado por:


 Ing. Michael Bermúdez


 Quím. Verónica Vargas