

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Urbanización El
Atardecer en Quircot, Cartago”**

Jorge Eduardo Solano Pérez

CARTAGO, Septiembre, 2019



“Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Urbanización El Atardecer en Quircot, Cartago”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal



MSc. Ing. Jorge Calvo Gutiérrez
Director

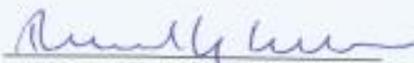
MSc. Ing. Andrea Sánchez Parajeles
Lector 1



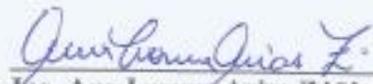
MSc. Alma Deloya Martínez
Lector 2



MSc. Ing. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora COTRAFIG



MGA. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química



MSc. Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi familia, por todo el apoyo en estos años, en especial a mi madre Ruth Pérez, por enseñarme los valores que hoy me forman como persona, por su apoyo incondicional en mi vida y por tanto amor brindado.

“Solo es posible avanzar cuando se mira lejos. Solo
cabe progresar cuando se piensa en grande”

Ortega y Gasset

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar a tan importante punto en mi vida y por darme las fuerzas para seguir siempre adelante.

A mi familia, Andre, Ale, LuisK, Feli, Jose, por estar siempre conmigo. A mi padre Jorge Solano por su cariño, sacrificios y apoyo, y especialmente a mi madre Ruth Pérez por enseñarme a luchar por mis metas y que jamás debo rendirme, por el apoyo y dedicación que me ha brindado y por ser siempre un ejemplo en mi vida. A mi cuñado Andrés Ramírez, por la ayuda brindada en la fase inicial del proyecto.

Al profe Jorge Calvo, gracias por apoyarme durante este proceso y por ser tan especial y dedicado con sus alumnos. A la profesora Alma por aceptar ser lectora de este proyecto y su especial trato, y al personal docente que de una u otra manera contribuyó a mi preparación como profesional.

Al Área Técnica de Acueductos de la Municipalidad de Cartago por permitirme desarrollar el proyecto, en especial a la Ing. Andrea Sánchez por confiar en mi trabajo durante estos meses y por el apoyo durante este proceso. A la oficina de GIS por los datos proporcionados para el desarrollo del proyecto. A los habitantes de la Urbanización El Atardecer en Quircot por la ayuda facilitada en la etapa inicial del proyecto con la aplicación de encuestas y por compartir conmigo parte de los problemas a los que se enfrentan diariamente.

A las personas maravillosas que conocí durante mí recorrido por el TEC, en especial a Joss, Antho y Nan, gracias por todos los momentos vividos durante el paso por la U, por hacer de mi vida universitaria una de las mejores etapas de mi vida y por su amistad. A Geisel y Kenneth, gracias por el apoyo que me han dado y por su amistad.

A todas las personas que de una u otra manera me han ayudado y apoyado durante mi recorrido universitario y que han contribuido a mi crecimiento profesional y personal. A la Dra. Xiomara Solórzano, por el apoyo durante los últimos meses.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Aguas Residuales	4
3.1.1 Clasificación de las aguas residuales	4
3.2 Contexto de las aguas residuales	4
3.2.1 Situación Global	4
3.2.2 Situación en Costa Rica	5
3.2.3 Situación en la zona de estudio	6
3.3 Tratamiento de las Aguas Residuales	7
3.3.1 Parámetros indicadores de la calidad en el tratamiento de aguas residuales	7
3.3.2 Sistemas de tratamiento de aguas residuales (STARs)	9
3.3.2.1 Sistema de Lodos Activados	9
3.3.2.1.1 Clasificación y tipos de sistemas de Lodos Activados	11
3.3.2.1.2 Parámetros de diseño y operación	12
3.3.2.1.3 Proceso de Lodos Activados Convencional	15
3.3.2.1.4 Proceso de Lodos Activados Aireación Extendida	15
3.3.2.2 Sistema UASB	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1 Lugar de estudio	20
4.2 Impacto en los vecinos por el inadecuado manejo de las aguas residuales en la comunidad y grado de conocimiento de la población sobre el tema	21
4.2.1 Visitas de campo a la comunidad	21
4.2.2 Aplicación de encuestas a la población a beneficiar	21
4.2.3 Entrevista al Director del Acueducto de la Municipalidad	21
4.3 Determinación de condiciones iniciales para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales y comparación de los sistemas propuestos	22

4.3.1	Cálculo de la generación de agua residual por parte de la comunidad El Atardecer	22
4.3.2	Proyección de población	22
4.3.3	Caracterización de las aguas residuales de la comunidad	24
4.3.4	Evaluación de las instalaciones de la antigua fábrica de gelatinas de la zona	24
4.3.5	Propuesta y comparación de posibles sistemas para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad	25
4.4	<i>Diseño del sistema de tratamiento seleccionado</i>	25
4.4.1	Diseño del sistema	25
4.4.2	Costos del sistema propuesto	26
4.4.3	Memoria de cálculo del sistema propuesto	27
4.4.4	Manual de operación del sistema propuesto	28
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1	<i>Impacto en la comunidad por el actual manejo de las aguas residuales</i>	29
5.1.1	Aplicación de encuestas a la población	29
5.1.2	Entrevista al director del Acueducto de la Municipalidad de Cartago	38
5.2	<i>Determinación de condiciones iniciales para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la comunidad El Atardecer</i>	40
5.2.1	Generación de agua residual por parte de la comunidad del Atardecer	40
5.2.2	Proyección de población y aumento del caudal de agua residual	42
5.2.3	Caracterización de las Aguas Residuales de la Comunidad	45
5.2.4	Análisis de la estructura de la antigua Fábrica de Gelatinas de la zona y futura área del STAR	47
5.2.5	Propuesta y comparación de sistemas	55
5.3	<i>Diseño del sistema seleccionado</i>	60
5.3.1	Estimación de costos para la construcción del sistema seleccionado	73
5.3.2	Estimación de costos de operación y mantenimiento del sistema	76
5.3.3	Manual de operación del sistema	77
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
6.1	<i>Conclusiones</i>	78
6.2	<i>Recomendaciones</i>	80

7. REFERENCIAS	81
8. APÉNDICES	85
8.1 APÉNDICE 1: TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA LA POBLACIÓN A ENCUESTAR	86
8.2 APÉNDICE 2: ENCUESTA APLICADA A LAS VIVIENDAS DE LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER	87
8.3 APÉNDICE 3: RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA A LAS VIVIENDAS DE LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER	93
8.4 APÉNDICE 4: ENTREVISTA APLICADA AL DIRECTOR DEL ACUEDUCTO DE LA MUNICIPALIDAD DE CARTAGO	101
8.5 APÉNDICE 5: CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA EL PERIODO ENERO 2017 – SETIEMBRE 2018, EN LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER	102
8.6 APÉNDICE 6: GENERACIÓN DE AGUA RESIDUAL POR PARTE DE LAS VIVIENDAS DEL ATARDECER, PARA EL PERIODO ENERO 2017 - SETIEMBRE 2018	103
8.7 APÉNDICE 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA VISITA A LA COMUNIDAD DEL ATARDECER Y A LA ANTIGUA FÁBRICA DE GELATINAS	105
8.8 APÉNDICE 8: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PROPUESTO	107
8.9 APÉNDICE 9: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	108
8.10 APÉNDICE 10: CÁLCULOS RELACIONADOS AL CONSUMO ENERGÉTICO	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Principales componentes de la etapa biológica del sistema de lodos activados .	11
Figura 3.2 Diagrama de los componentes de un sistema de lodos activados convencional.	15
Figura 3.3 Diagrama del proceso de Lodos Activados Aireación Extendida.....	17
Figura 3.4 Representación típica de un sistema UASB.....	18
Figura 4.1 Mapa de la zona de estudio en el distrito de San Nicolás	20
Figura 5.1 Conocimiento de la existencia de un sistema de tratamiento para las aguas negras domiciliarias	30
Figura 5.2 Tipo de sistema de tratamiento de aguas negras domiciliar presente en el hogar	31
Figura 5.3 Funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento domiciliar	32
Figura 5.4 Frecuencia de limpieza del tanque séptico.....	33
Figura 5.5 Disposición final de las aguas grises de los hogares de la comunidad	34
Figura 5.6 Disposición final de grasas y aceites de la cocina en los hogares.....	34
Figura 5.7 Manejo adecuado de las aguas residuales generadas en la comunidad.....	35
Figura 5.8 Presencia de malos olores relacionados al actual manejo de las AR en la comunidad	36
Figura 5.9 Frecuencia de la aparición de malos olores relacionados al actual manejo de las AR.....	36
Figura 5.10 Aceptación de instalación de un STAR para la comunidad.....	37
Figura 5.11 Comportamiento de la generación mensual de aguas residuales de la comunidad El Atardecer para el periodo Enero 2017 – Setiembre 2018.	41
Figura 5.12 Proyección de población utilizando los distintos métodos de proyección.....	44
Figura 5.13 Vista aérea de la zona principal de tanques de la antigua fábrica de gelatinas, Quircot, Cartago	48
Figura 5.14 Representación de los grupos de tanques del sector Este de la antigua fábrica de gelatinas	48
Figura 5.15 Estructuras del grupo 1 de tanques.....	49
Figura 5.16 Estructuras del grupo 2 de tanques.....	50
Figura 5.17 Estructuras del grupo 3 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas.....	52

Figura 5.18 Vista aérea de la zona Oeste de tanques de la antigua fábrica de gelatinas, Quircot, Cartago.	53
Figura 5.19 Configuración de tanques llenos en los distintos grupos de tanques	55
Figura 5.20 Diagrama de flujo del STAR propuesto para la comunidad del Atardecer.....	61
Figura 5.21 Vistas de la estructura actual de tanques aprovechables para el STAR.....	62
Figura 5.22 Estructura de tanques de la antigua Fábrica de Gelatinas adaptada para el STAR.....	63
Figura 5.23 Vista en planta del diseño de la rejilla de entrada de agua residual al STAR...	64
Figura 5.24 Vista en planta del desarenador del STAR	65
Figura 5.25 Vista del corte longitudinal del desarenador del STAR.....	66
Figura 5.26 Vista de cortes transversales del desarenador del STAR	67
Figura 5.27 Vistas y dimensiones del diseño de los tanques de aireación	68
Figura 5.28 Vistas y dimensiones del diseño del sedimentador secundario.....	69
Figura 5.29 Vistas y dimensiones del diseño de los lechos de secado	70
Figura 5.30 Vistas y dimensiones del diseño del tanque recolector de lixiviados de los lechos de secado	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1 Parámetros químicos en la calidad de las aguas residuales	8
Cuadro 5.1 Generación promedio mensual de Agua Residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer para el periodo Enero 2017 – Setiembre 2018.....	41
Cuadro 5.2 Población proyectada para la Urbanización El Atardecer utilizando diversos métodos.....	43
Cuadro 5.3 Composición típica del agua residual doméstica cruda para países en desarrollo	45
Cuadro 5.4 Dimensiones aproximadas del grupo 1 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas	50
Cuadro 5.5 Dimensiones aproximadas del grupo 2 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas	51
Cuadro 5.6 Dimensiones aproximadas del grupo 3 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas	53
Cuadro 5.7 Comparación de aspectos relevantes de los sistemas de tratamiento propuestos	56
Cuadro 5.8 Principales ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento comparados	57
Cuadro 5.9 Desglose de costos para el STAR de la comunidad El Atardecer suponiendo la no existencia de infraestructura actual.....	74
Cuadro 5.10 Desglose de costos para el STAR de la comunidad El Atardecer contemplando la existencia de infraestructura actual y las modificaciones a realizar en la estructura	75
Cuadro 5.11 Costos estimados de operación y mantenimiento del STAR.....	76

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AR	Aguas Residuales
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
COTRAFIG	Comisión de Trabajo Final de Graduación de Ingeniería Ambiental
CUS	Carga por medio de Superficie
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ENAH0	Encuesta Nacional de Hogares
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
EPI	Índice de Desempeño Ambiental (por sus siglas en inglés)
F/M	Relación Alimento - Microorganismo (por sus siglas en inglés)
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
GIS	Unidad de Sistemas de Información Geográfica
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MinSa	Ministerio de Salud
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SS	Sólidos Suspendidos
SSLM	Sólidos Suspendidos en Licor de Mezcla
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
SSVLM	Sólidos Suspendidos Volátiles en Licor de Mezcla
STAR	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
UASB	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (por sus siglas en inglés)
WWAP	Programa de las Naciones Unidas para la Evaluación Mundial del Agua (por sus siglas en inglés)

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Relaciona el compuesto orgánico utilizado para el metabolismo energético y el compuesto orgánico total consumido
A	Concentración de materia que ingresa al sistema
A_d	Aire requerido para digestión
A_r	Aire requerido para recirculación
A_s	Aire suministrado
A_T	Aire total teórico
b	Kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de SSVLM en el proceso de respiración endógena
k_d	Fracción de SSVLM por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena
M	Concentración de biomasa
O_2	Oxígeno
Q	Caudal
Q_o	Alimentación combinada
r	Relación de recirculación
S_0	DBO contenido en el tanque aireador
t	Tiempo de retención hidráulica
V	Volumen
V_a	Volumen de aire
V_{lodo}	Volumen de lodo
V_T	Volumen total
$X_{v,a}$	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla
$X_{v,u}$	Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el lodo recirculado
Y	Relación entre SSVLM y DBO consumida
φ	Porcentaje de biodegradabilidad de los sólidos contenidos en el agua cruda

RESUMEN

Las viviendas de la Urbanización el Atardecer en Quircot de Cartago, poseen tanque séptico para el tratamiento de sus aguas residuales (AR). Debido a la poca infiltración del suelo, han presentado problemas con este sistema, generando que muchas de las familias canalicen sus aguas negras directamente al cordón de la acera y que por gravedad desfoguen hacia el río Arriaz, provocando contaminación del cuerpo receptor y riesgo para la salud de los pobladores. Sumado a lo anterior, algunas de las viviendas se encuentran construidas cerca de la zona de recarga de la naciente Arriaz, la cual es utilizada por el Acueducto de la Municipalidad de Cartago para abastecer de agua potable a ciertos sectores de Cartago, lo que podría generar un riesgo a futuro de contaminación de la naciente por infiltración de los drenajes de los tanques sépticos de las viviendas. No obstante, la Municipalidad de Cartago tiene como proyecto la compra de un terreno cercano a la comunidad que cuenta con infraestructura que podría ser aprovechada para las distintas fases de un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR). Esta investigación propone el diseño de un STAR aprovechando la infraestructura actual de tanques en el terreno. Se determinó con base a un estudio previo y mediante visitas de campo a la zona propuesta, que la estructura de tanques ubicada en el sector al Este cuenta con potencial de aprovechamiento para instalar un STAR. Los sistemas propuestos fueron el de lodos activados aireación extendida (LAAE), reactor UASB y reactor UASB con filtro anaerobio de flujo ascendente como pos tratamiento (UASB + FAFA), obteniendo como resultado de la comparación de dichos sistemas que el de LAAE es el que mejor se adapta a las condiciones actuales del terreno y que presenta mayores niveles de remoción de carga orgánica, por lo que se procedió a realizar el diseño de este sistema mediante el aprovechamiento de los tanques presentes en la estructura actual.

Palabras clave: Aguas residuales, Sistema de tratamiento, Reactor UASB, Filtro anaerobio, Lodos Activados Aireación Extendida

ABSTRACT

The houses of the Urbanization el Atardecer in Quircot de Cartago, have septic tank for the treatment of their wastewater. Due to the low infiltration of the soil, they have had problems with this system, causing many of the families to channel their sewage directly to the sidewalk gutter and by gravity they have flown towards the Arriaz River, causing the contamination of the body receptor and a risk to the health of the inhabitants. In addition, some of the houses are built near the recharge zone of the Arriaz River mouth, which is used to supply drinking water to some sectors of Cartago, creating future risk of pollution of the nascent by infiltration of the drains of the septic tanks of the houses. However, the Municipality of Cartago has as a project purchasing the land close to the community, which has infrastructure that could be used for the different stages of a wastewater treatment system (WWTS). This research proposes the design of a WWTS taking advantage of the current tank infrastructure in the field. Basing on a previous study and through field visits to the area, it was determined that the East tank structure has the potential to use it to install a WWTS. The proposed systems were Activated Sludge Extended Aeration, UASB reactor and UASB reactor with upstream anaerobic filter as post-treatment (UASB + anaerobic filter), resulting in the comparison of such systems that Activated Sludge Extended Aeration is the one that better adapts to current land conditions and has higher levels of organic load removal, so the design of this system was carried out by taking advantage of the tanks present in the current structure.

Key words: Wastewater, Treatment System, UASB Reactor, Anaerobic Filter, Activated Sludge Extended Aeration

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que en el mundo más del 80% de las aguas residuales (más del 95% en algunos países en desarrollo) se vierte al ambiente sin tratamiento alguno. La contaminación del agua en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina es cada vez mayor. En 2012, se registraron más de 800.000 muertes en el mundo a causa del consumo de agua potable contaminada e instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados (UNESCO, 2017).

Para la región Latinoamericana según datos del Banco Mundial (2013), tres cuartas partes de las aguas residuales vuelven a los ríos y otras fuentes hídricas sin tratamiento alguno, creando un serio problema de salud pública y para el ambiente. El problema es especialmente preocupante en una región donde el 80% de la población vive en ciudades, y una gran parte en asentamientos cercanos a fuentes contaminadas. La situación genera serias implicaciones ecológicas, debido a que la región es una de las más biodiversas del mundo y es dueña de un tercio de las fuentes de agua mundial, atentando la contaminación del agua contra este orden.

De acuerdo con la información reportada en la ENAHO 2018, de 1.540.029 viviendas existentes en Costa Rica, sólo un 23,11% tienen conexión a alcantarillado o cloaca, mientras que el 75,26% están conectadas a tanque séptico y solamente el 14% de las aguas residuales que son recolectadas a través de alcantarillado recibe el tratamiento correspondiente. Además, la alta dependencia de los tanques sépticos en el país ha generado problemas adicionales, dado que, su funcionamiento se ve afectado por factores como el tipo de suelo, clima, características del agua a tratar, volumen de aguas y otros. Unido a esto, el país cuenta con zonas de suelos con muy alta permeabilidad lo que resulta altamente problemático, ya que se presentan tasas de infiltración más altas y con ello focos de contaminación de acuíferos utilizados para proveer de agua a ciudades importantes del país (Estado de la Nación, 2017).

Las aguas residuales de la Urbanización el Atardecer, en Quircot, Cartago, se tratan por medio de tanque séptico y/o se canalizan al cordón del caño. Esta situación se agrava debido a que parte de esta Urbanización se encuentra construida sobre el tubo de recarga de la Naciente Arriaz, empleada por la Municipalidad de Cartago para abastecer de agua potable a parte de la población. Por lo tanto, este trabajo final de graduación pretende proponer y dimensionar un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas por la Urbanización, aprovechando las instalaciones de la Antigua Fábrica de Gelatinas de la zona, con el fin de disminuir el riesgo de contaminación de la Naciente Arriaz por la infiltración que se da de los tanques sépticos y el inadecuado tratamiento de las aguas grises que genera impacto ambiental y afectación a la población de la zona.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer y dimensionar un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Urbanización El Atardecer, en Quircot, Cartago, aprovechando la estructura de la antigua fábrica de gelatinas en la zona

2.1.1 Objetivos específicos

- Determinar el grado de impacto en los vecinos por el manejo inadecuado de las aguas residuales en la comunidad y el nivel de conocimiento sobre el tema por parte de los habitantes
- Obtener las condiciones iniciales para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Urbanización y comparar dos sistemas que podrían utilizarse para el tratamiento las aguas residuales
- Diseñar el sistema de tratamiento seleccionado, aprovechando las instalaciones de la antigua fábrica de gelatinas de la zona

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 AGUAS RESIDUALES

3.1.1 Clasificación de las aguas residuales

Se entiende por agua residual a la combinación de líquidos y sólidos acarreados por agua, cuya calidad ha sido degradada por la incorporación de agentes contaminantes. Según la normativa costarricense, existen dos tipos de aguas residuales, las ordinarias y las especiales (MINAE, 2007).

Las aguas residuales ordinarias son aquellas utilizadas con fines higiénicos, y estas a su vez se subdivide en aguas pardas (o aguas negras) y aguas grises. Las aguas pardas, son aguas residuales concentradas y derivadas de los inodoros y servicios sanitarios, es decir, son aquellas aguas que transportan excrementos humanos y orina (Madrigal, 2016). Éstas son ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (Simon, 2015).

Las aguas grises, son aquellas que provienen de lavamanos, duchas y lavadoras. Dichas aguas, se encuentran más diluidas que las aguas negras y representan una fracción aproximada del 75% del volumen de las aguas residuales domésticas (Murcia-Sarmiento et al., 2014). Por su parte, se entiende por aguas residuales domésticas, a las compuestas por aguas de desecho procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (CENTA, 2008).

3.2 CONTEXTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

3.2.1 Situación Global

El estado actual del saneamiento y la gestión de las aguas residuales difiere ampliamente en cada región, al igual que los desafíos de hacerlos más sostenibles (Andersson et al, 2016). Se estima que cerca de 2.400 millones de personas en áreas rurales y urbanas no tienen acceso a servicios adecuados de saneamiento (Langergraber & Muellegger, 2005), siendo la situación especialmente alarmante en zonas rurales, donde la mitad de las personas no tiene

acceso a servicios adecuados de saneamiento y suministro de agua (Boulware, 2013).

Según datos de UNESCO (2017), más del 80% de las aguas residuales se vierten al ambiente sin tratamiento alguno, presentándose un marcado contraste en las coberturas de tratamiento entre los países de ingresos altos vs los de ingresos bajos. En países con altos ingresos, se liberan al ambiente cerca del 30% de las aguas residuales sin tratar, con un aumento del 62% para países de ingresos medios a altos, un 72% para los de ingresos medios y un 92% de aguas residuales vertidas sin tratar para los países de bajos ingresos (Andersson et al, 2016).

Para la región Latinoamericana, se estima que tres cuartas partes de las aguas residuales vuelven a los ríos y otras fuentes hídricas sin tratamiento alguno, creando un serio problema de salud pública y ambiental. El problema es especialmente preocupante en una región donde el 80% de la población vive en ciudades y una gran parte en asentamientos cercanos a fuentes contaminadas. Esta situación, genera serias implicaciones ecológicas, debido a que la región es una de las más biodiversas del mundo y es dueña de un tercio de las fuentes de agua mundial, atentando la contaminación del agua contra este orden (Banco Mundial, 2013).

3.2.2 Situación en Costa Rica

Históricamente, el país ha mantenido la tendencia del uso de tanques sépticos como principal medio de disposición de excretas, al igual que la mayoría de países de la región Latinoamericana (Mora & Portuguez, 2019). Las bajas coberturas de alcantarillado sanitario y el poco tratamiento de las aguas residuales de zonas urbanas del país, representan un peligro para la sostenibilidad de los recursos hídricos y la conservación de los cuerpos de agua que atraviesan las zonas urbanas (MINAE, MinSa, AyA, 2016).

De acuerdo con la información reportada en la ENAHO 2018, de 1.540.029 viviendas existentes en el país, sólo un 23,11% tienen conexión a alcantarillado o cloaca, mientras que el 75,26% están conectadas a tanque séptico y solamente el 14% de las aguas residuales que son recolectadas a través de alcantarillado recibe el tratamiento correspondiente.

La alta dependencia de los tanques sépticos en el país ha generado problemas adicionales, dado que, su funcionamiento se ve afectado por factores como el tipo de suelo, clima, características del agua a tratar, volumen de aguas y otros. Unido a esto, el país cuenta con zonas de suelos con muy alta permeabilidad lo que resulta altamente problemático, ya que se presentan tasas de infiltración más altas y con ello focos de contaminación de acuíferos utilizados para proveer de agua a ciudades importantes del país (Estado de la Nación, 2017).

Esta gestión inadecuada de las aguas residuales ha sido una de las principales razones que explican la caída de Costa Rica en el Índice de Desempeño Ambiental (EPI), el cual consiste en un índice compuesto que clasifica a 180 países en 24 indicadores de desempeño, bajo 10 categorías temáticas que cubren la salud ambiental y la vitalidad del ecosistema, incluyendo la categoría de Agua y Saneamiento (Wendling, et al, 2018).

Para el periodo 2012 - 2015, el país pasó de ocupar el 5º lugar en el EPI a ocupar el puesto 42º, producto de la introducción de nuevos indicadores en el índice, incluido el de tratamiento de aguas residuales e indicadores de saneamiento. Sin embargo, el país ha manifestado claramente su deseo de solucionar este problema, realizando labores al respecto, pues no sólo ha incluido la reducción de la problemática como una de sus metas nacionales para el 2030 y como parte de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, sino que también ha elaborado una Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales, bajo la cual se propuso manejar de forma segura la totalidad de las aguas residuales para el 2045 (Alpízar, Madrigal, & Salas, 2018).

3.2.3 Situación en la zona de estudio

Según la Ing. Andrea Sánchez, del Área de Acueducto de la Municipalidad de Cartago, las viviendas de la Urbanización El Atardecer en Quircot de Cartago, poseen sistema de tanque séptico para el tratamiento de sus aguas residuales. No obstante, debido a la poca infiltración del suelo, las viviendas han presentado problemas con este sistema de tratamiento, generando que muchas de las familias canalicen sus aguas negras directamente

al cordón del caño y de ahí por gravedad desfoguen hacia el río Arriaz, generando contaminación de los cuerpos receptores.

La situación se agrava debido a que parte de la Urbanización se encuentra construidas cerca de la zona de recarga de la naciente Arriaz, utilizada por la Municipalidad de Cartago para abastecer de agua potable a parte de la población, generando riesgo futuro de contaminación de la naciente por la infiltración de los drenajes de los tanques sépticos de las viviendas.

3.3 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento adecuado de las aguas residuales junto con la capacidad de proporcionar un suministro suficiente de agua potable, se ha convertido en una preocupación importante para muchas comunidades y en un componente de la agenda de desarrollo sostenible (EPA, 2004).

Los sistemas que aseguran que las aguas residuales se traten antes de cualquier descarga en aguas receptoras naturales, reducen las amenazas para los ecosistemas y los servicios que brindan, incluso mejorando la calidad y seguridad (y por lo tanto la facilidad de uso) del agua dulce, y reduciendo la contaminación y la eutrofización en los ecosistemas que proporcionan alimentos (Corcoran et al, 2010).

Estos procesos de depuración se llevan a cabo en plantas de tratamiento de aguas residuales, que constan de una secuencia de operaciones y procesos unitarios que tienen por objetivo eliminar un tamaño de partícula determinado, decreciente a medida que se avanza en las operaciones unitarias. La dificultad del proceso aumenta con la disminución del tamaño de partícula, lo que genera que las operaciones unitarias sean más complejas al final del STAR que al inicio del mismo (Centeno, 2011).

3.3.1 Parámetros indicadores de la calidad en el tratamiento de aguas residuales

El rendimiento del tratamiento de las aguas residuales, se evalúa generalmente mediante la medición de la eliminación de contaminantes de la corriente de aguas residuales (Hegg,

2018). Estos parámetros definen la calidad de las aguas residuales y se pueden dividir en tres categorías: parámetros físicos, químicos y biológicos (Von Sperling, 2007b).

El parámetro físico más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, los cuales comúnmente se clasifican en: sólidos totales, suspendidos, disueltos y sedimentables (Alfaro et al, 2012). Los sólidos suspendidos y los sedimentables son dos de los parámetros de sólidos más utilizados para el diseño de plantas de tratamiento (Centeno, 2011), siendo los suspendidos aquellos que son visibles y que flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo, y pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Los sólidos sedimentables, son sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentarse al lapso de una hora en el cono Imhoff (Alfaro et al, 2012).

Otras características físicas a tener en cuenta en la calidad de aguas residuales son, la temperatura, turbiedad, color y olor.

Entre los parámetros químicos que se utilizan para determinar la calidad de las aguas residuales se encuentran, el pH, alcalinidad, OD, DBO₅, DQO, nutrientes, grasas y aceites. Algunos de estos parámetros se describen en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Parámetros químicos en la calidad de las aguas residuales

Parámetro químico	Descripción
pH	Indicador de las condiciones ácidas o alcalinas de las aguas residuales. Una solución es neutra a pH 7. Los procesos de oxidación biológica normalmente tienden a reducir el pH.
Alcalinidad	Indicador de la capacidad buffer del medio (resistencia a variaciones en el pH). Causado por la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo.
Oxígeno (OD)	Disuelto Necesario para la respiración de microorganismos aerobios. Factor indispensable para los microorganismos responsables de la oxidación biológica de la materia orgánica en los sistemas aerobios de tratamiento de aguas residuales.
DBO	Concentración de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, por medio de acción biológica de microorganismos.
DBO₅	DBO medido a los 5 días y 20 °C. Asociada a la fracción biodegradable de compuestos orgánicos carbonosos. Medida del oxígeno consumido después de 5 días por los microorganismos en la estabilización bioquímica de la materia orgánica.

Parámetro químico	Descripción
DQO	Representa la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar químicamente la materia orgánica carbonosa. Utiliza agentes oxidantes fuertes en condiciones ácidas.
Nitrógeno total	El Nitrógeno es un nutriente importante para el crecimiento de microorganismos y esencial para el crecimiento de los mismos en tratamientos biológicos. El nitrógeno total incluye nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.
Fósforo total	El Fósforo es un nutriente importante para el crecimiento de microorganismos. El fósforo total existe en formas orgánicas e inorgánicas. Es un nutriente esencial en el tratamiento biológico de aguas residuales.
Grasas y aceites	Relacionado con el vertido al sistema de alcantarillado sanitario de aguas de cocina o de alguna industria. De alcanzar niveles muy elevados se hace necesario contar con algún pretratamiento especial de desengrasado del agua residual.

Fuente: Adaptado de Centeno (2011), Metcalf & Eddy (1996), Rossetti et al (2017), Von Sperling (2007b)

3.3.2 Sistemas de tratamiento de aguas residuales (STARs)

3.3.2.1 Sistema de Lodos Activados

El proceso de lodos activados sigue siendo el proceso de tratamiento biológico más utilizado para reducir la concentración de contaminantes orgánicos en las aguas residuales (Water Environment Federation, 2008). Se usa ampliamente en todo el mundo para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, en situaciones donde es necesaria una alta calidad de efluentes y la disponibilidad de espacio es limitada (Von Sperling, 2007b).

Es un proceso de crecimiento suspendido, predominantemente aeróbico, que mantiene una alta población de microorganismos o biomasa (Water Environment Federation, 2008). Las aguas residuales fluyen continuamente hacia un tanque de aireación donde se inyecta aire para mezclar el lodo activado con las aguas residuales y para suministrar el oxígeno necesario para que los organismos oxiden los compuestos orgánicos (Davis, 2010).

La mezcla de lodos activados y aguas residuales en el tanque de aireación se denomina licor mixto (licor mezclado) y consiste en aguas residuales; microorganismos (vivos y

mueritos); materia coloidal y coloidal inerte, biodegradable y no biodegradable (Jenkins et al. 2015). A la concentración de biomasa activa se le denomina sólidos suspendidos volátiles de licor mixto (MLVSS o SSVLM) y a la concentración de biomasa activa más los sólidos inertes se les llama sólidos suspendidos en el licor mixto (MLSS o SSLM) (Davis, 2010).

El licor mixto fluye desde el tanque de aireación hasta un clarificador secundario (sedimentador) donde se asienta el lodo activado. La mayor parte de los lodos sedimentados se devuelven al tanque de aireación (lodo de retorno) para mantener alta la población de microorganismos que permite una rápida descomposición de los compuestos orgánicos. Debido a que se produce más lodo activado de lo que es deseable en el proceso, parte del lodo de retorno se desvía o se desperdicia al sistema de manejo de lodos para su tratamiento y eliminación (Davis, 2010).

Las siguientes unidades son partes integrales y la esencia de cualquier sistema de lodos activados de flujo continuo (Von Sperling, 2007a);

- **Tanque de aireación (reactor)**

Aquí ocurre la oxidación aeróbica de la materia orgánica carbonosa. Los microorganismos responsables de la oxidación biológica se mantienen en suspensión y el oxígeno se suministra a través de una aireación mecánica o difusa. El efluente primario que ingresa a la cuenca de aireación se mezcla con el lodo activado de retorno del clarificador final para formar el licor mezclado en el tanque de aireación (Marin-Hernandez, 2012).

- **Tanque de sedimentación (sedimentador secundario)**

En él, los flóculos microbianos (exceso de lodo) producidos en la fase de aireación se separan del efluente tratado (Marin-Hernandez, 2012).

- **Recirculación de lodos**

Se devuelve una porción del exceso de lodo de la sedimentación al tanque de aireación, para mantener una concentración específica de biomasa en el tanque de aireación. El reciclaje de esta parte del exceso de biomasa, hace que el tiempo de residencia celular promedio (tiempo de retención de lodo) sea mayor que el tiempo de retención hidráulica, lo que permite que el proceso mantenga un gran inventario de microorganismos que oxidan los compuestos orgánicos en un tiempo relativamente corto (Marin-Hernandez, 2012).

- **Remoción de lodos en exceso**

En este proceso, el exceso de lodos se retira del sistema y se dirige a la etapa de tratamiento del lodo (Sperling, 2007a).

En la Figura 3.1 se representan las principales unidades en la etapa biológica del sistema de lodos activados.

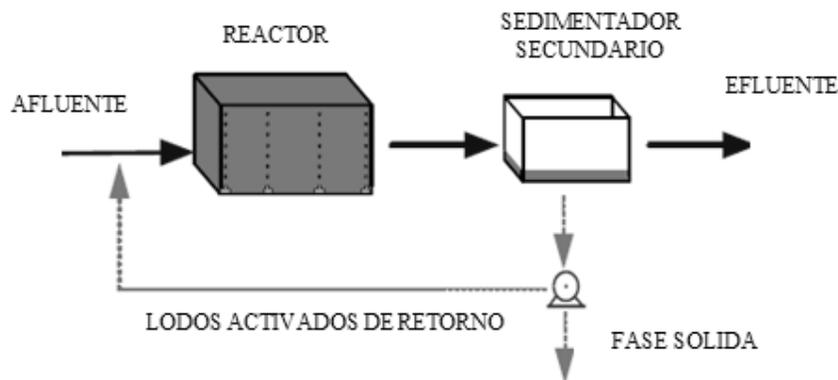


Figura 3.1 Principales componentes de la etapa biológica del sistema de lodos activados
Fuente: Adaptado de Centeno (2011)

3.3.2.1.1 Clasificación y tipos de sistemas de Lodos Activados

Existen variantes del proceso de lodos activados. Los principales y más utilizados, pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características (Von Sperling, 2007a),

- **Según la edad del lodo (o relación F/M)**
 - Lodo activado convencional (baja edad de lodo, alta relación F/M)
 - Aireación extendida (alta edad de lodo, baja relación F/M)

- **Según el flujo**
 - Flujo continuo
 - Flujo intermitente

- **Según el efluente a la etapa biológica de lodos activados**
 - Aguas negras
 - Efluente de un tanque de sedimentación primario
 - Efluente de un reactor anaerobio
 - Efluente de otro proceso de tratamiento de aguas residuales

3.3.2.1.2 Parámetros de diseño y operación

Existen varios parámetros que rigen el diseño de un sistema de lodos activados, los cuales determinan la eficiencia del sistema, su configuración espacial, así como su debida operación y mantenimiento (Chavarría, 2016). Algunos de estos parámetros se describen a continuación;

- **Requerimiento de oxígeno y tipo de aireación**

El parámetro más crítico en el proceso de digestión aeróbica es el oxígeno disuelto. Mantener concentraciones adecuadas de oxígeno permite que se produzca el proceso biológico y evita olores desagradables. En los digestores aeróbicos (reactores), las concentraciones de oxígeno disuelto varían típicamente de 0,5 a 2,0 mg/L. Los niveles inadecuados de oxígeno disuelto resultan en una digestión incompleta y por ende, causan problemas de olores. La tasa de uso (consumo) de oxígeno por los microorganismos, depende de la tasa de oxidación biológica y se utiliza para determinar el nivel de actividad biológica y la destrucción de sólidos resultante que se producen en el digestor o reactor (Water Environment Federation, 2016). Mantener niveles de oxígeno disuelto alrededor del 2,0 mg/L en el tanque de aireación (reactor) permite la presencia de microorganismos aerobios que fijen la materia orgánica.

Al diseñar un sistema de lodos activados se debe elegir un tipo de aireación, el cual tendrá una serie de constantes y parámetros empíricos distintos para cada tipo. De igual manera, la forma del tanque de aireación deberá asegurar la distribución uniforme del oxígeno, por lo que se debe diseñar tomando en cuenta la ubicación de los aireadores (Chavarría, 2016).

- **Tiempo de retención de los sólidos**

Se denomina tiempo de residencia celular promedio, tiempo de retención de sólidos o edad del lodo (θ_c), y se define teóricamente como la cantidad de días que un microorganismo permanece en el sistema de lodos activados antes de que se desperdicie fuera del sistema (Water Environment Federation, 2016). Otra manera de definirlo, es como la relación entre la masa de lodo biológico presente en el reactor y la masa de lodo biológico extraída de (o producida en) el sistema de lodos activados por día. La mayor permanencia de sólidos en el sistema, garantiza la alta eficiencia de los sistemas de lodos activados, ya que la biomasa tiene tiempo suficiente para metabolizar prácticamente toda la materia orgánica en las aguas residuales (Von Sperling, 2007a).

El tiempo de retención de sólidos para un proceso secundario de lodos activados que elimina solo la DBO suele ser de 1 a 3 días; para un proceso de nitrificación suele ser de 4 a 10 días y para un proceso de aireación prolongada o extendida suele ser de 20 días o más (Water Environment Federation, 2016).

- **Relación alimento-microorganismo (F / M)**

Se define como la carga de alimento o sustrato (DBO) suministrada por día por unidad de biomasa en el reactor (representada por SSVLM y expresados como kgDBO / kgSSVLM). Dado que los microorganismos tienen una capacidad limitada para consumir el sustrato (DBO) por unidad de tiempo, una alta relación F / M puede significar una mayor oferta de materia orgánica biodegradable que la capacidad de consumo de la biomasa en el sistema, lo que resulta en un exceso de sustrato en el efluente final. Por otro lado, los valores bajos de F / M significan que

la oferta de sustrato es inferior a la capacidad de los microorganismos para usarla en el sistema de lodos activados. Como consecuencia, consumirán prácticamente toda la materia orgánica de las aguas residuales, así como su propio material celular orgánico. Las altas edades de lodo están asociadas con valores bajos de F / M , y viceversa (Von Sperling, 2007a). Las relaciones F / M típicas para varias modificaciones del proceso de lodos activados varían de 0,04 a 2,00 mg/mg (Davis, 2010).

- **Recirculación y purga de lodos**

La recirculación consiste en devolver el lodo depositado en el sedimentador secundario, en la entrada del tanque de aireación regulando de esta manera la edad del lodo, mientras que la purga, consiste en la remoción del lodo en exceso. Se debe calcular la tasa de recirculación y la purga del lodo para el diseño del sistema de estabilización de lodos, así como para el diseño del sistema hidráulico de recirculación y la selección de bombas hidráulicas para el traslado del lodo del sedimentador secundario al tanque de aireación. La tasa de recirculación va desde un 60-100% del lodo producido, dependiendo de los requerimientos del sistema (Chavarría, 2016). La experiencia operativa ha demostrado un rango de valores para la concentración máxima de lodos de retorno. Para un lodo de sedimentación típico, el máximo está en el rango de 10000 a 14000 mg/L. Con lodos pobremente sedimentados, el máximo puede ser tan bajo como 3000 a 6000 mg/L. Para la flexibilidad operativa, la tasa de bombeo de lodos de retorno debe ser ajustable. Normalmente, la tasa máxima de retorno de lodo se establece igual a la tasa de flujo de diseño (Davis, 2010).

Entre los sistemas para estabilizar el lodo, se puede utilizar los lechos de secado, los cuales consisten en tanques de pequeñas alturas con drenajes, que eliminan el agua de los lodos por medio de percolación y evaporación del agua. Estos sistemas son económicos y de fácil operación (Chavarría, 2016).

3.3.2.1.3 Proceso de Lodos Activados Convencional

En el proceso de Lodos Activados convencional, parte de la materia orgánica (suspendida, decantable) del agua residual se elimina antes del tanque de aireación, en el tanque de sedimentación primaria. Por lo tanto, los sistemas de lodos activados convencionales tienen un tratamiento primario como parte integral de su diagrama de flujo (sedimentación primaria). En el sistema convencional, la edad del lodo es generalmente del orden de 4 a 10 días, la relación F / M está en el rango de 0,25 a 0,50 $\text{kgBOD} / \text{kgMLVSS}$ (Kg de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado) y el tiempo de retención hidráulica en el reactor es del orden de 6 a 8 horas. Con esta edad de lodos, la biomasa eliminada del sistema en el exceso de lodos aún requiere estabilización (Von Sperling, 2007a). Estos sistemas pueden obtener eficiencias de eliminación de DBO en el rango de 85% a 95% (Davis, 2010).

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama típico de los componentes del sistema de lodos activados convencionales para un STAR;

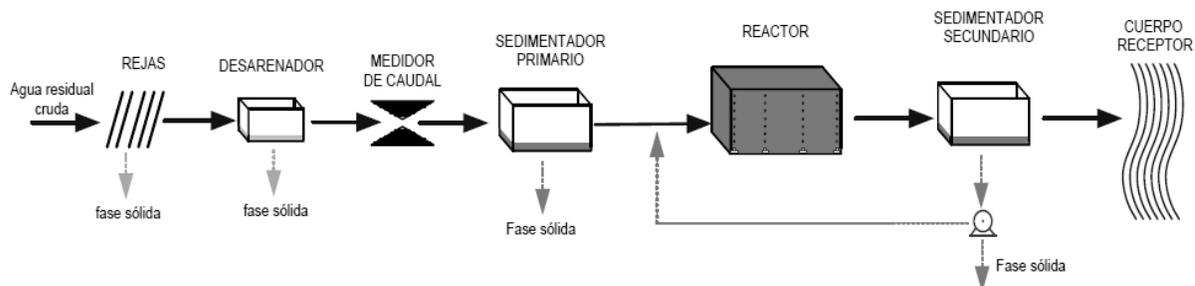


Figura 3.2 Diagrama de los componentes de un sistema de lodos activados convencional
Fuente: Centeno (2011)

3.3.2.1.4 Proceso de Lodos Activados Aireación Extendida

Los Lodos Activados con Aireación extendida o prolongada, son una variante del proceso de lodos activados convencional. Se suprime el sedimentador primario y se coloca en su lugar un reactor de mayor capacidad. Además, la aireación es más intensa (Centeno, 2011).

En el sistema de lodos activados convencional, el tiempo promedio de retención del lodo en el sistema es de 4 a 10 días. Con esa edad de lodo, la biomasa eliminada en el lodo en exceso aún requiere una etapa de estabilización del lodo. Esto se debe al alto nivel de

materia orgánica biodegradable en su composición celular. Sin embargo, si la biomasa se conserva en el sistema por un período más largo, con una edad de lodo de alrededor de 18 a 30 días (por lo tanto, el nombre de aireación extendida) y recibiendo la misma carga de DBO que el sistema convencional, habrá una menor disponibilidad de alimento para las bacterias (debido a la mayor edad del lodo y mayor volumen del reactor), por lo tanto, habrá menos materia orgánica por unidad de volumen del tanque de aireación y por unidad de masa microbiana. En consecuencia, para sobrevivir, las bacterias comienzan a utilizar en sus procesos metabólicos la materia orgánica de su material celular. Esta materia orgánica, se convierte en dióxido de carbono y agua a través de la respiración generando una estabilización (digestión) de la biomasa en el tanque de aireación (Von Sperling, 2007b).

Mientras que en el sistema convencional la estabilización de lodos se lleva a cabo por separado, en los sistemas de aireación prolongada, la digestión se realiza simultáneamente con la estabilización de la DBO en el reactor. Al no haber necesidad de estabilizar por separado el exceso de lodo biológico, se evita la generación de otro tipo de lodos en el sistema que requieran un tratamiento posterior. En consecuencia, los sistemas de aireación extendida no suelen tener tanques de sedimentación primarios (Von Sperling, 2007b).

La consecuencia de esta simplificación en el sistema es el gasto de energía para la aireación, que se debe, no solo a la eliminación de la DBO entrante, sino también a la digestión aeróbica de los lodos en el reactor. Por otro lado, la reducción en la disponibilidad de alimentos y su asimilación prácticamente completa por parte de la biomasa hace que la aireación extendida sea uno de los procesos de tratamiento de aguas residuales más eficientes en términos de eliminación de DBO (Von Sperling, 2007b), con porcentajes entre los 75% - 90% de eficiencia de remoción de la DBO (Davis, 2010).

En la Figura 3.3 se muestra el diagrama típico de los componentes del sistema de lodos activados aireación extendida para un STAR;

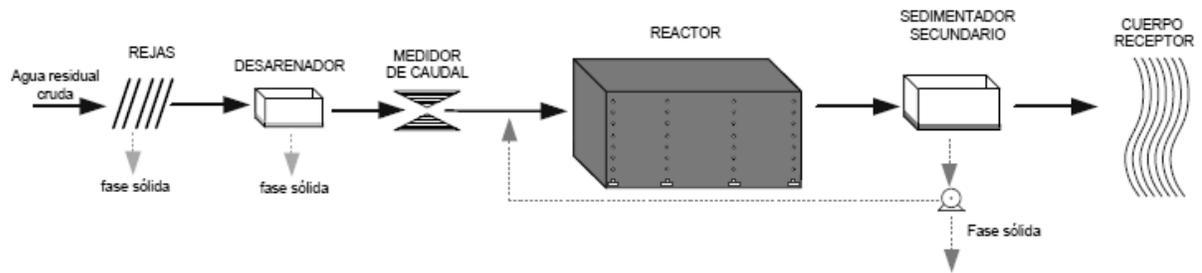


Figura 3.3 Diagrama del proceso de Lodos Activados Aireación Extendida
Fuente: Centeno (2011)

3.3.2.2 Sistema UASB

Los reactores de manto de lodo anaeróbico y flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés) son una tecnología de tratamiento biológico de crecimiento adjunto en el que el agua residual fluye hacia arriba a través de una capa de gránulos densos. A medida que las aguas residuales fluyen a través del manto, los microorganismos anaerobios unidos a los gránulos degradan los orgánicos produciendo metano y dióxido de carbono. Desde la capa de lodo, los gases se elevan a la superficie líquida del reactor donde son capturados para su uso o descarga. Una vez que el agua residual está por encima de la capa de lodo, los gránulos se separan por gravedad del agua residual a granel y se depositan nuevamente en la capa a medida que el efluente clarificado se desborda del reactor. Un problema importante con el UASB es la formación continua de los gránulos densos (E. Roberts, 2007).

En la Figura 3.4 se muestra el esquema típico de un sistema UASB.

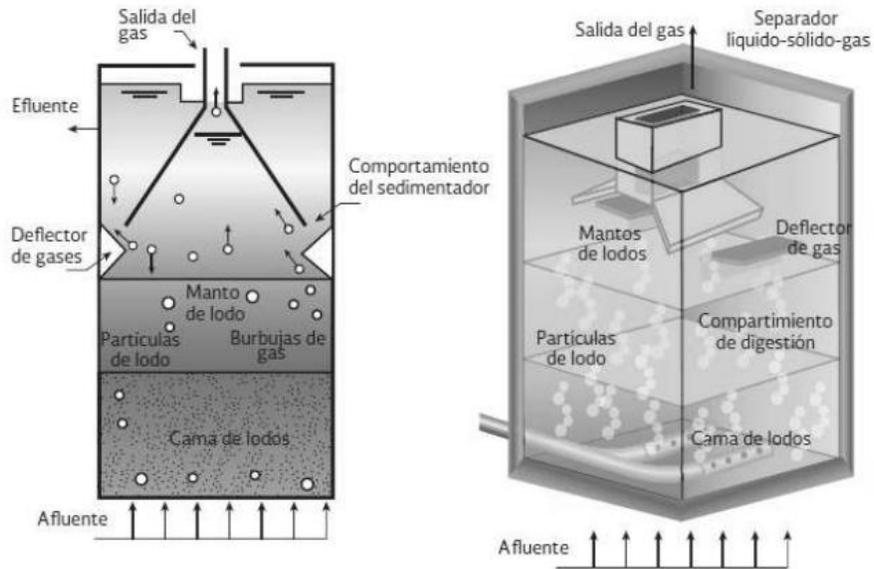


Figura 3.4 Representación típica de un sistema UASB
Fuente: SEMARNAT (2016)

El proceso UASB posee en la parte inferior un reactor anaeróbico que contiene la capa de lodo y, por encima de esto, hay un separador de gas, líquido y sólido (GLS). En la zona GLS, las placas de deflexión y las campanas de recolección se utilizan para capturar el biogás y permitir que los sólidos en suspensión se sedimenten y regresen a la zona de reacción. Una de las claves para una aplicación exitosa de UASB es un diseño GLS eficiente (Water Environment Federation, 2010).

El gas recogido en la parte superior del reactor puede ser ventilado o quemado para generar calor o energía (no se recomienda ventilar el gas directamente a la atmósfera porque el metano es un potente gas de efecto invernadero). La quema de biogás requiere quemadores especiales y potencialmente tratamiento para eliminar el sulfuro de hidrógeno y otros contaminantes contenidos. Las campanas de gas generalmente tienen secciones transversales triangulares para que las superficies exteriores inclinadas creen una zona de asentamiento que aumenta con la distancia desde la parte superior de la zona de digestión. La alimentación se introduce de la manera más uniforme posible a través del fondo de la zona de lodo y fluye verticalmente (Von Sperling, 2007b).

Los reactores UASB proporcionan una eliminación económica de grandes fracciones de efluentes orgánicos; pero las remociones no son lo suficientemente altas como para cumplir con los estándares de tratamiento secundario (Von Sperling, 2007b). En términos generales, la remoción de materia orgánica carbonácea (DBO, DQO) y de los SS ocurren con buena eficiencia en el reactor anaerobio, sin embargo, la remoción de nutrientes y de microorganismos patógenos es mínima, lo que amerita la necesidad de implementar sistemas complementarios de tratamiento (pos tratamiento) para la mayoría de aplicaciones (Torres, 2001).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la Urbanización El Atardecer y en las instalaciones de la antigua Fábrica de Gelatinas, Quircot, distrito de San Nicolás, provincia de Cartago. La Figura 4.1 presenta el distrito de San Nicolás, en el cual se ubica el sitio de estudio. Los puntos rojos dentro de la Figura representan distintos sitios dentro de la Urbanización el Atardecer.

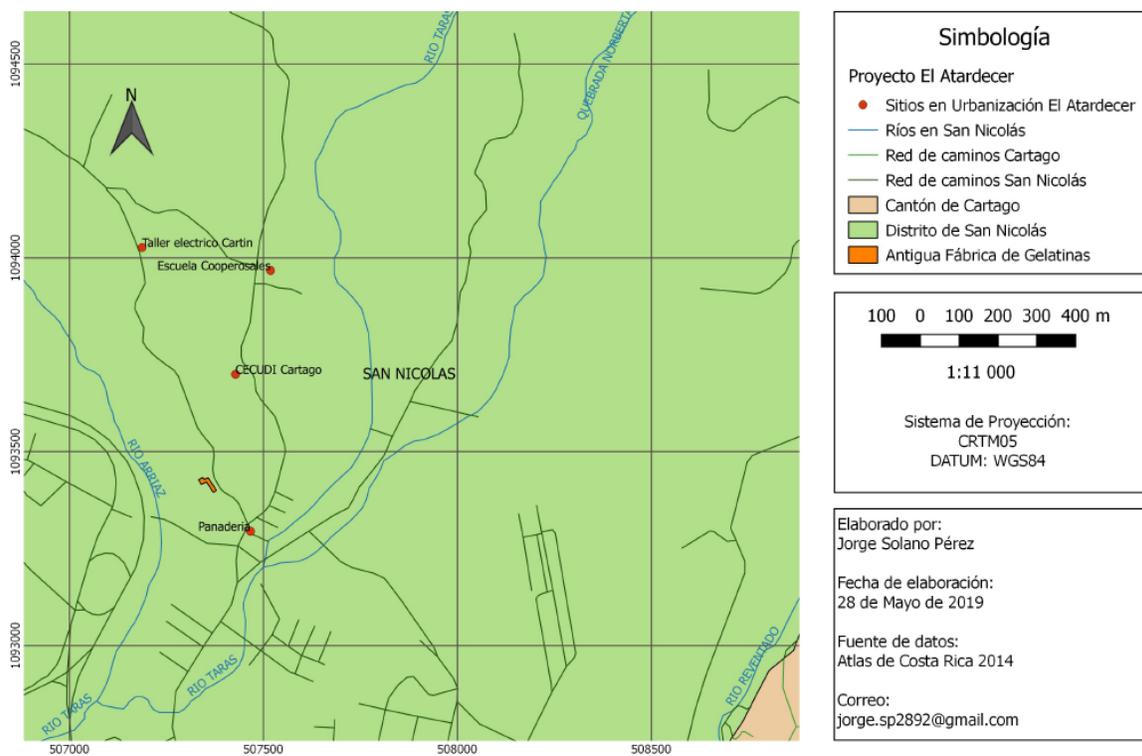


Figura 4.1 Mapa de la zona de estudio en el distrito de San Nicolás

4.2 IMPACTO EN LOS VECINOS POR EL INADECUADO MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD Y GRADO DE CONOCIMIENTO DE LA POBLACIÓN SOBRE EL TEMA

4.2.1 Visitas de campo a la comunidad

Se realizó una serie de visitas de campo y recorridos por la zona de trabajo, con el fin de obtener información visual sobre aspectos del actual manejo de las aguas residuales en el sitio de estudio, la presencia de contaminación por aguas residuales en quebradas, lotes baldíos y sitios aledaños, así como cualquier otro tipo de información de interés que se pudiera obtener producto de las visitas.

4.2.2 Aplicación de encuestas a la población a beneficiar

Se aplicó una encuesta a 42 hogares de los 257 que componen actualmente la urbanización. Esta encuesta se enfocó en la obtención de datos generales de la comunidad, evaluación del grado de conocimiento sobre el tema de las aguas residuales generadas en el hogar y su disposición, manejo de las aguas residuales a nivel de la comunidad y afectación por el actual manejo de las aguas residuales en la zona, interés en el tema de las aguas residuales, así como el nivel de aceptación de la implementación de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la comunidad. Los resultados obtenidos se tabularon e interpretaron mediante el programa Excel, donde posteriormente se realizaron gráficas.

Para determinar el tamaño de muestra, se utilizará la fórmula y cálculo presente en el Apéndice 1. La encuesta aplicada a la comunidad se puede consultar en el Apéndice 2.

4.2.3 Entrevista al Director del Acueducto de la Municipalidad

Se aplicó una entrevista al director del Acueducto de la Municipalidad de Cartago, el Ingeniero Julio Urbina Rojas, para determinar la percepción de la problemática presente en la comunidad del Atardecer por parte de algún funcionario municipal, y comparar con la información obtenida por parte de los encuestados respecto a la situación que presentan actualmente en la comunidad. Además, con la aplicación de esta entrevista se obtuvo

información sobre el sitio de la futura planta de tratamiento. La encuesta aplicada se encuentra en el Apéndice 4.

4.3 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES INICIALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS

4.3.1 Cálculo de la generación de agua residual por parte de la comunidad El Atardecer

Se utilizaron los datos de consumo de agua potable de las viviendas de la comunidad de los meses de Enero de 2017 hasta Setiembre de 2018 (excluyendo el mes de Marzo 2018 por problemas con el archivo suministrado por la Unidad de GIS de la Municipalidad, obteniendo así el consumo de 20 meses consecutivos), proporcionados por la Unidad de Sistemas de Información Geográfica de la Municipalidad (Unidad GIS) y utilizando el coeficiente de retorno del Reglamento Técnico de AyA del 2017, para estimar la generación promedio de agua residual por parte de la comunidad. Se calculó, la generación de agua residual con la población estimada y los datos de consumo de agua potable para población urbana y rural junto al coeficiente de retorno (obtenidos del reglamento técnico del AyA), con el fin de determinar si había una variación significativa respecto al cálculo con los datos de consumo de agua potable.

4.3.2 Proyección de población

Para la proyección de población, se utilizó la tasa de crecimiento de la provincia de Cartago obtenida según datos del censo de población 2011 del INEC. Se realizó un estimado de población para el año 2018 (como año base), según datos suministrados por la Unidad de GIS de la Municipalidad de Cartago y con el valor de habitantes por vivienda para la comunidad de la Urbanización El Atardecer, obtenido mediante la aplicación de encuestas en la zona en Mayo de 2018.

Tomando como referencia un periodo de diseño de 20 años, según la Norma Técnica del AyA (2017), se procedió a realizar una proyección de población al año 2040, con el fin de

determinar el aumento en el caudal de agua residual a tratar en la zona a futuro. Para ello se utilizaron tres modelos de proyección de población, el modelo aritmético, geométrico y exponencial. A continuación se describen los modelos utilizados y las fórmulas para su respectivo cálculo.

- **Modelo Aritmético**

Asume que el cambio poblacional anual (o por unidad de tiempo considerada), en un área o región específica, es constante (Ospina, 1981) y que además es independiente del tamaño de la población (López, 2003). Mora (2008) indica que su fórmula de cálculo está dada por la expresión;

$$N_t = N_0(1 + r \times t) \quad (1)$$

- **Modelo Geométrico**

Este método supone que la razón de crecimiento de la población es proporcional al tamaño de la misma (López, 2003) y asume un porcentaje constante de cambio por unidad de tiempo (Ospina, 1981). La expresión para el cálculo por medio de este método, está dada por (Mora, 2008);

$$N_t = N_0(1 + r)^t \quad (2)$$

- **Modelo Exponencial**

El modelo exponencial puede utilizarse en casos cuando el número de habitantes en un país determinado (o ciudad) depende únicamente del número de nacimientos y muertes (Ospina, 1981).

$$N_t = N_0e^{rt} \quad (3)$$

Donde,

N_t : valor final o población al año “t”

N_0 : valor inicial

t: periodo (años)

r: tasa de crecimiento

e: 2,71828 “base del logaritmo natural (In)”

A partir de los datos obtenidos de proyección de población, se realizó una comparación entre los métodos y se procedió a escoger uno de ellos para realizar los cálculos posteriores. Con el valor obtenido de proyección de población al año 2040, se procedió a realizar el estimado futuro de generación de agua residual por parte de la comunidad, con el fin de obtener el porcentaje de incremento en la generación de agua residual respecto a la generación del año base (2017-2018). Para este caso, se utilizó el valor de dotación (l/p/d) obtenido mediante el análisis de los datos de consumo de agua potable de la comunidad en el periodo Enero de 2017 - Setiembre de 2018, y se comparó con el resultado obtenido utilizando el valor de dotación para población rural (según la norma técnica del AyA, 2017), que fue el valor de dotación más cercano al obtenido mediante el análisis de los datos de consumo.

4.3.3 Caracterización de las aguas residuales de la comunidad

Las viviendas de la Urbanización El Atardecer cuentan con sistema de tanque séptico y drenaje, ubicado en la mayoría de los casos en la zona posterior de la vivienda. Por lo tanto, la caracterización de las aguas residuales de la comunidad se realiza de manera teórica. Sin embargo, se realizó una comparación con resultados de DBO₅ y SST de un estudio realizado por Picado (2016), sobre la evaluación físico-química de sistemas de tratamiento individuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas de apartamentos, condominios y una casa de habitación, y así poder comparar los rangos de valores obtenidos en dicho estudio con los valores sugeridos en la literatura; esto con el fin de determinar si se proseguía con los valores teóricos para el posterior dimensionamiento del sistema de tratamiento.

4.3.4 Evaluación de las instalaciones de la antigua fábrica de gelatinas de la zona

Se realizaron visitas de campo a la antigua fábrica de gelatinas (futuro sitio para la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad) para determinar el estado actual de los

tanques del antiguo sistema de tratamiento de la fábrica de gelatinas y determinar el potencial de aprovechamiento para un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas por la comunidad del Atardecer.

Se tomaron en el sitio las dimensiones internas de los tanques con potencial de aprovechamiento para lo cual se empleó una cinta métrica y se realizó una evaluación básica de las estructuras, con ayuda de un estudio reciente realizado por un estudiante de la Escuela de Construcción del Tecnológico.

4.3.5 Propuesta y comparación de posibles sistemas para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad

Para la propuesta del sistema de tratamiento, se tuvo en cuenta las condiciones actuales de infraestructura en la Antigua Fábrica de Gelatinas y la adaptabilidad de ellos a las dimensiones existentes en la zona de tanques. Se comparan los siguientes STAR; el primer sistema será el propuesto por la Municipalidad de Cartago, el cual es un sistema de lodos activados aireación extendida. El siguiente sistema será un reactor UASB y el UASB con pos tratamiento (UASB + FAFA), para los cuales se analizará la facilidad de adaptación a las condiciones actuales en campo.

La comparación teórica se realizó utilizando parámetros físico-químicos relevantes para el tratamiento de aguas residuales propuestos por los autores Sperling (2007) y Centeno (2011). Las ventajas y desventajas de los STARs se obtienen a partir de datos consultados en la literatura de Sperling (2007).

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SELECCIONADO

4.4.1 Diseño del sistema

El diseño del sistema de Lodos activados con aireación extendida se realizó a partir del método propuesto por Metcalf & Eddy (1998), del cual se obtuvieron las fórmulas, criterios de diseño y parámetros biocinéticos que permitieron dimensionar el sistema.

Para la representación gráfica de las distintas partes del STAR se utilizó el programa AutoCAD 2018, donde se especificaron las rejillas, el desarenador, los tanques de aireación, el sedimentador secundario y los lechos de secado del sistema propuesto. Para cada estructura se representan diferentes vistas (en planta, cortes transversales y longitudinales) con el fin de tener una mejor apreciación de cada una de las estructuras propuestas.

4.4.2 Costos del sistema propuesto

Se realizó una estimación de costos de construcción de obra gris de la estructura principal del STAR propuesto y de equipamiento básico del mismo. Los costos calculados para obra civil solo incluyen costos directos, no contemplan imprevistos, utilidades y pago de honorarios profesionales, debido a que se asume que son cubiertos por la Municipalidad.

Se plantearon dos escenarios, el primer escenario supone la no existencia de infraestructura actual, el segundo escenario contempla la estructura actual aprovechable en la Antigua Fábrica de Gelatinas. De esta manera, se podrá tener una estimación del ahorro generado aprovechando la infraestructura actual.

Para ambos escenarios se realizaron cotizaciones a constructoras nacionales (CEMEX, Grupo Orosi, Motisa) y oficinas de venta de equipos para el tratamiento de aguas residuales (Zebol, Construplaza). El concreto premezclado cotizado fue el de calidad estructural (210 Kg/cm²) y concreto pobre (105 Kg/cm²). Los agregados cotizados fueron arena fina de río 6 mm y piedra cuartilla primera 19 mm.

Para estimar los costos de operación y mantenimiento se tomó en cuenta el consumo energético de los equipos cotizados, el pago de salarios, la realización periódica de pruebas de laboratorio, el mantenimiento de obra gris y equipo electromecánico y la disposición de residuos.

El consumo energético promedio mensual y anual de los equipos electromecánicos se obtuvo por medio del cálculo del consumo (kWh) y la demanda (Kw) de los equipos,

multiplicados por la tarifa vigente para el 2019 según la ARESEP. Dicho cálculo se realizó utilizando los valores de consumo para tarifa preferencial de carácter social (T – CS) que es la que corresponde al proyecto y consultando los valores de tarifa aprobados para la JASEC, que es la empresa prestadora de servicio eléctrico en la zona. En el Apéndice 8.10 se muestra el cálculo para determinar el costo del consumo energético.

El pago de salarios se calculó según las tarifas base para el año 2019 definidas por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS). Se consideró el costo de seguridad (guarda), ingeniero de planta (para un cuarto de tiempo laboral), operador y técnico electromecánico para mantenimiento preventivo (un cuarto de tiempo laboral).

Los valores para el cálculo de costos de la realización periódica de pruebas de laboratorio, mantenimiento de obra gris - equipo electromecánico y disposición de residuos, se obtuvieron a través de un estudio realizado por Murillo (2017). El autor establece que para poblaciones servidas cercanas a los 1000 habitantes el costo anual de mantenimiento de obra gris es de un 0,7% respecto a la inversión inicial y para el mantenimiento de equipo electromecánico el costo de inversión anual es de 3% respecto a la inversión inicial en dicho rubro.

Una vez obtenidos los costos de operación y mantenimiento antes descritos, se procedió a realizar el estimado de inversión mensual y anual de la operación del STAR propuesto para la comunidad. A partir de estos resultados, se estimó el costo mensual aproximado por habitante y por vivienda de la operación del STAR.

4.4.3 Memoria de cálculo del sistema propuesto

Se realizó un documento que contiene información sobre el diseño del STAR propuesto para el tratamiento de las AR de la Urbanización El Atardecer. En el documento se incluyen los parámetros de diseño y la memoria de cálculo del sistema de lodos activados bajo la modalidad de aireación extendida.

4.4.4 Manual de operación del sistema propuesto

Se elaboró el Manual de Operación y Mantenimiento para el sistema de tratamiento de aguas residuales de La Urbanización El Atardecer, en el cual se describen las especificaciones para la buena operación de dicho sistema. Para la elaboración del Manual, se contemplan las especificaciones del decreto N° 39887-S-MINAE como parte del trámite de aprobación de una planta de tratamiento de aguas residuales residencial.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 IMPACTO EN LA COMUNIDAD POR EL ACTUAL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES

5.1.1 Aplicación de encuestas a la población

Para comprender la problemática que afecta a los habitantes de la comunidad El Atardecer y como la población percibe el problema, se procedió a encuestar una fracción del total de los hogares de la comunidad.

Según datos de la Unidad de GIS de la Municipalidad de Cartago, la comunidad cuenta con un total de 257 hogares aproximadamente. El tamaño de muestra a encuestar tomando en cuenta el total de unidades habitacionales fue de 27 viviendas. Sin embargo, se utilizaron los datos obtenidos de 42 encuestas aplicadas en una de las fases iniciales del proyecto, lo cual permite obtener datos representativos producto del instrumento de evaluación. En el Apéndice 3 se pueden consultar los resultados completos de la aplicación de la encuesta.

A continuación, se muestran los principales datos obtenidos del acercamiento a la comunidad.

Del total de hogares visitados (42 viviendas), se encuestó un 69% de mujeres (29 encuestadas) y un 31% de hombres (13 encuestados). Se obtuvo un promedio de habitantes por hogar de 3,83; es decir, 4 habitantes por vivienda aproximadamente.

El grado de conocimiento sobre el manejo de las aguas residuales domésticas por parte de los vecinos de la comunidad, mostró que un porcentaje alto de encuestados indican conocer de la existencia de un sistema de tratamiento para las aguas negras domiciliarias, sin embargo, otra parte importante (casi una cuarta parte de los encuestados) indica no tener un sistema de tratamiento para las aguas negras, a pesar de la existencia del tanque séptico en los hogares de la zona. Esta situación es reflejo del desconocimiento en cuanto al tema de

las aguas residuales por parte de una fracción importante de los vecinos de la zona. En la Figura 5.1 se presentan los resultados obtenidos.

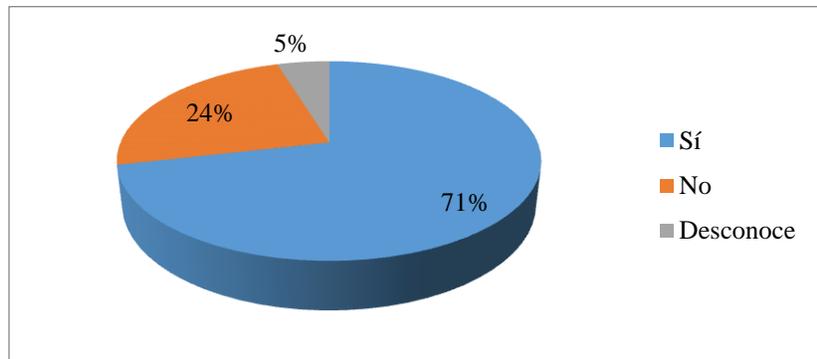


Figura 5.1 Conocimiento de la existencia de un sistema de tratamiento para las aguas negras domiciliarias

Con respecto al grado de conocimiento sobre el tipo de sistema de tratamiento presente en el hogar, la Figura 5.2 muestra que poco más de la mitad de los encuestados indica que el sistema que poseen en la vivienda es el tanque séptico con drenaje, mientras otra fracción importante indica que solo cuentan con tanque séptico en la vivienda, y una muy pequeña fracción indicó no saber cuál sistema de tratamiento posee la vivienda. Al comparar con los datos de la Figura 5.1 donde una fracción importante indicó no tener sistema de tratamiento en la vivienda, de la Figura 5.2 se obtiene que solo un 2% (1 persona) no sabía cuál era el sistema presente en hogar, es decir, buena parte de los encuestados no sabían que el sistema con que cuentan en el hogar es un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas, pero al indicarles las distintas opciones de tratamiento y/o disposición de las mismas, el 98% de los encuestados logró identificar el sistema presente en el hogar como un sistema de tratamiento.

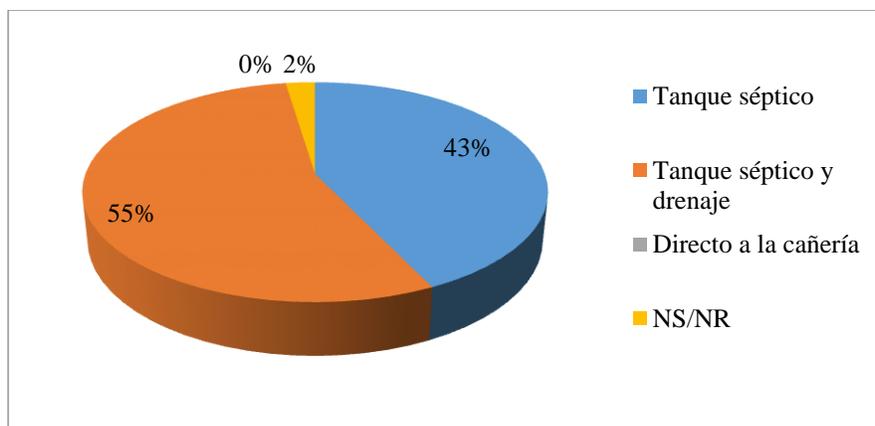


Figura 5.2 Tipo de sistema de tratamiento de aguas negras domiciliar presente en el hogar

En cuanto al funcionamiento del sistema de tratamiento domiciliar, la mayoría de hogares encuestados indicó que el sistema trabaja adecuadamente (62% de los encuestados, correspondiente a 26 hogares visitados) como se puede observar en la Figura 5.3, sin embargo, la mayoría de los encuestados enfatizaron en que trabajan de esta manera por arreglos e intervenciones que se han realizado en el sistema, pues varios hogares de esta fracción de porcentaje indicaron que en años atrás los problemas con el tanque séptico si eran persistentes. En contraste, un 36% de los hogares encuestados indicó que el sistema no trabaja adecuadamente, mencionando entre los principales problemas las fallas con el drenaje, como ejemplo de la situación, se indicó que en algunos casos se pasan las aguas de un terreno al otro por el desnivel entre terrenos (principalmente en la zona de los patios de los hogares); se mencionó problemas con la capacidad de almacenamiento de los tanques (el tanque se llena muy rápido), en este punto, uno de los casos más críticos es el de un hogar donde aseguran limpiar el tanque séptico en promedio cada dos meses; se mencionó por parte de algunos encuestados problemas al descargar el inodoro, entre otros.

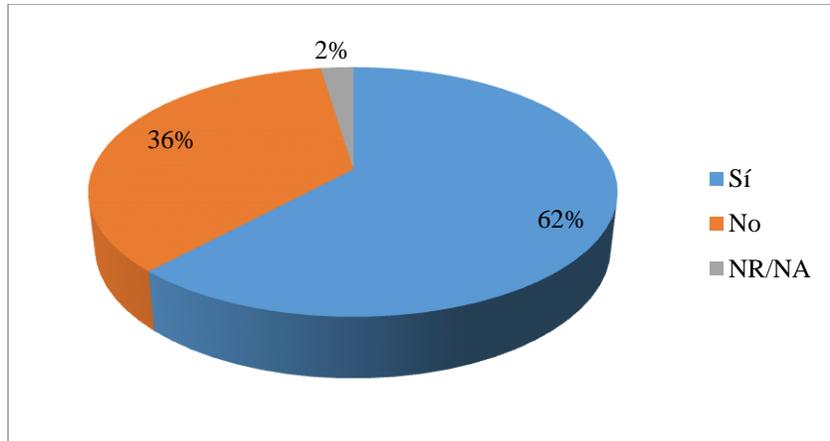


Figura 5.3 Funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento domiciliar

Relacionado con el funcionamiento del sistema se consultó a los encuestados sobre la frecuencia de limpieza del tanque séptico domiciliar, obteniendo como resultado que 17 de los hogares encuestados (41%) afirma realizar la limpieza del tanque séptico varias veces al año o al menos una vez al año, debido a los problemas de llenado rápido del tanque y de infiltraciones en los terrenos, situación que refleja que el sistema con que cuentan no trabaja de manera óptima. Caso opuesto, 14 de los hogares visitados (33%) indica realizar la limpieza cada dos años o más, no obstante, indicaban que el tanque con que contaban era grande, o que se había invertido dinero años atrás para mejorarlo o agrandarlo. Otra fracción importante de los encuestados (17%) aseguró no saber con qué frecuencia se limpia el sistema. Estos resultados se reflejan en la Figura 5.4.

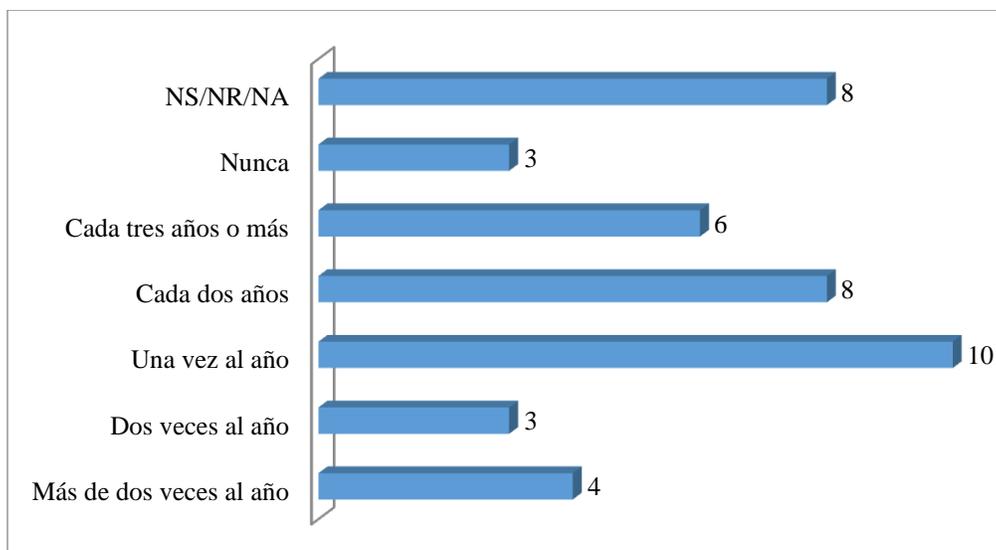


Figura 5.4 Frecuencia de limpieza del tanque séptico

Otro aspecto considerado en la aplicación de las encuestas, fue el manejo de las aguas grises en los hogares, obteniendo que la gran mayoría de los encuestados (91% correspondiente a 38 hogares) indicó que estas aguas son descartadas por el caño o alcantarillado, una pequeña fracción indicó no saber cómo se descartan estas aguas residuales y solo uno de los hogares (2%) afirmó disponerlas de otra manera. En este último caso, al consultar de qué otra manera se disponía estas aguas, se indicó por parte del hogar que las aguas grises generadas se vierten directamente a una zona verde detrás de la vivienda, y que además ocurre la misma situación con otras viviendas del sector. Esta situación es reflejo de las deficiencias en el manejo de aguas residuales en la zona, así como de la falta de información en la población sobre el tema de las aguas residuales, su adecuada disposición, los efectos para la salud y el ambiente de los vertidos irregulares, entre otros. Es de gran importancia atender este tipo de situación, pues los vertidos irregulares pueden ser fuente de vectores de transmisión de enfermedades para la población cercana, desencadenando problemas de salud entre la población, como el padecimiento de diarreas e incluso en casos más extremos puede ocasionar muertes (Alpízar et al, 2018), además estos vertidos son causa de deterioro en el ambiente y afectan al saneamiento básico de la comunidad.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.5.

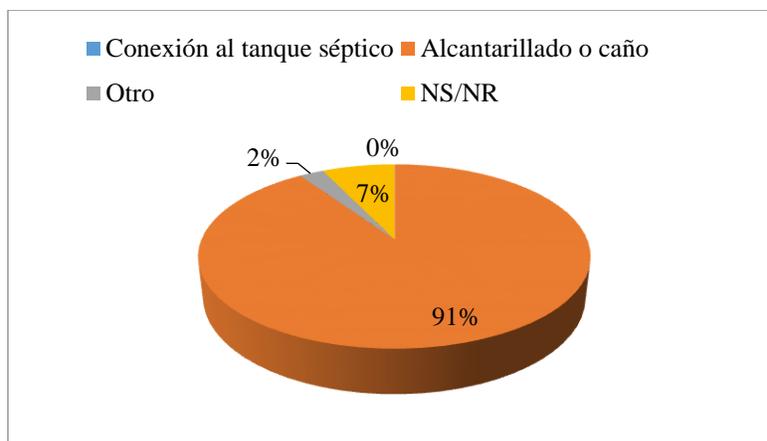


Figura 5.5 Disposición final de las aguas grises de los hogares de la comunidad

Se consideró en la aplicación de la encuesta el manejo de las grasas y aceites de la cocina por parte de los hogares, debido a que las mismas pueden llegar a interferir en los sistemas de tratamiento. En este caso, la mayor parte de hogares encuestados (23 viviendas correspondientes a un 55%) indicó que las grasas y aceites residuales de la cocina eran vertidas al basurero, sin embargo, otra fracción importante (15 hogares correspondientes a un 35%) las vierten directamente en el fregadero por medio de lavados y una pequeña fracción de los encuestados indicó que vierten de manera mixta (basurero y fregadero) o que vierten estos residuos en la tierra de sus casas. Lo anterior se puede apreciar de manera gráfica en la Figura 5.6.

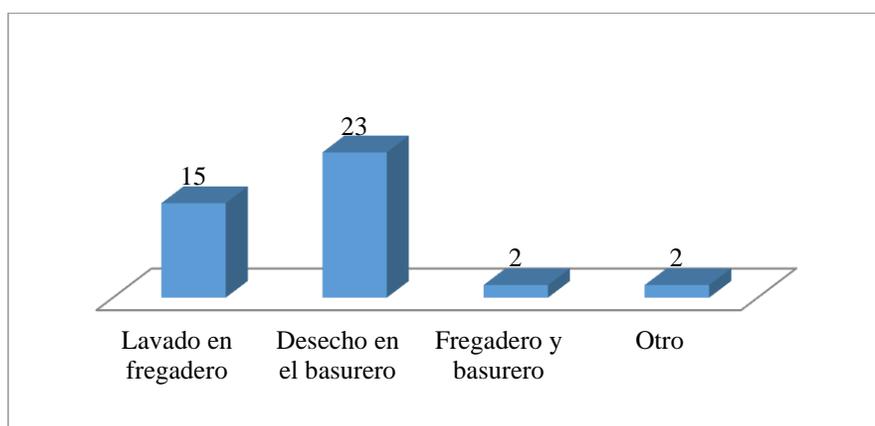


Figura 5.6 Disposición final de grasas y aceites de la cocina en los hogares

Con respecto a la percepción de la población sobre el manejo actual de las aguas residuales en la comunidad, un 74% de los encuestados (31 viviendas) indicó que el manejo que se da

a este tipo de aguas no es el adecuado, mientras que un 24% de los hogares (10 viviendas) creó que el manejo actual de las aguas residuales si es el adecuado y el 2% restante prefirió no opinar al respecto (ver Figura 5.7). Un resultado similar se obtuvo al consultar sobre la existencia de irregularidades y deficiencias en el manejo actual de las aguas residuales por parte de los vecinos de la comunidad, donde un 72% de los encuestados (30 hogares) afirmó la presencia de irregularidades. Las principales deficiencias indicadas por los vecinos son los vertidos de aguas negras directamente al caño, vertidos de aguas negras a lotes baldíos (cercanos al paso de la línea del tren o por el paso de una quebrada cercana), filtraciones de aguas negras en los patios de las casas y presencia de conexiones de desagües irregulares o ilícitos.

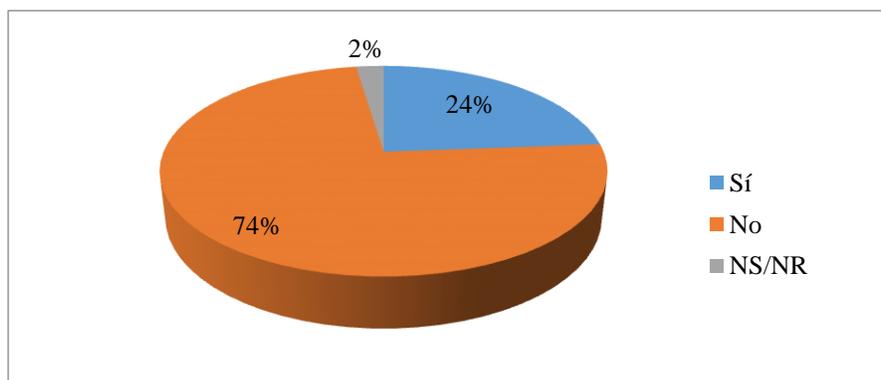


Figura 5.7 Manejo adecuado de las aguas residuales generadas en la comunidad

Otro de los problemas existentes mencionado por parte de los vecinos, es la presencia de malos olores producto del manejo inadecuado de las AR generadas por las viviendas. Para este caso, casi tres cuartas partes de los encuestados (71% correspondiente a 30 hogares) afirmaron que existe presencia de malos olores, indicando el 50% (15 hogares de los 30 que afirman tener este problema) que la presencia de malos olores es diaria (siempre) y empeora en las noches, otra fracción importante de los encuestados indicó que el problema ocurre de manera ocasional (43% que corresponde a 13 hogares) principalmente con las lluvias y el 7% restante (2 viviendas) indicaron que el problema ocurre frecuentemente. En la Figura 5.8 y Figura 5.9 se muestran los resultados obtenidos.

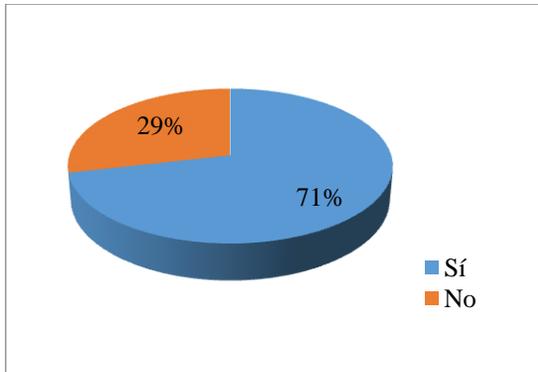


Figura 5.8 Presencia de malos olores relacionados al actual manejo de las AR en la comunidad

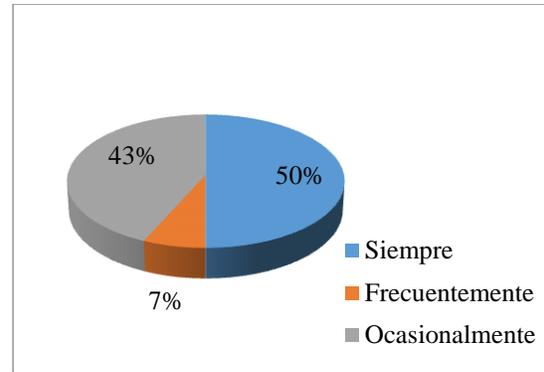


Figura 5.9 Frecuencia de la aparición de malos olores relacionados al actual manejo de las AR

Se realizó consulta por medio de la encuesta para determinar si los vecinos del Atardecer se sienten afectados de alguna manera por el manejo actual de las AR en la comunidad, obteniendo como resultado que buena parte de los encuestados considera sentirse afectado por el manejo inadecuado de las mismas (60% que corresponde a 25 hogares del total encuestado), pues aseguran que los constantes malos olores y demás situaciones, afectan en alto grado su bienestar. De este porcentaje que indica sentirse afectado (60% anterior) se les consultó si creían haber presentado algún problema de salud o molestia relacionado con la situación, obteniendo que un 56% (14 viviendas) indicó haber presentado náuseas o dolores de cabeza por la presencia de malos olores, diarreas ocasionales, rinitis e inclusive colapso nervioso (fuerte estrés) por la situación que se presenta en la comunidad y los hogares. Lo anterior refleja como el manejo actual de las AR de la zona ha afectado el bienestar y modo de vivir de los habitantes de la zona, poniendo inclusive en riesgo su salud y algunas de las condiciones básicas de saneamiento de la zona.

Con respecto a la aceptación o rechazo de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en la comunidad, más del 90% de los hogares encuestados (39 viviendas correspondientes al 93%) indicó aceptar que en su comunidad se construyera un STAR. Este resultado puede ser debido a los problemas que afectan a los vecinos en el diario vivir respecto al manejo de las AR. El resultado puede considerarse como positivo, debido a la alta aceptación en la población para un futuro proyecto en la comunidad, ya que desde el aspecto social, este tipo de proyectos suele tener alto rechazo o un rechazo importante debido principalmente al desconocimiento de la población sobre el

funcionamiento, ventajas y desventajas de los sistemas. Una pequeña parte de los encuestados indicó aceptar un proyecto de este tipo dependiendo de las condiciones del mismo, donde se expuso principalmente que debía ser una planta que trabajara de manera adecuada y que tuviera control en la emisión de olores principalmente. Solo una de las viviendas (correspondiente al 2%) indicó no estar de acuerdo en este tipo de proyecto, la razón del rechazo fue el tener que cubrir el costo por parte de la vivienda para conectarse al sistema, pues aseguraba que se ha invertido económicamente en la vivienda y que tendrían que demoler pisos y cerámicas, entre otros. Este tipo de inquietudes se deben tener en cuenta para el futuro desarrollo de este tipo de proyectos, pues el grado de aceptación en la población podría disminuir por este tipo de causas. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.10.

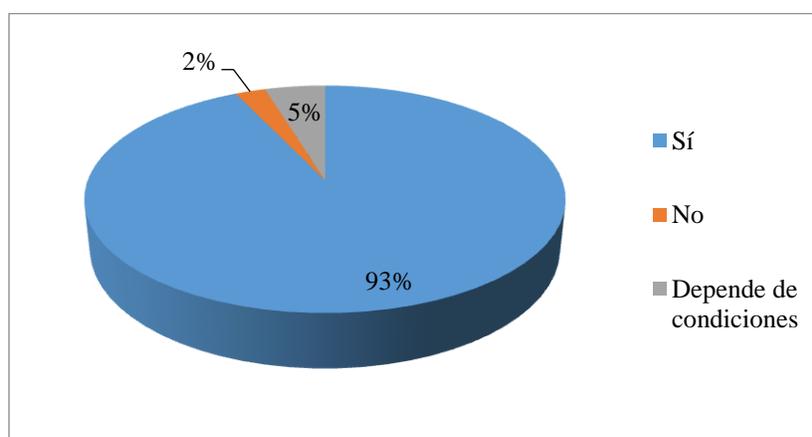


Figura 5.10 Aceptación de instalación de un STAR para la comunidad

De los resultados discutidos producto de la aplicación de la encuesta en las viviendas de la comunidad El Atardecer, se deduce que la Urbanización presenta importantes deficiencias y problemas en el actual manejo de las aguas residuales, que ponen en riesgo la salud de la población y causan deterioro al ambiente. Entre las principales deficiencias se encuentra el vertido de aguas negras directamente al caño, vertidos de aguas negras a lotes baldíos, filtraciones de aguas negras en los patios de las casas y presencia de conexiones de desagües irregulares o ilícitos. Además, se logró evaluar el grado de conocimiento de la población en cuanto a la generación de aguas residuales en su hogar y comunidad.

5.1.2 Entrevista al director del Acueducto de la Municipalidad de Cartago

Se entrevistó al director del Área Técnica de Acueductos de la Municipalidad de Cartago, con el fin de obtener información sobre la percepción de la problemática que afecta a la comunidad del Atardecer por parte de la Municipalidad y comparar con la situación vivida y descrita por los afectados.

Al consultar al Director del Acueducto Ing. Julio Urbina Rojas sobre la problemática que presenta la comunidad, este indica que en la misma no existe una red de alcantarillado sanitario, y que además se encuentra construida cerca del tubo de recarga del acuífero donde está la Naciente Arriaz. Sumado a esto, los tanques sépticos de las viviendas no funcionan por lo que esta agua es liberada por los vecinos al cordón del caño. Lo indicado concuerda con la información obtenida de la aplicación de encuestas a la zona, donde los vecinos indicaron que muchos hogares disponen las aguas negras al caño producto de los problemas que presentan con el sistema de tratamiento domiciliar.

Con respecto a la consulta sobre la presentación de quejas o reclamos por parte de los vecinos del Atardecer en la Municipalidad y el cómo ha procedido para resolverlos, el Ing. Urbina indica que no ha habido problemas, ya que el agua escurre, debido a que la pendiente lo permite y por lo tanto, no existen quejas por parte de los vecinos, y que la Municipalidad por lo cual, no ha realizado acciones. Sin embargo, de la información obtenida en las encuestas, los vecinos indicaron que algunas zonas más planas presentan mayor problema debido a que las aguas residuales se estancan. Indicaron además el haber presentado quejas ante el Ministerio de Salud producto de la situación vivida y del riesgo para su salud y el ambiente, no obstante, los resultados no han sido los deseados pues se pide que un grupo de vecinos sea el que presente la denuncia y no de manera individual como se ha realizado, lo cual ha generado resignación en los vecinos, pues prefieren vivir con la situación que les afecta por temor a tener que llegar a un problema mayor con los vecinos de la zona. Es decir, existen problemas en la comunidad, presentación de reclamos y denuncias por parte de los vecinos ante instituciones públicas, aunque estas no se hayan hecho llegar a la Municipalidad.

Respecto a la consulta sobre la presencia de algún impacto directo a la Naciente del Río Arriaz a raíz de la situación presente en la comunidad, el Ingeniero Urbina indica que por el momento no se ha presentado afectación, sin embargo, debido a los nitratos podría verse afectada, ya que son compuestos que se van acumulando, y a futuro podría presentarse el problema. Por esta razón, se pretende tratar las aguas de la comunidad por medio de una planta de tratamiento para proteger la zona de recarga de la naciente.

Con respecto a los datos obtenidos de la entrevista sobre el futuro sistema de tratamiento, la Municipalidad tiene proyectado iniciar con el proyecto de construcción del sistema a finales de 2020, principios del 2021. El futuro terreno de aprovechamiento para la planta de tratamiento se encuentra bajo propiedad de Coopemontecillos, no obstante, la Municipalidad actualmente realiza las gestiones para la compra del mismo. El Ing. Urbina indica que el uso de suelo es positivo, que no se cuenta con estudios de suelo actualmente, sin embargo, anteriormente se tenía la planta de tratamiento de Coopemontecillos en el sitio.

Además, se consultó al Director del Acueducto sobre si se ha pensado en un sistema de tratamiento en específico para tratar las aguas de la Urbanización en estudio, a lo cual indicó que se ha pensado en un lodos activados aireación extendida, sin embargo, si existen otros sistemas más eficientes, se tomarán en cuenta. Lo indicado es favorable, pues permitirá a comparar con al menos otro sistema de tratamiento y determinar cuál estará más acorde y sea más factible para tratar las aguas residuales de la comunidad.

5.2 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES INICIALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL ATARDECER

5.2.1 Generación de agua residual por parte de la comunidad del Atardecer

Los datos obtenidos de consumo de agua potable mensual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer, extraídos según información suministrada por la Unidad de GIS de la Municipalidad de Cartago, se resumen en el Apéndice 5.

A partir de los datos de consumo de agua potable por parte de las viviendas de la Urbanización, se obtuvo una dotación promedio de 163 l/p/d. Al ser el valor un dato obtenido a partir de datos de consumo en la zona, se procederá a utilizar esta dotación como la dotación real para efectos del dimensionamiento del sistema de tratamiento.

De acuerdo con los datos de consumo de agua potable de la Urbanización El Atardecer, durante el periodo Enero 2017 a Setiembre 2018, se obtuvo una generación mensual promedio de agua residual de 3849,40 m³/mes (para un consumo promedio de 4811,75 m³/mes de agua potable y utilizando un coeficiente de retorno de 0,80 según el manual de normas técnicas del AyA, 2017). Es decir, la generación de agua residual promedio utilizando los datos suministrados es de 128,31 m³/día, lo que equivale a una generación diaria promedio de 1,50 l/s.

En el cuadro 5.1 se muestra la generación mensual promedio de agua residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer para cada uno de los meses en el periodo Enero 2017 – Setiembre 2018 (excluyendo el mes de Marzo 2018, por falta de datos suministrados).

Cuadro 5.1 Generación promedio mensual de Agua Residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer para el periodo Enero 2017 – Setiembre 2018

2017	Generación promedio de AR		2018	Generación promedio de AR	
	m ³ /día	l/s		m ³ /día	l/s
Enero	115,15	1,33	Enero	124,69	1,44
Febrero	118,03	1,37	Febrero	134,11	1,55
Marzo	118,61	1,37	Marzo	Sin datos	Sin datos
Abril	107,92	1,25	Abril	120,80	1,40
Mayo	130,56	1,51	Mayo	144,00	1,67
Junio	138,24	1,60	Junio	142,45	1,65
Julio	132,35	1,53	Julio	130,29	1,51
Agosto	129,41	1,50	Agosto	125,63	1,45
Setiembre	136,29	1,58	Setiembre	131,84	1,53
Octubre	127,68	1,48			
Noviembre	131,47	1,52	PROMEDIO	128,31	1,50
Diciembre	126,75	1,47			

Fuente: Unidad GIS, Municipalidad de Cartago (2018)

Al analizar el comportamiento de la generación de agua residual por parte de las viviendas, se obtuvo una generación mensual mínima de 107,92 m³/día (1,25 l/s) correspondiente al mes de Abril de 2017 y una generación máxima de 144,00 m³/día (1,67 l/s) para el mes de Mayo 2018. En la Figura 5.11 se muestra el comportamiento de la generación de aguas residuales a lo largo de los meses analizados, de la cual se puede observar que no se presentan fuertes variaciones en la generación mensual promedio de AR.

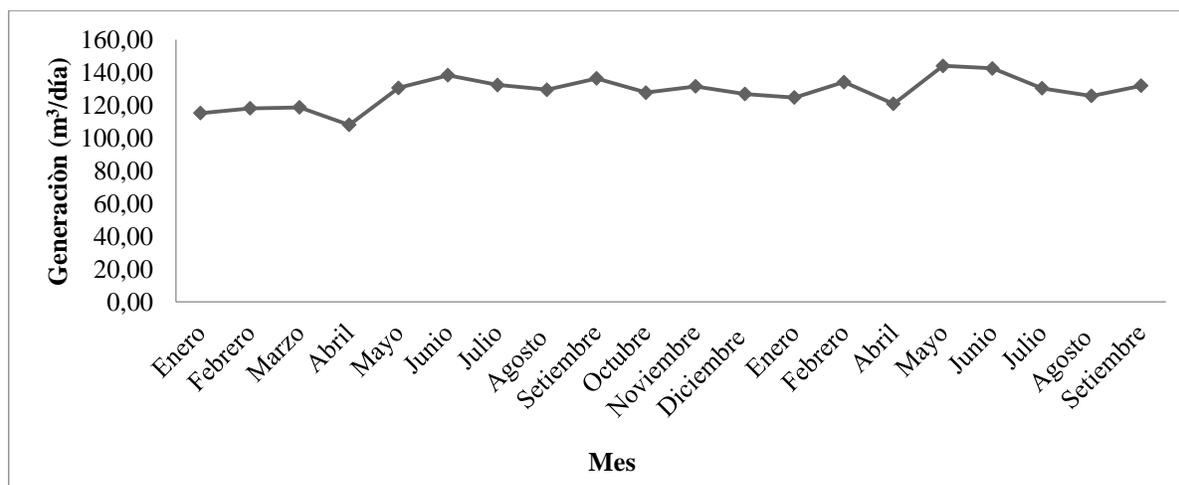


Figura 5.11 Comportamiento de la generación mensual de aguas residuales de la comunidad El Atardecer para el periodo Enero 2017 – Setiembre 2018.

Se realizó el cálculo de la generación de agua residual utilizando el estimado de habitantes actual de la comunidad y datos de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial del AyA (2017), para comparar con el resultado obtenido anteriormente, según los datos proporcionado por la Unidad de GIS de la Municipalidad de Cartago. De este análisis se obtiene para la comunidad del Atardecer una población estimada de 984 habitantes, los cuales fueron obtenidos de los 257 hogares y del promedio de habitantes por vivienda (3,83) deducido de la aplicación de encuestas. Según datos del INEC (2011), para el cantón de Cartago el promedio de habitantes por vivienda individual ocupada es de 3,80 y de 3,90 para el distrito de San Nicolás (al cual pertenece la Urbanización El Atardecer) lo cual muestra que el valor obtenido con la aplicación de encuestas es confiable.

Según Norma Técnica del AyA (2017), para población urbana, se tiene un valor de dotación de agua potable por habitante de 300 l/p/d, y considerando el coeficiente de retorno de 0,80; se obtiene un valor de 2,73 l/s (236,23 m³/día) de agua residual generada por la Urbanización. Pero si se toma el valor de consumo para población rural, el cual indica la Norma Técnica que es de 200 l/p/d, se obtiene un caudal de agua residual de 1,82 l/s (157,49 m³/día). Comparando ambos resultados con el valor obtenido de los datos proporcionados por la Unidad de GIS (1,50 l/s de agua residual generada en promedio), se puede deducir que la población se tiende a comportar como una población de consumo de dotación rural, pues el valor es más cercano al obtenido del análisis de consumos de las viviendas suministrado por la Unidad de GIS, sin embargo, el caudal obtenido a partir de los datos de consumo por parte de las viviendas de la comunidad, representa un valor más robusto y real de la generación de agua residual, por lo que se trabajará con base a este resultado.

5.2.2 Proyección de población y aumento del caudal de agua residual

Se realizó una proyección de población para la urbanización El Atardecer con el fin de determinar qué tan importante podría ser el factor crecimiento de la población para un futuro diseño. Para este cálculo se toma como base la cantidad de viviendas estimada con los datos de la Unidad GIS de la Municipalidad de Cartago y el promedio de habitantes por

vivienda, obtenido de las encuestas aplicadas en Mayo de 2018 (el cual fue de 3,83 habitantes/vivienda) que es equivalente al proporcionado por los indicadores cantonales del INEC (2011), y tomando un periodo de diseño de 20 años, como indica la Norma Técnica de Diseño del AyA (2017) para plantas de tratamiento.

Para el año 2018 (año base) la población estimada en la Urbanización El Atardecer fue de 984 habitantes, obtenidos según datos de la Unidad GIS de la Municipalidad de Cartago y de la aplicación de encuestas en la comunidad.

Los resultados obtenidos utilizando los distintos métodos de proyección de población, se muestran en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Población proyectada para la Urbanización El Atardecer utilizando diversos métodos

Año	Método de proyección		
	Aritmético (habitantes)	Geométrico (habitantes)	Exponencial (habitantes)
2018	984	984	984
2020	1008	1008	1008
2025	1067	1070	1071
2030	1126	1136	1137
2035	1185	1206	1207
2040	1244	1280	1282

Para el año 2035 y 2040 la proyección de población utilizando el método aritmético difiere de manera considerable respecto a las proyecciones con los métodos geométrico y exponencial (ver Cuadro 5.2), para los cuales a lo largo de los años proyectados no se presenta mayor variación en la cantidad de habitantes estimados. Se puede deducir, que la proyección mediante el método geométrico, se mantiene entre los valores de las proyecciones aritmética y exponencial, por lo tanto, para efectos de comparación se continuará utilizando el resultado obtenido a partir del método geométrico.

La Figura 5.12 muestra de manera gráfica el comportamiento de la población futura

utilizando los tres métodos de proyección de población antes mencionados.

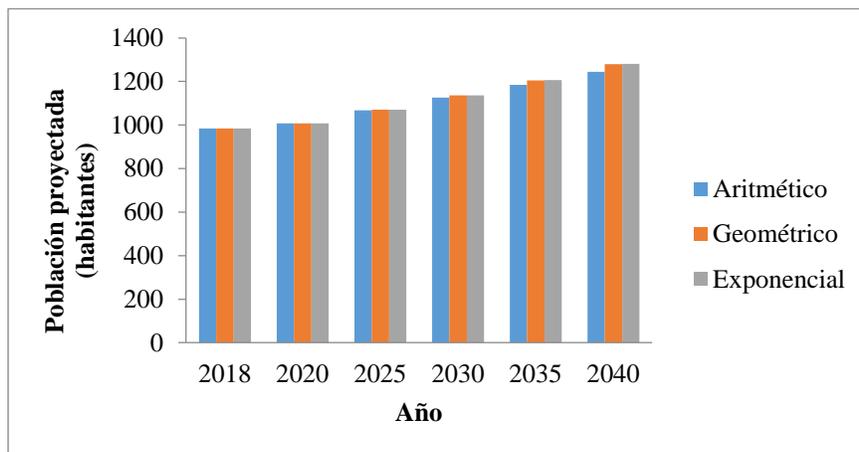


Figura 5.12 Proyección de población en la Urbanización El Atardecer utilizando los distintos métodos de proyección

Partiendo de una población inicial de 984 habitantes aproximadamente (para el año 2018) y tomando como año de construcción del proyecto finales del 2020, se tendría una población estimada de 1280 habitantes en 2040 para la zona del Atardecer (según la proyección utilizada con el método geométrico). Lo anterior implicaría un caudal aproximado de 1,93 l/s de agua residual a tratar para el año 2040 (utilizando la dotación de agua potable obtenida de 163 l/p/d según el consumo actual en la comunidad), generando un porcentaje de incremento respecto al año base (2018, con caudal estimado de 1,50 l/s) de 22,35% en la generación de aguas residuales por parte de la comunidad. Sin embargo, al suponer que la población tendría comportamientos de consumo similares a dotación de población rural (200 l/p/d), el cual es valor que más se acerca a la dotación real obtenida, el caudal aproximado para el año 2040 de agua residual a tratar sería de 2,37 l/s, lo que implicaría un aumento del 58,10% en la generación de aguas residuales por parte de la comunidad.

Cabe destacar, que a pesar de que la zona es urbanizada, la proyección de población se realiza tomando en cuenta que aún hay lotes con opción de construir viviendas en una de las zonas laterales de la Urbanización, además se debe considerar la posibilidad de que la zona se densifique. Aunado a lo anterior, se podría plantear la opción de unir al proyecto viviendas en las zonas más altas e inclusive los nuevos desarrollos urbanísticos cercanos al futuro sitio de instalación del STAR.

5.2.3 Caracterización de las Aguas Residuales de la Comunidad

Las viviendas de la Urbanización El Atardecer cuentan con sistema de tanque séptico y drenaje, ubicado en la mayoría de los casos en la zona posterior de la vivienda. Por lo tanto, la caracterización de las aguas residuales de la comunidad se realiza de manera teórica.

La composición típica del agua residual doméstica cruda, para países en desarrollo según Sperling (2007b) se muestra en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3 Composición típica del agua residual doméstica cruda para países en desarrollo

Parámetro	Carga per cápita g/hab.día			Concentración	
	Rango	Típico	Unidad	Rango	Típico
Sólidos totales	120 - 220	180	mg/l	700 - 1350	1100
Suspendidos	35 - 70	60	mg/l	200 - 450	350
Fijos	7 - 14	10	mg/l	40 - 100	80
Volátiles	25 - 60	50	mg/l	85 - 150	320
Disueltos	85 - 150	120	mg/l	500 - 900	700
Fijos	50 - 90	70	mg/l	300 - 550	400
Volátiles	35 - 60	50	mg/l	200 - 350	300
Sedimentables	-	-	mg/l	10 - 20	15
Materia orgánica					
DBO ₅	40 - 60	50	mg/l	250 - 400	300
DQO	80 - 120	100	mg/l	450 - 800	600
DBO última	60 - 90	75	mg/l	350 - 600	450
Nitrógeno total	6,0 - 10,0	8,0	mg/l	35 - 60	45
Nitrógeno orgánico	2,5 - 4,0	3,5	mg/l	15 - 25	20
Amonio	3,5 - 7,0	4,5	mg/l	20 - 40	30
Nitrito	≈ 0	≈ 0	mg/l	≈ 0	≈ 0
Nitrato	0,0 - 0,3	≈ 0	mg/l	0 - 2	≈ 0
Fósforo	0,7 - 2,5	1	mg/l	4 - 15	7
Fosforo orgánico	0,7 - 1,0	0,3	mg/l	1 - 6	2
Fósforo inorgánico	0,5 - 1,5	0,7	mg/l	3 - 9	5
pH	-	-	-	6,7 - 8,0	7
Alcalinidad	20 - 40	30	mg/l	100 - 250	200
Grasas y aceites	10 - 30	20	mg/l	55 - 120	110

Fuente: Adaptado de Sperling (2007) y Centeno (2011)

Al comparar con los resultados obtenidos en un estudio realizado por Picado (2016), sobre la evaluación físico-química de sistemas de tratamiento individuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, se obtiene de su estudio que el rango de concentración para el parámetro de sólidos suspendidos totales en tanques sépticos de los apartamentos estudiados es de 48 - 1493 mg/L, para el condominio el rango fue de 64 – 440 mg/L y para una casa de habitación fue de 155 – 1700 mg/L, mientras que para el parámetro de DBO₅ el rango obtenido en tanque séptico de los apartamentos es de 84,75 – 793,33 mg/L, para el condominio se obtuvo 106,90 – 828,89 mg/L y para la casa de habitación 639 – 977 mg/L.

Comparando los rangos obtenidos en el estudio de Picado (2016) con los planteados por Sperling (2007), se puede apreciar que para ambos parámetros (SST y DBO₅) los rangos de concentración superan el valor máximo del rango que establece la literatura. Sin embargo, la autora aclara que para el caso de los apartamentos y condominios en estudio, los valores promedio de muestreos obtenidos en el estudio se encuentran entre los rangos teóricos para aguas residuales domésticas, mientras que para la casa de habitación se supera el valor en las concentraciones de ambos parámetros, debido a que el agua residual de entrada no se encuentra diluida y recibe solamente aguas de los inodoros, mientras que en los otros dos sitios (apartamentos y condominios) se encuentran mezcladas las aguas negras con las aguas grises, y que además, el flujo de entrada al sistema de la casa es menor comparado con los otros dos sistemas en estudio. Otra de las razones que podría explicar los rangos un poco más amplios respecto a los valores de la literatura, es que al tener caudales de entrada tan pequeños, una descarga hecha puede marcar la diferencia.

Para la Urbanización El Atardecer, las aguas a tratar serían diluidas (como el caso de los condominios y apartamentos en el estudio descrito anteriormente), pues incluiría las aguas negras (de servicios sanitarios) y las aguas grises producto de actividades domésticas, por lo que conviene utilizar los rangos de concentración de parámetros establecidos por la literatura, ya que son menos amplios y trabajan valores promedio, mientras que los rangos del estudio hecho por Picado (2016) utilizan valores pico obtenidos en los muestreos, que podrían venir a sobredimensionar el diseño del STAR.

5.2.4 Análisis de la estructura de la antigua Fábrica de Gelatinas de la zona y futura área del STAR

La Municipalidad de Cartago tiene como proyecto la opción de compra de un terreno cercano a la comunidad del Atardecer, para realizar la futura planta de tratamiento de aguas residuales. Este terreno, corresponde a la antigua fábrica de gelatinas de Cartago, la cual dejó de tener operaciones hace más de 25 años. Según Barrios (2010), la industria de la gelatina utilizó un tratamiento químico para la extracción del componente activo, sin embargo, la planta fue diseñada para un tratamiento biológico aerobio. Lo cual se ha evidenciado en las visitas realizadas al sitio.

Al realizar el recorrido por las instalaciones, se apreció el estado de abandono de las mismas y el deterioro de algunas secciones específicas como las bodegas, recintos y algunas zonas de los tanques o piletas. Para entender más a fondo la situación actual de la estructura, se realizó un análisis visual y mediciones de las dimensiones de los tanques. Se obtuvo colaboración por parte de Danny Quesada, de la carrera de Ingeniería en Construcción, para obtener información del estado actual de algunas de las estructuras. Los resultados obtenidos se resumen y discuten en esta sección.

La estructura de la antigua fábrica de gelatinas está compuesta por dos bloques principales de tanques, que funcionaron años atrás para el tratamiento químico en la planta, como se aprecia en la Figura 5.13



Figura 5.13 Vista aérea de la zona principal de tanques de la antigua fábrica de gelatinas, Quircot, Cartago (Abril, 2018)

La estructura Este de la planta (tanques de la derecha en la Figura 5.13), cuenta con 12 piletas o tanques principales, de los cuales 6 se dividen para formar pequeños tanques, dando como resultado un total de 18 tanques con posible potencial de aprovechamiento para el futuro sistema de tratamiento. Esta serie de tanques esta subdividido en tres bloques o grupos. El grupo 1 corresponde a los 3 primeros tanques, el grupo 2 corresponde a los siguientes 4 tanques, y el último grupo a los siguientes 5 tanques subdivididos. Cada grupo de tanques está a un nivel inferior de 2 metros con respecto al grupo de tanques anterior, como se aprecia en la Figura 5.14, lo cual favorecería el trasiego del agua residual durante el proceso de tratamiento.

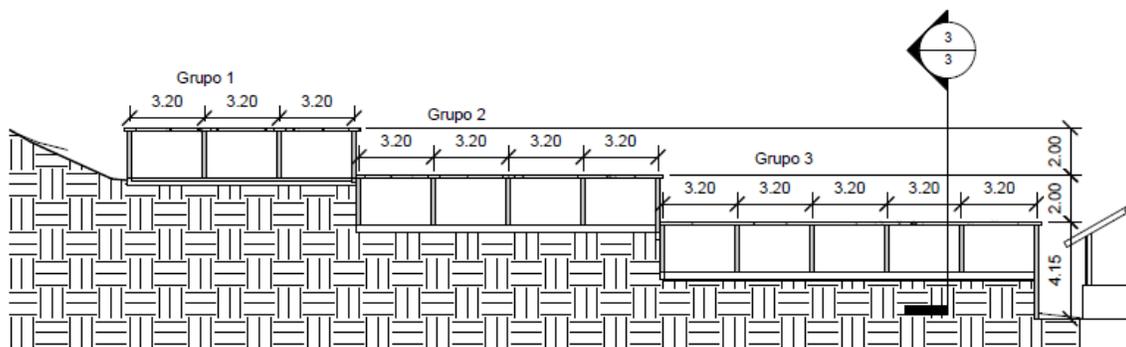


Figura 5.14 Representación de los grupos de tanques del sector Este de la antigua fábrica de gelatinas. Fuente: Quesada (2018)

Al realizar un análisis visual del primer grupo (grupo 1, según Figura 5.14), se observó que el concreto presenta cierto desgaste producto de la exposición a condiciones ambientales y del estado de abandono de la estructura, las paredes de los tanques aparentan tener repello y cada tanque cuenta con vigas en sus bordes superiores. La estructura presenta mucha suciedad producto del abandono, sin embargo, la misma se podría remover fácilmente. Los tanques que conforman este grupo se pueden visualizar en la Figura 5.15.



Figura 5.15 Estructuras del grupo 1 de tanques

Con respecto a este primer grupo de tanques, se obtiene un volumen máximo aproximado de $57,36 \text{ m}^3$ por unidad, sin embargo, se debe contemplar el borde libre de los tanques para el tratamiento de aguas residuales, por lo que este no es el volumen máximo aprovechable en un futuro sistema de tratamiento. Según análisis del estudiante Danny Quesada, este grupo de tanques es apto para contener carga por debajo de 1,65 m de altura de agua a tratar, lo cual permitiría un borde libre de 35 cm en esta sección de tanques. Recalculando el volumen con una altura inferior a 1,65 m como se recomienda, se obtendría un valor de $45,88 \text{ m}^3$ (con altura de 1,60 m, la cual se seguirá utilizando para efectos de cálculos) por tanque, dando un total de $137,64 \text{ m}^3$ de agua residual que se podría distribuir en el grupo 1 de tanques. Barrios (2010), indica que estas estructuras se pueden visualizar para una planta

de tratamiento de lodos activados, donde en cada pileta se puede oxigenar por medio de difusores de aire y el caudal total se distribuiría en las diferentes piletas, obteniendo tiempos de retención de 24 horas. Las dimensiones de esta sección de tanques, se resumen en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4 Dimensiones aproximadas del grupo 1 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas

Variable	Dimensión aproximada
Largo	9,56 m
Ancho	3,00 m
Alto	2,00 m
Volumen	57,36 m ³

Para el grupo 2, compuesto por las siguientes cuatro estructuras de tanques (ver Figura 5.14), se presentan condiciones similares a las estructuras del grupo 1, como desgaste en algunas partes de las paredes y en las vigas superiores de los tanques, de igual manera la estructura presenta suciedad producto del abandono de las instalaciones, sin embargo, la misma se podría remover fácilmente. En la Figura 5.16 se puede observar la estructura conformada por esta sección de tanques.



Figura 5.16 Estructuras del grupo 2 de tanques

Con respecto a las dimensiones de este grupo de tanques, los tres primeros presentan condiciones muy similares a los del grupo 1, mientras que el cuarto tanque se divide en dos secciones (una sección rectangular de dimensiones más pequeñas que los primeros tres tanques y una sección cuadrada de menor capacidad). Las dimensiones para el grupo 2 de tanques de la antigua fábrica de gelatinas se muestran en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5 Dimensiones aproximadas del grupo 2 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas

Variable	Dimensión aproximada		
	Tanque 1 - 3	Tanque 4	
		Sección rectangular	Sección cuadrada
Largo	9,56 m	6,46 m	2,95 m
Ancho	3,00 m	2,95 m	2,95 m
Alto	2,00 m	2,00 m	2,00 m
Volumen	57,36 m ³	38,11 m ³	17,40 m ³

Al recalcular el volumen para los tres primeros tanques de la sección, tomando en cuenta la recomendación de carga por tanque indicada por Quesada (2018), se obtendría un volumen de 45,89 m³ por tanque (137,67 m³ totales distribuidos en los tres tanques). El cuarto tanque, se encuentra dividido por una pared de mampostería (la cual pareciera no ser parte del diseño original y que fue agregada posteriormente) formando así dos tanques, uno de sección rectangular y otro de sección cuadrada, como se indicó anteriormente. Sin embargo, Quesada (2018) recomienda demoler esta sección divisoria y aprovechar la forma del tanque original (rectángulo grande de dimensiones similares a los tanques 1 – 3 de la sección), lo que permitiría obtener un volumen aproximado aprovechable de 44,41 m³ para el cuarto tanque. De esta manera, el grupo 2 de tanques podría contar con una capacidad total aproximada de 182,10 m³ de agua residual a tratar distribuida en los 4 tanques.

Con respecto al grupo de tanques número 3, esta sección está compuesta por un grupo de 10 tanques, conformados por pares de cinco tanques rectangulares y cinco tanques cuadrados. Presentan condiciones similares a los tanques del grupo 1 y 2, como el desgaste en paredes y en vigas superiores, y condición de suciedad en las estructuras. La distribución de este grupo de tanques se muestra en la Figura 5.17



Figura 5.17 Estructuras del grupo 3 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas

Para los tanques de la sección cuadrada se obtiene un volumen máximo aprovechable de 18 m^3 por sección, mientras que para las secciones rectangulares se obtiene un volumen máximo de $38,1 \text{ m}^3$ aproximadamente. Sin embargo, según Quesada (2018), se recomienda demoler las paredes divisorias de esta sección de tanques (las cuales son de mampostería y aparentar no ser parte de la estructura original), e indica que este grupo de tanques es apto para contener carga por debajo de $1,65 \text{ m}$ de altura de agua, lo cual permitiría un borde libre de 35 cm como en el caso de los tanques del grupo 1 y 2. De esta manera, si se toma en cuenta la demolición de la pared divisoria, quedaría la sección conformada por los 5 tanques rectangulares similares en dimensiones a los del grupo 1 y 2. Por lo tanto, al recalcular el volumen con una altura inferior a $1,65 \text{ m}$ según lo recomendado, se obtendría un valor de $45,12 \text{ m}^3$ por tanque (con altura de $1,60 \text{ m}$ y tomando un largo de $9,40 \text{ m}$ por estructura), dando un total de $225,60 \text{ m}^3$ de agua residual que se podría distribuir en el grupo 3 de tanques.

Las dimensiones actuales para la sección 3 de tanques, se resumen en el Cuadro 5.6.

Cuadro 5.6 Dimensiones aproximadas del grupo 3 de tanques en la antigua fábrica de gelatinas

Variable	Dimensión aproximada	
	Sección cuadrada	Sección rectangular
Largo	3,00 m	6,41 m
Ancho	3,00 m	3,00 m
Alto	2,00 m	2,00 m
Volumen	18,00 m ³	38,10 m ³

En cuanto a los tanques de la sección Oeste de la antigua fábrica de gelatinas, se presentan tres filas escalonadas de estanques, compuesta cada una por 4 estructuras. Estas estructuras presentan desgaste en el cemento, algunas de las paredes contienen grietas, exteriores sin repello y todas cuentan con abundante suciedad producto del abandono. La distribución de esta estructura, se puede apreciar en la Figura 5.18.

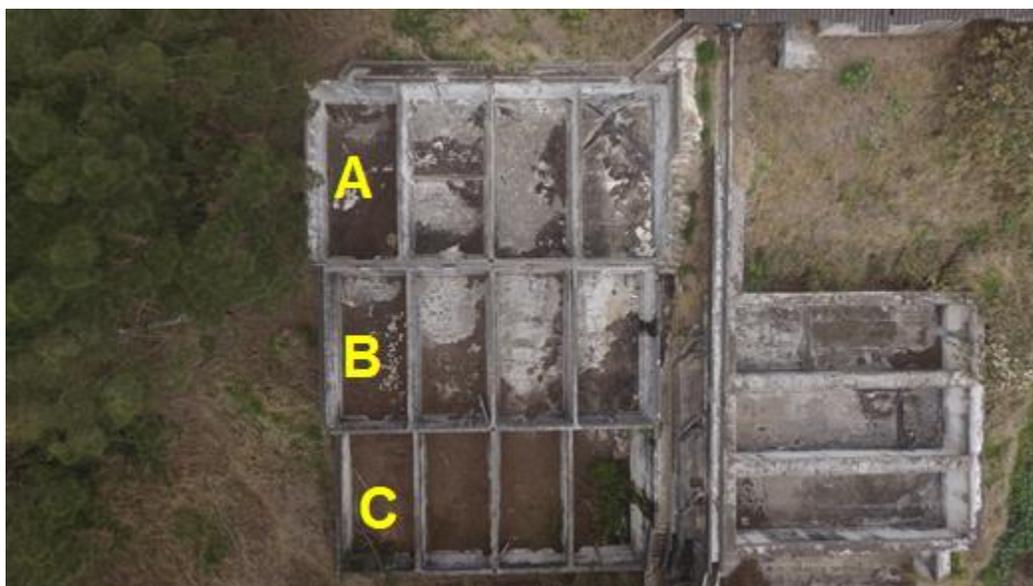


Figura 5.18 Vista aérea de la zona Oeste de tanques de la antigua fábrica de gelatinas, Quircot, Cartago

Para la sección A (ver Figura 5.18) se tendría una capacidad total aproximada de 93,15 m³ distribuidos en los 4 tanques (28,28 m³ por tanque considerando un borde libre de 40 cm), para la sección B la capacidad sería de 102,06 m³ distribuidos en las 4 tanques y para la sección C una capacidad total aproximada de 97,2 m³ (24,3 m³ por tanque). Barrios (2010), indica que estas estructuras son aptas para un sistema de tratamiento de lodos sépticos por

la profundidad de sus piletas, ya que funcionarían como digestores de aguas residuales pre-tratadas, y su forma escalonada permitiría movilizar los líquidos por gravedad. Sin embargo, Quesada (2018) recomienda no aplicar carga en las paredes de los tanques debido a falta de pruebas de funcionalidad estructural e hidráulicas en las estructuras, pues los laboratorios consultados indicaron que no se pueden hacer pruebas en paredes de bloques de concreto. Por esta razón, la funcionalidad de esta sección se ve limitada para un futuro sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto se podría incluso analizar la opción de demoler la sección y darle otro aprovechamiento al sitio en específico.

Con respecto a la configuración de llenado de tanques, para la sección conformada por las estructuras ubicadas en el sector Este (tanques con potencial de aprovechamiento para un futuro sistema de tratamiento de aguas residuales “ver Figura 5.14”), en un estudio de Quesada (2018) donde toma en cuenta el centro de rigidez de las estructuras, recomienda las configuraciones que se muestran en la Figura 5.19, donde el rectángulo de color representa un tanque lleno, las configuraciones celestes son recomendadas y las configuraciones en rojo no se recomiendan.

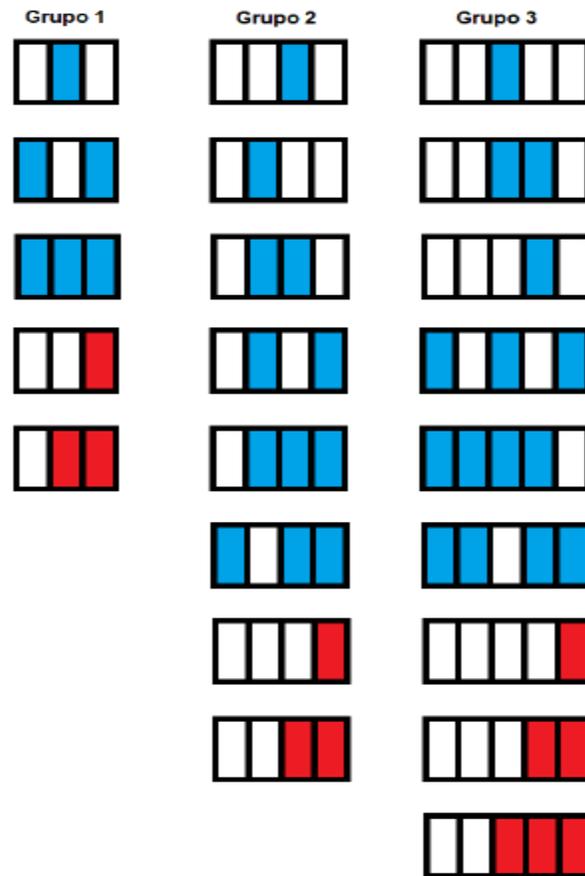


Figura 5.19 Configuración de tanques llenos en los distintos grupos de tanques.
Fuente: Quesada (2018)

El primer grupo de tanques permitiría hacer un uso completo de la estructura para el tratamiento de las AR, mientras que para el grupo 2 y 3, se debe dejar al menos un tanque sin carga hidráulica en cada caso y respetando la configuración de llenado propuesta.

5.2.5 Propuesta y comparación de sistemas

Parte de las limitantes para proponer diversos sistemas de tratamiento en el sitio es la existencia de infraestructura actual en la planta, la cual se pretende aprovechar para instalar el STAR.

Uno de los sistemas propuestos para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad es el sistema de lodos activados aireación extendida, el cual es el sistema elegido y propuesto por la Municipalidad de Cartago para tratar las aguas residuales de la Urbanización El Atardecer. El sistema alternativo propuesto en el estudio, es un reactor UASB

y la opción UASB con filtro anaerobio como pos tratamiento, los cuales podrían adaptarse a las condiciones actuales de terreno realizando algunas modificaciones en el mismo.

En el Cuadro 5.7 se muestra la comparación de algunos aspectos importantes a considerar para estos sistemas.

Cuadro 5.7 Comparación de aspectos relevantes de los sistemas de tratamiento propuestos

Parámetro	Lodos activados Aireación extendida	Reactor UASB	Reactor UASB + Filtro anaerobio (pos tratamiento)	
% Eficiencia de remoción ¹	DBO ₅	90 - 97	60 - 75	75 - 87
	DQO	83 - 93	55 - 70	70 - 80
	SS	87 - 93	65 - 80	80 - 90
	Nitrógeno	< 60	< 60	< 60
	Fósforo	< 35	< 35	< 35
Resistencia a cargas choque ²	Caudal	Alta	Baja	Baja
	Calidad	Alta	Baja	Baja
	Tóxicos	Media	Baja	Baja
Costo ^{1,2}	Inversión inicial*	Alta	Media	Media
	Operación	Alta	Baja	Baja
	Mantenimiento	Alta	Baja	Baja
Lodos y olores ^{1,2}	Producción de lodos	Alta	Baja	Media
	Producción de olores	Sin Producción	Alta	Media
Adaptabilidad ³	Adaptabilidad en infraestructura existente	Muy fácilmente adaptable	Adaptable	Adaptable

Fuente: 1. (Sperling, 2007), 2. (Centeno, 2011), 3. Datos de campo, 2018. * Inversión inicial suponiendo la no existencia de infraestructura actual en el terreno

Algunas de las ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento mencionados se muestran en el Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8 Principales ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento comparados

	Ventajas	Desventajas
Lodos Activados Aireación Extendida	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia de eliminación de DBO. Variante con la mayor eficiencia de eliminación de DBO • Nitrificación consistente • Es posible la eliminación biológica de N y P • Conceptualmente más simple que el lodo activado convencional (operación más simple) • Producción de lodo más baja que el lodo activado convencional • Digestión de lodos en el propio reactor • Alta resistencia a variaciones de carga y cargas tóxicas • Independencia satisfactoria de las condiciones climáticas • Posibilidades reducidas de malos olores, insectos • Flexibilidad operacional • Bajos requerimientos de tierra 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia de remoción de coliformes • Costos de construcción y operación elevados • Alto consumo de energía • Alto nivel de mecanización (aunque menos que el lodo activado convencional) • Se requiere espesamiento / deshidratación y disposición final del lodo
Reactores UASB	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de eliminación de DBO razonable • Bajos costos de construcción y operación • Tolerancia a influencias altamente concentradas en materia orgánica • Prácticamente sin consumo de energía • Posibilidad de uso energético del biogás • Medio de soporte no requerido • Construcción, operación y mantenimiento simples • Producción de lodos muy baja • Estabilización de lodos en el propio reactor • Lodos con buena deshidratabilidad • El lodo requiere solo deshidratación y disposición final • Arranque rápido después de períodos sin uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para cumplir con los estándares de descarga restrictivos • Baja eficiencia de remoción de coliformes • Prácticamente sin eliminación de N y P • Posibilidad de generar un efluente de aspecto desagradable • Posibilidad de generación de malos olores, aunque puede ser controlable • El arranque inicial es generalmente lento (pero puede acelerarse con el uso de la siembra de lodos) • Relativamente sensible a las variaciones de carga y compuestos tóxicos • Generalmente necesita pos tratamiento

Continuación del Cuadro 5.8

	Ventajas	Desventajas
UASB + Filtro Anaerobio	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor eficiencia de eliminación de DBO comparado con el UASB convencional • Bajos requisitos de tierra • Bajos costos de construcción y operación • Tolerancia a influencias altamente concentradas en materia orgánica • Prácticamente sin consumo de energía • Construcción, operación y mantenimiento simples • Producción de lodos baja • Arranque rápido después de períodos sin uso (preservación de la biomasa durante varios meses) 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia de remoción de coliformes • Prácticamente sin eliminación de N y P • Posibilidad de generación de malos olores, aunque puede ser controlable • Sensible a compuestos tóxicos • Requiere medio de soporte para el Filtro Anaerobio

Fuente: Adaptado de Sperling (2007)

De la información suministrada en los Cuadros 5.7 y 5.8 se puede deducir que el sistema de Lodos Activados Aireación Extendida es el que presenta mayores niveles de eficiencia en la remoción de materia orgánica y de sólidos suspendidos acarreados por el agua residual, además, presenta mayor resistencia a cargas choque de caudal y calidad en el afluente de aguas residuales, sin embargo, sus costos de operación tienden a ser elevados. Con respecto a los sistemas UASB y UASB con filtro anaerobio como pos tratamiento, presentan niveles más deficientes en la remoción de materia orgánica y de sólidos suspendidos, tienen baja tolerancia a cargas choque tanto en el caudal como en la calidad del agua residual afluente al sistema, pero como contraparte, sus costos de operación tienden a ser relativamente bajos.

Otro de los aspectos importantes en comparación y quizá uno de los más decisivos, es la facilidad de adaptación del futuro STARs a las condiciones actuales del terreno donde se cuenta con infraestructura que podría ser utilizada en el proceso de tratamiento de las aguas residuales (infraestructura presente en la antigua fábrica de gelatinas de la zona, según lo discutido en secciones anteriores).

Para un proceso de tratamiento utilizando el sistema de Lodos Activados Aireación Extendida, la infraestructura actual se adapta muy fácilmente al sistema, debido a que los tanques existentes y con potencial de aprovechamiento se ajustan perfectamente a cada una de las fases del tratamiento sin tener que realizar mayores modificaciones en los mismos, lo cual tendría efecto positivo en los costos de inversión inicial. Entre las modificaciones iniciales implementando este sistema se encuentran; reforzamiento de tanques (repellos, impermeabilizantes, entre otros), modificaciones leves en algunos tanques y equipamiento necesario de los mismos para la puesta en marcha del sistema.

Con respecto a un sistema de tratamiento utilizando reactores UASB o la opción UASB con Filtro Anaerobio como pos tratamiento, la infraestructura actual podría ser aprovechable, sin embargo, los tanques actualmente construidos requerirían de mayores modificaciones en las estructuras internas y externas (construcción de tolvas y separadores trifásicos, infraestructura interna para medios de soporte en caso del filtro anaerobio, deflectores, incremento considerable de la altura de los tanques, entre otros), sumado al reforzamiento de tanques (repellos, impermeabilizantes) y equipamiento necesario de los mismos para la puesta en marcha del sistema, lo cual vendría a incrementar los costos de inversión inicial pues se requeriría de mayores modificaciones y además representaría mayor complejidad constructiva en la implementación del sistema.

Otro aspecto a considerar es la facilidad de aumentar la capacidad del STARs para un crecimiento poblacional futuro. Utilizando el sistema de Lodos Activados Aireación Extendida, las condiciones actuales del terreno permiten dejar infraestructura prevista para aumentar la capacidad del STARs sin modificar considerablemente la línea de secuencia de operaciones en el sistema de tratamiento, además, el sistema cuenta con la ventaja de

resistencia a aumentos de caudal (o cargas choque), por lo que no estaría limitado al crecimiento poblacional. No obstante, al considerar un sistema UASB o su variante UASB con FAFa como pos tratamiento, habría que realizar cambios considerables en la línea de secuencia de operaciones del sistema de tratamiento y este tipo de sistemas tienen baja resistencia a cargas choque de caudal, por lo tanto, se vería limitado hasta cierto punto al aumento poblacional.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los niveles de eficiencia en remoción de contaminantes (materia orgánica, sólidos suspendidos), la resistencia a cargas choque (caudal y contaminantes), las condiciones de infraestructura aprovechables (existentes actualmente en el futuro terreno del sistema de tratamiento) y la solicitud inicial de la Municipalidad de Cartago, el sistema electo para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad El Atardecer es el de Lodos Activados Aireación Extendida.

5.3 DISEÑO DEL SISTEMA SELECCIONADO

La memoria de cálculo del sistema seleccionado se encuentra en el Apéndice 8. De la Figura 5.20 a 5.30 se presentan el diagrama de flujo, vistas en planta y cortes de las unidades propuestas utilizando la infraestructura actual de la Antigua Fábrica de Gelatinas.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL STAR

SIN ESCALA

SIMBOLOGIA :

LINEAS NEGRAS: AGUAS RESIDUALES

LINEAS VERDES: AIRE A BAJA PRESIÓN

LINEAS ROJAS: RECIRCULACIÓN DE LODOS Y LIXIVIADO DE LECHOS DE SECADO

LINEAS GRIS: AGUAS RESIDUALES TRATADAS

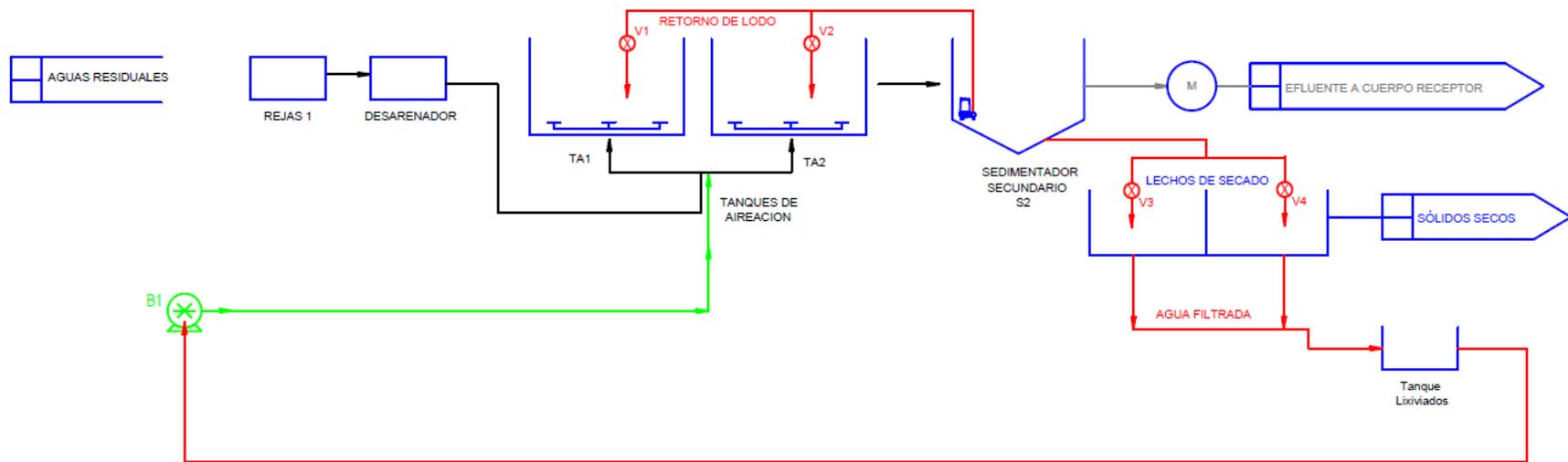


Figura 5.20 Diagrama de flujo del STAR propuesto para la comunidad del Atardecer

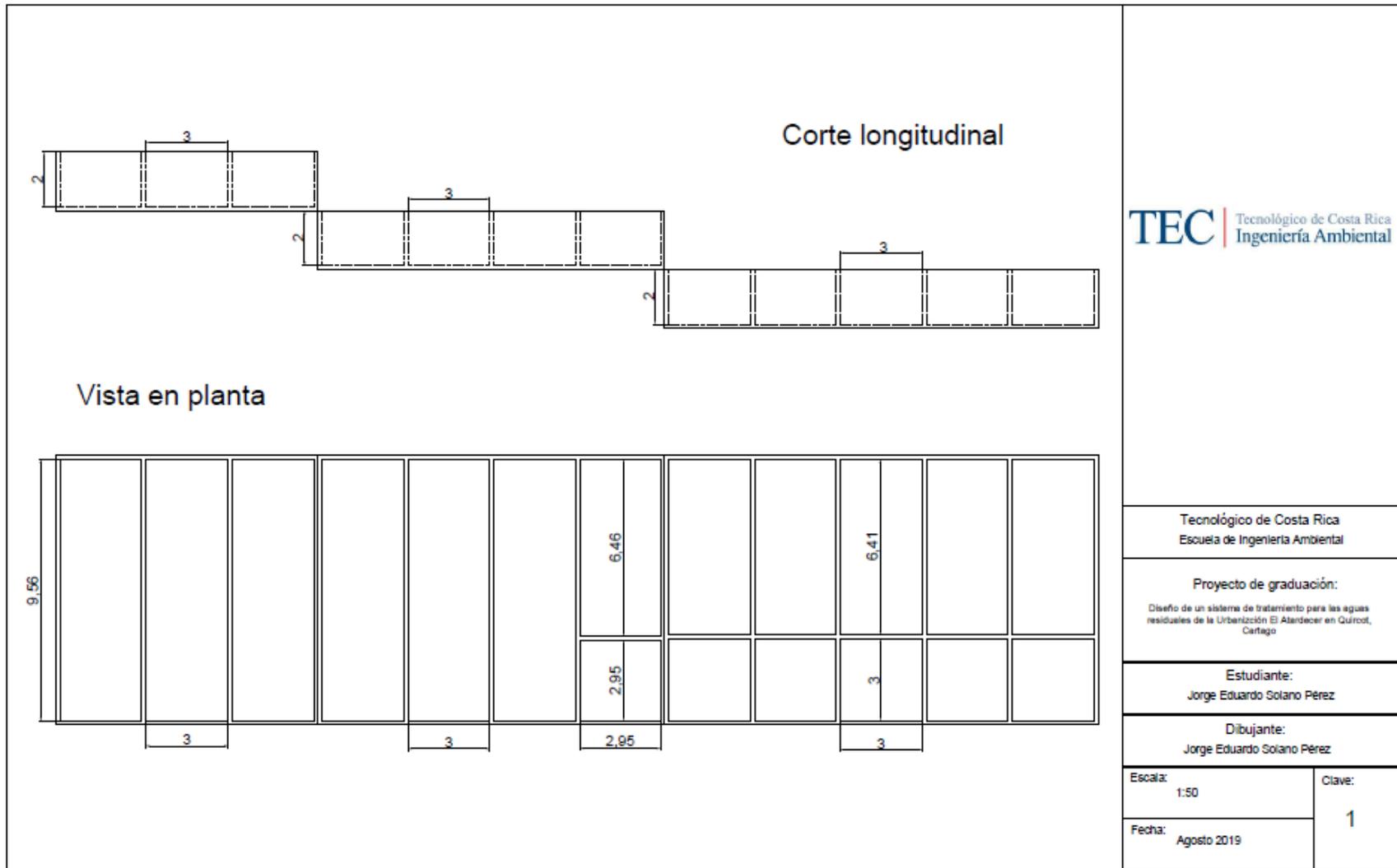
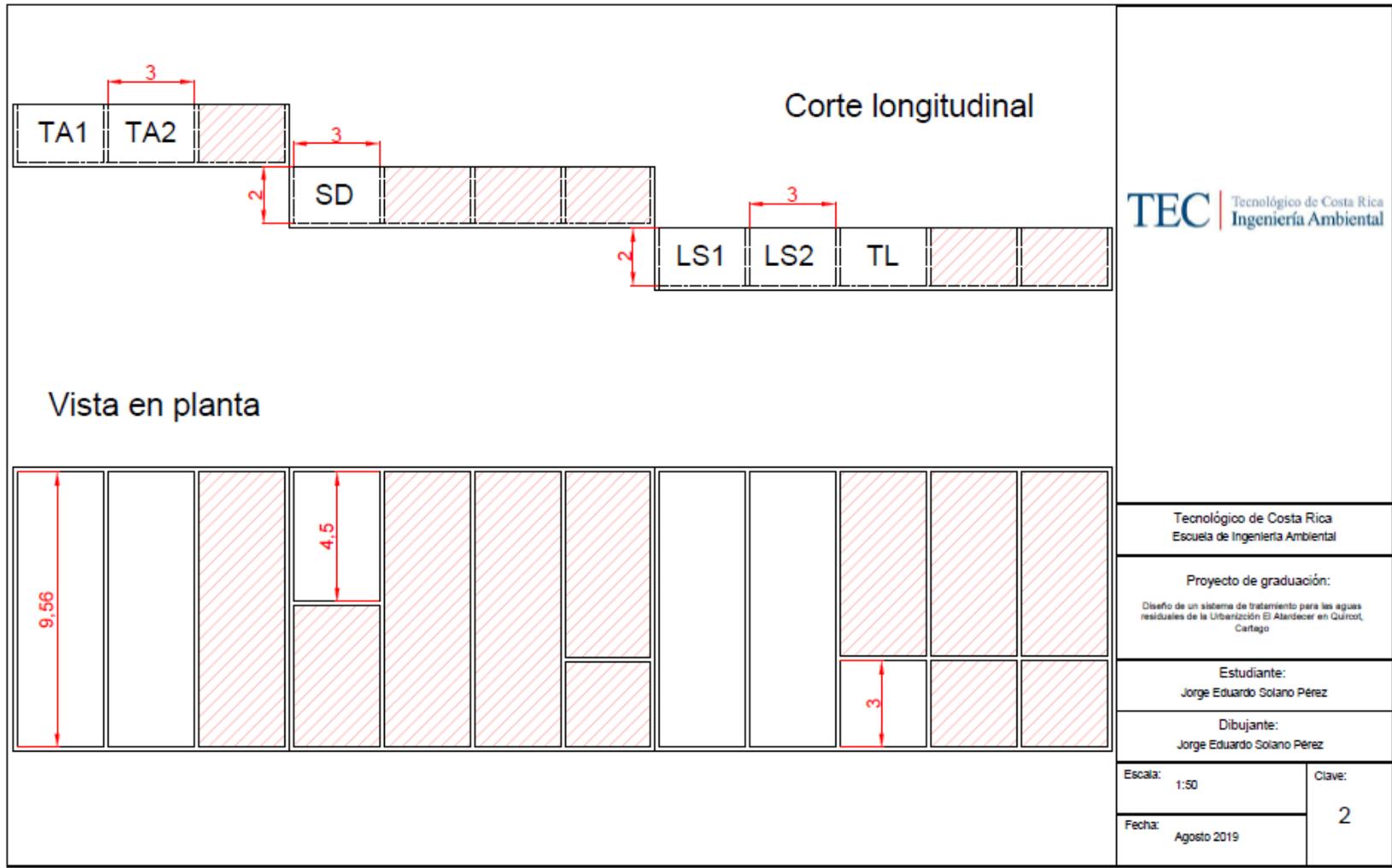


Figura 5.21 Vistas de la estructura actual de tanques aprovechables para el STAR



*Con TA = tanque de aireación, SD = Sedimentador secundario, LS = Lechos de secado, TL = Tanque recolector de lixiviados de los lechos de secado

Figura 5.22 Estructura de tanques de la antigua Fábrica de Gelatinas adaptada para el STAR

REJILLA

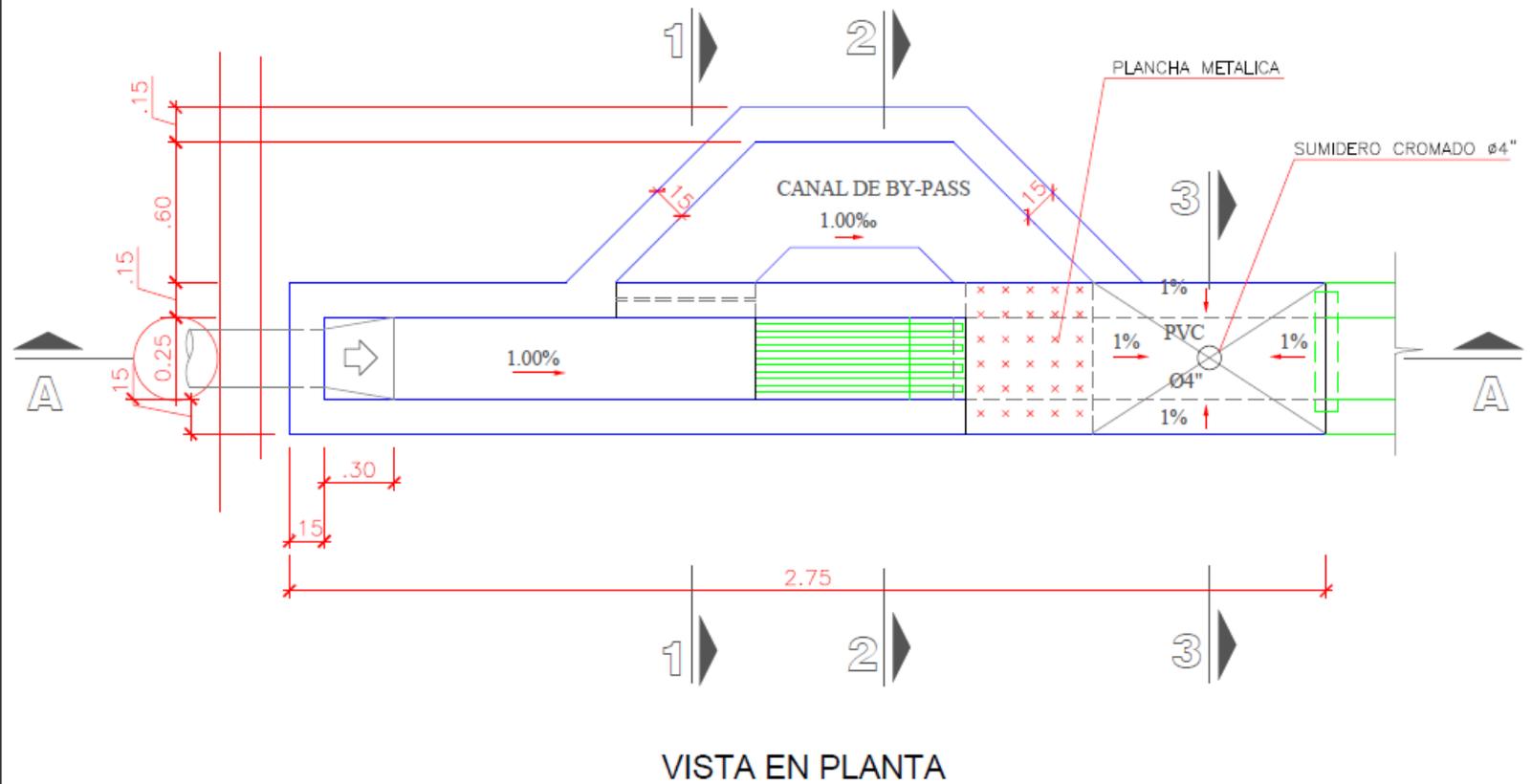


Figura 5.23 Vista en planta del diseño de la rejilla de entrada de agua residual al STAR

DESARENADOR

VISTA EN PLANTA

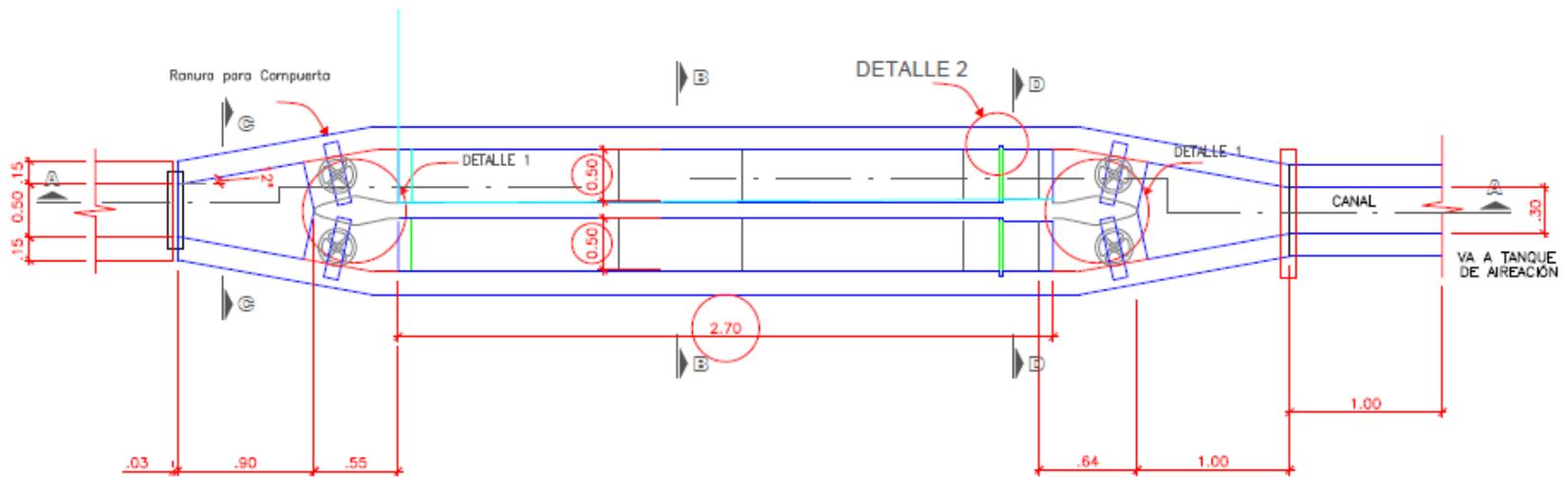


Figura 5.24 Vista en planta del desarenador del STAR

DESARENADOR

CORTE LONGITUDINAL

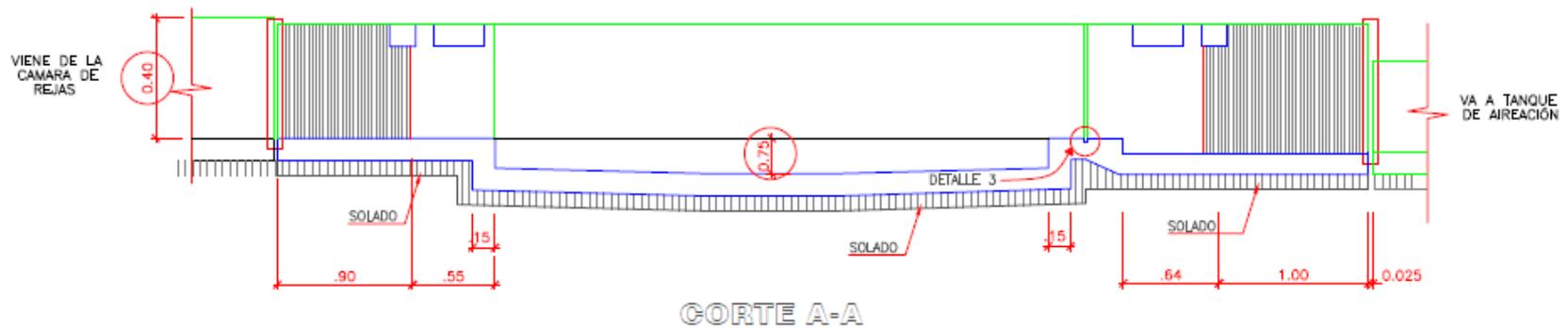


Figura 5.25 Vista del corte longitudinal del desarenador del STAR

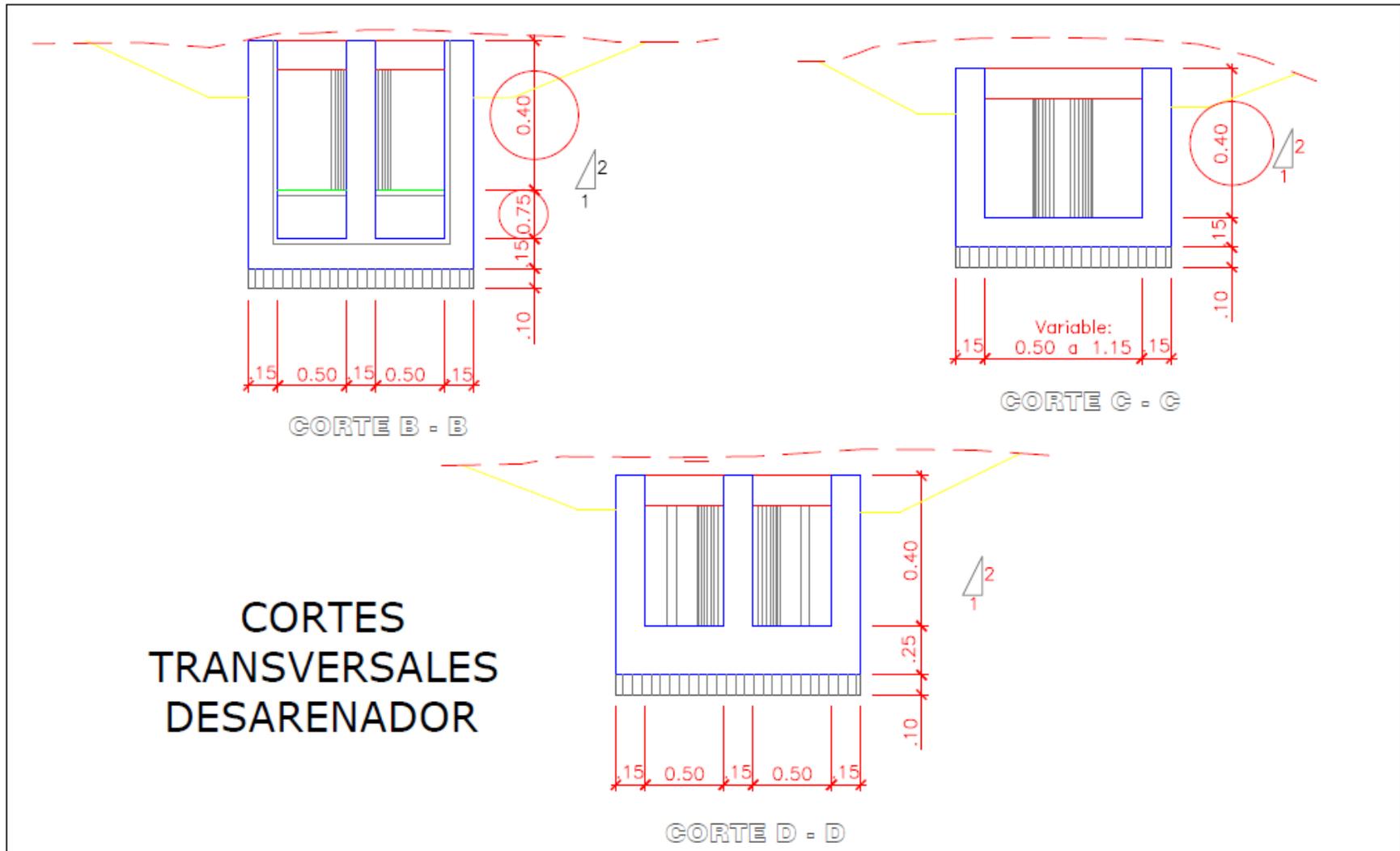


Figura 5.26 Vista de cortes transversales del desarenador del STAR

Tanques de aireación

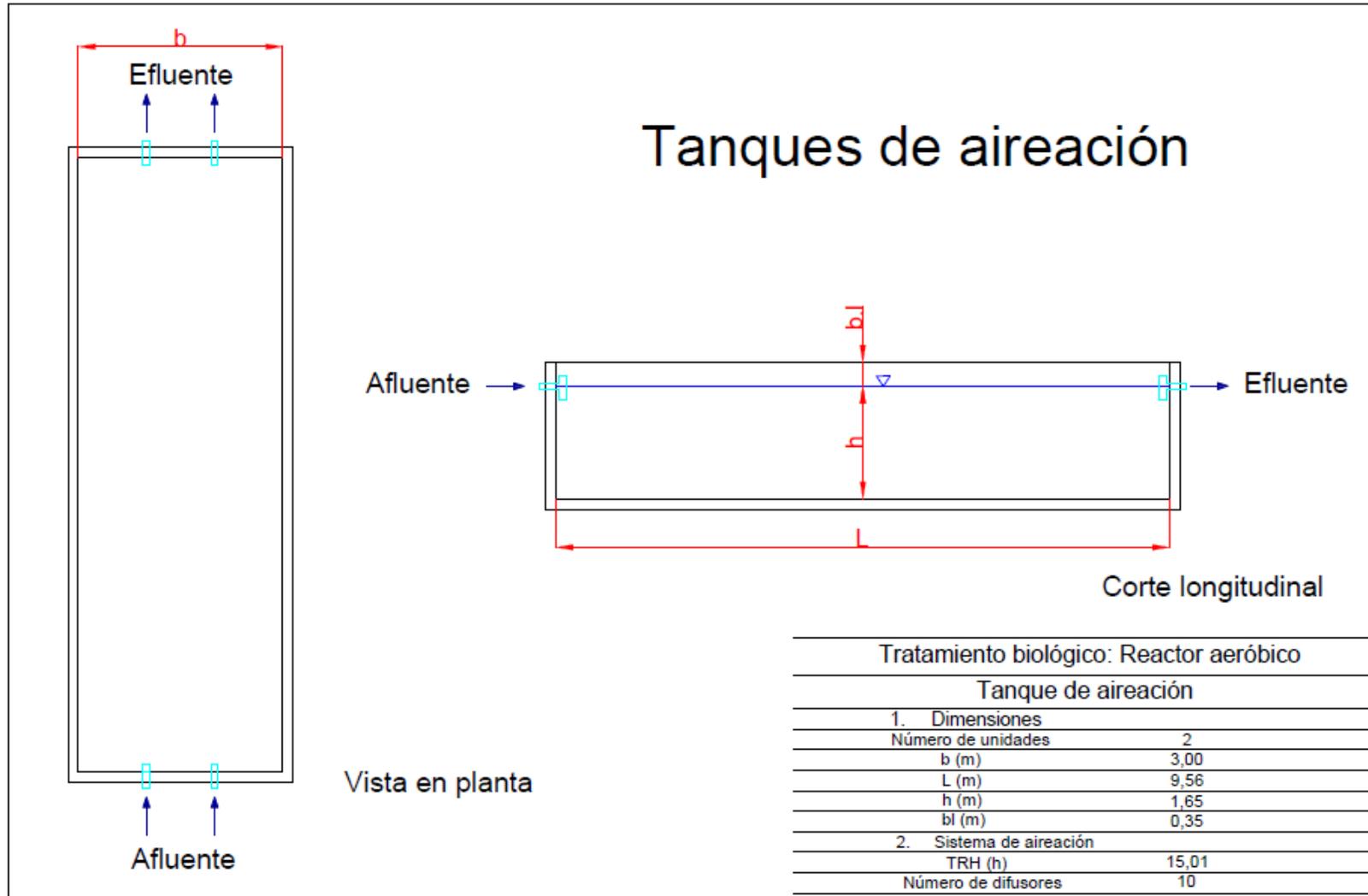
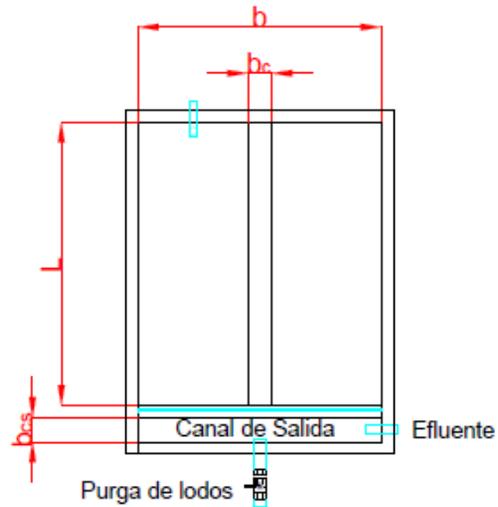
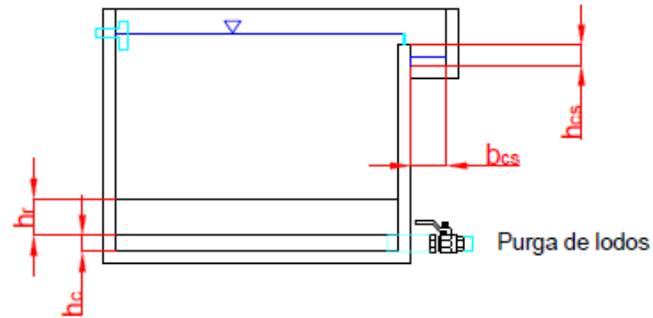


Figura 5.27 Vistas y dimensiones del diseño de los tanques de aireación

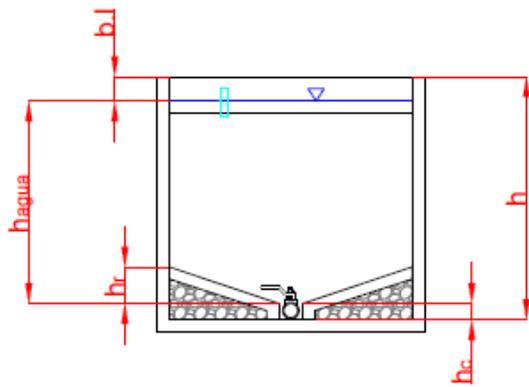
Sedimentador Secundario



Vista en planta



Corte longitudinal



Corte transversal

Sedimentador Secundario	
1. Dimensiones	
Número de unidades	1
b (m)	3,00
b _c (m)	0,30
b _{cs} (m)	0,30
L (m)	3,50
h (m)	3,00
h _c (m)	0,20
h _{agua} (m)	2,50
h _r (m)	0,45
b.l (m)	0,30
h _{cs} (m)	0,25
2. Otros Parámetros	
TRH (h)	4.51

Figura 5.28 Vistas y dimensiones del diseño del sedimentador secundario

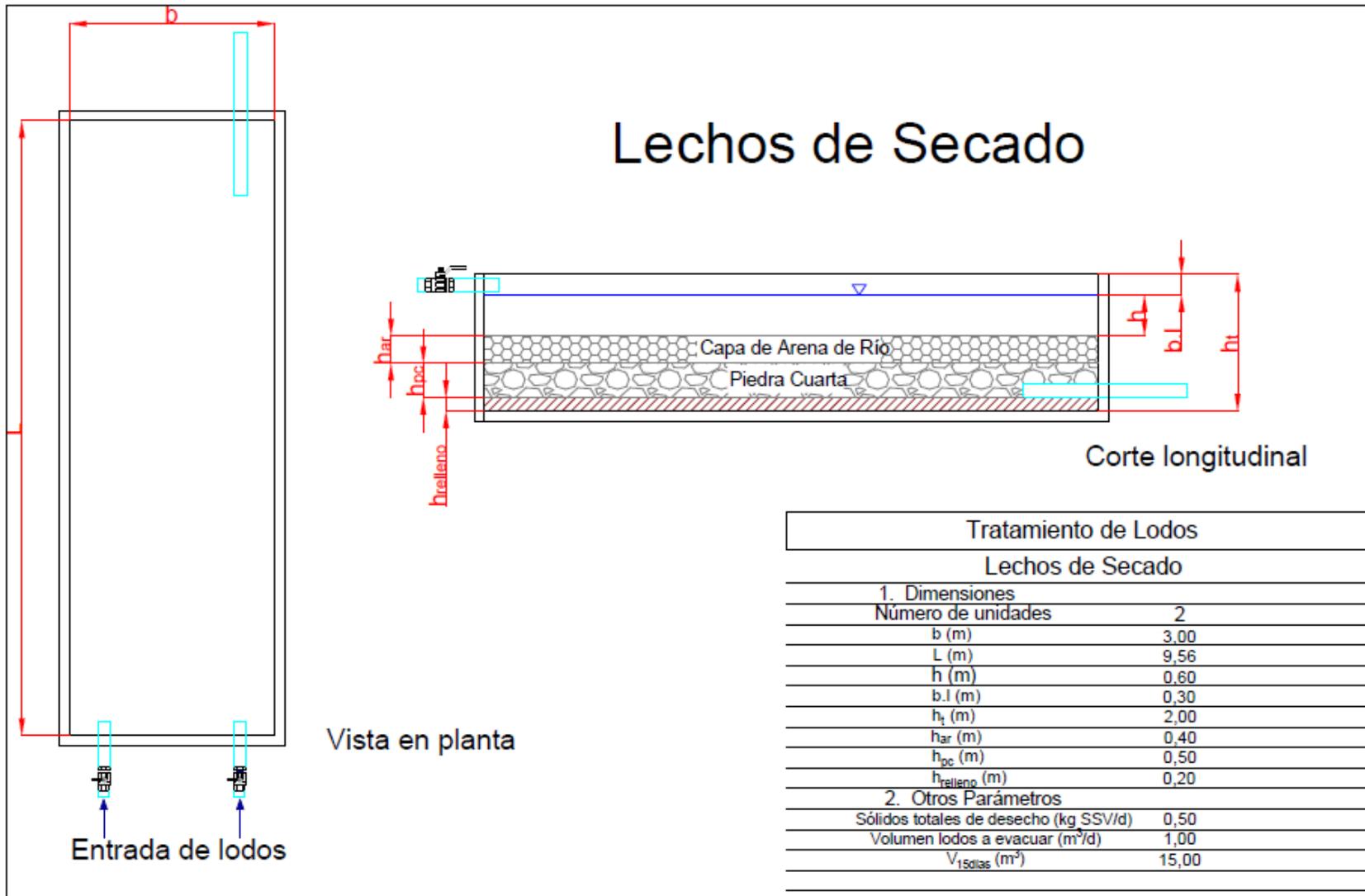
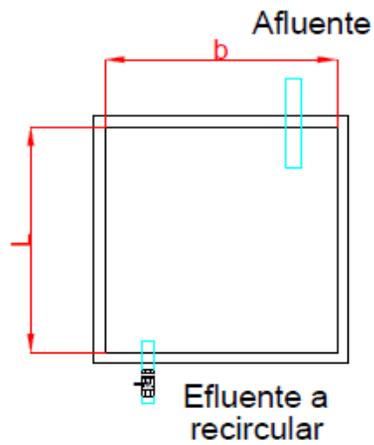


Figura 5.29 Vistas y dimensiones del diseño de los lechos de secado

Tanque Lixiviado de Lechos



Vista en planta



Corte longitudinal

Tanque Lixiviado de Lechos	
1. Dimensiones	
Número de unidades	1
h (m)	3,00
L (m)	3,00
b (m)	3,00

Figura 5.30 Vistas y dimensiones del diseño del tanque recolector de lixiviados de los lechos de secado

5.3.1 Estimación de costos para

5.3.2 la construcción del sistema seleccionado

Para determinar una aproximación de los costos de inversión inicial del diseño del sistema de Lodos Activados Aireación Extendida se plantean dos escenarios. El primer escenario es suponiendo la no existencia de infraestructura actual, el segundo escenario es tomando en cuenta la infraestructura actual en el terreno, esto con el fin de comparar ambos costos y determinar un aproximado del ahorro que tendría la Municipalidad de Cartago utilizando la estructura actual.

Cabe destacar, que para ambos escenarios el cálculo de obra civil solo incluye los costos directos, no contemplan imprevistos, utilidades y pago de honorarios profesionales, debido a que se asume que son cubiertos por la Municipalidad. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que los rubros excluidos podrían representar un incremento considerable (50% o más) de los costos presentados.

- **Escenario 1. Sin la infraestructura existente en el terreno**

Los costos estimados de la construcción de las distintas fases del STAR (rejilla, desarenador, tanques de aireación, sedimentador secundario, lechos de secado, tanque recolector de lixiviados de los lechos) y de obras complementarias (caseta de operación, baño, oficina) suponiendo la no existencia de infraestructura actual, ascienden a ₡23.518.105,04; mientras que los costos de equipamiento (difusores de burbuja fina, bombas sumergibles, sopladores) rondan los ₡5.951.861,91. El costo más elevado del proyecto es la compra del terreno, el cual tiene un valor aproximado de ₡700.000.000,00; sin embargo, según indica la Municipalidad será comprado con fondos propios municipales.

En el Cuadro 5.9 se resumen los costos asociados a la construcción del sistema para el escenario 1 antes descrito.

Cuadro 5.9 Desglose de costos para el STAR de la comunidad El Atardecer suponiendo la no existencia de infraestructura actual

OBRA CIVIL	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
Excavación	m ³	442,38	€6 000,00	€2 654 276,73
Hormigón de losa	m ³	20,45	€72 323,19	€1 479 367,24
Concreto Vigas	m ³	26,40	€72 323,19	€1 909 505,79
Concreto Columnas	m ³	13,78	€72 323,19	€996 484,21
Mampostería	m ²	241,50	€7 280,00	€1 758 116,00
Lastre	m ³	15,98	€12 500,00	€199 773,44
Concreto Pobre	m ³	34,21	€66 000,00	€2 257 904,55
Agregados	m ³	51,62	€11 504,43	€593 858,68
<i>SUBTOTAL OBRA CIVIL</i>				€11 849 286,63
Mano de obra	Unidad	-	-	€5 924 643,31
Consultoría	Unidad	-	-	€1 244 175,10
Caseta, Oficina, Baño	m ²	15,00	€300 000,00	€4 500 000,00
<i>TOTAL OBRA CIVIL</i>				€23 518 105,04
EQUIPAMIENTO				
Difusores	Unidad	32	€18 997	€607 910,51
Bombas	Unidad	3	€272 079	€816 235,78
Soplador	Unidad	3	€1 509 239	€4 527 715,62
<i>TOTAL EQUIPAMIENTO</i>				€5 951 861,91
<i>TOTAL EQUIPAMIENTO + OBRA CIVIL</i>				€29 469 966,95
TERRENO				
Compra de terreno	-	-	€700 000 000	€700 000 000,00
<i>COSTO TOTAL ESTIMADO PROYECTO</i>				€729 469 966,95

- **Escenario 2. Con infraestructura de tanques en el terreno**

Al contemplar la infraestructura actual de tanques en el sitio (propuesta para el STAR) se obtiene un costo de obra civil de €7.859.866,30; el cual incluye la construcción de la rejilla, desarenador, caseta de operación, oficina y baño, ampliación de paredes del tanque para el sedimentador secundario y reforzamiento de las paredes de los tanques (impermeabilización) que se aprovecharían para las distintas fases del sistema de tratamiento. Los costos asociados al equipamiento y a la compra del terreno se mantienen constantes en ambos escenarios.

En el Cuadro 5.10 se resumen los costos asociados a la construcción del STAR contemplando las condiciones actuales de infraestructura en el terreno y las modificaciones a realizar para la construcción del STAR.

Cuadro 5.10 Desglose de costos para el STAR de la comunidad El Atardecer contemplando la existencia de infraestructura actual y las modificaciones a realizar en la estructura

OBRA CIVIL	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
Excavación	m ³	18,48	¢6 000,00	¢110 880,00
Hormigón de losa	m ³	1,82	¢72 323,19	¢131 628,21
Concreto Vigas	m ³	1,90	¢72 323,19	¢212 630,18
Concreto Columnas	m ³	2,06	¢72 323,19	¢160 557,48
Mampostería	m ²	9,50	¢7 280,00	¢222 040,00
Lastre	m ³	0,95	¢12 500,00	¢11 875,00
Concreto Pobre	m ³	5,95	¢66 000,00	¢392 700,00
<i>SUBTOTAL OBRA CIVIL</i>				¢1 242 310,87
Impermeabilizante	Saco*	58,00	¢17 200,00	¢997 600,00
Caseta, Oficina, Baño	m ²	15,00	¢300 000,00	¢4 500 000,00
Mano de obra	-	-	-	¢1 000 121,52
<i>TOTAL OBRA CIVIL</i>				¢7 859 866,30
EQUIPAMIENTO				
Difusores	Unidad	32	¢18 997	¢607 910,51
Bombas	Unidad	3	¢272 079	¢816 235,78
Soplador	Unidad	3	¢1 509 239	¢4 527 715,62
<i>TOTAL EQUIPAMIENTO</i>				¢5 951 861,91
<i>TOTAL EQUIPAMIENTO + OBRA CIVIL</i>				¢13 811 728,21
TERRENO				
Compra de terreno	-	-	¢700 000 000	¢700 000 000,00
<i>TOTAL ESTIMADO PROYECTO</i>				¢713 811 728,21

*Saco de 20 Kg que rinde para 7m² de impermeabilización

Al comparar ambos escenarios, para el rubro “total de obra civil” se obtiene un ahorro de ¢15.658.238,74 en el escenario 2, el cual representa un 33,24% menos de inversión respecto al escenario 1. Con respecto al monto de equipamiento se mantiene constante en ambos escenarios (¢5.951.861,91) al igual que el costo del terreno (¢700.000.000,00), el

cual representa la mayor parte de los costos asociados de inversión para la puesta en marcha del sistema.

Para ambos escenarios no se tomó en cuenta el costo de colocar la malla perimetral como lo establece las regulaciones debido a que actualmente en el sitio el acceso es restringido y se encuentra debidamente cerrado.

5.3.3 Estimación de costos de operación y mantenimiento del sistema

El costo mensual aproximado de operación y mantenimiento del STAR es de ¢1.785.758,11; lo que equivale a un aporte mensual por vivienda de ¢6.948,48 (tomando en cuenta las 257 unidades habitacionales) y por habitante de ¢1.814,79 mensuales (con 984 habitantes en la Urbanización). El costo anual estimado sería de ¢21.429.097,34. El desglose de costos de operación y mantenimiento, se resume en el Cuadro 5.11.

Cuadro 5.11 Costos estimados de operación y mantenimiento del STAR

ELEMENTO	COSTO APROX MENSUAL	COSTO APROX ANUAL
Consumo energético	¢334 847,43	¢4 018 169,16
SALARIOS		
Guarda (turnos)	¢332 589,87	¢3 991 078,44
Ingeniero de planta	¢165 943,03	¢1 991 316,30
Operador (turnos)	¢349 623,39	¢4 195 480,68
Mantenimiento preventivo y correctivo	¢87 405,85	¢1 048 870,17
<i>SUB TOTAL SALARIOS</i>	¢935 562,13	¢11 226 745,59
PRUEBAS DE LABORATORIO		
Paquete básico	¢70 800,00	¢849 600,00
MANTENIMIENTO		
Obra gris (0,7% anual inversión inicial)	¢13 718,89	¢164 626,74
Equipo electromecánico (3% anual de inversión inicial)	¢14 879,65	¢178 555,86
<i>SUB TOTAL MANTENIMIENTO</i>	¢28 598,55	¢343 182,59
OTROS		
Disposición de residuos	¢415 950,00	¢4 991 400,00
TOTAL	¢1 785 758,11	¢21 429 097,34

5.3.4 Manual de operación del sistema

El manual de operación del sistema diseñado se encuentra en el Apéndice 9.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El 36% de los hogares encuestados afirma que el tanque séptico de la vivienda no funciona de manera adecuada, siendo los problemas de infiltración y el rápido llenado del sistema los problemas más comunes entre los afectados.
- Un 41% de los hogares afirma realizar la limpieza del tanque séptico varias veces al año o al menos una vez al año debido a los problemas de llenado rápido del tanque y de infiltraciones en los terrenos, lo cual refleja que el sistema con que cuentan no trabaja de manera óptima.
- La comunidad del Atardecer presenta importantes deficiencias en el actual manejo de las aguas residuales, como vertidos de aguas negras directamente al caño, vertidos de aguas negras a lotes baldíos, filtraciones de aguas negras en los patios de las casas y presencia de conexiones de desagües irregulares o ilícitos; que ponen en riesgo la salud de la población y causan deterioro al ambiente.
- El grado de aceptación por parte de los encuestados sobre la opción de construir a futuro una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad fue alto (93%), y se podría deducir que este es producto de los problemas que afectan actualmente a la comunidad.
- La generación promedio de agua residual utilizando los datos suministrados de consumo de agua potable por parte de la Urbanización es de 128,31 m³/día, lo que equivale a una producción diaria de 1,50 l/s.
- Para el año 2040 considerando el crecimiento poblacional y la dotación actual, el caudal de agua residual estimado sería de 1,93 l/s (que representa un incremento del 22,35%). Sin embargo, al suponer que la población tendría comportamientos de consumo similares a dotación de población rural (200 l/p/d) el cual es valor que más

se acerca a la dotación real obtenida, el caudal aproximado para el año 2040 sería de 2,37 l/s, lo que implicaría un aumento del 58,10% en la generación de aguas residuales por parte de la comunidad.

- La estructura de tanques ubicada en el sector Este de la antigua fábrica de gelatinas cuenta con potencial de aprovechamiento para el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la comunidad, donde se tendrían hasta 12 tanques aprovechables para distribuir las distintas operaciones del sistema.
- El sistema electo para el tratamiento de las aguas residuales del Atardecer es el LAAE debido a que es el que más fácilmente se adapta a la infraestructura existente en el terreno, presenta mayores niveles de remoción de carga orgánica y permite fácilmente la ampliación del sistema a futuro considerando el crecimiento poblacional, sin causar gran alteración en la secuencia del tratamiento de aguas residuales propuesto.
- El costo estimado de obra civil y equipamiento suponiendo la no existencia de infraestructura actual en el terreno es de a ¢29.469.966,95; sin embargo, al contemplar la infraestructura aprovechable para las distintas fases del STAR y su reforzamiento, el costo asciende a ¢13.811.728,21 lo que representa un ahorro estimado de ¢15.658.238,74 para la Municipalidad al utilizar la infraestructura existente.
- El costo mensual estimado de operación y mantenimiento del STAR es de ¢1.785.758,11; lo que equivale a un aporte mensual por vivienda de ¢6.948,48; mientras que el costo anual rondaría los ¢21.429.097,34.

6.2 RECOMENDACIONES

- Trabajar programas de educación y sensibilización en temas relacionados con las aguas residuales con miembros de la comunidad, debido a que el grado de desconocimiento es alto, y según las encuestas el nivel de interés por parte de los vecinos en aprender del tema es aceptable.
- Existen problemas en la comunidad con el manejo de las aguas residuales, presentación de reclamos y denuncias por parte de los vecinos ante instituciones públicas como el MinSa, aunque estas no se hayan hecho llegar a la Municipalidad. Por lo tanto, se recomienda a la Municipalidad realizar inspecciones en el sitio y prestar atención a las descargas de aguas residuales en lotes baldíos para prevenir problemas de salud y ambientales en la población.
- Realizar un ensayo de estanquidad en los tanques ubicados al sector Este del terreno (infraestructura aprovechable) para descartar problemas de infiltraciones en los tanques.
- Reforzar la estructura Este de tanques de la antigua fábrica de gelatinas mediante impermeabilizantes y repellos, y sellar las aperturas inferiores para evitar futuras filtraciones de agua en las estructuras.
- Asegurar mediante barandas, colocación de vías de paso y escaleras adecuadas, en los tanques que se aprovecharan para el sistema de tratamiento a futuro.
- Realizar labores de limpieza en la zona de aprovechamiento de la antigua fábrica de gelatinas, que permitan condiciones óptimas y adecuadas para la futura puesta en marcha de un sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Valorar la opción de instalar una fuente de generación alternativa para evitar interrupción en la operación del sistema.

7. REFERENCIAS

- Alfaro, J., Carranza, J., & Gonzales, I. (2012). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias y planta de tratamiento de aguas residuales para el área urbana del municipio de san isidro, departamento de cabañas*
- Alpízar, F., Madrigal, R., & Salas, A. (2018). *Retos Ambientales de Costa Rica*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Trimmer, C. (2016). *Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: from Waste Disposal to Resource Recovery*. United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute, Nairobi and Stockholm.
- ARESEP (2019). *Consulta de tarifas eléctricas vigentes por empresa*. Recuperado de <https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas>
- Banco Mundial. (2013). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Boulware, B. (2013). *Alternative Water Sources and Wastewater Management*. New York: McGraw-Hill Education.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (Alianza por el Agua ed.). España, Zaragoza.
- Centeno, E. (2011). *Análisis comparativo de distintas tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales para Municipalidades de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Chavarría, L. (2016). *Diseño de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica*
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development*. United Nations Environment Programme, UNEP. Arendal: UN-HABITAT, GRID

- Davis, M. L. (2010). *Water and wastewater engineering. Design principles and practice*. New York, NY: McGraw-Hill.
- E. Roberts Alley. (2007). *Water quality control handbook, second edition (2nd ed. ed.)*. US: McGraw-Hill Professional.
- Environmental Protection Agency, EPA. (2004). *Primer for municipal wastewater treatment systems*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Wastewater Management.
- Estado de la Nación. (2017). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2017. Uso y estado de los recursos: recurso hídrico*. San José, Costa Rica.
- Hegg, S. (2018). *Evaluación de optimizaciones de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales*. Cartago, Costa Rica.
- INEC. (2018). *Encuesta Nacional de Hogares Julio 2018*. San José.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados "AyA". (2017). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. San José, Costa Rica
- Jenkins, T. E., & Nolasco, D. A. (2015). *Introduction to water resource recovery facility design (2nd edition. ed.)*. New York, N.Y: McGraw-Hill Education LLC
- Langergraber, G., & Muellegger, E. (2005). Ecological Sanitation—a way to solve global sanitation problems? *Environment International*, 433-444.
- López, R. (2003). *Elementos de diseño de acueductos y alcantarillados (2nd ed.)*. Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Madrigal, M. (2016). *Evaluación físico-química, biológica e hidrodinámica del funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales para el tratamiento de aguas residuales institucionales*.
- Marin-Hernandez, J. (2012). *Excess sludge reduction during activated sludge municipal wastewater treatment by integrating an anoxic holding tank and post-ultrasound treatment to enhanced biomass maintenance metabolism*.
- Metcalf & Eddy, I. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización (3 ed.)*. México: McGraw-Hill.

- MINAE. (2007). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. San José, Costa Rica.
- MINAE, MinSa, AyA. (2016). Política Nacional de Saneamiento de las Aguas Residuales 2016-2045. San José, San José, Costa Rica.
- Mora, D., & Portuguez, C. (2019). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PROVINCIAS Y SANEAMIENTO POR REGIONES MANEJADOS EN FORMA SEGURA EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE COSTA RICA AL 2018*. San José.
- Mora, M. (2008). *Fórmulas y tablas estadísticas* (1st ed.). San José, Costa Rica: Editorial UCR.
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *TecnoLógicas*, 17(32), 57.
- Murillo, A. (2017). *Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento colectivo de las aguas residuales en poblaciones menores 5000 habitantes equivalentes en Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. Paris, Francia.
- Ospina, D. (1981). Modelos matemáticos elementales en proyección de población. *Revista Colombiana De Estadística*, (3), 77-85.
- Picado, S (2016.) *Evaluación físico-química, biológica e hidrodinámica del funcionamiento de sistemas de tratamiento prefabricados para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. Cartago, Costa Rica.
- Quesada, D. (2018). *Análisis de las instalaciones de la antigua Fábrica de Gelatinas en Quircot de Cartago para ser utilizada como planta de tratamiento de aguas residuales*. Cartago, Costa Rica.
- Rossetti, S., Tandoi, V., & Wanner, J. (2017). *Activated sludge separation problems* (Second edition ed.). London: IWA Publishing.
- SEMARNAT. (2016). *Lineamientos técnicos: sistema de tratamiento de aguas a nivel vivienda*. México, México.
- Simon, S. (2015). *Determinación de la concentración de nitrógeno en lodos activados para su uso como biofertilizante*

- Torres, P. (2001). Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Ciencia y Tecnología*, 3(1), 35-42.
- Von Sperling, M. (2007a). *Activated sludge and aerobic biofilm reactors* (1st ed.). London: IWA Publishing.
- Von Sperling, M. (2007b). *Wastewater Characteristics, treatment and disposal*. London: IWA Publishing.
- Water Environment Federation. (2008). *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants* (Vol. Sixth Edition). New York: McGraw-Hill.
- Water Environment Federation. (2010). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. Water Environment Federation and the American Society of Civil Engineers/ Environmental and Water Resources Institute*. New York: McGraw-Hill Education.
- Water Environment Federation.. (2016). *Operation of water resource recovery facilities, manual of practice no. 11, seventh edition* McGraw-Hill.
- Wendling, Z. A., Emerson, J. W., Esty, D. C., Levy, M. A., de Sherbinin, A., et al. (2018). *2018 Environmental Performance Index* . New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO.

8. APÉNDICES

8.1 APÉNDICE 1: TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA LA POBLACIÓN A ENCUESTAR

La fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra a encuestar fue la siguiente;

$$n = \frac{\left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{P \cdot Q}}{d}\right)^2}{1 + \frac{1}{N}\left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{P \cdot Q}}{d}\right)^2} \quad (4)$$

Donde;

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

P = proporción de éxitos

Q = proporción de fracasos

d = error de muestreo

Por lo tanto, el valor de “n” sería;

$$n = \frac{\left(\frac{1,645\sqrt{0,50 \cdot 0,50}}{0,15}\right)^2}{1 + \frac{1}{257}\left(\frac{1,645\sqrt{0,50 \cdot 0,50}}{0,15}\right)^2}$$

$$n = 26,91$$

$$n \approx 27$$

El tamaño de la muestra a encuestar para un N = 257 viviendas y utilizando un 90% de confianza es de 27 viviendas.

8.2 APÉNDICE 2: ENCUESTA APLICADA A LAS VIVIENDAS DE LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER

ENCUESTA A POBLADORES Y LÍDERES COMUNALES DE LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER, EN LA ZONA DE QUIRCOT, CARTAGO

Encuesta #: _____

Fecha de aplicación: _____

Encuestador: _____

Objeto de la encuesta

La presente encuesta pretende obtener información básica sobre aspectos del saneamiento y manejo de aguas residuales en la comunidad de la Urbanización Atardecer, Quircot, Cartago; así como la percepción de la población respecto al manejo de las aguas residuales en su comunidad.

Instrucciones

1. La encuesta debe completarse con la información proporcionada por los líderes comunales y/o población beneficiada por el proyecto.
2. La encuesta se deberá aplicar a los encargados de familia o algún integrante del hogar que sea mayor de edad.
3. No leer en voz alta los apartados de la encuesta (Títulos en negrita).
4. Antes de iniciar con la encuesta, se debe completar el formulario de consentimiento informado.

INICIO DE LA ENCUESTA

(Presentación)

Buenos días/tardes

Soy Jorge Solano, estudiante del Tecnológico de Costa Rica y practicante/tesista en la Municipalidad de Cartago. Me encuentro realizando un trabajo de investigación sobre aspectos del saneamiento y manejo de aguas residuales en la comunidad de la Urbanización Atardecer y la percepción de la población respecto al manejo de las aguas residuales a nivel comunal. Como parte del proyecto, debo aplicar encuestas a una sección de la población al azar, por lo que me gustaría conocer su opinión sobre el tema de las aguas residuales de su

hogar y comunidad.

¿Podría usted colaborar respondiendo algunas preguntas para el desarrollo del proyecto?

Sí: _____ (**Llenar hoja de consentimiento informado**)

No: _____ (Se concluye la encuesta)

Hora inicio encuesta: _____

Hora fin encuesta: _____

I. INFORMACIÓN GENERAL

1. Género: (M) (F)
2. Edad: _____
3. Número de integrantes del hogar: _____
 Mayores de edad: _____
 Menores de edad: _____

II. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y GRADO DE CONOCIMIENTO DE LA POBLACIÓN

III. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES A NIVEL DEL HOGAR

4. ¿Conoce si su hogar cuenta con algún sistema de tratamiento para las aguas negras (orina/heces) generadas?
Sí () No () “PASAR A PREGUNTA 5”

En caso de responder con “Sí”,

- 4.1. ¿Cuál sistema de tratamiento posee su vivienda?

- () Tanque séptico
- () Tanque séptico y drenaje
- () Directo a la tierra (Drenaje)
- () Directo a la cañería
- () NS/NR

- 4.2. ¿Conoce sobre el funcionamiento de este sistema?

Sí () No ()

- 4.3. ¿Conoce sobre los cuidados y mantenimiento para el adecuado funcionamiento del sistema?

Sí () No ()

- 4.4. ¿Cree usted que el sistema de tratamiento funciona de manera adecuada?
Sí () “PASAR A PREGUNTA 5” No ()

En caso de responder con “No”,

- 4.5. ¿Cuáles problemas ha presentado el sistema de tratamiento domiciliario?

****NOTA: APLICAR PREGUNTA 5 Y 6 SOLO EN CASO DE QUE EL ENCUESTADO(A) INDIQUE TENER TANQUE SÉPTICO EN EL HOGAR**

5. **¿Con qué frecuencia se realiza la limpieza del tanque séptico domiciliario?
- () Dos veces al año
 - () Una vez al año
 - () Cada dos años
 - () Cada tres años o más
6. **¿Cuál es el rango estimado del monto que se paga por la limpieza del tanque séptico domiciliario?
- () ¢10 000 – ¢25 000
 - () ¢25 000 – ¢50 000
 - () ¢50 000 – ¢100 000
 - () Más de ¢100 000
 - () NS/NR
7. ¿De qué manera se disponen las aguas grises (cocina, lavatorios, pilas, lavados en general) en su hogar?
- () Conexión al tanque séptico
 - () Alcantarillado o caño
 - () Otro
 - () NS/NR
8. ¿Considera que se podrían disponer las aguas grises de otra manera?
- Sí () No ()

9. Al preparar alimentos, ¿Cómo desecha normalmente los restos de grasas (aceite, manteca, residuos de salsas, entre otros) en el hogar?
- () Se descartan por el fregadero
 - () Se descartan en el basurero
 - () Otro: _____

II.II MANEJO DE AGUAS RESIDUALES A NIVEL DE LA COMUNIDAD

10. ¿Considera que en la comunidad el manejo de las aguas residuales (aguas negras y grises) es el adecuado?
- Sí () “PASAR A PREGUNTA 11” No ()

Si su respuesta es “No”,

- 10.1. ¿Cuáles deficiencias ha notado que se presentan en el manejo de las aguas residuales?

11. ¿Se presentan en su comunidad problemas de malos olores asociados al manejo actual de las aguas residuales?
- Sí () No () “PASAR A PREGUNTA 12”

Si su respuesta es “Sí”,

- 11.1. ¿Con qué frecuencia ocurre este problema?
- () Siempre
 - () Frecuentemente
 - () Ocasionalmente

12. ¿Se siente de alguna manera afectado(a) por el manejo actual de las aguas residuales en su comunidad?
- Sí () No () “PASAR A PREGUNTA 13”

Si su respuesta es “Sí”,

- 12.1. ¿Cree haber presentado usted o algún familiar problemas de salud o alguna molestia ligada al manejo actual de las aguas residuales?
- Sí () No ()

Si su respuesta es “Sí”,

12.2. ¿Podría mencionar qué problemas ha/han presentado?

- () Nauseas asociadas a malos olores
- () Dolores de cabeza por fuertes olores
- () Malestar general asociado a malos olores
- () Diarreas ocasionales
- () Otros

13. ¿Ha notado alguna irregularidad en el manejo de las aguas residuales por parte de algún o algunos hogares de la comunidad? Ejemplo: Desagües inadecuados, vertido de aguas negras directo al “caño”, entre otros.

Sí () No ()

II.III EXISTENCIA DE AGUAS RESIDUALES ESPECIALES

14. ¿Conoce si en la comunidad hay algún taller mecánico?

Sí () No ()

15. ¿Existe en su comunidad alguna actividad que genere cantidades importantes de agua residual (pequeñas fábricas, criaderos/mataderos de animales, etc)?

Sí () ¿Cuál?: _____

No ()

III. CONOCIMIENTO SOBRE LOS EFECTOS DEL INADECUADO MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y PERCEPCIÓN SOBRE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA COMUNIDAD

16. ¿Conoce sobre los efectos al ambiente y la salud humana que tiene un inadecuado manejo y disposición de las aguas residuales (negras y grises)?

Sí () No ()

17. ¿Conoce sobre alguna alternativa o sistema de tratamiento para las aguas residuales a nivel urbano o comunal?

Sí () No () “PASAR A PREGUNTA 19”

18. ¿Cree que estos sistemas aportan algún beneficio a la salud de los pobladores y ambiente en general?

Sí () No ()

19. ¿Estaría de acuerdo en que se implementara algún sistema de tratamiento para las aguas residuales de su comunidad?

Sí () No ()

Si su respuesta es “No”,

19.1. ¿Por qué razón no estaría de acuerdo?

IV. INTERÉS EN EL APRENDIZAJE Y CAPACITACIÓN EN EL TEMA DE LAS AGUAS RESIDUALES

20. ¿Estaría interesado(a) en recibir algún tipo de información (taller, charla, etc) sobre el tema de las aguas residuales (su generación, tratamiento, correcta disposición) y sus efectos en la salud y el ambiente?

Sí () No ()

En caso de tener hijos(as) en la escuela o colegio,

21. Le gustaría que su hijo(a) reciba en el centro educativo información sobre el tema de las aguas residuales (su generación, tratamiento y correcta disposición, entre otros)?

Sí () No ()

22. ¿Cuenta su comunidad con algún grupo o asociación de desarrollo comunal y que trabaje en acciones de conservación ambiental?

Sí () No ()

En caso de responder con Sí;

22.1. ¿Se ha involucrado en este tipo de grupos antes o actualmente?

Sí () No ()

22.2. ¿Le interesaría formar parte de estos grupos y trabajar en la conservación ambiental de su comunidad?

Sí () No ()

CIERRE DE LA ENCUESTA: CON ESTO FINALIZAMOS LA ENCUESTA. LE AGRADEZCO POR BRINDARME PARTE DE SU TIEMPO Y COLABOR CON EL DESARROLLO DE MI ESTUDIO. MUCHAS GRACIAS.

8.3 APÉNDICE 3: RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA A LAS VIVIENDAS DE LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER

Cuadro A.3.1 Género de personas encuestadas

Pregunta 1. Género	Cantidad	%
Hombres	13	31
Mujeres	29	69
Total encuestado	42	100

Cuadro A.3.2 Edades de personas encuestadas

Pregunta 2. Edades						
64	29	46	56	40	50	
52	59	28	42	64	55	
19	55	38	30	24	44	
35	55	47	19	68	54	
50	50	40	49	56	22	
20	34	60	28	51	27	
46	46	54	48	52	38	
			Promedio	43,90		
			Mediana	46,50		

Cuadro A.3.3 Integrantes por hogar

Pregunta 3. Integrantes hogar	Cantidad	%
Hogares con menores	28	67
Hogares sin menores	14	33
Total hogares	42	100

Cuadro A.3.4 Cantidad de integrantes por hogar

3.1. Número de Integrantes en el Hogar						
3	5	4	6	4	2	
4	2	3	4	2	5	
3	3	4	4	3	4	
1	5	6	4	5	4	
6	4	5	4	2	3	
6	5	4	3	3	7	
3	1	5	4	3	3	
			Promedio	3,83		

Cuadro A.3.5 Conocimiento de STAR domiciliario

Pregunta 4. Conocimiento de existencia de sistema de tratamiento AR domiciliario	Cantidad	%
Sí	30	71
No	10	24
Desconoce	2	5
Total	42	100

Cuadro A.3.6 Sistema de tratamiento existente en la vivienda

4.1 Sistema de tratamiento	Cantidad	%
Tanque séptico	18	43
Tanque séptico y drenaje	23	55
Directo a la tierra (Drenaje)	0	0
Directo a la cañería	0	0
NS/NR	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.7 Conocimiento del funcionamiento del sistema

4.2 Conocimiento del funcionamiento del sistema	Cantidad	%
Sí	19	45
No	22	52
NR/NA	1	3
Total	42	100

Cuadro A.3.8 Conocimiento de cuidados del sistema de tratamiento domiciliario

4.3 Conocimiento de cuidados del sistema domiciliario	Cantidad	%
Sí	21	50
No	20	48
NR/NA	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.9 Funcionamiento del sistema

4.4 Funcionamiento adecuado	Cantidad	%
Sí	26	62
No	15	36
NR/NA	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.10 Principales problemas**4.5 Lista de los principales problemas**

- Problemas con el drenaje
- Capacidad (se llena muy rápido)
- Agua del inodoro cuesta que baje
- Tierra no apta

Cuadro A.3.11 Frecuencia de limpieza del tanque séptico

Pregunta 5. Frecuencia de la limpieza	Cantidad	%
Más de dos veces al año	4	10
Dos veces al año	3	7
Una vez al año	10	24
Cada dos años	8	19
Cada tres años o más	6	14
Nunca	3	7
NS/NR/NA	8	19
Total	42	100

Cuadro A.3.12 Costo de limpieza del sistema del tanque séptico

Pregunta 6. Costo de limpieza	Cantidad	%
€10000 - €25000	9	21
€25000 - €50000	16	38
€50000 - €100000	2	5
Más de €100000	0	0
NS/NR	8	19
NA	7	17
Total	42	100

Cuadro A.3.13 Disposición de las aguas grises en la comunidad

Pregunta 7. Disposición Aguas grises	Cantidad	%
Conexión al tanque séptico	0	0
Alcantarillado o caño	38	91
Otro	1	2
NS/NR	3	7
Total	42	100

Cuadro A.3.14 Otras formas de disposición

Pregunta 8. Se podrían disponer de otra manera	Cantidad	%
Sí	28	67
No	9	21
NS/NR	5	12
Total	42	100

Cuadro A.3.15 Disposición de grasas y aceites

Pregunta 9. Grasas y aceites en el hogar	Cantidad	%
Lavado en fregadero	15	35
Desecho en el basurero	23	55
Fregadero y basurero	2	5
Otro	2	5
Total	42	100

Cuadro A.3.16 Manejo de las aguas residuales en la comunidad

Pregunta 10. Manejo adecuado de AR en la comunidad	Cantidad	%
Sí	10	24
No	31	74
NS/NR	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.17 Deficiencias**10.1. Lista de deficiencias**

- Aguas negras vertidas al caño
- Aguas negras vertidas a terrenos baldíos (ejemplo caso línea del tren y quebrada)
- Malos olores
- Aguas del tanque séptico rebalsadas al caño
- Drenajes no funcionan bien
- Filtraciones de aguas en las casas y patios
- Conexiones ilícitas
- Tanques sépticos no sirven bien

Cuadro A.3.18 Manejo de AR en la comunidad

Pregunta 11. Malos olores en la comunidad	Cantidad	%
Sí	30	71
No	12	29
Total	42	100

Cuadro A.3.19 Frecuencia de los malos olores

11.1. Frecuencia del problema (Según respuesta “Sí” en pregunta 11)	Cantidad	%
Siempre	15	50
Frecuentemente	2	7
Ocasionalmente	13	43
Total	30	100

Cuadro A.3.20 Afectación por manejo actual de las AR en la comunidad

Pregunta 12. Se siente afectado por manejo de AR actual en la comunidad	Cantidad	%
Sí	25	60
No	17	40
Total	42	100

Cuadro A.3.21 Creencia de problemas de salud presentados por actual manejo de AR en la comunidad

12.1. Cree haber presentado usted o algún familiar problemas de salud o alguna molestia ligados al manejo de AR	Cantidad	%
Sí	14	56
No	11	44
Total	25	100

Cuadro A.3.22 Problemas presentados

12.2. Problemas presentados (según respuesta “Sí” en pregunta 12.1)	Cantidad
Nauseas asociadas a malos olores	8
Dolores de cabeza por fuertes olores	0
Malestar general asociado a malos olores	0
Diarreas ocasionales	2
Varias de las anteriores	2
Otros	2
Total	14

Cuadro A.3.23 Presencia de irregularidades en manejo de las AR de la comunidad

Pregunta 13. Irregularidad en manejo de AR en la comunidad por parte de algún vecino	Cantidad	%
Sí	30	72
No	11	26
NS/NR	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.24 Existencia de taller mecánico en la comunidad

Pregunta 14. Existencia de taller mecánico en la comunidad	Cantidad	%
Sí	12	29
No	30	71
Total	42	100

Cuadro A.3.25 Actividades que generen importantes cantidades de AR en la comunidad

Pregunta 15. Existencia de alguna actividad cerca de la comunidad que genere cantidades importantes de AR	Cantidad	%
Sí	5	12
No	36	86
NS/NR	1	2
Total	42	100

Cuadro A.3.26 Conocimiento de efectos en ambiente y salud del inadecuado manejo de AR

Pregunta 16. Conocimiento de efectos en ambiente y salud del inadecuado manejo y disposición de AR	Cantidad	%
Sí	21	50
No	21	50
Total	42	100

Cuadro A.3.27 Conocimiento de alternativas para tratamiento de AR comunales

Pregunta 17. Conocimiento de alternativas existentes a nivel comunal para tratar AR	Cantidad	%
Sí	4	10
No	38	90
Total	42	100

Cuadro A.3.28 Beneficio aportado por STARs comunales

Pregunta 18. Cree que esos sistemas aportan beneficios a la salud humana y ambiental (Según respuesta “Sí” pregunta 17)	Cantidad	%
Sí	4	100
No	0	0
Total	4	100

Cuadro A.3.29 Aceptación de PTAR en la comunidad

Pregunta 19. Aceptaría una PTAR en su comunidad	Cantidad	%
Sí	39	93
No	1	2
Depende de condiciones	2	5
Total	42	100

Cuadro A.3.30 Razones de la no aceptación de una PTAR en la comunidad**19.1. Razones del No**

- Picar piso casa
- Romper

Depende de condiciones

- Manejo de olores
- No sea para beber el agua tratada
- Sea bien operada la futura PTAR

Cuadro A.3.31 Interés en informarse sobre el tema de las AR

Pregunta 20. Interesado(a) en recibir información sobre las AR y sus efectos en la salud y ambiente	Cantidad	%
Sí	37	88
No	5	12
Total	42	100

Cuadro A.3.32 Interés en que informen a sus hijos sobre el tema de las AR

Pregunta 21. Interesado(a) que su hijo(a) recibida información sobre el tema de las AR	Cantidad	%
Sí	25	60
No	1	2
NA	16	38
Total	42	100

Cuadro A.3.33 Existencia de Asociación de Desarrollo Comunal en la Comunidad

Pregunta 22. Cuenta la comunidad con Asociación de desarrollo que trabaje en acciones de conservación ambiental	Cantidad	%
Sí	9	22
No	27	64
NS/NR	6	14
Total	42	100

Cuadro A.3.34 Involucramiento en trabajo con Asociación de Desarrollo

22.1. Se ha involucrado en el trabajo en estos grupos (según respuesta "Sí" en pregunta 22)	Cantidad	%
Sí	5	56
No	4	44
Total	9	100

Cuadro A.3.35 Interés de participación en grupos y temas relacionados al ambiente en la comunidad

22.2. Interés en participar en estos grupos y trabajar en la conservación ambiental de la comunidad (según respuesta "Sí" en pregunta 22)	Cantidad	%
Sí	6	67
No	3	33
Total	9	100

8.4 APÉNDICE 4: ENTREVISTA APLICADA AL DIRECTOR DEL ACUEDUCTO DE LA MUNICIPALIDAD DE CARTAGO

ENTREVISTA A ENCARGADO/A DE ACUEDUCTO EN LA MUNICIPALIDAD DE CARTAGO

Fecha de aplicación: _____

Entrevistado(a): _____ Cargo: _____

Objeto de la entrevista

La presente entrevista pretende obtener información sobre la percepción por parte de algún funcionario(a) del área de acueductos de la municipalidad, de la problemática que afecta a la comunidad El Atardecer, Quircot, Cartago; las acciones tomadas por la municipalidad para enfrentar el problema y algunos aspectos a tener en cuenta para la futura construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la zona afectada.

Problemática de la comunidad

1. ¿Cuál es el problema que presenta la comunidad del Atardecer en Quircot, Cartago?
2. ¿Desde cuándo ocurre el problema?
3. ¿Se han presentado quejas o reclamos ante la municipalidad por la situación? ¿Cómo ha procedido la municipalidad?
4. ¿Ha intervenido antes la municipalidad de alguna manera, para disminuir el problema? En caso de responder sí, indicar algunas de las acciones realizadas
5. ¿Se ha generado alguna afectación directa a la Naciente del Río Arriaz a raíz de la situación presente en la comunidad?

Sobre la futura PTAR

6. ¿Sabe la comunidad del interés de la municipalidad de construir una PTAR?
7. ¿Para cuándo prevé la municipalidad iniciar con el proyecto?
8. Con respecto al terreno, ¿Han tramitado la compra del mismo? ¿Saben el costo del mismo?
9. ¿Se han realizado estudios en el terreno para determinar las condiciones del mismo? Ejemplo usos de suelo, entre otros.
10. ¿Cuentan con presupuesto para cubrir el proyecto?
11. ¿Se ha pensado en un sistema de tratamiento en específico en caso de construir la PTAR?

8.5 APÉNDICE 5: CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA EL PERIODO ENERO 2017 – SETIEMBRE 2018, EN LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER

Cuadro A.5.1. Consumo mensual promedio de agua potable por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer

2017	Consumo mensual promedio		2018	Consumo mensual promedio	
	m³/mes	m³/día		m³/mes	m³/día
Enero	4318	143,93	Enero	4676	155,87
Febrero	4426	147,53	Febrero	5029	167,63
Marzo	4448	148,27	Marzo	Sin datos	Sin datos
Abril	4047	134,90	Abril	4530	151,00
Mayo	4896	163,20	Mayo	5400	180,00
Junio	5184	172,80	Junio	5342	178,07
Julio	4963	165,43	Julio	4886	162,87
Agosto	4853	161,77	Agosto	4711	157,03
Setiembre	5111	170,37	Setiembre	4944	164,80
Octubre	4788	159,60			
Noviembre	4930	164,33	PROMEDIO	4811,75	160,39
Diciembre	4753	158,43			

8.6 APÉNDICE 6: GENERACIÓN DE AGUA RESIDUAL POR PARTE DE LAS VIVIENDAS DEL ATARDECER, PARA EL PERIODO ENERO 2017 - SETIEMBRE 2018

Cuadro A.6.1. Generación mensual promedio de agua residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer

2017	Generación promedio de AR			2018	Generación promedio de AR		
	m ³ /mes	m ³ /día	l/s		m ³ /mes	m ³ /día	l/s
Enero	3454,40	115,15	1,33	Enero	3740,80	124,69	1,44
Febrero	3540,80	118,03	1,37	Febrero	4023,20	134,11	1,55
Marzo	3558,40	118,61	1,37	Marzo	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Abril	3237,60	107,92	1,25	Abril	3624,00	120,80	1,40
Mayo	3916,80	130,56	1,51	Mayo	4320,00	144,00	1,67
Junio	4147,20	138,24	1,60	Junio	4273,60	142,45	1,65
Julio	3970,40	132,35	1,53	Julio	3908,80	130,29	1,51
Agosto	3882,40	129,41	1,50	Agosto	3768,80	125,63	1,45
Setiembre	4088,80	136,29	1,58	Setiembre	3955,20	131,84	1,53
Octubre	3830,40	127,68	1,48				
Noviembre	3944,00	131,47	1,52	PROMEDIO	3849,40	128,31	1,50
Diciembre	3802,40	126,75	1,47				

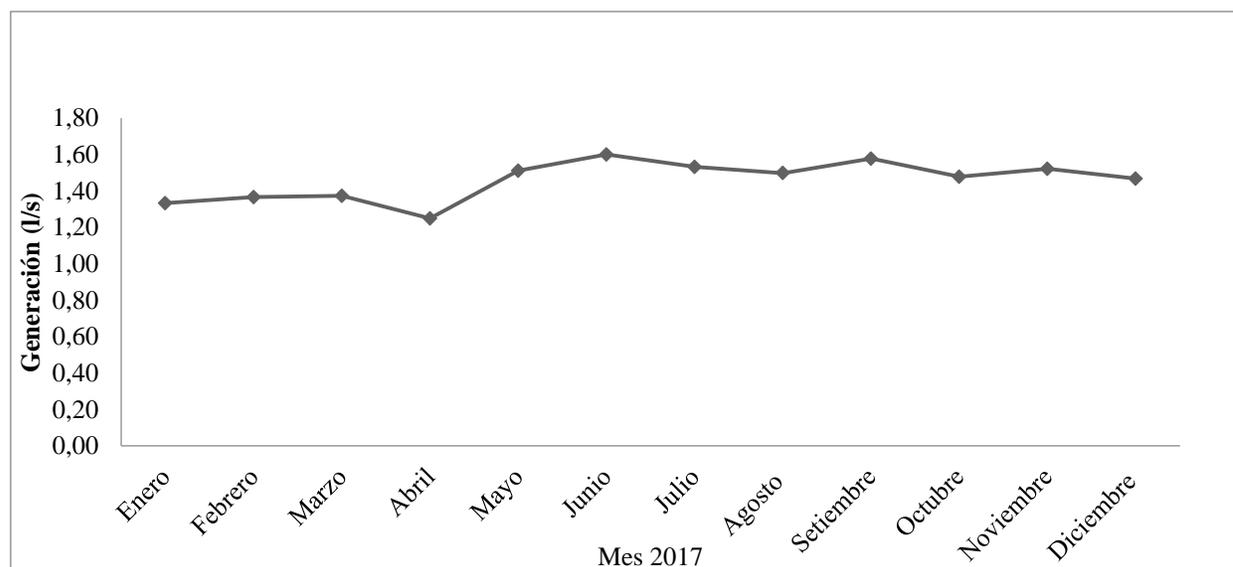


Figura A.6.1. Generación mensual de Agua Residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer durante el año 2017

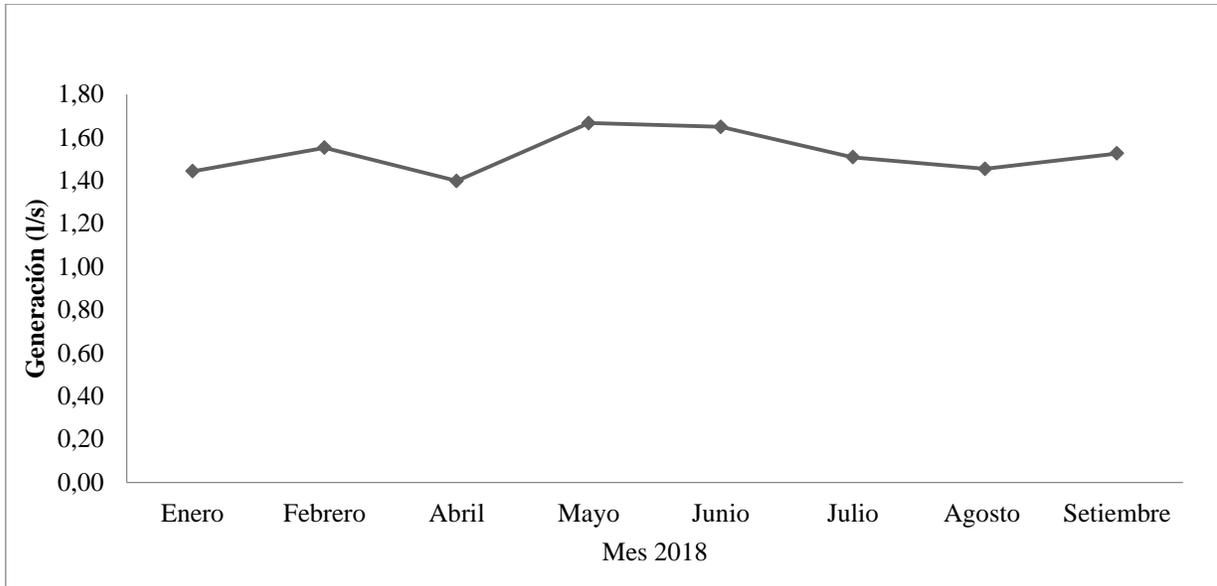


Figura A.6.2. Generación mensual de Agua Residual por parte de las viviendas de la Urbanización El Atardecer en el periodo Enero 2018 – Setiembre 2018

8.7 APÉNDICE 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA VISITA A LA COMUNIDAD DEL ATARDECER Y A LA ANTIGUA FÁBRICA DE GELATINAS



Figura A.8.1. Vista aérea de las viviendas de la Urbanización El Atardecer, Quircot, Cartago. Fuente: Datos de campo, 2018.



Figura A.8.2. Zona de captación de la Naciente Arriaz, cercana a viviendas de la Urbanización El Atardecer. Fuente: Datos de campo, 2018.



Figura A.8.3. Vista aérea de la zona de tanques de la Antigua Fábrica de Gelatinas, Quircot, Cartago. Fuente: Datos de campo, 2018.



Figura A.8.4. Vista aérea de la zona Este de tanques de la Antigua Fábrica de Gelatinas, Quircot, Cartago. Fuente: Datos de campo, 2018.

8.8 APÉNDICE 8: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PROPUESTO

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Lodos Activados Aireación Extendida

**MEMORIA DESCRIPTIVA
Y DE CÁLCULO**

**Profesional responsable:
Jorge Solano Pérez**

Agosto 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	DIRECCIÓN EXACTA.....	4
3.	SISTEMA PROPUESTO.....	5
4.	SIMBOLOGÍA	8
5.	DATOS BÁSICOS:	9
6.	DATOS DEL DISEÑO.....	9
6.1	<i>Volumen diario de aguas negras</i>	9
6.2	<i>Caudal de diseño</i>	9
6.3	<i>Carga orgánica</i>	9
7.	CRITEROS DE DISEÑO	10
7.1	<i>Tiempos de retención (Ref. 1 y 10)</i>	10
7.2	<i>Volumen de almacenamiento de lodos</i>	10
7.3	<i>Carga superficial en sedimentadores</i>	10
7.4	<i>Otros parámetros</i>	10
7.5	<i>Tiempo de retención (Ref. 10)</i>	11
7.6	<i>Relación de recirculación</i>	11
7.7	<i>DBO₅ de alimentación combinada</i>	11
7.8	<i>Alimentación combinada</i>	12
7.9	<i>Relación F / M</i>	12
7.10	<i>Volumen de la cámara de aireación</i>	12
7.11	<i>Necesidad de oxígeno</i>	12
7.12	<i>Volumen de aire</i>	13
7.13	<i>Aire requerido para digestión</i>	13
7.14	<i>Aire requerido para recirculaciones</i>	13
7.15	<i>Aire total teórico</i>	13
7.16	<i>Aire suministrado</i>	13
7.17	<i>Cantidad de difusores</i>	14
7.18	<i>Volumen del sedimentador</i>	14
7.19	<i>Lecho de secado de lodos</i>	15

<i>7.20 Cálculo de rejas</i>	<i>16</i>
8. EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	17
9. BIBLIOGRAFIA.....	18
ANEXO 1. ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO.....	19
ANEXO 2 .OBTENCIÓN DE LA CANTIDAD DE HABITANTES POR VIVIENDA Y COMPARACIÓN CON DATOS INEC	24

1. INTRODUCCIÓN

Este documento contiene la descripción de los elementos que constituyen el sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en la Urbanización el Atardecer, Quircot, Cartago. Este sistema recibirá los aportes de las actividades generales de un total de 257 viviendas con un promedio de 3,83 personas por vivienda (según aplicación de encuestas en la zona y comparada con valor del censo del INEC, 2011), constituyendo un volumen promedio de 128 metros cúbicos por día.

2. DIRECCIÓN EXACTA

Urbanización El Atardecer, instalaciones de la antigua Fábrica de Gelatinas, Quircot, distrito de San Nicolás, provincia de Cartago.

Mapa de ubicación del proyecto en el Distrito de San Nicolás, Cartago, Costa Rica

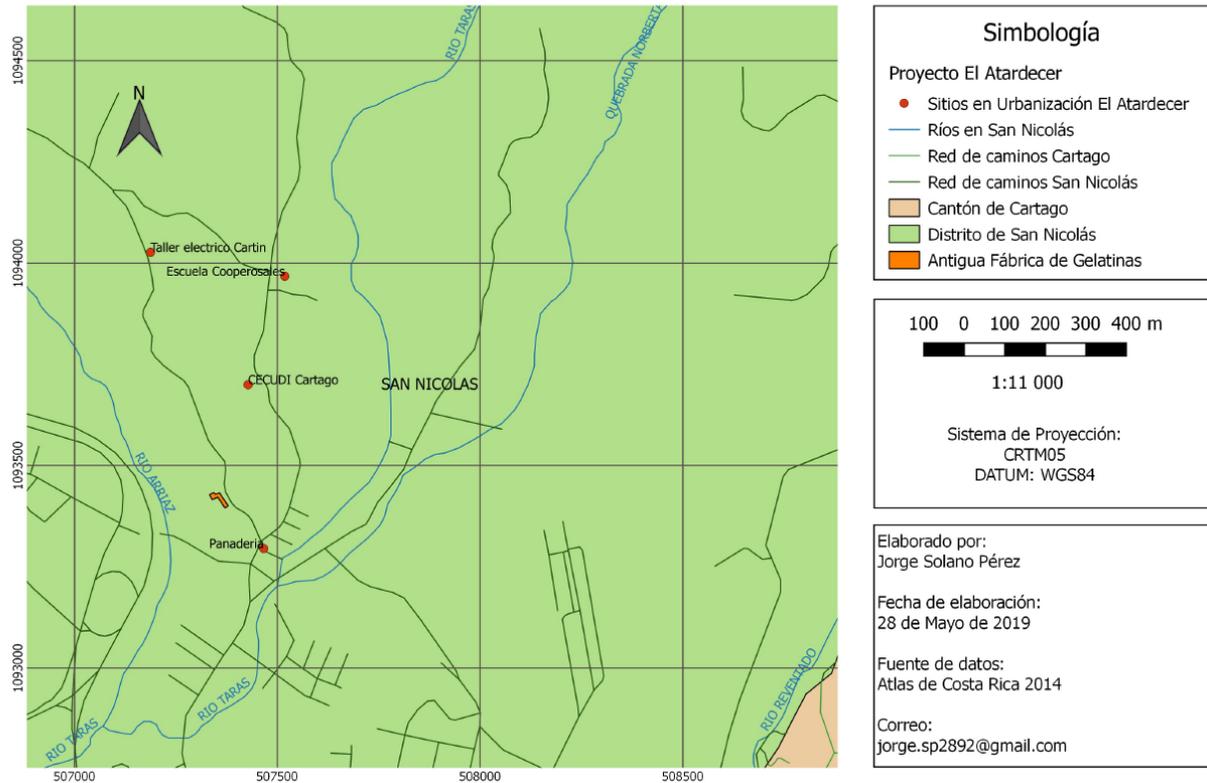


Figura 2.1 Ubicación del proyecto

3. SISTEMA PROPUESTO

El agua residual ingresa a una rejilla donde se recolectan sólidos gruesos, pasando luego por un desarenador para eliminar arenas que podrían obstruir el sistema de tratamiento. Luego el tratamiento del agua residual continúa hacia los dos tanques de aireación donde se elimina la carga orgánica disuelta en el agua residual.

Del tanque de aireación, el agua residual pasa al sedimentador secundario, donde se sedimenta el lodo y se retorna al tanque de aireación. El efluente clarificado del sedimentador secundario tiene una calidad suficiente para ser vertida al cuerpo receptor.

El lodo en exceso que crece por la reproducción de las bacterias, se envía una vez por semana en caso de ameritarlo (el tiempo podría ser mayor) hacia los lechos de secado, donde se

estabiliza y reduce su volumen por medio de secado. Este lodo se acumula en dos lechos de secado, para posteriormente darles disposición final.

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama de flujo de las operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL STAR

SIN ESCALA

SIMBOLOGÍA :

- LINEAS NEGRAS: AGUAS RESIDUALES
- LINEAS VERDES: AIRE A BAJA PRESION
- LINEAS ROJAS: RECIRCULACIÓN DE LODOS Y LIXIVIADO DE LECHOS DE SECADO
- LINEAS GRISAS: AGUAS RESIDUALES TRATADAS

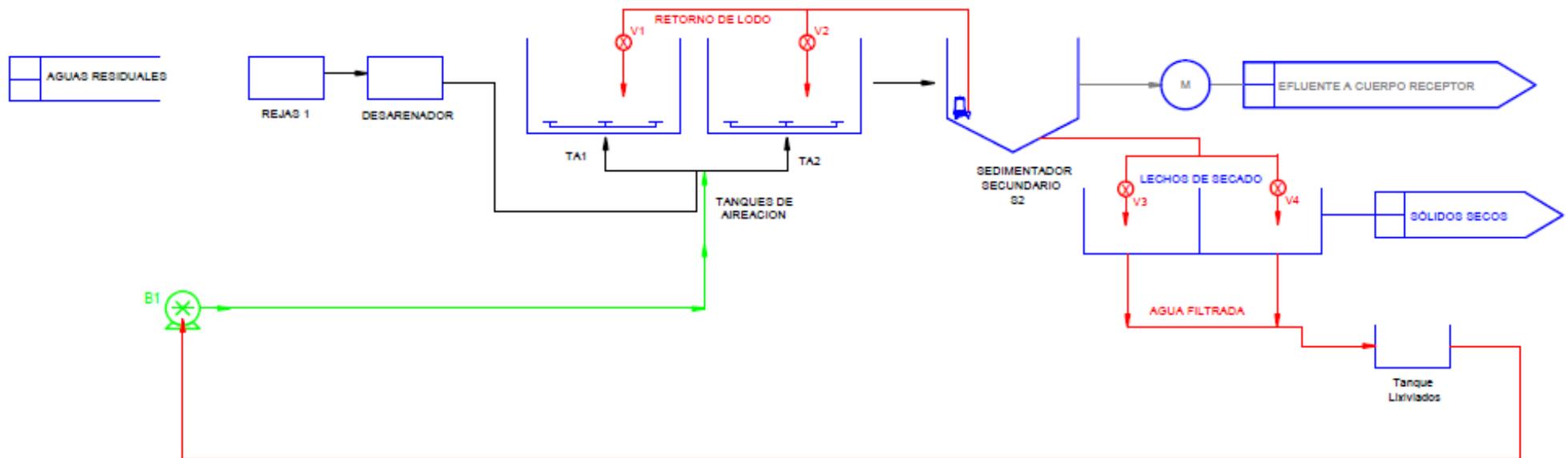


Figura 3.1 Diagrama de flujo del STARs

Este documento contiene los parámetros de diseño y la memoria de cálculo del sistema de lodos activados bajo la modalidad de aireación extendida, propuesto para el tratamiento de aguas residuales de la Urbanización El Atardecer.

4. SIMBOLOGÍA

a = Parámetro que relaciona el compuesto orgánico utilizado para el metabolismo energético y el compuesto orgánico total consumido.

A = Concentración de materia que ingresa al sistema.

b = Kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de SSVLM en el proceso de respiración endógena.

CUS = Carga por medio de superficie.

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno.

k_d = Fracción de SSVLM por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena.

M = Concentración de biomasa.

O_2 = Concentración de oxígeno libre.

Q = Caudal.

r = Relación de recirculación.

S_0 = DBO contenido en el tanque aireador.

t = Tiempo de retención hidráulica.

V = Volumen.

$X_{v,a}$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla.

$X_{v,u}$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el lodo recirculado.

Y = Relación entre SSVLM y DBO consumida.

φ = Porcentaje de biodegradabilidad de los sólidos contenidos en el agua cruda.

SSV = Sólidos suspendidos volátiles.

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla.

5. DATOS BÁSICOS

Cuadro 5.1 Datos básicos del proyecto

PARÁMETRO	DATO	CRITERIOS	CÁLCULOS	REFERENCIA
Número de casas	257,00			
Personas por casa		3,83		ANEXO 2
Población			984	
Dotación (l/p/d)		163		Ref 7
Factor de retorno		0,8		Ref 7
Aporte unitario (l/p/d)			130,4	
Factor día máximo		1,5		Ref 7
Factor de hora máximo		2,25		Ref 7
Tiempo diario de funcionamiento (h)		24		
Carga de sólidos caudal máximo horario (Kg/m ² /h)		<=7		Ref 1 y 10

6. DATOS DEL DISEÑO

6.1 VOLUMEN DIARIO DE AGUAS NEGRAS

Volumen promedio diario (m³/d) :

128

6.2 CAUDAL DE DISEÑO

Caudal promedio diario (m³/d) :

128

Caudal máximo diario (m³/d) :

193

Caudal máximo horario (m³/d) :

289

6.3 CARGA ORGÁNICA

Población: 984 hab

Se usará concentración promedio de DBO de:

300 mg/L (Ref. 1)

Carga orgánica del sistema: $\text{DBO (mg/L)} \times Q_{\text{promedio}} (\text{m}^3/\text{día}) \times 10^{-3} = \text{Kg DBO/día}$

$\text{Carga orgánica} = 300 \text{ mg/L} \times 128 \text{ m}^3/\text{día} \times 10^{-3} = 38,4 \text{ Kg DBO/día}$

Sin embargo, se debe dividir entre 2 el resultado obtenido debido a que se trabajarán dos subsistemas en paralelo. Por lo tanto, la Carga orgánica de cada subsistema será de 19,2 Kg DBO/día.

7. CRITEROS DE DISEÑO

7.1 TIEMPOS DE RETENCIÓN (REF. 1 Y 10)

- a. Cámara de aireación = 15 h con volumen promedio diario
- b. Sedimentador secundario = 1,5 h con caudal máximo horario

7.2 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LODOS

$V_{\text{TOLVA}} \approx 30 \% \text{ del volumen útil de sedimentación}$

7.3 CARGA SUPERFICIAL EN SEDIMENTADORES

$\text{C.U.S} \approx 1,2 \text{ a } 2,2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora (como máximo)}$

7.4 OTROS PARÁMETROS

DBO de salida: 30 mg/L

Concentración de SSV:

- Cámara de aireación $\approx 5\ 000 \text{ mg/l} = X_{v,a}$
- Lodos recirculados $\approx 10\ 000 \text{ mg/l} = X_{v,u}$

Parámetros biocinéticos (para aireación extendida) (Ref. 2)

- Y [kg SSVLM ÷ kg DBO consumida] = 0,67
- k_d [d⁻¹] = 0,05
- a [kg O₂ ÷ kg DBO consumido] = 0,52
- b [d⁻¹] = 0,1065

7.5 TIEMPO DE RETENCIÓN (REF. 10)

$$t = \varphi Y (DBO_E - DBO_S) \div k_d X_{v,a}$$

$$\varphi \approx 0,8 \text{ (\% de biodegradabilidad de los SSVLM)}$$

$$t = 0,8 \times 0,67 (300-30) \div (0,05 \times 5000) = 0,58d = 14 \text{ horas}$$

Se usará $t \approx 15$ horas

Se utilizara un tiempo de retención de 15 horas por cada cámara de aireación para el volumen de cada tanque y el caudal promedio de 64 m³/día por tanque de aireación.

7.6 RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN

$$r = [X_{v,a} - (1 - \varphi) Y (DBO_E - DBO_S)] \div (X_{v,u} - X_{v,a})$$

$$r = [5000 - (1 - 0,8) \times 0,67 (300 - 30)] \div (10\ 000 - 5000)$$

$$r = 0,99$$

7.7 DBO₅ DE ALIMENTACIÓN COMBINADA POR TANQUE DE AIREACIÓN

$$S_0 = (DBO_E + r DBO_S) \div (1 + r)$$

$$S_0 = (300 + 0,99 \times 30) \div (1 + 0,99)$$

$$S_0 = 166 \text{ mg/L}$$

El valor obtenido se asume como un valor de referencia.

7.8 ALIMENTACIÓN COMBINADA

$$Q_0 = Q_T (1 + r)$$

$$Q_0 = 64 \times 1,99 = 127,36 \text{ m}^3/\text{d}$$

7.9 RELACIÓN F / M

$$F / M = \text{DBO}_E \div X_{v,a} t$$

$$F / M = 300 \div (5000 \times 0,63) = 0,10 \text{ d}^{-1}$$

7.10 VOLUMEN DE LAS CÁMARAS DE AIREACIÓN

Se usará TRH= 15,08 horas

Volumen diario = 40 m³, por cada cámara de aireación tomado en cuenta la infraestructura presente en el terreno.

Si h = 1,65 m

$$l = 9,56 \text{ m}$$

$$a = 3,00 \text{ m}$$

Se usará: h_{útil} = 1,65 m

$$a = 3,00 \text{ m}$$

$$l = 9,56 \text{ m}$$

7.11 NECESIDAD DE OXÍGENO

$$O_2 = [a (\text{DBO}_E - \text{DBO}_S) \times Q + b \times X_{va} V] \div 1\,000$$

$$O_2 = [0,52 \times 270 \times 64 + 0,1065 \times 5000 \times 25,33] \div 1\,000$$

$$O_2 = 22,47 \text{ kg/d}$$

7.12 VOLUMEN DE AIRE

$$V_a = O_2 \div (0,0012 \times 0,2312 \times 1\ 000)$$

$$V_a = 81,00 \text{ m}^3/\text{día} \approx 56,13 \text{ L/min}$$

7.13 AIRE REQUERIDO PARA DIGESTIÓN EN CADA TANQUE DE AIREACIÓN

(Con eficiencia de transferencia de 8 %)

$$A_d = V_a \div 0,08 \times 1\ 000 \div 1\ 440$$

$$= 81,00 \div 0,08 \times 1\ 000 \div 1\ 440$$

$$A_d = 703,12 \text{ L/min}$$

7.14 AIRE REQUERIDO PARA RECIRCULACIONES

$$A_r \approx 1/2 A_d = 351,56 \text{ L/min}$$

7.15 AIRE TOTAL TEÓRICO

$$A_T = A_d + A_r = 1054,68 \text{ L/min}$$

7.16 AIRE SUMINISTRADO

(Considerando pérdidas)

$$A_S = A_T + A_p$$

$$A_S = 1156 \text{ L/min}, \quad A_S = 69,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.17 CANTIDAD DE DIFUSORES

Difusor de disco con membrana modelo SSI 12'', 347 mm de diámetro. Flujo de operación por difusor: 1 – 12 m³/h, conexión de rosca de ¾''.

$$N^{\circ} \text{ difusores} = 69,40 \div 7,5 = 10$$

Para efectos de mejor distribución se colocarán 12 en cada tanque de aireación.

7.18 VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR

Si $t \approx 1,5$ horas para Q máx. horario, para el sedimentador, entonces:

$$A = Q \text{ máx. hor.} \times t = 289 \text{ m}^3/\text{d} / 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}/24\text{h} = 8,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Profundidad útil} = 2,50\text{m}$$

$$\text{Volumen de lodos} = 2,5\text{m} \times 8,02 \text{ m}^2 = 20,07 \text{ m}^3$$

Zona de acumulación de lodos ≈ 20 % del volumen útil

$$V_{\text{lodo}} = 20,07 \times 0,2 = 4,014 \text{ m}^3$$

$$V_T = 20,07 + 4,014 = 24,08 \text{ m}^3$$

Verificación para Q prom. (128m³/24h)

$$\text{TRH} = V_{\text{útil}} \div Q_p = 24,08 \div (128/24) = 4,51 \text{ horas}$$

Dimensionamiento (según infraestructura existente en campo y contemplando el acondicionamiento del tanque):

$$h_u \cong 2,50\text{m}$$

$$l = 3,50 \text{ m}$$

$$h = 20,07/(2,50 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}) = 2,68 \text{ m}$$

Comprobación de carga de sólidos en caudal máximo horario (Ref. 1 y 10)

$$= 5000 \text{ mg/L} * 289 \text{ m}^3/\text{d} / 1000 / 24 / (3*3,50) = 5,73 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Verificación por tasa de desbordamiento (CUS):

Comprobación de carga sobre vertedero caudal máximo horario ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$):

$$\text{CUS} = 289 \text{ m}^3/\text{d} / 24 / 3,50 \text{ m}^3/\text{d} = 3,44 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

Comprobación de carga sobre vertedero caudal promedio ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$):

$$\text{CUS} = 128 \text{ m}^3/\text{d} / 24 / 3,50 = 1,53 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

7.19 LECHO DE SECADO DE LODOS

$$\text{Volumen a evacuar} = V \text{ lodos} \times 0,3 = 4,014 \times 0,5 / 2 \text{ lechos} = 1,00 \text{ m}^3$$

$$\text{Área} = 3,00 \times 9,56 = 28,68 \text{ m}^2$$

Se usaran dos lechos de secado: Área por lecho = $28,68 \text{ m}^2$

$$a = 3,00 \text{ m}$$

$$l = 9,56 \text{ m}$$

Volumen de lodos considerando 15 días de tiempo de retención

$$V_{t15} = 1,00 \text{ m}^3/\text{d} \times 15 \text{ días} = 15 \text{ m}^3$$

Profundidad útil

$$V_{t15} / \text{Área lecho} = 15 / 28,68 = 0,52 \text{ m}$$

7.20 CÁLCULO DE REJAS

Cuadro 7.1 Parámetros de diseño para el sistema de rejjas

PARÁMETRO	DIMENSIÓN
ANCHO DE CANAL "B":	0,25 m
PENDIENTE DEL CANAL "i":	0,01 m/m
ESPACIAMIENTO ENTRE REJAS "s":	0,015 m
RUGOSIDAD DE CANAL "n" :	0,0120
NIVEL DE AGUA ARRIBA DE LA REJA TIRANTE "D":	0,0225 m
ALTURA DE CANAL=	0,5000 m
ESPESOR DE REJAS "e":	0,01 m
VELOCIDAD DE PASO " V_{PASO} ":	0,59 m/s
ANCHO DE CANAL EN ZONA DE REJAS "W":	0,52 m
COEFICIENTE DE SEGURIDAD REJAS FINAS " C_{rej} ":	0,1 m
PORCENTAJE DE ATASCAMIENTO MÁXIMO TOLERADO (60%-90%):	70 %
VALOR DE "K1":	2,04
VALOR DE "K2":	0,74
VALOR DE "K3":	1,784
ANCHO DE BARRAS DE REJAS "z":	0,01
FACTOR 1 :	0,44
FACTOR 2 :	0,60
PERDIDA DE CARGA EN LA REJA " Δh "	0,049 m
CANTIDAD DE MATERIA RETENIDA	53,92 l/d
CONTENEDOR (ESTAÑON DE 200 LITROS)	200,00 l
FRECUENCIA DE RETIRO DE CONTENEDOR	3,71 d

8. CALIDAD DEL EFLUENTE VERTIDO

Las siguientes son los valores proyectados; estos son más altos cuando el sistema alcanza su madurez.

Cuadro 8.1 Calidad de vertido del agua residual efluente

Parámetros por Monitorear	Valor proyectado en el Efluente Final	Límite Máximo Permitido
Demanda Biológica de Oxígeno, DBO mg/L	30	50
Demanda Química de Oxígeno, DQO mg/L	120	150
Grasas y Aceites	5	30
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	30	50
Sólidos Sedimentables, ml/L	Menos de 1	1
Temperatura, °C	Entre 20 y 25	15 a 40
pH	6 a 8	5 a 9
Sustancias activas al azul de metileno, mg/L	Menos de 2	5

9. BIBLIOGRAFIA

1. Metcalf - Eddy; Tratamiento y depuración de las aguas residuales; McGraw Hill; España, 1998.
2. McGhee, Terence. Abastecimiento de agua y Alcantarillado-Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill, Colombia, 1999
3. Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, CFIA, 2011
4. Crites, Ron y Tchobanoglous, George, *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, Primera edición, Mc Graw Hill, Estados Unidos, 1998.
5. Diario Oficial La Gaceta. “Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales”, 19 de marzo del 2007.
6. Diario Oficial La Gaceta. “Reglamento de aprobación de sistemas de tratamiento de aguas residuales”, 18 de abril del 2016. N° 39887-S-MINAE
7. Diario Oficial La Gaceta. “REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS”, AyA, 19 de marzo de 2007,
8. MOP 11, *Manual of Praticce, Operation of municipal wastewater treatment plants*, Water Environmental Federation, Estados Unidos, 1996.
9. Mott, Robert, *Mecánica de Fluidos Aplicada*, 4ta edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996.
10. Ramalho, R. S. Tratamiento de aguas residuales; Editorial Reverté, S.A.; Barcelona, España. 1993.
11. Reynolds, Tom y Paul, Richards, Units operations and processes in Environmental Engineering, Segunda Edición, PVS Publishing Company, Estados Unidos, 1996.

ANEXO 1. ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO

Cuadro 0.1 Especificación de equipos

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Soplador de canal lateral, marca MAPNER, modelo CL-14/21, motor 1 hp, Monofásico, 230V, 60 Hz, Flujo: 70 m ³ /h, Presión: 550 hPa	
Difusor de membrana SSI de 12", con base y anillo de polipropileno virgen y conexión de rosca de 3/4", Flujo de diseño por difusor: 1 – 12 m ³ /h, Rango de flujo 0-12 SCFM (0 - 20 Nm ³ /h)	
Bomba sumergible marca Vortex Sewage Pumps, Modelo 50AFU2.8 de 1,0 hp, Trifásica 230V. Recirculación de lodos del sedimentador secundario al tanque de aireación. Recirculación lixiviado de lechos de secado al tanque de aireación.	

Pressione di mandata Outlet pressure		hPa mbar		0	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575																	
Portata aspirata-Flow rate		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h		m³/h																	
Pot. motore-Motor power		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW		kW																	
TIPO TYPE	CL 20 HS	66	43	0,28	24	0,28	[0 m³/h a 90 mbar]																																				
	CL 30-Z HS	108	78	0,5	63	0,5	48	0,5	33	0,5	18	0,5																															
	CL 3.6/01	40	30	0,3	25,5	0,3	21	0,3	16,5	0,3	12	0,3																															
	CL 4/01	62	48	0,44	41	0,44	34	0,44	27	0,44	20	0,44	12	0,44																													
	CL 7/01	100	81	0,66	72	0,66	63	0,66	54	0,66	45	0,66	36	0,9	27	0,9	18	0,9																									
	CL 10/01	145	125	0,9	114	0,9	104	0,9	94	1,3	84	1,3	74	1,3	64	1,3	54	1,8	43	1,8																							
	CL 40 HS	176	147	0,9	132	0,9	117	0,9	102	0,9	88	1,3	74	1,3	59	1,3																											
	CL 15/01	208	182	1,3	168	1,3	155	1,3	142	2,2	129	2,2	115	2,2	102	2,2	89	2,2	76	2,2																							
	CL 50 HS	240	220	1,75	208	1,75	196	1,75	182	1,75	167	1,75	153	1,75	136	1,75	120	2,55	102	2,55	83	2,55	64	2,55																			
	CL 18/01	292	258	2,65	241	2,65	224	2,65	207	2,65	190	2,65	173	2,65	156	2,65	139	3,6	122	3,6	105	3,6	88	3,6																			
	CL 60 HS	360	326	2,55	308	2,55	290	2,55	273	2,55	256	2,55	238	2,55	221	2,55	204	3,45	186	3,45	168	3,45	151	4,6																			
	CL 28/1	370	330	2,65	312	2,65	295	2,65	279	2,65	264	2,65	250	2,65	236	3,6	222	3,6	208	3,6	195	3,6	182	4,8	169	4,8	156	4,8	143	4,8	130	4,8											
	CL 22/01	427	387	3,6	367	3,6	347	3,6	327	3,6	307	3,6	287	3,6	267	4,8	247	4,8	227	4,8	207	4,8	187	4,8																			
	CL 34/1	472	438	3,6	421	3,6	404	3,6	387	3,6	369	3,6	351	4,8	334	4,8	317	4,8	300	4,8	283	6,6	266	6,6	249	6,6	232	6,6	215	9	197	9											
	CL 40/1	540	506	3,6	490	3,6	474	3,6	458	3,6	442	4,8	426	4,8	410	4,8	394	6,6	378	6,6	362	6,6	346	6,6	330	9	314	9	298	9	282	9	266	9	250	9							
	CL 54/1	610	550	4,8	520	4,8	490	4,8	459	6,6	426	6,6	392	6,6	358	6,6																											
	CL 80 HS	620	576	4,8	554	4,8	532	4,8	510	4,8	488	4,8	466	4,8	444	4,8	422	6,3	400	6,3	378	6,3	356	8,6	334	8,6	312	8,6	290	8,6	268	8,6											
	CL 46/1	690	636	4,8	612	4,8	588	4,8	566	4,8	545	4,8	524	6,6	504	6,6	484	6,6	465	9	445	9	426	9	406	9	387	9	367	11	348	11	328	11	309	11							
	CL 60/1	810	750	4,8	721	4,8	696	4,8	672	6,6	648	6,6	624	9	600	9	576	9	552	9	528	11	504	11	480	13,2	456	13,2	432	13,2	408	13,2											
	CL 72/1	955	910	6,6	886	6,6	860	6,6	831	6,6	802	9	771	9	739	9	707	11	675	11	643	13,2	611	13,2	579	18	547	18	515	18	483	18	451	18									
	CL 84/1	1250	1186	9	1147	9	1108	9	1069	9	1030	11	991	11	952	11	913	13,2	874	13,2	835	18	796	18	757	18	718	18	679	18	640	18											
	CL 98/1	1305	1245	9	1217	11	1185	11	1155	13,2	1125	13,2	1095	13,2	1065	18	1035	18	1005	18	975	18	945	18	915	22	885	22	855	22	825	22	795	22									
	CL 4/21	65	57	0,66	53	0,66	49	0,66	45	0,66	41	0,66	37	0,66	33	0,9	29	0,9	25	0,9	21	0,9	17	0,9																			
	CL 7/21	100	90	1,3	85	1,3	80	1,3	75	1,3	70	1,3	65	1,3	59	1,3	54	1,3	49	1,3	44	1,8	39	1,8	34	1,8	28	1,8															
	CL 220 HS	104	91	0,83	85	0,83	78	0,83	72	0,83	65	0,83	59	0,83	52	0,83	45	0,83	38	0,83																							
	CL 10/21	145	133	1,8	126	1,8	119	1,8	112	1,8	105	1,8	98	1,8	91	1,8	84	1,8	77	1,8	70	2,65	63	2,65	56	2,65	49	2,65	42	2,65	35	2,65											
	CL 12/21	150	139	1,3	133	1,3	127	1,3	121	1,3	115	1,3	109	1,8	104	1,8	99	1,8	94	1,8	89	2,65	85	2,65	81	2,65	77	2,65	73	2,65	69	2,65	65	2,65	61	2,65	57	3,6	53	3,6	49	3,6	45
CL 420 HS	196	180	1,75	172	1,75	164	1,75	156	1,75	148	1,75	140	1,75	132	1,75	124	1,75	116	2,55	108	2,55	100	2,55	92	2,55	84	2,55	76	2,55	68	2,55												
CL 14/21	180	167	1,8	161	1,8	156	1,8	151	1,8	146	1,8	141	1,8	137	1,8	132	1,8	127	2,65	123	2,65	118	2,65	113	2,65	108	2,65	104	3,6	99	3,6	95	3,6	90	3,6	86	3,6	82	3,6	78	3,6	75	3,6

Figura A.1.1 Rendimiento del soplador Mapner CL-14/21

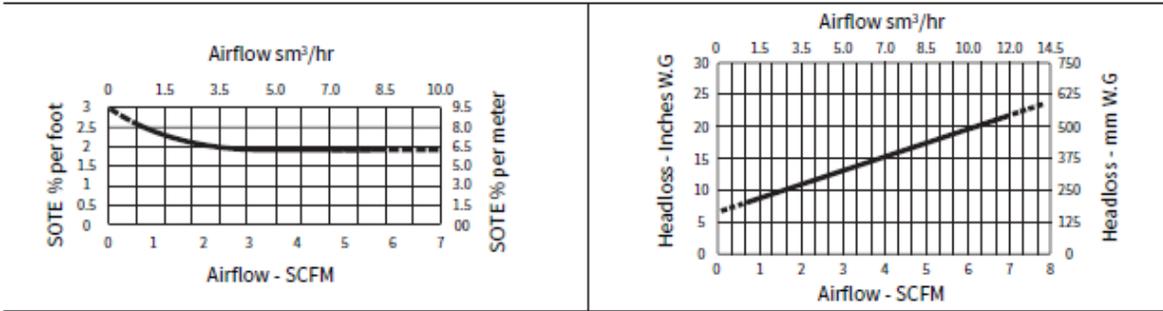


Figura A.1.2 Curvas de rendimiento del difusor de 12 pulgadas

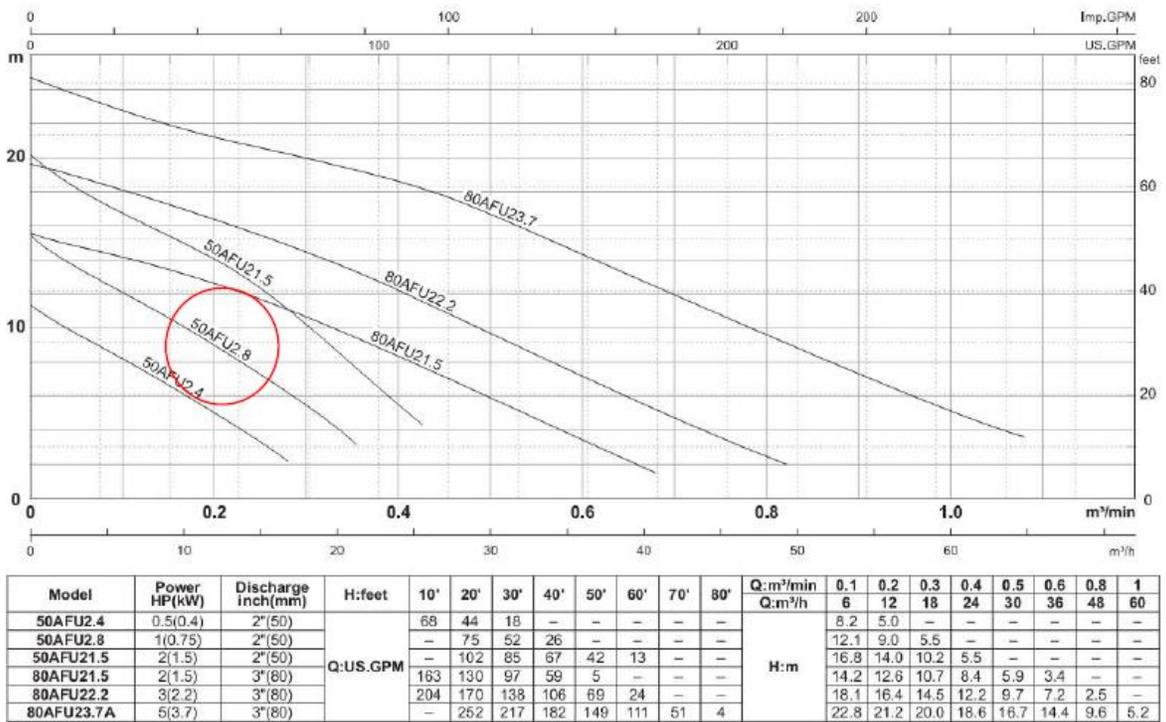
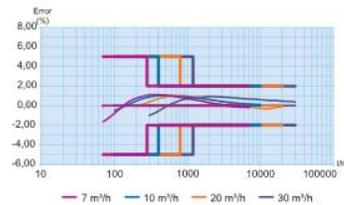


Figura A.1.2 Curva de rendimiento de bomba sumergible

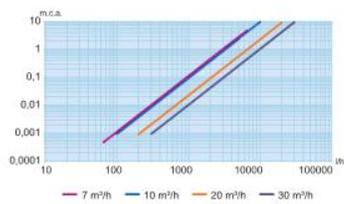
Multimag TM

Multi-jet Turbine Water Meter DN 25 to DN 50 mm

Typical Curve



Head Loss Curve



Qmax 20 m³/h

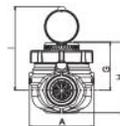
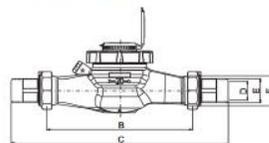


Figura A.1.3 Medidor de caudal Multimag TM

Metrological Performances

Nominal Diameter – DN	mm	25	25	30	40	50 flanged
	inches	1"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"
Metrological Performance						
Starting Flow Rate	l/h		25		70	90
Minimum Scale Internal	l		0,05			0,5
Indicating Range	m ³		9,999			99,999
Maximum Head Loss at Qmax	bar	0,42	0,45	0,45	0,7	0,9
Maximum Admissible Temperature	°C			0 to 30		
Maximum Admissible Pressure	bar			10		
EEC Approval Values						
Maximum Flow Rate – Qmax	m ³ /h	7	10	10	20	30
Nominal or Permanent Flow Rate – Qt	m ³ /h	3,5	5	5	10	15
Transitional Flow Rate – Qt	m ³ /h	0,28	0,4	0,4	0,8	1,2
Minimum Flow Rate – Qt	m ³ /h	0,07	0,1	0,1	0,2	0,45
Pressure Loss Group at Qmax	bar	0,6			1	

Figura A.1.4 Especificaciones del medidor de caudal

Dimensions and Weights

Nominal Diameter – DN	mm	25	30	40	50 flanged
	inches	1"	1 ¼"	1 ½"	2"
A. Width	mm	98	98	130	165
B. Length (w/o connections)	mm	260	260	300	270
C. Length (w/ connections)	mm	375	375	440	330
D. Internal Diameter	mm	25	25	40	50
E. Connection Thread	BSP	R 1"	R 1"	R 1 ½"	2"
F. Meter Thread	BSP	G 1 ¼"	G 1 ½"	G 2"	Flange
G. Axle to Cover Height	mm	70	70	100	120
H. Total Height	mm	110	110	140	200
I. Axle to Cover (opened) Height	mm	140	140	170	190
Weight – without Connections	kg	2,40	2,40	4,65	11,85
Weight – with Connections	kg	2,95	2,95	6,01	19,06

Figura A.1.5 Especificaciones del medidor de caudal

ANEXO 2 .OBTENCIÓN DE LA CANTIDAD DE HABITANTES POR VIVIENDA Y COMPARACIÓN CON DATOS INEC

Según datos de la Unidad de GIS de la Municipalidad de Cartago, la comunidad cuenta con un total de 257 hogares aproximadamente. A partir de este dato, se aplicó una encuesta a 42 viviendas elegidas aleatoriamente y distribuidas en las diversas zonas de la Urbanización, a fin de obtener datos representativos por medio de la aplicación del instrumento de evaluación.

De este análisis se obtiene para la comunidad del Atardecer una población estimada de 984 habitantes, los cuales fueron obtenidos de los 257 hogares y del promedio de habitantes por vivienda (3,83) deducido de la aplicación de encuestas. Según datos del INEC (2011), para el cantón de Cartago el promedio de habitantes por vivienda individual ocupada es de 3,80 y de 3,90 para el distrito de San Nicolás (al cual pertenece la Urbanización El Atardecer) lo cual muestra que el valor obtenido con la aplicación de encuestas es confiable.

8.9 APÉNDICE 9: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA URBANIZACIÓN EL ATARDECER**

**Sistema de Lodos Activados
Aireación Extendida**

Profesional responsable:

Jorge Solano Pérez

Agosto 2019

INDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	5
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROPUESTO	6
3.1 Rejilla	9
3.2 Desarenador	9
3.3 Tanque de aireación	9
3.4 Sedimentador secundario	9
3.5 Lechos de secado	9
3.6 Dispositivo de medición de caudal	10
3.7 Sistema de aireación	10
4. Información básica de diseño.....	10
4.1 Jornada de operación	10
4.2 Jornada de trabajo	10
4.3 Volúmenes de diseño y capacidad de la planta	11
4.4 Caudal promedio diario	11
4.5 Caudal máximo horario	11
4.6 Tipo de agua residual	11
4.7 Características del agua residual cruda	11
4.8 Concentración de la DBO y DQO de diseño	12
4.9 Características que debe cumplir el efluente del sistema de tratamiento	12
5. Personal.....	13
6. Equipo	13
7. PUESTA EN MARCHA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	14
8.1 Limpieza de rejillas	16
8.2 Tratamiento de lodos activados aireación extendida	16
8.2.1 Tanque de aireación.....	16
8.2.2 Sedimentador secundario.....	17

8.3	<i>Métodos para el control del proceso de lodos activados</i>	18
8.3.1	Control del proceso por Relación Alimento-Microorganismos.....	19
8.3.2	Control del proceso por medio del Tiempo de Retención Celular	20
8.3.3	Control de la Tasa de Lodo Descartado.....	22
8.3.4	Calidad del Lodo – Índice Volumétrico de Lodo	23
8.4	<i>Procedimiento de operación de la planta en caso de situaciones de emergencia y por eventos de mantenimiento</i>	23
9.	Posibles problemas de OPERACIÓN en el tratamiento biológico	23
9.1	<i>Presencia de espumas</i>	24
9.2	<i>Calidad del lodo</i>	24
9.3	<i>Detección del problema y su solución</i>	25
10.	Desechos generados	28
11.	Muestreo, MEDICIONES RUTINARIAS y análisis.....	28
11.1	<i>Mediciones rutinarias</i>	29
11.2	<i>Frecuencia de muestreo</i>	31
11.3	<i>Reportes operacionales</i>	31
11.4	<i>Bitácora</i>	31
12.	EQUIPO EN CASO DE EMERGENCIA	32
13.	CUADRO RESUMEN	32
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	33
	ANEXO I.....	35
	Documento base para elaboración de reportes operacionales	35

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento es un Manual de Operación y Mantenimiento para el sistema de tratamiento de aguas residuales de La Urbanización El Atardecer, en el cual se describen las especificaciones para la buena operación de dicho sistema. Este manual ha sido elaborado según especificaciones del decreto N° 39887-S-MINAE como parte del trámite de aprobación de una planta de tratamiento de aguas residuales residencial.

El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto se conoce como lodos activados aireación extendida. El sistema tiene como objetivo tratar las aguas residuales del proceso productivo de forma que el efluente cumpla con los límites de calidad de agua establecidos en el decreto 33601-S-Minae “Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales”.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La actividad que se va a desarrollar en la Urbanización El Atardecer corresponde a una urbanización residencial con un total de 257 viviendas. En la Urbanización se desarrolla básicamente la actividad de residencias habitacionales.

Este sistema recibirá los aportes de las actividades generales de un total de 257 viviendas con un promedio de 3,83 habitantes por unidad habitacional (según datos de encuesta aplicada en 2018 y comparados con resultados del Censo 2011 del INEC), una dotación de 163 l/p/d (obtenido a partir del histórico de consumo de agua potable de 20 meses consecutivos analizados para el periodo 2017-2018), constituyendo un caudal promedio de 128 metros cúbicos por día.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROPUESTO

El agua residual ingresa a una rejilla donde se recolectan sólidos gruesos, pasando luego por un desarenador para eliminar arenas que podrían obstruir el sistema de tratamiento. Luego el tratamiento del agua residual continúa hacia los dos tanques de aireación donde se elimina la carga orgánica disuelta en el agua residual.

Del tanque de aireación, el agua residual pasa al sedimentador secundario, donde se sedimenta el lodo y se retorna al tanque de aireación. El efluente clarificado del sedimentador secundario tiene una calidad suficiente para ser vertida al cuerpo receptor.

El lodo en exceso que crece por la reproducción de las bacterias, se envía una vez por semana en caso de ameritarlo (el tiempo podría ser mayor) hacia los lechos de secado, donde se estabiliza y reduce su volumen por medio de secado. Este lodo se acumula en dos lechos de secado, para posteriormente darles disposición final.

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama de flujo de las operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL STAR

SIN ESCALA

SIMBOLOGIA :

LINEAS NEGRAS: AGUAS RESIDUALES

LINEAS VERDES: AIRE A BAJA PRESION

LINEAS ROJAS: RECIRCULACION DE LODOS Y LIXIVIADO DE LECHOS DE SECADO

LINEAS GRISES: AGUAS RESIDUALES TRATADAS

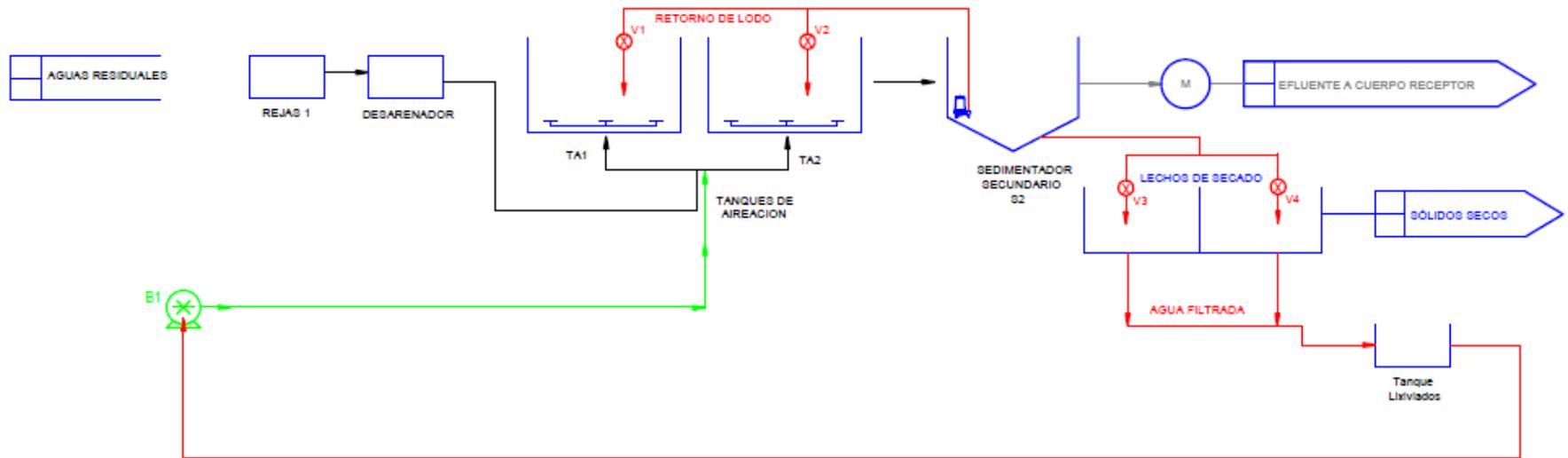


Figura 3.1 Diagrama de flujo del STAR

3.1 Rejilla

El agua residual proveniente de la urbanización pasa por una rejilla que remueve sólidos de más de 1 cm.

3.2 Desarenador

El desarenador recoge las arenas y materia en suspensión gruesa acarreada por las aguas residuales provenientes para evitar depósitos en otras partes del sistema de tratamiento.

3.3 Tanque de aireación

El tanque de aireación está constituido por dos secciones de igual dimensión. En estas secciones se realiza el tratamiento aeróbico del agua residual como tal.

Los tanques de aireación consisten en dos tanques de concreto con una división, tienen fondo plano y una red de difusores en el fondo, los cuales son alimentados por aire de un soplador. Estos tanques contienen lodo activado en suspensión, el cual se encarga de remover la demanda biológica de oxígeno disuelto en el agua residual.

3.4 Sedimentador secundario

El sedimentador secundario es un tanque de concreto con fondo cónico con un área de sedimentación en la parte inferior central del tanque. En este tanque se mantienen condiciones aptas para la sedimentación del lodo secundario (lodos activados) provenientes del tanque de aireación. En cada hora se recirculan por 15 minutos los lodos del sedimentador secundario por medio de una bomba instalada en el fondo del sedimentador, enviando este lodo de vuelta al tanque de aireación. Además, cada 15 días se envía lodo hacia los lechos de secado para su deshidratación.

3.5 Lechos de secado

Los lechos de secado son tanques de concreto con fondo plano y dos capas de agregados (arena de río lavada y piedra cuartilla) para filtrar el lixiviado del secado de lodos. Los lodos se acumulan en cada lecho hasta lograr su completa deshidratación y secado, para posteriormente enviar los lodos en camión de transporte a disposición externa.

3.6 Dispositivo de medición de caudal

Para la medición de caudal se va a utilizar un hidrómetro en la tubería de descarga del agua residual tratada desde el sedimentador secundario y hacia el río. El hidrómetro debe tener capacidad para un flujo de 6 metros cúbicos por hora.

En la sección 11.1.1 se muestra el procedimiento para la utilización de este equipo para hacer mediciones de caudal.

3.7 Sistema de aireación

El sistema de aireación está constituido por dos sopladores de 1.0 HP uno de uso normal y otro de emergencia y una red de 12 difusores por cada tanque de aireación. El sistema tiene capacidad de suplir 69,60 metros cúbicos por hora de aire hacia los difusores en cada tanque de aireación.

4. INFORMACIÓN BÁSICA DE DISEÑO

4.1 Jornada de operación

La planta de tratamiento opera durante 24 horas al día los siete días de la semana. Por ser un sistema aeróbico la operación es continua.

Las labores de operación y mantenimiento rutinarios se pueden llevar a cabo una vez por semana, ya que la aireación y ciclos de purgas se realizan en forma automática, y solo se requiere de una revisión del sistema y purga de lodo hacia el camión para transporte a tratamiento externo. Para la limpieza de rejillas se requiere una hora diaria, la cual puede ser realizada por los encargados de mantenimiento.

4.2 Jornada de trabajo

La jornada de trabajo para los encargados de operación y mantenimiento corresponde a 6 horas por mes, ya que el sistema requiere solamente de una visita semanal. El resto del tiempo el sistema funciona de forma automática por lo motivos explicados en el punto 4.1.

Para la limpieza de rejillas la jornada se establece en 30 horas al mes (1 hora diaria), la cual puede ser realizada por los encargados de mantenimiento de la Municipalidad o la persona que designen (no requiere de capacitación especial).

4.3 Volúmenes de diseño y capacidad de la planta

El volumen diario de diseño es de 128 metros cúbicos por día. Tomando un factor pico de 2,25, y un periodo de 24 horas de operación, se tiene un caudal promedio diario de 1,28 metros cúbicos por hora y un caudal máximo horario de 2,89 metros cúbicos por hora.

Cuadro 4.1 Caudal de diseño y caudal pico de la planta de tratamiento de aguas residuales

Proceso	Caudal (m³/día)
Caudal máximo diario	193
Caudal promedio diario	128
Caudal máximo horario	289

4.4 Caudal promedio diario

El caudal promedio diario de diseño es de 128 m³/ día.

4.5 Caudal máximo horario

El caudal máximo es de 289 m³/ d.

4.6 Tipo de agua residual

El agua residual a tratar es agua residual de tipo ordinario. La actividad que se realiza en el proyecto corresponde a residencias de habitación.

4.7 Características del agua residual cruda

De acuerdo a valores típicos de agua residual domésticas, se establecen las características fisicoquímicas del agua residual. En el cuadro 4.2 se muestra la caracterización fisicoquímica del agua residual.

Cuadro 4.2 Descripción de concentración de contaminantes para diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

Parámetro	Valor
Potencial de hidrógeno, pH	6 a 8
Sólidos suspendidos totales, mg/L	350
Sólidos sedimentables, mL/L/H	5,0
Aceites y grasas, mg/L	50,0
Demanda química de oxígeno total, DQO mg/L	520
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ mg/L	350
Sustancias activas al azul de metileno, SAAM, mg/L (Expresado como dodecibencebenosulfonato)	10,0

4.8 Concentración de la DBO y DQO de diseño

La concentración de diseño de DBO es 300 mg/L y la concentración de DQO de diseño es de 500 mg/L.

4.9 Características que debe cumplir el efluente del sistema de tratamiento

El efluente se va a enviar al río. En el cuadro 4.3 se muestra el valor de calidad esperado en el efluente y el límite establecido para vertido de aguas residuales ordinarias tratadas a cuerpo receptor, parámetros universales.

Cuadro 4.3 Calidad de vertido del agua residual del efluente

Parámetros por Monitorear	Valor proyectado en el Efluente Final	Límite Máximo Permitido
Demanda Biológica de Oxígeno, DBO mg/L	30	50
Demanda Química de Oxígeno, DQO mg/L	120	150
Grasas y Aceites	5	30
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	30	50
Sólidos Sedimentables, ml/L	Menos de 1	1
Temperatura, °C	Entre 20 y 25	15 a 40
pH	6 a 8	5 a 9
Sustancias activas al azul de metileno, mg/L	Menos de 2	5

5. PERSONAL

Para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se requiere del siguiente personal que se presenta en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Personal recomendado para operación y mantenimiento del STAR

Funciones	Cantidad de personas	Horas por mes	Calificaciones
Limpieza de rejillas	1	30 (1 hora diaria)	Sin calificaciones especiales
Operación	1	6	Técnico en tratamiento de aguas residuales
Mantenimiento (preventivo y correctivo)	1	1	Técnico en electromecánica

6. EQUIPO

Para el monitoreo diario de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta opera con la necesidad del siguiente equipo:

- Medidor de pH y soluciones buffer de calibración
- Medidor de oxígeno disuelto
- Termómetro
- Conos Imhoff (3 unidades de uso normal y 2 en stop)
- Bitácora

Adicionalmente se va a mantener en stock:

- Una bomba sumergible de 1 HP
- Un kit de repuestos del soplador
- Un soplador de emergencia

7. PUESTA EN MARCHA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El arranque de los sistemas biológicos es mejor si se lleva a cabo inoculando lodo activado. La aclimatación del inóculo es más rápida cuanto mayor la semejanza del sustrato a tratar con la fuente de donde proviene el lodo. Se recomienda solicitar lodos activados de una planta de tratamiento aeróbica para aguas residuales de alimentos.

La cantidad de inóculo también es importante, siendo que cuanto mayor, más fácilmente se alcanzan las condiciones deseadas de tratamiento. De manera general, se puede utilizar de 5 a 20% de volumen de reactor.

Las bacterias deben ser aclimatadas al desecho y al reactor utilizado. En esta fase deben ser evitadas grandes variaciones de pH, temperatura, caudal y concentración del agua residual y garantizar las concentraciones adecuadas de nutrientes necesarios.

La cantidad de agua residual afluyente al reactor biológico debe ser aumentada gradualmente, a medida que el sistema vaya respondiendo positivamente a cada aumento, hasta llegar a un 100%.

El reactor deberá ser inoculado con lodo de un sistema semejante “bien operado”, con una base de 1500 mg/L de sólidos suspendidos volátiles (SSVTA), o en el caso que no se disponga de este tipo de inóculo, el reactor deberá ser llenado con agua limpia y el sistema de aeración encendido por lo menos 24 h. A partir de entonces el efluente será alimentado con valores crecientes comenzando con un 10% de caudal del proyecto. Se deberán hacer medidas diarias de los valores de oxígeno disuelto y de sólidos sedimentables cada ½ hora (SD 30) en el tanque de aireación, medidas diarias de DQO de entrada y salida y semanales de los valores de DBO_{5,20} en la alimentación y descarga del reactor y SSVTA en el reactor. Los aumentos de caudales serán hechos cuando la eficiencia se encuentre en un mínimo de 80% de eficiencia del proyecto, condiciones estables de operación y exista por lo menos 1 mg/L de OD (oxígeno disuelto) en el tanque de aireación. Los valores de los incrementos serán de 10% por vez.

La formación del lodo biológico será observada visualmente o en microscopio, y la concentración de SSVTA deberá ser medida hasta que se alcance el valor establecido en el proyecto (5000 mg/L). Durante el arranque no se harán descartes de lodo. El arranque estará completo cuando el sistema alcance todos los parámetros del proyecto.

A continuación se describe en detalle un procedimiento de arranque de un TA:

1º día de operación:

- Llenar el reactor biológico con agua limpia hasta aproximadamente 1,65 m de profundidad.
- Adicionar inóculo hasta 5 o 10% del volumen del tanque, luego de dos horas de encendidos los sopladores.
- Hacer fluir el efluente. Se estima que se debe iniciar con un 10% del total del agua residual a tratar.
- A partir del 1º día, deberá ser realizado el análisis de concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico.
- Garantizar un valor mínimo de 1500 mg/l de sólidos suspensos volátiles en el tanque de aireación.

2º día de operación:

- Adicionar una cantidad e igual a la anterior de inóculo.
- Aumentar el caudal afluente a 20% del caudal.

3º día de operación:

- Mantener el caudal en 20% del total del agua residual..
- El flujo de entrada de agua residual en el reactor biológico, será controlada por la razón F/M, que deberá ser mantenido en torno de 0,10; esto es, aumentar el flujo a medida que ocurre un aumento en la concentración de sólidos volátiles en el tanque. Esto se debe seguir hasta alcanzar el caudal del proyecto.
- Cuando se llegue a la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (4000 mg/l), se debe iniciar la recirculación de lodo.

8. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

8.1 Limpieza de rejillas

Se debe realizar una limpieza de rejillas al menos una vez por semana, para permitir el flujo libre del agua residual hacia el tanque de aireación.

8.2 Tratamiento de lodos activados aireación extendida

El tratamiento secundario es del tipo biológico basado en lodos activados aireación extendida y está constituido por dos tanques de aireación, el sedimentador secundario y los lechos de secado. En la figura 2 se muestran las partes.

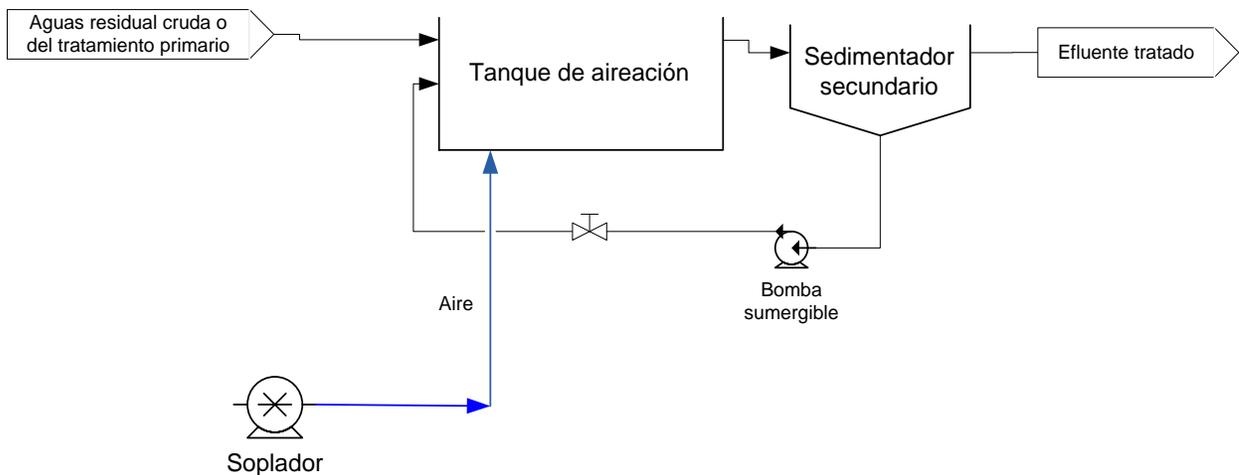


Figura 8.1. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento secundario

8.2.1 Tanque de aireación

Al dimensionar el tratamiento secundario y el tanque de aireación se escogen ciertos valores (volumen del tanque de aireación, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, masa de oxígeno a ser suministrada) tal que se consiga un efluente con las características determinadas por el diseñador. El control del proceso consistirá entonces en la operación del sistema de forma tal que lo mismo se comporte en la práctica como lo previsto por el diseñador. De esa forma, la operación se constituye en una extensión del proyecto, ambas actividades son extremadamente dependientes. El proceso debe, entonces, ser controlado de forma que se mantenga, en la práctica, los mismos

parámetros formulados por el diseñador, o sea, cualquier parámetro de proyecto solamente serán viables si se pudieren ser aplicados igualmente como parámetros de operación.

El proceso de lodos activados se fundamenta en el principio básico de acción de microorganismos en el reactor biológico, o sea, la reducción de carga orgánica del efluente por oxidación bioquímica. Operar y controlar un sistema de aireación consiste esencialmente en suplir alimento a la biomasa, mantener condiciones ambientales convenientes en el tanque de aireación y promover un continuo retorno de organismos a ese tanque por medio de la recirculación de lodos.

Suplir el alimento en condiciones adecuadas y mantener una relación alimento/microorganismos en el valor fijado por el diseñador; es un control que podrá ser hecho a través del mantenimiento de la relación F/M o también por el control del tiempo de retención celular.

Independiente del método de control escogido, se debe alcanzar el mantenimiento de la biomasa en el sistema a través del descarte del exceso de lodo, esta es la manera de mantener el sistema equilibrado. El operador deberá controlar la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el tanque de aireación, manteniendo las condiciones deseables. Esto puede ser hecho actuando sobre los dispositivos de aireación.

Para el control del oxígeno disuelto en el tanque de aireación se incluye un controlador de oxígeno disuelto. Este equipo tiene una sonda que mide el oxígeno disuelto y regula la operación de los sopladores de acuerdo a los requerimientos de aireación.

8.2.2 *Sedimentador secundario*

La función de esta unidad es promover la separación de sólidos/líquido del efluente del tanque de aireación con el objetivo de clarificar el efluente final como también de espesar el lodo activado que retorna al sistema.

Algo semejante es lo que ocurre con el tanque de aireación, el operador puede obtener valiosas informaciones sobre el comportamiento del proceso de tratamiento a través de simples observaciones visuales del efluente y del aspecto general del sedimentador secundario.

La calidad del efluente final es objetivo primario de su instalación. Un efluente turbio, conteniendo cantidad anormal de sólidos en suspensión o mostrando cualquier otro signo de deterioro de su calidad significa que hay algún problema en la operación del sistema.

8.3 Métodos para el control del proceso de lodos activados

El control del proceso de lodos activados será hecho por el mantenimiento de la edad del lodo (tiempo de retención celular) en 15 días a través del descarte del lodo, que será hecho en el sedimentador secundario.

El volumen de lodo semanal o mensual a descartar será calculado de la siguiente forma:

$$Q_L = \frac{V \times X_{VA}}{\theta_C \times X_{VU}} \quad , \text{ donde}$$

V = Volumen del tanque aireado

X_{VA} = Concentración de SSVTA

θ_C = Edad del lodo

X_{VU} = Concentración de SSV en el fondo del sedimentador secundario = 10000 mg/L

A través de los años, innumerables parámetros, tanto empíricos como reales, han sido propuestos para dimensionar y controlar el proceso de lodo activado. Actualmente, dos parámetros han sido, comúnmente, usados en el dimensionamiento y control del proceso de lodo activado. El primero, conocido como “relación alimento-microorganismos” o “tasa de utilización de sustrato”. El segundo y designado como “tiempo de retención celular” o “tiempo de retención de los sólidos”. Estos dos parámetros se correlacionan de tal forma que la fijación del valor de uno implicará la fijación del otro. La escogencia de uno de ellos para el dimensionamiento del proceso debe ser hecha sobre todo en función de las

condiciones de operación del sistema. Adelante serán comparadas las ventajas de ambos como técnicas de dimensionamiento y control.

En comparación, la relación alimento-microorganismos es una medida de la tasa de utilización del sustrato por unidad de masa de organismos, en cuanto a tiempo de retención celular es una medida del tiempo medio de permanencia de los organismos en el sistema.

A continuación se detallan diferentes métodos para llevar a cabo el control del proceso.

8.3.1 Control del proceso por Relación Alimento-Microorganismos

Este parámetro representa la masa de sustrato utilizada por unidad de tiempo por la masa de microorganismos presentes en el tanque de aireación, pudiendo ser expresado de la siguiente forma:

$$\frac{F}{M} = \frac{(S_0) * Q}{X_{VA} * V}$$

donde:

F/M = relación alimento-microorganismos, d^{-1}

S_0 = concentración de sustrato en el afluente, DBO_5 combinada, mg/l

Q = caudal afluente, m^3/d

X_{VA} = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, mg/l

V = volumen del tanque de aireación, m^3

Para determinar la relación F/M , el sustrato utilizado y la masa de microorganismos que se utilizan de ese sustrato deben ser conocidos. El sustrato utilizado puede ser hallado a través de un balance entre la carga orgánica afluente y efluente (DBO e DQO). La masa de microorganismos está, usualmente, representada por los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación. Una vez conocidos Q e S_0 , determinan la eficiencia deseada para el sistema (que aportará el valor de S), determinado el valor de X_{VA} y escogido el valor de la relación F/M , de acuerdo con la variable del proceso que se desea, se puede determinar el valor de V a través de la ecuación de arriba.

El control del proceso por la relación F/M consistirá en mantener el valor de X_{VA} tanto como sea posible cercano al valor del proyecto. El mantenimiento de X_{VA} , en torno a un valor constante, mantiene constante el valor de F/M y, por tanto, fijará S en su valor deseado. Como el proceso de estabilización de la materia orgánica implica un constante aumento de la concentración de microorganismos en el tanque de aeración, el mantenimiento de X_{VA} , en su valor de proyecto, solamente, podrá ser conseguida si la masa de microorganismos producida en un cierto periodo (exceso de lodo) fuera descartada del sistema de este mismo periodo.

La formación de exceso de lodo es proporcional a la masa de sustrato utilizada. Sistemas que operan con elevadas relaciones F/M tienden a formar una masa de exceso de lodo proporcionalmente mayor que sistemas que operan en valores más bajos de este parámetro. La producción de exceso de lodo puede ser aceptada por un incremento en el valor de X_{VA} en un periodo dado.

Normalmente, en sistemas controlados por la relación F/M, el descarte de exceso de lodo se hace en la línea de recirculación de lodo. Esto porque el lodo ahí se encuentra con una concentración de sólidos suspendidos volátiles mayor, obtenida en el fondo del sedimentador secundario, lo que implica un menor volumen a ser descartado.

8.3.2 Control del proceso por medio del Tiempo de Retención Celular

La necesidad de retirar periódicamente el exceso de lodo producido en el tanque de aeración debe su origen a un nuevo parámetro de proyecto, basado en la relación entre la masa de lodo activado presente en el tanque de aireación y la masa de exceso de lodo removida diariamente.

Si cada día se remueve del sistema una cierta masa de exceso de lodo, la relación entre la masa total en el tanque de aireación y la masa removida diariamente da el tiempo medio en días que una partícula de lodo permanece en el sistema. Por ejemplo, si cada día se forma y es removida una masa de exceso de lodo correspondiente a 10% de la masa total de lodo, serán removidos diariamente 10% de los microorganismos presentes y sustituidos por igual

porcentaje de nuevos microorganismos. Esto significa que, probabilísticamente, todo el contenido del tanque de aireación será renovado en 24 días. A lo largo de un cierto tiempo, se puede afirmar que cada microorganismo permanece, en promedio, 24 días en el sistema. El tiempo de retención celular será, por tanto, de 24 días.

Se define el parámetro tiempo de retención celular como la relación entre la masa total de microorganismos presentes en el tanque de aireación y la masa de microorganismos descartada diariamente.

Asumiendo mezcla homogénea del contenido del tanque de aireación, el tiempo de retención celular como previamente se definió, puede ser expresado de la forma siguiente:

$$\theta_c = \frac{X_{VA} * V}{X_{VR} * v}$$

donde:

θ_c = tiempo de retención celular, días

X_{VA} = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, mg/l

X_{VR} = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el lodo recirculado, mg/l

V = volumen del tanque de aireación, m³

v = volumen diario descartado, m³/d

Esto quiere decir que el tiempo de retención celular, expresado en días, es igual a la relación entre el volumen del tanque de aireación y el volumen descartado diariamente del tanque de aireación. Por tanto, para que se mantenga fijo el tiempo de retención celular de un sistema, basta que se retiren todos los días del tanque de aireación una cierta cantidad de sólidos, tal que la relación entre lo descartado y el volumen del tanque de aireación sea numéricamente igual al inverso del tiempo de retención celular. Así, un tiempo de retención celular de 24 días puede ser controlado a través de la retirada diaria de un volumen de líquido igual a 1/24 del volumen del tanque de aireación.

8.3.3 Control de la Tasa de Lodo Descartado

El control del lodo descartado es la herramienta operacional más importante en un sistema de lodos activados. Este control conforme ya fue dicho, podrá ser hecho a través del tiempo de retención celular o de la relación F/M, se utilizan las ecuaciones ya presentadas.

Remover lodo en exceso ocasionará una reducción de la biomasa abajo del valor necesario para la estabilización de toda la materia orgánica afluyente, resultando en un efluente con DBO encima del valor de proyecto.

En el caso que ocurra una remoción de una menor cantidad de lodo que la determinada en proyecto, buscando aumentar la biomasa en el sentido de tener un sistema más estable, esta remoción acarreará la elevación de los sólidos en suspensión en el reactor biológico y una reducción de la relación F/M.

La elevación de los sólidos en suspensión implica un aumento de la tasa de aplicación de sólidos sobre el sedimentador secundario, con la consiguiente disminución de su capacidad de espesamiento de lodo. La relación entre las concentraciones de lodo en el fondo del sedimentador secundario y en el reactor de aireación tenderá a disminuir. El lodo no podrá ser transportado de vuelta al reactor, por la elevación de lodo activado con la misma rapidez con que ingresa al sedimentador secundario. Su tendencia será a acumularse en el sedimentador, hasta llenarlo y salir como efluente. El sistema de aireación tiene una capacidad máxima de contener sólidos en suspensión, cualquier tentativa de exceder ese límite resultará en la pérdida de lodo como efluente.

Un aumento en la cantidad de biomasa implicará un aumento de la masa total de organismos que será oxidada bioquímicamente por los organismos remanentes, aumentando con ello el consumo de oxígeno en el reactor. Este aumento puede elevar el consumo por arriba de la capacidad total instalada de los dispositivos de aireación, y hacer bajar en el reactor la concentración de oxígeno disuelto por debajo de los niveles requeridos. El efluente se deteriorará no por falta de organismos para estabilizarlo, más por escasez de oxígeno en el reactor biológico.

8.3.4 Calidad del Lodo – Índice Volumétrico de Lodo

La calidad del lodo biológico es función de su decantabilidad y de su capacidad de degradar el sustrato. Puede ser determinada por el índice volumétrico de lodo (IVL) o índice de Mohlman (IM), que es definido como el volumen en mililitros ocupado por un gramo de lodo activado después de sedimentar durante 30 minutos. De esa definición se observa que para más bajos valores, mejores serán las condiciones de decantabilidad del lodo. Índices de lodo con valores comprendidos entre 80 y 140 generalmente indican buenas condiciones.

8.4 Procedimiento de operación de la planta en caso de situaciones de emergencia y por eventos de mantenimiento

En caso de eventos de mantenimiento programado del sistema de aireación o por situaciones de emergencia, se establece el siguiente procedimiento.

- a. Inhabilitar uno de los tanques de aireación para el mantenimiento. Debido a que el sistema cuenta con dos tanques de aireación que trabajan de manera simultánea, se recomienda en caso de emergencia o mantenimiento, dejar en funcionamiento uno de los tanques mientras se le da mantenimiento al otro, de manera que no se interrumpa de manera significativa el tratamiento de las aguas residuales.

9. POSIBLES PROBLEMAS DE OPERACIÓN EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Para un buen desempeño de una planta de tratamiento de aguas residuales es imprescindible un control de la operación. Para la solución de problemas, inicialmente debe ser hecha una caracterización de los síntomas y una asociación de éstos con las causas probables. Cuando exista la ocurrencia de múltiples causas, deberán ser eliminadas al inicio las menos importantes e implantadas entonces, medidas que busquen la eliminación, una a una, de las causas del problema. Para un eficiente control de los parámetros operacionales, es necesaria la realización periódica de análisis físico-químicos y microbiológicos.

9.1 Presencia de espumas

El efluente contiene normalmente jabón, detergentes, aceites y otros agentes tensoactivos que producen espuma cuando son aireados. Si la concentración de SSVTA es alta, la tendencia a la formación de espuma se reduce a un mínimo. El tanque de aireación al inicio de operación podrá tener grandes cantidades de espuma debido a baja concentración de SSVTA. Para resolver el problema, es fundamental disponer de algún método que permita controlar la formación de espumas, como la colocación de bocas aspersoras de agua o la adición de antiespumantes en la entrada del tanque de aireación.

9.2 Calidad del lodo

La calidad del lodo biológico es una función de su decantabilidad y de su capacidad de degradación del sustrato y puede ser determinado por el índice volumétrico de lodo (IVL) que es dado por la fórmula:

$$IVL = \frac{SD_{30} \times 1000}{X_A} \quad (\text{mg/L}) \text{ donde;}$$

SD_{30} = Sólidos sedimentables medidos en probeta en 30', ml/L

X_A = Sólidos suspendidos totales en el RBA, mg/L

La siguiente tabla indica la sedimentabilidad del lodo en función del IVL.

Cuadro 9.1 Calidad del lodo de acuerdo al índice volumétrico de lodo

IVL (ml/g)	SEDIMENTABILIDAD	CARACTERÍSTICAS
< 50	PERFECTA	EFLUENTE SIN TURBIDEZ
50 – 100	MUY BUENA	EFLUENTE BUENO
100 – 200	TOLERABLE	PELIGRO DE PERDIDA DE LODO
200 – 400	MALA	LODO CON PROBLEMAS
> 400	IMPOSIBLE	PERDIDA TOTAL DE LODO

Los problemas que se pueden presentar con el lodo activado son los siguientes:

1. Lodo flotante

Este problema se presenta en el sedimentador secundario. Ocasionalmente un lodo con buenas características de decantabilidad flota después de un pequeño período de

decantación. La causa probable del fenómeno es la desnitrificación. Para resolver el problema se deben realizar las siguientes operaciones.

- Disminuir la “edad del lodo”, aumentando el volumen de lodo retirado del sistema
- Promover una agitación mecánica en el lodo flotante de forma que se facilite el desprendimiento del gas formado e incrementar su decantabilidad
- Disminuir la concentración de OD (oxígeno disuelto) en el RBA (reactor biológico aerobio) disminuyendo el tiempo de los sopladores encendidos

2. Abultamiento del lodo

El abultamiento o “bulking” del lodo es el crecimiento fuera de control de los microorganismos filamentosos haciendo que el lodo se haga menos denso, lo que hace que presente malas características de sedimentabilidad y compactación y hasta la pérdida total de los lodos por arrastre en el agua. Existen muchas causas probables que deben ser verificadas:

- Oxígeno disuelto en el TA. Debe estar entre 1 y 2 mg/L
- Observar la relación F/M ($0,20 \text{ d}^{-1}$) y la edad del lodo debe estar dentro de los valores del proyecto
- Verificar el pH dentro del RBA. Se recomienda trabajar en un rango de 7,0 a 8,0
- Verificar la relación $\text{DBO}_{5,20}/\text{N}/\text{P}$. Se recomienda utilizar 100/5/1, adicionar nutrientes si es necesario
- Verificar fluctuaciones de caudal y minimizarlas. Por ejemplo, evitando el retorno del efluente de los desagües durante las horas pico de caudal.

9.3 Detección del problema y su solución

A continuación se detalla sobre la posible causa y solución que se debe realizar cuando algún parámetro de control de la operación se encuentra fuera de su ámbito normal de operación.

- **Control de OD:**
 - Valor mínimo: 1,50 mg/L
 - Valor medio: 2,00 mg/L
 - Valor máximo: 4,00 mg/L
 - OD alto: disminuir aireación
 - OD bajo: aumentar aireación

- **Tiempo de retención celular:**
 - Valor de proyecto: 24 días
 - Tiempo de retención celular alto: aumentar descarga de lodo, aumentar SS
 - Tiempo de retención celular bajo: disminuir descarga de lodo

- **Relación F/M:**
 - Valor de proyecto: 0,10 día⁻¹
 - F/M alta: disminuir descarga de lodo, aumentar SS
 - F/M baja: aumentar descarga de lodo, disminuir SS

- **Cargas de Choque:**
 - Aumentar recirculación, SS y OD
 - Disminuir descarga de lodo

- **Masa líquida del reactor con color oscuro:**
 - Aumentar suministro de aire

- **Exceso de espuma blanca:**
 - Indica lodo joven, típico de inicio de operación o en régimen de sobrecarga. Reducir el lodo descartado (aumento de SSV - factor que controla la formación de espuma). Verificar si la recirculación de lodos está siendo hecha correctamente.

- **Espuma color café en el reactor:**
 - Disminuir la edad del lodo

Aumentar el descarte de lodo

- **Flotación de lodo en el sedimentador secundario:**

CAUSA: Desnitrificación - la descomposición de nitritos y nitratos en el fondo del sedimentador secundario, lleva a la liberación de nitrógeno gaseoso, ocurriendo así el arrastre del lodo. Disminuir la altura del lodo en el fondo del sedimentador secundario, usando una de las siguientes alternativas: aumentar a recirculación de lodo, disminuir el caudal de entrada en el sedimentador secundario, disminuir la nitrificación en el reactor al reducir la aireación o por la disminución del tiempo de retención aumentando la purga.

CAUSA: flujo de sólidos en el sedimentador mayor que el de diseño. Disminuir el caudal de entrada en el sedimentador secundario (by-pass).

- **Flóculos dispersos y/o baja decantabilidad:**

Disminuir tiempo de retención celular y turbulencia en el reactor.

- **“Bulking”:**

Un sobrenadante claro por arriba de lodo de reducida decantabilidad indica la presencia de organismos filamentosos. Por otro lado, un efluente turbio, con lodo de baja decantabilidad, indica crecimiento disperso. Aumentar el OD, adicionar bactericidas, desviar parte de la carga, aumentar descarte de lodo.

- **Color del lodo:**

Café claro - aumentar la tasa de SS

Café oscuro - sistema operando con buena eficiencia

Negro - aumentar descarte de lodo

- **Control de nutrientes:**

Las cantidades de nutrientes deben ser adecuadas en relación con el DBO del agua residual a ser tratada. La proporción es la siguiente: DBO:N:P / 100:5:1.

10. DESECHOS GENERADOS

El principal material de desecho que se produce debido a la operación de la planta de tratamiento es el lodo desecado que sale de los lechos de secado.

Es importante mencionar, que nunca se descargaran las aguas residuales sin tratamiento al río, en caso de una emergencia, contratarán camiones cisternas para extraer el efluente y éste se llevará para un tratamiento externo. El acceso y maniobra del camión cisterna se realizará en la zona de parqueo y la entrada de mangueras y acoples se hará en la puerta de acceso de emergencia en la malla perimetral hacia la PTAR.

Estos residuos serán recolectados por un gestor autorizado para su gestión adecuada.

11. MUESTREO, MEDICIONES RUTINARIAS Y ANÁLISIS

Los análisis de laboratorio brindan el soporte técnico que permita revisar el funcionamiento y operación de los sistemas biológicos, principalmente al brindar los datos de eficiencia del tratamiento y conocer las características del afluente y del efluente.

Para el control del proceso será necesaria la determinación de parámetros tales como: DBO, pH, temperatura, grasas y aceites y sólidos. Los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos descritos en el Standard Methods.

Algunos análisis de rutina pueden ser realizados por los mismos operadores de la planta de tratamiento de aguas, tales como OD, temperatura y caudal. Otros análisis de rutina deben llevarse a cabo en un laboratorio, ya sea el laboratorio de la planta de proceso o un laboratorio externo.

A continuación se describe la frecuencia con la que se deben realizar los análisis:

- **Medidor de Oxígeno disuelto (OD):** 01 vez por semana cuando se aplica la carga máxima. Las muestras se toman en el reactor biológico, sedimentador secundario y de la línea de retorno de lodo.

- **Sólidos sedimentables:** 01 vez por semana, con muestras del efluente bruto, reactor biológico para determinación del índice volumétrico de lodo y efluente final.
- **Sólidos suspendidos (SS):** 01 vez por mes, con muestras del efluente bruto, reactor biológico para determinación del índice volumétrico de lodo y efluente final.
- **Sólidos suspendidos volátiles (SSV):** 01 vez por mes, con muestras tomadas del reactor biológico.
- **DBO₅:** 01 vez por trimestre, con muestras del reactor biológico, del agua residual entrante y del efluente tratado.
- **DQO:** 01 vez por mes, con muestras del agua residual de entrada y salida.

Observación: Se adopta la DQO como parámetro de control porque los resultados se obtienen el mismo día, mientras que el análisis de DBO₅ tarda 5 días en ser obtenido. El DBO₅ se estima utilizando la relación DQO/DBO₅ del agua residual.

- **Temperatura:** 01 vez por semana.
- **pH:** 01 veces por semana, se debe analizar el agua residual de entrada y salida, así como el agua residual en el reactor.
- **Análisis microscópico:** 01 vez por mes.
- **Nitrógeno:** 01 vez por trimestre.
- **Fósforo:** 01 vez por trimestre.

11.1 Mediciones rutinarias

Las mediciones rutinarias mínimas son las siguientes:

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto
- Sólidos sedimentables
- Caudal

Estas mediciones deben ser realizadas al menos una vez al mes. Sin embargo, por el tamaño de la planta de tratamiento, se recomienda la visita quincenal para el seguimiento de la planta de tratamiento, por lo que estas mediciones pueden ser tomadas con una regularidad quincenal.

Tanto las mediciones rutinarias, así como otros eventos como la visita del laboratorio habilitado, operaciones de mantenimiento, directrices de la gerencia o de un consultor, se deben apuntar en la bitácora de la planta de tratamiento.

11.1.1 Procedimiento para tomar mediciones rutinarias

La medición de caudal se realiza utilizando el hidrómetro, el cual presenta un valor de volumen instantáneo, es decir, del volumen de agua que ha pasado por el mismo. Para tomar la lectura de caudal, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se anota la medición de volumen en la bitácora de la planta de tratamiento, indicando la fecha, hora y volumen medido por el equipo.
2. En la próxima visita para medición, se anota nuevamente la fecha, hora y volumen medido.
3. Se calcula el caudal promedio utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V_{i+1} - V_i}{T}$$

Donde;

Q es el caudal promedio diario en metros cúbicos por día.

V_{i+1} es el volumen de la lectura del hidrómetro de la medición actual en metros cúbicos.

V_i es el volumen de la lectura del hidrómetro de la medición anterior en metros cúbicos.

T es el periodo de tiempo transcurrido entre las mediciones, medido en días.

Las lecturas de pH y temperatura deben ser realizadas con un equipo calibrado, las cuales se anota en la bitácora. La medición de sólidos sedimentables se realiza con el Cono Imhoff.

11.2 Frecuencia de muestreo

En el siguiente cuadro se resume el equipo y frecuencia en que deben ser estimados algunos parámetros de control.

Cuadro 11.1 Parámetros, equipo y frecuencia de los análisis físico-químicos a ser realizados en las diferentes etapas del proceso

OPERACIÓN	PARAMETROS	FRECUENCIA
Agua de alimentación al tanque de aireación	DBO _{5,20} DQO pH NKT P	TRIMESTRAL
Tanque de aireación	Sólidos sedimentables Oxígeno Disuelto pH Sólidos Suspendidos Volátiles Sólidos suspendidos totales	MENSUAL
Efluente	DQO; DBO ₅ Sólidos suspendidos totales Temperatura, grasas y aceites, Sólidos sedimentables pH, SAAMs, caudal	TRIMESTRAL

11.3 Reportes operacionales

Los reportes operacionales de las planta de tratamiento de aguas residuales deben presentarse trimestralmente al Ministerio de Salud. El análisis los debe realizar un laboratorio habilitado por el Ministerio de Salud. En el anexo I se muestra el machote de referencia del Ministerio de Salud para elaborar dicho reporte operacional.

11.4 Bitácora

La planta de tratamiento debe contar con una bitácora en la que se debe registrar las mediciones rutinarias, los comentarios o recomendaciones de la gerencia o de consultores, visitas de inspección de órganos oficiales, actividades especiales de mantenimiento y, en general, todos los eventos importantes de la planta de tratamiento.

12. EQUIPO EN CASO DE EMERGENCIA

Como el sistema de tratamiento utiliza equipo electromecánico de uso diario, se incluye en el diseño eléctrico, la prevista para un tercer soplador de 1 HP, así como una bomba sumergible de 1 HP.

En el caso de no contar con fluido eléctrico:

Para cumplir con lo establecido en el Art. 17, inciso "L" del Decreto 39887-S-MINAE, se tendrá como alternativa una planta de emergencia como fuente generadora, que no depende del fluido eléctrico, por ejemplo de combustión fósil o energías alternativas, que cumpla con la demanda de energía solicitada para el correcto funcionamiento del sistema.

13. CUADRO RESUMEN

Existe un control automático de las funciones básicas de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, que se realiza a través de un conector lógico programable.

Este controla las siguientes actividades:

- a. Recirculación de lodo secundario del sedimentador primario
- b. Encendido y apagado de soplador
- c. Envío de agua residual tratada a cuerpo receptor

Los controles que debe realizar el operador se resumen en el cuadro 13.1.

Cuadro 13.1 Listado de actividades de monitoreo y mantenimiento

Frecuencia	Actividad
Diariamente	Limpieza de rejillas
Quincenalmente	Medición en el efluente de: pH, sólidos sedimentables, temperatura y caudal
	Purga de lodos del sedimentador secundario al digestor de lodos
	Medición de sólidos sedimentables en tanque de aireación y digestor aeróbico
	Soplar filtro de ingreso de aire a sopladores
Mensualmente	Envío de lodos de digestor a tratamiento externo
	Envío de muestras al laboratorio para análisis de: Tanque de aireación: Sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables e ÍVL
Trimestralmente	Muestreo compuesto y análisis fisicoquímico del efluente y presentación de reporte operacional al Ministerio de Salud

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Metcalf - Eddy; Tratamiento y depuración de las aguas residuales; McGraw Hill; España, 1998.
2. McGhee, Terence. Abastecimiento de agua y Alcantarillado-Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill, Colombia, 1999
3. Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, CFIA, 2011
4. Crites, Ron y Tchobanoglous, George, Small and Decentralized Wastewater Management Systems, Primera edición, Mc Graw Hill, Estados Unidos, 1998.
5. Diario Oficial La Gaceta. “Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales”, 19 de marzo del 2007.
6. Diario Oficial La Gaceta. “Reglamento de aprobación de sistemas de tratamiento de aguas residuales”, 18 de abril del 2016. N° 39887-S-MINAE
7. Diario Oficial La Gaceta. “REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS”, AyA, 19 de marzo de 2007,
8. MOP 11, Manual of Prattice, Operation of municipal wastewater treatment plants, Water Environmental Federation, Estados Unidos, 1996.
9. Mott, Robert, Mecánica de Fluidos Aplicada, 4ta edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996.
10. Ramalho, R. S. Tratamiento de aguas residuales; Editorial Reverté, S.A.; Barcelona, España. 1993.

11. Reynolds, Tom y Paul, Richards, Units operations and processes in Environmental Engineering, Segunda Edición, PVS Publishing Company, Estados Unidos, 1996.

15. ANEXO I

DOCUMENTO BASE PARA ELABORACIÓN DE REPORTES OPERACIONALES

**REPORTE OPERACIONAL
AGUAS RESIDUALES
(DECRETO N°.33601.REGLAMENTO DE VERTIDO Y REUSO DE
AGUAS RESIDUALES)**

1. DATOS GENERALES

Ente Generador:		CIU:
Actividad(es):		
Provincia:	Cantón:	Distrito:
Dirección:		
Página en Internet:		
Permiso sanitario de funcionamiento:	Rige:	Vence:
Número del Reporte:	Fecha del Reporte:	
Período reportado:	Del	al
Frecuencia de presentación del Reporte:	Semestral ()	Trimestral () Mensual ()
Propietario o Representante del Ente Generador:		
Tel:	Fax:	Apartado Postal:
Correo Electrónico:		
Responsable Técnico del Reporte:		
Tel:	Fax:	Apartado Postal:
Correo Electrónico:	N° _Registro MS:	

2. DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

<input type="checkbox"/> Vertidas al cuerpo receptor:	Nombre del cuerpo receptor:
<input type="checkbox"/> Vertidas al Alcantarillado Sanitario:	<input type="checkbox"/> Nombre del EAAS:
<input type="checkbox"/> Reusadas:	<input type="checkbox"/> Tipo:

3. MEDICIÓN DE CAUDALES

Método empleado:

La medición de caudales debe hacerse en la salida de la última unidad de tratamiento.

4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE PARÁMETROS POR PARTE DEL ENTE GENERADOR

	N° de veces	Promedio	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo
Caudal (m ³ /día)					
pH					
Sólidos Sedimentables.					
Temperatura					

La información de la tabla N° 1, corresponde a los valores de los parámetros medidos por el ente generador y anotado en la bitácora de manejo de las aguas residuales.

En caso de que se cuente con un sistema de tratamiento, debe indicar el caudal de diseño, en m³/día:

5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Nombre del Laboratorio:

Fecha:

Nº de análisis físico-químico:

Nº de permiso sanitario de funcionamiento:

Rige: Vence:

TABLA 2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO									
Parámetro	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	T (°C)	SST (mg/l)	SSed (ml/l/h)	GyA (mg/l)	SAAM (mg/l)	-
Valor									
Incertidumbre									
Límite									

Adjuntar los originales de los análisis de laboratorio con su respectivo refrendo del Colegio Federado de Químicos e Ingenieros Químicos de Costa Rica.

6. EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

7. PLAN DE ACCIONES CORRECTIVAS

8. REGISTRO DE PRODUCCIÓN

Como producción, o población servida, durante el período reportado:

9. NOMBRE Y FIRMA:

PROPIETARIO O REPRESENTANTE
LEGAL DEL ENTE GENERADOR:

RESPONSABLE TÉCNICO DEL
REPORTE:

8.10 APÉNDICE 10: CÁLCULOS RELACIONADOS AL CONSUMO ENERGÉTICO

Cuadro A.10.1 Datos de potencia y energía del equipo electromecánico básico del STAR

Datos de entrada				
Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas funcionamiento	Energía (kWh)
Bomba sumergible 1	1	0,75	6	4,50
Bomba sumergible 2	1	0,75	1	0,75
Soplador 1	1	3,6	24	86,40
Soplador 2	1	3,6	24	86,40

Cuadro A.10.2 Demanda y energía diaria del equipo electromecánico

Demanda y energía por día	
Demanda (kW)	8,70
Energía (kWh)	178,05

Cuadro A.10.3 Costos asociados al consumo y demanda mensual del equipo electromecánico

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Consumo(kWh)	5519,55	4985,40	5519,55	5341,50	5519,55	5341,50	5519,55	5519,55	5341,50	5519,55	5341,50	5519,55
Demanda(kW)	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
Facturación con tarifa preferencial (T-CS)												
Costo demanda	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65	€54 884,65
Costo de energía	€229 778,87	€207 542,20	€229 778,87	€222 366,65	€229 778,87	€222 366,65	€229 778,87	€229 778,87	€222 366,65	€229 778,87	€222 366,65	€229 778,87
Costo Subtotal	€284 663,51	€262 426,85	€284 663,51	€277 251,29	€284 663,51	€277 251,29	€284 663,51	€284 663,51	€277 251,29	€284 663,51	€277 251,29	€284 663,51
Alumbrado público	€17 110,61	€15 454,74	€17 110,61	€16 558,65	€17 110,61	€16 558,65	€17 110,61	€17 110,61	€16 558,65	€17 110,61	€16 558,65	€17 110,61
Tributo a bomberos	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92	€1 274,92
Impuesto de ventas	€37 006,26	€34 115,49	€37 006,26	€36 042,67	€37 006,26	€36 042,67	€37 006,26	€37 006,26	€36 042,67	€37 006,26	€36 042,67	€37 006,26
Costo Total	€340 055,29	€313 272,00	€340 055,29	€331 127,53	€340 055,29	€331 127,53	€340 055,29	€340 055,29	€331 127,53	€340 055,29	€331 127,53	€340 055,29

Cuadro A.10.4 Promedio mensual y anual del costo de consumo energético del STAR

Costo promedio mensual	€334 847,43
Costo promedio anual	€4 018 169,16

Consultas de Tarifas Eléctricas Vigentes por Empresa

Seleccione la(s) Empresas:



Seleccione la(s) tarifa deseada(s):

COMERCIOS Y SERVICIOS
Industrial
MEDIA TENSIÓN (T-MT)
MEDIA TENSIÓN (T-MTb)
Preferencial
Residencial
Tarifa de acceso

Tipo Tarifa	Descripción Tarifa	Bloque	Promedio de Tarifa
T-CS	Preferencial	a. Consumo de Energía menor o...	72,24
		b. Bloque 0-3000 kWh	124890,00
		c. Bloque mayor a 3000 kWh	41,63
		d. Bloque 0-8 kW	50468,64
		e. Bloque mayor a 8 kW	6308,58

Seleccione el servicio público:

Distribución

Figura A.10.1 Tarifas vigentes utilizadas según empresa prestadora de servicios eléctricos

Fuente: ARESEP (2019)