

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales del camal municipal del cantón Girón

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental.

Autores:

Patricia Elizabeth Ordóñez Pesántez

Santiago Juvenal Quezada Ibarra

Director:

Fausto Fernando García Ávila

ORCID: 0000-0002-9274-9769

Cuenca, Ecuador

2023-04-12

Resumen

El camal municipal de Girón dispone de un sistema de tratamiento de aguas residuales con una rejilla y dos tanques para separar sólidos, esto resulta insuficiente para un adecuado tratamiento del efluente. Por esto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para este camal. Para ello, se realizó un muestreo en tres campañas y una caracterización del agua residual en laboratorio, los parámetros analizados fueron: sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo total (P), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT), estos datos fueron comparados con la normativa ambiental TULSMA. A través de literatura se establecieron eficiencias de remoción teóricas (ERT) para cada parámetro. Utilizando información del espacio físico disponible y del crecimiento poblacional se dimensionaron y diseñaron tres opciones de tratamiento. La caracterización del efluente mostró que, los parámetros: CF ($1.20E+04$ NMP/100ml), DBO_5 (13mg/l), DQO (214 mg/l), SST (1200mg/l) sobrepasan el límite permisible normado, que establece: remoción mayor al 99.9%, 50mg/l, 100mg/l, 80mg/l, respectivamente. Finalmente, según las ERT y eficiencias calculadas en CapdetWorks se estableció que la opción de tratamiento 3 (rejillas, tanque de igualamiento, trampa de grasas, coagulación/floculación y reactor anaerobio de flujo ascendente) es la adecuada, ya que ocupa un área de $23.03m^2$, siendo el área utilizable en el establecimiento ($34.73m^2$), además, siendo la DBO_5 el parámetro base para el diseño, esta opción presentó alta eficiencia de remoción (94.20% calculada y 86.74% modelada).

Palabras claves: aguas residuales, sistema de tratamiento, camal, matadero, Gobierno Autónomo Descentralizado

Abstract

Girón's municipal slaughterhouse has a wastewater treatment system with a grid and two tanks for solids separation, which is not enough for a proper effluent treatment. Because of it, this work's objective was to develop a design proposal for a wastewater treatment plant (WWTP) for this slaughterhouse. In order to that, three sampling campaigns and a characterization of the wastewater in the laboratory were carried on, the analyzed parameters were: total suspended solids (TSS), total nitrogen (NT), total phosphorus (P), biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), fats and oils, fecal coliforms (FC) and total coliforms (TC), these data were compared with the TULSMA environmental regulations. Through the bibliographic review, theoretical removal efficiencies were established, according to the treatment unit. Using the information of the physical space available in the establishment and the population growth, three different treatment options were sized and designed. The effluent characterization showed that the parameters: FC (1.20E+04NMP/100ml), BOD₅ (13mg/l), COD (214 mg/l), TSS (1200mg/l) CF, exceeded the regulated permissible limit, which establishes: FC (1.20E+04NMP/100ml), BOD₅ (13mg/l), COD (214 mg/l), TSS (1200mg/l) respectively. Finally, according to the theoretical removal efficiencies and those calculated with CapdetWorks, it was established that the number 3 treatment option (grids, equalization tank, grease trap, coagulation/flocculation and Upflow Anaerobic Sludge Blanket 'UASB') is the adequate, since it occupies an area of 23.03 m², which is within the usable area in the establishment (34.73 m²), in addition to the fact that BOD₅ is the base parameter for the design, this option presented a high BOD₅ removal efficiency (94.20% calculated and 86.74% modeled).

Keywords: wastewater, treatment system, slaughterhouse, Decentralized Autonomous Government

Índice de contenidos

Introducción.....	14
Antecedentes	15
Justificación.....	16
Objetivos	17
General.....	17
Específicos	17
Marco teórico	18
2.1. Aguas residuales.....	18
2.1.1. Características de las aguas residuales	18
2.1.2. Clasificación de aguas residuales.....	19
2.1.3 Composición de aguas residuales	20
2.1.4. Composición de aguas residuales de camal	21
2.1.5. Parámetros de las aguas residuales	22
2.1.6. Normativa nacional de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	28
2.2. Matadero o camal	29
2.2.1. Actividades de un camal	29
2.2.2. Diagrama de flujo de las actividades de faenamiento de un camal.....	29
2.2.3. Etapas del proceso.....	30
2.3. Tipos de tratamientos de las aguas residuales	32
2.3.1. Pretratamiento	32
2.3.2. Tratamiento primario	34
2.3.3. Tratamiento secundario	36
2.4. Marco legal.....	40
Metodología	42
3.1. Área de estudio	42
3.1.1. Ubicación.....	42
3.2. Dotación de faena	42
3.3. Consumo de agua en el proceso.....	42
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.5. Caracterización del efluente proveniente del camal municipal de Girón.....	44
3.5.1. Muestreo de aguas residuales	44
3.5.2. Procesamiento de datos y análisis estadístico	49

3.6. Verificación del cumplimiento de la normativa vigente	49
3.7. Eficiencias de remoción de las unidades de tratamiento según la literatura.....	49
3.7.1. Cálculo de la concentración remanente del efluente	50
3.8. Datos preliminares para el diseño de la PTAR	51
3.8.1. Datos de faenamiento	51
3.8.2. Determinación del caudal de diseño.....	51
3.8.3. Selección de las alternativas para el tratamiento de aguas residuales	52
3.9. Diseño del sistema de tratamiento para los efluentes generados en el camal municipal de Girón	53
3.9.1. Tratamiento preliminar	53
3.9.2. Tratamiento primario	58
3.9.3. Tratamiento secundario	64
3.10. Cálculo de áreas de cada tren de tratamiento	76
3.11. Modelado de tren de tratamiento.....	76
Resultados y discusión	78
4.1. Resultados de la caracterización del efluente	78
4.1.1. Monitoreo de caudal y volumen de agua para las muestras.....	78
4.1.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al efluente	78
4.1.3. Valores máximos de la caracterización	80
4.1.4. Análisis de los resultados de la caracterización	80
4.1.5. Comparación de los resultados de los análisis con la normativa vigente pertinente.....	83
4.1.6. Concentraciones remanentes en las unidades de tratamiento con base en la literatura consultada	84
4.1.7. Eficiencias de remoción calculadas según porcentajes de remoción obtenidos de la literatura consultada	86
4.1.8. Eficiencias de remoción del proceso experimental de coagulación/floculación	87
4.1.9. Resultados del análisis y procesamiento de datos	89
4.1.10. Resultados de la determinación del caudal de diseño	91
4.1.11. Selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales.....	95
4.1.12. Dimensionamiento de las diferentes opciones de tratamiento.....	97

4.1.13. Resultado de las áreas de cada tren de tratamiento.....	132
4.1.14. Eficiencias de tratamiento obtenidas por el modelo de cada opción de tratamiento.....	134
Conclusiones y recomendaciones.....	143
5.1. Conclusiones.....	143
5.2. Recomendaciones	144
Referencias bibliográficas.....	146
Anexos	151

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de flujo de las actividades de camales.	30
Ilustración 2. Puntos de muestreo.	45
Ilustración 3. Recipientes de muestreo rotulados.	48
Ilustración 4. Proyección del crecimiento poblacional del cantón Girón.....	94
Ilustración 5. Rejillas.	98
Ilustración 6. Tanque ecualizador.....	101
Ilustración 7. Trampa de grasas.	103
Ilustración 8. Tanque coagulador.	110
Ilustración 9. Tanque floculador.....	112
Ilustración 10. Sedimentador primario.....	114
Ilustración 11. Lodos activados.	116
Ilustración 12. Sedimentador secundario para lodos activados.	120
Ilustración 13. Biodiscos rotatorios.....	123
Ilustración 14. Sedimentador secundario para biodiscos rotatorios.	125
Ilustración 15. Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	128
Ilustración 16. <i>Área disponible para emplazamiento de la PTAR calculada con base en el levantamiento topográfico.....</i>	134
Ilustración 17. Esquema de la opción de tratamiento 1.	136
Ilustración 18. Esquema de la opción de tratamiento 2.	138
Ilustración 19. <i>Esquema de la opción de tratamiento 3.</i>	140

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de aguas residuales.	20
Tabla 2. Composición general de aguas residuales.....	21
Tabla 3. <i>Composición de aguas residuales de un matadero según Stecher y Ruprecht.</i>	22
Tabla 4. Clasificación de parámetros de calidad de aguas residuales	23
Tabla 5. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	28
Tabla 6. Tipos de tratamiento para aguas residuales y su eficiencia teórica de remoción. ...	38
Tabla 7. Procesos físicos–químicos y biológicos.	40
Tabla 8. Datos de consumo de agua años 2019 - 2021	43
Tabla 9. Materiales e insumos	48
Tabla 10. Eficiencias de remoción teóricas de cada unidad de tratamiento.....	50
Tabla 11. Grado de tratamiento necesario.	53
Tabla 12. Valores adoptados para el diseño de rejillas.....	54
Tabla 13. Parámetros y ecuaciones para el diseño de rejillas.	55
Tabla 14. Parámetros para el dimensionamiento del tanque equalizador.	56
Tabla 15. Ecuaciones para el dimensionamiento del tanque equalizador.	57
Tabla 16. Valores adoptados para el diseño de la trampa de grasas.....	57
Tabla 17. Parámetros y ecuaciones para el diseño de trampas de grasas.	58
Tabla 18. Ecuaciones para la prueba de jarras.	59
Tabla 19. Valores adoptados para el dimensionamiento del tanque coagulador y floculador.	60
Tabla 20. Ecuaciones para el diseño del tanque coagulador y floculador.....	61
Tabla 21. Valores adoptados para el diseño del sedimentador primario.....	63
Tabla 22. Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador primario.	63
Tabla 23. <i>Valores adoptados para el diseño de lodos activados.</i>	65
Tabla 24. Ecuaciones para el diseño de lodos activados.	66
Tabla 25. Valores adoptados para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.	69
Tabla 26. Ecuaciones para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.	69
Tabla 27. Parámetros adoptados para el dimensionamiento de la unidad de biodiscos rotatorios.	71
Tabla 28. Ecuaciones para el dimensionamiento de la unidad de biodiscos.	72
Tabla 29. Valores adoptados para el dimensionamiento del sedimentador secundario en los biodiscos.	73

Tabla 30. Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador secundario para los biodiscos.	73
Tabla 31. Valores adoptados para el dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).	74
Tabla 32. Ecuaciones para el dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).	75
Tabla 33. Caudales y volúmenes de las alícuotas para cada muestra.....	78
Tabla 34. Resultados de los análisis de laboratorio de agua residual.....	79
Tabla 35. Valores máximos resultantes de los análisis de agua residual del camal de Girón.	80
Tabla 36. Comparación/cumplimiento de la normativa	83
Tabla 37. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 1.	84
Tabla 38. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 2.	85
Tabla 39. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 3.	85
Tabla 40. Eficiencia de remoción total para cada opción de tratamiento.	87
Tabla 41. Número de animales faenados por mes en el camal municipal de Girón en el período 2019-2021.....	89
Tabla 42. Días de operación del camal municipal de Girón durante los años 2019, 2020 y 2021.	90
Tabla 43. Datos consumo de agua por res faenada de los años 2019, 2020 y 2021.	92
Tabla 44. Caudal de diseño para las diferentes opciones de tratamiento.....	95
Tabla 45. Cálculos y resultados del dimensionamiento de rejillas.....	99
Tabla 46. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque equalizador.	102
Tabla 47. Cálculos y resultados del dimensionamiento de la trampa de grasas.....	104
Tabla 48. Pruebas para determinar la dosis óptima de cloruro férrico con turbidez alta y baja.....	106
Tabla 49. Pruebas para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio con turbidez alta y baja.....	107
Tabla 50. Pruebas para determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio con turbidez alta y baja.....	109
Tabla 51. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque coagulador.....	111
Tabla 52. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque floculador.	113
Tabla 53. Cálculos y resultados del dimensionamiento del sedimentador (circular) primario.	115

Tabla 54. Cálculos y resultados del dimensionamiento de lodos activados.....	117
Tabla 55. Cálculos para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.	121
Tabla 56. Cálculos para el diseño de la unidad de biodiscos.	124
Tabla 57. Dimensionamiento del sedimentador secundario para los biodiscos.	126
Tabla 58. Dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).....	129
Tabla 59. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 1.....	132
Tabla 60. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 2.....	132
Tabla 61. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 3.....	133
Tabla 62. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 1, mediante el software CapdetWorks.	135
Tabla 63. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 2, mediante el software CapdetWorks.	137
Tabla 64. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 3, mediante el software CapdetWorks.	139
Tabla 65. Comparación eficiencias de remoción.....	141

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis hermanos, Alejandra, Jorgen y Jesús por ser mi pilar fundamental y mi motor para cumplir todas mis metas. A mis abuelos, Hugo y Esperanza por su apoyo incondicional, por siempre estar presentes y ser esa voz de aliento en los momentos más difíciles y finalmente a mis padres por todo el esfuerzo que han realizado para que pueda culminar la carrera.

Elizabeth Ordoñez

Este trabajo se lo dedico a mis hijos Pedro Santiago y José Manuel y a mi esposa Ximena, que me dieron la fuerza para luchar día a día para conseguir este objetivo, sin ellos, nada de esto hubiera sido posible, este título es un esfuerzo tanto de Uds., como mío. Les amo infinitamente.

Santiago Quezada.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ser mi guía y por darme la sabiduría y fortaleza necesaria para poder culminar esta etapa, de manera especial agradezco a mis padres por brindarme todo su apoyo y sostén durante este tiempo, a mis abuelos y hermanos por estar siempre presente y darme ese impulso para salir adelante. Quiero agradecer también a mi compañero de tesis Santiago por todo su trabajo y dedicación y al Ing. Fernando García por su gran aporte para el desarrollo de este trabajo de titulación. Finalmente agradezco al Abg. José Miguel Uzhca, por permitirnos llevar a cabo este estudio y a todas las personas que me apoyaron durante mi vida estudiantil.

Elizabeth Ordoñez

Agradezco en primer lugar a mis padres Gloria y Oswaldo por su apoyo a lo largo de estos años, a todos mis familiares que de alguna u otra manera contribuyeron a lograr esto. A mi compañera y amiga Elizabeth, por todo su esfuerzo, dedicación y trabajo para culminar esta etapa de manera exitosa y por todo su apoyo desde que estábamos en las aulas de la Universidad. Al Ing. Fernando García por todo su apoyo durante la ejecución de este proyecto bajo su dirección y finalmente, a todos los profesores y personal de la Facultad de Ciencias Químicas que desde sus áreas han colaborado durante todo el proceso de formación profesional y al GAD municipal del cantón Girón que nos prestó las facilidades para llevar a cabo este proyecto. Gracias a todos.

Santiago Quezada

Introducción

Ante el alto crecimiento de la población, ligado directamente al crecimiento de las áreas urbanas y rurales, la disposición del agua residual doméstica e industrial se ha convertido en los últimos años en un problema serio, que ha repercutido directamente en el medio ambiente, ocasionando problemas graves de contaminación, especialmente en países como el nuestro en vías de desarrollo.

Se observa que normalmente el agua residual es vertida a cuerpos de agua, sin recibir un adecuado tratamiento. En la actualidad dichos cuerpos de agua, principalmente ríos, han reducido notablemente su capacidad de dilución debido a muchos factores, relacionados especialmente con la carencia del recurso hídrico "agua".

Si el agua no se trata y se regresa al medio ambiente esto causa toxicidad y puede afectar la biodiversidad. Con esta máxima Daniela Bostrom, portavoz del Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de la ONU informó que en las naciones de bajos ingresos sólo se trata un 8% de las aguas residuales domésticas e industriales, un porcentaje muy pequeño comparado con el de los países desarrollados, donde un 70% de esas aguas son sometidas a tratamiento (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017).

La contaminación con agentes patógenos procedentes de los excrementos humanos y animales afecta a casi un tercio de los cursos fluviales de América Latina, África y Asia, y pone en peligro la vida de millones de personas. Esto contribuye a la propagación de enfermedades tropicales como el cólera y el dengue (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017).

El Informe de la ONU sobre el Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2017, advierte que en un futuro próximo el volumen de aguas residuales que necesitan tratamiento aumentará dramáticamente en los países menos desarrollados y si no se toman medidas ahora, la situación podría convertirse en crítica. Sólo en 2012, más de 800 mil personas murieron a causa del agua contaminada (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017).

Se espera que para 2030 aumente en un 50% el mercado para el tratamiento de aguas residuales destinadas a usos industriales. Debido a su contenido orgánico, estas aguas también son útiles como fertilizantes a nivel agrícola y sus minerales pueden ser extraídos para producir biogás y energía (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017).

Antecedentes

La preservación y conservación del medio ambiente es de suma importancia para nuestro planeta, debido al deterioro latente de los recursos naturales. El agua, el suelo y aire, elementos indispensables para el desarrollo de la vida, no se presta el cuidado suficiente y esto genera efectos negativos para los seres vivos, incluyendo al ser humano.

Las aguas residuales sin tratamiento de diferentes tipos son el principal foco de contaminación de cuerpos de agua, por este motivo, los sistemas de depuración (plantas de tratamiento) son muy necesarios como medidas importantes para prevenir la contaminación y conservar los cuerpos de agua (Valencia, 2012).

Las descargas provenientes de actividades como la faena de animales en los camales o mataderos influyen directamente en la producción de considerables volúmenes de aguas residuales con alto grado de contaminación generado por diferentes motivos como: no realizar una correcta disposición de residuos sólidos y líquidos, infraestructura inadecuada, incumplimiento de medidas sanitarias, además de la creciente demanda de productos, que genera en igual medida una creciente cantidad de desechos. Estudios han contabilizado que en nuestro país existen un aproximado de 200 mataderos, que en su mayoría son administrados por los municipios, estos establecimientos no cuentan con medidas de prevención y/o mitigación de la contaminación (Lara, 2011).

En nuestro país, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) en su gran mayoría cuentan con un camal municipal que funciona bajo su responsabilidad, tal es el caso del GAD municipal de Girón, cuyo camal municipal se encuentra ubicado dentro del área urbana del cantón, a orillas del río Chorro y se dedica a faenar únicamente reses. Cuenta con una estructura bastante sencilla que se ha tratado de mejorar en los últimos años mediante equipamiento nuevo (Achiras, 2015).

Según lo manifestado por los encargados del manejo del establecimiento, en una entrevista a la que se pudo acceder con el jefe del departamento de Obras Públicas del GAD municipal de Girón, este equipamiento nuevo, no ha sido suficiente para optimizar el proceso del camal y que este se lleve a cabo de una manera higiénica y adecuada, tanto para quienes laboran en el lugar como para el medio ambiente, además de que han pasado varios años desde que se implementó y en estos momentos los equipos se han deteriorado por su uso.

Justificación

El agua es considerada como el recurso más importante para el estilo de vida del ser humano, a este recurso se le da un sin número de usos; en la alimentación, en la higiene personal, en la recreación, en el turismo, por citar de manera priorizada.

El agua de suministro industrial y doméstico, luego de su uso contiene una gran cantidad de materia orgánica, patógenos, microorganismos, sólidos en suspensión, metales pesados, compuestos volátiles, y muchos otros compuestos que al ser liberados sin previo tratamiento conducen a un deterioro ambiental. Por lo general estas aguas residuales son descargadas directamente en las corrientes y cuerpos superficiales de agua alterando su calidad y generando problemas ambientales a tal grado que el agua queda inutilizable.

Una forma efectiva de evitar y solucionar la mayor parte de problemas generados por la mala disposición de las aguas residuales es mediante la aplicación de un tratamiento a la misma. La ejecución de un proceso de tratamiento del agua residual permite disminuir la contaminación al ecosistema y la mejora de la salud de los habitantes del sector.

Por otro lado, y considerando lo que establece la Constitución de la república del Ecuador, 2008, en el Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda, Artículo 14, "*Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado*", declarando de interés público la preservación del ambiente, la recuperación de espacios naturales degradados, y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

Con lo anteriormente mencionado, se establece que el camal municipal de Girón no cuenta con un proceso adecuado para la disposición final de sus desechos, al ser manejados de manera rudimentaria, todos estos desembocan directamente al río Chorro. No cuenta con un plan de manejo para mejoramiento del proceso, tampoco planes de reutilización, tratamiento y disposición final de residuos, únicamente cuenta con unos tanques de almacenamiento en los que se disponen los residuos, sobre todo sólidos que alcanzan a sedimentar, y que luego son llevados al relleno sanitario más cercano, ubicado en el cantón Santa Isabel. Los demás residuos sólidos y líquidos que no quedan en los tanques, se descargan sin ninguna precaución al río Chorro, actividad que ha causado malestar en los pobladores cercanos al río, quienes consumen directamente del agua del río, por ello existe gran preocupación por la infesta de vectores al ser este lugar un foco de infección, además del evidente daño ambiental que se está produciendo por las descargas derivadas desde el establecimiento. Razón por la cual, se realizó este estudio y una propuesta de diseño de un sistema de tratamiento para el agua residual del camal municipal con miras a una implementación en el futuro.

Objetivos

General

Diseñar un sistema de tratamiento para las aguas residuales del camal municipal del cantón Girón.

Específicos

- Caracterizar el efluente proveniente del camal municipal de Girón.
- Analizar el cumplimiento de la normativa vigente pertinente del efluente caracterizado.
- Analizar la eficiencia de remoción de los contaminantes considerando diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales, según la literatura consultada.
- Diseñar un sistema de tratamiento adecuado para el efluente, de acuerdo con la caracterización de las aguas residuales, el área disponible y la eficiencia de remoción de los contaminantes.

Marco teórico

2.1. Aguas residuales

Según expone Díaz et al. (2012), por aguas residuales se entiende a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. El agua residual contiene componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos.

2.1.1. Características de las aguas residuales

La composición de aguas residuales se refiere a los constituyentes físicos, químicos, biológicos presentes en estas, conocer la naturaleza del agua residual es esencial. Según Crites & Tchobanoglous (2000), las aguas residuales poseen características físicas, químicas y biológicas, además de que están sujetas a adquirir características dependiendo del lugar donde se encuentran, que varían dependiendo de factores como: consumo de agua potable, tipo de sistema de alcantarillado, presencia de desechos industriales, o de una mezcla, entre otros y es necesario considerar circunstancias tales como las variaciones diarias del caudal.

Las aguas residuales domésticas, son una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, así como de centros comerciales e industriales a las que eventualmente pueden agregarse aguas subterráneas superficiales y pluviales, por lo general no contienen sustancias peligrosas, pero si una elevada cantidad de agentes infecciosos y patógenos.

Las aguas superficiales constituyen el aporte de la escorrentía superficial y las pluviales de las precipitaciones, por tanto, el grado de contaminación de las aguas es considerable, ya que su fuente generadora y los vertidos urbanos son permanentes, aunque haya fluctuaciones horarias (Tchobanoglous et al., 1995).

Las aguas residuales industriales dependen totalmente del tipo de actividad productiva que desarrolle la empresa, en ellas es importante evaluar, aparte del caudal y la cantidad de materia orgánica, la presencia de sustancias tóxicas como los metales pesados (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.2. Clasificación de aguas residuales

De acuerdo con su origen, pueden ser clasificadas como (Tabla 1):

- a. Aguas residuales domésticas: provienen de áreas residenciales y comerciales, incluidas las instituciones y zonas recreativas (Sainz, 2007).
 - Aguas negras. - Conformadas por las aguas escatológicas, presentando una alta concentración de materia orgánica y microorganismos.
 - Aguas grises. - Son las que han sido empleadas para limpieza.
- b. Aguas residuales municipales: son aguas generadas por la población y son transportadas por el alcantarillado de una ciudad, contienen materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
- c. Aguas residuales de industria: son líquidos generados en los procesos industriales, dependiendo del tipo de industria.
 - Aguas orgánicas. - Constituidas por los resultantes de industrias de leche, alimentos, textiles, destilerías, etc. que presentan una alta concentración de materia orgánica y pueden ocasionar severa contaminación.
 - Aguas tóxicas. - Son el resultado de procesos industriales de productos químicos, metálicos, etc., que pueden ocasionar incluso daños de corrosión y alterar los tratamientos.
 - Aguas inertes. - Son residuos de industrias de cerámica, mármoles, aparatos de refrigeradoras, que producen obstrucciones por sedimentación y contaminación física.
- d. Agua de infiltración: son las que penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza.
- e. Aguas pluviales: son aguas de lluvia que son descargadas en grandes cantidades sobre el suelo, parte de esta agua es drenada y otra parte escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas, entre otros.

Tabla 1. Clasificación de aguas residuales.

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

Fuente: Romero, 2002.

2.1.3 Composición de aguas residuales

Las aguas residuales están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9% y un 0.1% de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales, siendo este 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento en las PTAR's (Plantas de tratamiento de aguas residuales) (Tchobanoglous et al., 1995).

La composición del agua residual está en función del uso y de la concentración de estos constituyentes, esta depende tanto de las características sociales y económicas de la población, así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras, además está determinada por el caudal y por su fuente (Tabla 2).

Tabla 2. *Composición general de aguas residuales*

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos totales	1200	700	350
Disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables ml/l-h	20	10	5
DBO (5 días, 20°C)	300	200	100
DQO	570	380	190
Nitrógeno total (como N)	85	40	20
Orgánico (como N)	35	15	8
Amoniacal (como N)	50	25	12
Fósforo total (como P)	20	10	6
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como Ca CO ₂)	200	100	50
Grasas	150	100	50
Calcio (como Ca)	110	50	10
Magnesio (como Mg)	10	9	8
Sodio (como Na)	100	50	23

Fuente: Tchobanoglous et al., 1995.

2.1.4. Composición de aguas residuales de camal

Las aguas residuales de los mataderos o camales constituyen un problema ambiental grave, poseen una elevada concentración de materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión, que fundamentalmente está constituida por proteínas y sus productos de descomposición, como ácidos orgánicos volátiles, aminas y otros compuestos orgánicos nitrogenados, también tienen una concentración importante de grasas, que pueden interferir

gravemente en su tratamiento biológico, así como una concentración variable de productos lignocelulósicos (Tabla 3). Las características de las aguas residuales de matadero dependen de los siguientes factores:

- Tipo de animal sacrificado
- Grado de procesado; en particular de estómagos, rumen e intestinos (tripería) y de la posible elaboración de harinas (rendering-plant), por lo general el contenido de los estómagos y las mucosidades intestinales se incorpora a las aguas residuales (Tritt & Schuchardt, 1992).
- Equipamiento de retención de líquidos y sólidos.
- Protocolo de limpieza y uso de agua.

Tabla 3. *Composición de aguas residuales de un matadero según Stecher y Ruprecht.*

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Sustancias sedimentables, ml/l	10	Alcalinidad, en ml ácido /l	7
pH	7	Nitrógeno (N), en mg/l	145
Sustancias no disueltas, mg/l	580	Pentóxido de fósforo, en mg/l	19
Sólidos fijos, mg/l	81	Óxido de Potasio, en mg/l	29
Sólidos volátiles mg/l	498	Óxido de Calcio, en mg/l	131
Sustancias disueltas mg/l	1206	Consumo de KMnO ₄ , en mg/l	154
Sólidos fijos mg/l	272	DBO ₅ , en mg/l	838

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1990.

2.1.5. Parámetros de las aguas residuales

Por la variedad de componentes que presentan las aguas residuales, pueden ser clasificados como: físicos, químicos y biológicos; para establecer principalmente las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultarán más eficaces y económicos (Seoáñez, 2001). En las aguas residuales provenientes del procesamiento de los mataderos, los parámetros importantes a evaluar son DBO₅, DQO, pH, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas, coliformes totales (CT) y fecales (CF), turbiedad, sólidos disueltos totales (SDT), color, temperatura (Tabla 4):

Tabla 4. Clasificación de parámetros de calidad de aguas residuales

GRUPOS	PARÁMETROS
Parámetros de medición en campo	<ul style="list-style-type: none"> • pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto
Parámetros determinados en laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Físicos: turbiedad, sólidos totales y sólidos suspendidos. • Iones principales: nitratos, sulfato, fosfatos, cianuro, cloruros, nitritos, dureza total y cálcica, alcalinidad). • Metales: (Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg y As).
Parámetros biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Coliformes totales. • Coliformes termotolerantes • Fitoplancton • Parásitos.
Parámetros orgánicos (dependerá de las actividades y usos que tenga el cuerpo de agua)	<ul style="list-style-type: none"> • Aceites y grasas. • Hidrocarburos totales de petróleo. • DBO₅

Fuente: TULSMA, 2003.

2.1.5.1. Características físicas

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad:

a. Sólidos totales

Metódicamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103° y 105°C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en mg/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables

(sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro (Espinoza, 2017).

b. Olores

Naturalmente los olores se derivan de gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual tiene un olor desagradable, que resulta más tolerable que el olor del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) (huevo podrido) que se produce ante la reducción de los sulfatos y sulfitos por acción de microorganismos anaeróbicos. La problemática de los olores es considerada como la principal causa de rechazo de la implantación de instalaciones de aguas residuales (Espigares & Pérez, s.f.).

c. Temperatura

La temperatura del agua residual suele presentarse en mayor grado que la del agua de suministro, esto se debe por la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura del agua es uno de los parámetros muy relevantes dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la capacidad del agua para ciertos usos (Delgadillo et al., 2010).

d. pH

Es un parámetro de gran importancia para determinar la calidad del agua residual, debido a que el rango en el cual se desarrollan los procesos de tratamiento biológicos del agua corresponde a un intervalo estrecho y crítico (5.5-9.5), aunque determinados microorganismos pueden vivir a valores más extremos de los indicados (Espinoza, 2017).

e. Color

El color de las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Si es causado por sólidos suspendidos se denomina color aparente, mientras que al ser causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero, que se obtiene de una muestra filtrada. Suele ser característico el color grisáceo en las aguas residuales. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir un color totalmente negro. Cuando ha llegado a este punto suele clasificarse al agua residual como séptica (Romero, 2002).

f. Turbidez

Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión, puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Romero, 2002).

g. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio, por esta razón el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos (Romero, 2002).

2.1.5.2. Características químicas

Las aguas residuales se caracterizan principalmente por el contenido de materia orgánica e inorgánica, además de los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de materia orgánica se realiza por separado, enfocando su importancia en la gestión de la calidad del agua, así como en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se define como la cantidad de oxígeno que precisan los microorganismos, para la eliminación o degradación biológica de la materia orgánica biodegradable durante cinco días y a 20°C. La DBO puede medir la eficiencia de algunos procesos de tratamientos. Se mide en mg de O₂/L y puede ser: DBO total (DBO_T), que es la que mide el oxígeno necesario para la oxidación total de la materia orgánica biodegradable y la DBO en cinco días (DBO₅) (Álvarez, 2016).

b. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica y algún compuesto inorgánico, por medio de reactivos químicos. La relación entre la DBO₅ y DQO siempre será menor que la unidad (DBO₅/DQO < 1), debido a que la DQO oxida toda la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos, y la DBO solo la biodegradable. Se mide en mg de O₂/L y el análisis demora de 3 a 4 horas (Encinas, 2011).

c. Aceites y grasas

Aquellas sustancias poco solubles que, al ser inmiscibles con el agua, flotan formando natas, espumas y capas iridiscentes sobre el agua. En aguas residuales los aceites, las grasas son los principales lípidos de importancia, que pueden dificultar cualquier tipo de tratamiento físico o químico. No permiten el paso del oxígeno del agua a las células, ni la salida del CO₂ hacia la atmósfera, provocando una deficiencia en los procesos de tratamiento biológico anaeróbico (Romero, 2002).

d. Sólidos Totales

El contenido de sólidos totales de un agua residual se define como toda materia sólida que permanece como residuo después de la evaporación o secado a 103°C. Los sólidos totales se clasifican como sólidos disueltos (residuo filtrante) y sólidos en suspensión (sedimentables). La determinación de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) es importante para evaluar la concentración del agua residual y determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento; el valor de sólidos sedimentables es básico para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación (Vásquez et al., 2013).

e. Alcalinidad

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos, provocada principalmente por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. Es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación, y en la eliminación biológica de nutrientes (Vásquez et al., 2013).

f. Ácido sulfhídrico (H₂S)

Es un gas que se forma al descomponerse ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre en medios aerobios. El azufre es requerido en la síntesis de las proteínas y es liberado en su degradación. Su presencia se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, indicativo de su descomposición en azufre e hidrógeno, debido a que es poco estable al calor (Seoáñez, 2001).

g. Detergentes

Son productos químicos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes al ser arrojados en las aguas residuales. El poder contaminante de los detergentes presenta problemas en los procesos de tratamiento biológicos puesto que las bacterias no los pueden utilizar como alimentos, inhibiendo la actividad biológica. Además, el uso intensivo va

inhibiendo el proceso de la fotosíntesis en los vegetales acuáticos originando la muerte de la flora y la fauna acuática, contribuyendo también al incremento de la concentración de fósforo (Romero, 2002).

h. Cloruros

Los cloruros que se encuentran en el agua natural pueden tener diversas procedencias naturales: infiltración de aguas marinas, disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Una fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales (Seoánez, 2001).

i. Nitrógeno

Es esencial para el crecimiento de plantas y microorganismos, que junto con el fósforo constituyen los llamados nutrientes. Contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones. Se encuentra en 4 formas básicas: nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. El nitrógeno presente en las aguas residuales frescas se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana, y a medida que el agua se estabiliza, se generan nitritos y nitratos por oxidación bacteriana en medio aerobio (Briceño & Catillo, 2009).

j. Fósforo

Componente importante para el desarrollo de los microorganismos. Tanto el fósforo como el nitrógeno son esenciales para el crecimiento biológico. En el agua residual se encuentra en algunas formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos, siendo más fácil de asimilar por los microorganismos el ortofosfato. La descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras, causando una disminución del oxígeno disuelto y, a largo plazo, serios problemas de contaminación (Briceño & Catillo, 2009).

2.1.5.3. Características biológicas

Las aguas residuales contienen gran número organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica. Los organismos pueden ser bacterias, hongos, algas, protozoos, gusanos, rotíferos, crustáceos y virus. Su número y desarrollo depende de parámetros como pH, temperatura, materia orgánica incorporada, existencia de oxígeno, disponibilidad de alimento y nutrientes, entre otros (Seoánez, 2001).

- Indicador de bacterias: coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF),

Estas son las bacterias de mayor presencia en los efluentes. El análisis de conteo de CT y CF puede realizarse en tubos de múltiple fermentación (número más probable, NMP en 100 ml) o por el método de membranas (Bachoon et al., 2010).

En la actualidad se utiliza el grupo de coliformes fecales especialmente para calificar sanitariamente la calidad del agua y su hábitat natural es en el aparato digestivo del hombre y de animales de sangre caliente; por lo tanto, se encuentran en las heces de estos orígenes, pero también algunas pueden hallarse en el ambiente (Pierson, 2001).

2.1.6. Normativa nacional de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

El Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) es el que determina los lineamientos para los diferentes componentes ambientales (suelo, agua, aire) y su contaminación. En los diferentes anexos del TULSMA se muestran los límites de descarga a los diferentes receptores de contaminación emitida en actividades que pueden ser industriales, domésticas, productivas, etc., con sus parámetros a evaluar y los métodos a aplicar para dicha evaluación.

En cuanto a la normativa que se encuentra vigente para nuestro país referente a descarga de aguas residuales, se debe tener en cuenta principalmente una tabla del anexo 1 del Libro VI del TULSMA, esta es la tabla 10 de la norma, referente a la descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, misma que se muestra en el Anexo A, en la Tabla 5 se presentan los límites permisibles de los parámetros analizados y comparados en el presente documento. (TULSMA, 2003).

Tabla 5. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sus. solubles en hexano	mg/l	30
Coliformes fecales	NPM	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	50
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	100
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50
Fósforo total	P	mg/l	10
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	80

Fuente: Tabla 10 de la revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (Reforma TULSMA, s.f)

2.2. Matadero o camal

2.2.1. Actividades de un camal

Las actividades que se realizan en un camal o matadero generan dos tipos de residuos con carga orgánica importante:

- Unos sólidos provenientes básicamente del despiece de los animales y formado por los restos no comerciales de los mismos, y
- Líquidos que proceden fundamentalmente del lavado de los animales y las instalaciones propias del camal (Vizcaíno, 2016).

La finalidad de un camal es producir carne de manera higiénica, mediante manipulación humana de los animales en lo que respecta al empleo de técnicas higiénicas para su sacrificio y la preparación mediante un proceso de estrictas operaciones limpias; y al mismo tiempo facilitar la inspección adecuada de la carne y el manejo apropiado de los desechos sólidos y líquidos resultantes del proceso de obtención de cárnicos (Uzhca, 2014).

2.2.2. Diagrama de flujo de las actividades de faenamiento de un camal

En los centros de beneficio o mataderos se realiza la actividad de faenamiento de ganado por mayor y menor, la cual es considerada como un proceso productivo que pasa por etapas, de tal manera que para la obtención de carne para el consumo humano se basan en normas sanitarias (Ilustración 1).

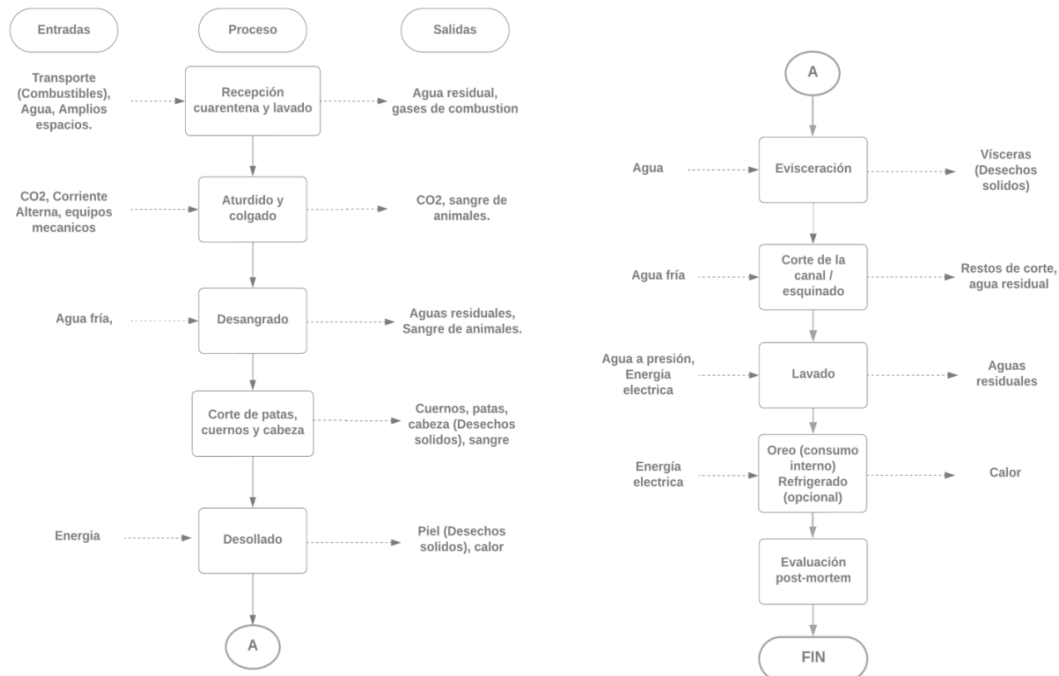


Ilustración 1. Diagrama de flujo de las actividades de camales.

2.2.3. Etapas del proceso

- a. **Recepción de los animales:** En esta etapa los animales se trasladan al corral de recepción y posteriormente al corral de descanso (Vizcaíno, 2016).
- b. **Cuarentena:** Los animales permanecen en los corrales de espera por un período de 12 - 24 horas antes del sacrificio, con la finalidad de reducir el estrés generado por el viaje y el nivel de tensión en sus tejidos musculares, para evitar que la carne se contamine con toxinas. Durante la estadía no se les suministra alimento con el fin de reducir la generación del rumen y estiércol, sólo se les suministra agua. Todo animal destinado a la matanza debe ser sometido a una inspección ante mortem, donde es obligatorio realizar un examen cuidadoso de los animales vivos que ingresan a una playa de matanza. Se debe contar con instalaciones para el resguardo de animales sospechosos, hasta que el veterinario responsable autorice su matanza después de la verificación sanitaria previa al sacrificio, detectando el estado de salud de los animales, y que no presenten síntomas visibles que hagan sospechar la presencia de enfermedades, dictaminando el destino de cada uno: sacrificio o decomiso. Los animales pueden ser rechazados para el sacrificio por no contar con el peso requerido o pueden ser decomisados cuando se detecta algún problema de salud, en este caso, no son sacrificados y deberán ser incinerados (Vizcaíno, 2016).

- c. **Lavado:** Área donde ingresan a la playa de matanza, deben ser bañados con aspersores colocados en la rampa de ingreso, para limpiarlos y asegurar una buena sangría, lo que en lo posterior da mejor calidad y presentación al producto. Se recomienda que un operario, ubicado antes del ingreso a la playa, realice una inspección de la higiene de las patas de los animales y en caso necesario se las lave empleando una manguera con buena presión de agua asegurando el cumplimiento de las exigencias indicadas (Vizcaíno, 2016).
- d. **Aturdimiento y colgado:** El animal es conducido hasta el cuarto de matanza donde se efectúa el sacrificio. Este puede realizarse a través de una pistola de perno cautivo, pistola neumática que dispara un perno y perfora la piel y hueso frontal, tratando de no lesionar la masa cerebral, también se puede hacer a través de atronamiento eléctrico, utilizando una lanza como electrodo, o por medio del método del aturdimiento de puntilla, con este método el animal no sufre y permite una excelente sangría en el momento de ser degollado. El aturdimiento se debe realizar lo más rápido posible en un lapso recomendado de 3 a 5 minutos para mejorar el desangrado y proporcionar una carne baja en acidez (Vizcaíno, 2016).
- e. **Desangrado:** Esta operación se efectúa inmediatamente después del aturdimiento o muerte del animal, donde los materiales empleados deben ser resistentes y estar libres de óxidos y suciedad. Para el ganado mayor se utiliza un cuchillo para cortar la piel y seccionar los vasos sanguíneos, el cual es desinfectado entre cada animal. En esta etapa se requiere de suficiente agua para el lavado de las piezas cárnicas, se generan aguas residuales con sangre y contenido ruminal, y residuos sólidos (cuernos, grasa). La sangre, aporta muy significativamente, al incremento de la demanda química de oxígeno (DQO), por lo tanto, se debe evitar que se mezcle con el efluente (Vizcaíno, 2016).
- f. **Corte de patas, cuernos y cabeza:** Cuando el animal ha sido sacrificado, se procede a quitarle las extremidades, los cuernos y la cabeza; para esto, puede usarse un cuchillo, una sierra móvil o fija, o una herramienta llamada cizalla. El corte de las patas se realiza en las articulaciones carpianas y tarsianas para extremidades anteriores y posteriores respectivamente. Para los cuernos, se procede con la cizalla o la sierra. El corte de la cabeza se lo realiza netamente con un cuchillo, se la puede quitar antes del desollado o como parte de éste (Casp & López, 2004).
- g. **Desollado (en caso de reses):** El desollado consiste en la separación de la piel que se encuentra adherida a lo largo de las regiones ventral y dorsal, la cual se retira en su totalidad con ayuda de procedimientos mecánicos o manuales. Este procedimiento se realiza cuidadosamente para evitar daños en la canal o que queden restos de carne

en el cuero. El cuero es lavado con abundante agua, en caso de no ser trasladado a las curtiembres el mismo día, se almacena temporalmente en el depósito de cueros con abundante sal para la preservación de la piel (Vizcaíno, 2016).

- h. Eviscerado:** Etapa en donde se extraen los órganos digestivos, circulatorios, respiratorios y reproductivos. Durante el corte se debe evitar cortar los órganos digestivos para no contaminar la canal. Estos órganos internos, conocidos también como vísceras, se agrupan en dos categorías: vísceras rojas y blancas, se limpian en áreas separadas y al mismo ritmo de la faena o matanza se van recuperando especialmente aquellas vísceras que son comestibles. Las vísceras blancas pasan a una inspección para determinar su estado y designar su destino, aquellas que no cumplan con los requisitos serán rechazadas y desechadas como residuos (Vizcaíno, 2016).
- i. División y lavado de canales:** Se realiza un corte a lo largo de la línea media dorsal, en dos medias canales utilizando una sierra eléctrica. Se limpian las carcasas de forma minuciosa empleando para ello agua a presión. Una vez lavada la canal, se procede a su pesaje, la refrigeración es opcional puesto que esta depende del lugar de destino del canal que se obtuvo. Si el destino es el consumo interno, la canal es mantenida en la zona de oreo hasta que la recojan para llevarla a las tercenas o mercados locales (Hathaway et al., 2004; Villarroel, 2018).
- j. Evaluación post-mortem:** Se realiza para evaluar el estado en el que se encuentran los órganos del sistema linfático, vísceras rojas y blancas (Vizcaíno, 2016).

2.3. Tipos de tratamientos de las aguas residuales

La complejidad de los sistemas de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante, teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración (Díaz et al., 2012).

2.3.1. Pretratamiento

Su objetivo básico es retener las materias gruesas o visibles, los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de la planta de tratamiento (Espinoza, 2017). El vertido de estas materias al medio receptor produce un impacto fundamentalmente estético. Si pasan a etapas posteriores de la línea de depuración se generan problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos.

Estos tratamientos son destinados a preparar las aguas residuales para que puedan recibir tratamiento, sin perjudicar a los equipos mecánicos y sin obstruir tuberías.

2.3.1.1. Rejas

Son dispositivos contruidos por barreras metálicas con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente. El paso libre entre barras se recomienda sea de 50 a 100 mm para sólidos gruesos y de 12 a 20 mm para sólidos finos. Los principales parámetros de diseño son: tipo de residuo a tratar, flujo de descarga, paso libre entre barras, volumen de sólidos retenidos y pérdida de carga (TULSMA, 2003).

Existen 3 clases de rejas:

- a. Rejas sencillas de limpieza manual (las más recomendadas)
- b. Rejas mecanizadas
- c. Militamices

2.3.1.2. Tamices

Son colocados luego de las rejas, con aberturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar atascamiento de tuberías, filtros biológicos, con una abertura máxima de 2.5 mm. Tienen una inclinación particular que deja correr el agua y hace deslizar los desechos por fuera de la malla, necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.

Estos elementos pueden sustituir en muchos casos los desbastes, pudiendo incluso eliminar arenas gruesas y hasta porcentajes del 30% en grasas (TULSMA, 2003).

2.3.1.3. Desengrasador o trampa de grasas

Consisten en un tanque rectangular donde por medio de flotación natural (densidad) o forzada, las partículas de grasa y aceite son transportadas a la superficie y luego removidas por medio de un desnatador. Estos deben propiciar una permanencia tranquila del agua residual durante el tiempo suficiente para que una partícula a ser removida pueda recorrer la trayectoria entre el fondo y la superficie. Son empleados cuando las aguas residuales contienen grandes cantidades de aceites y grasas.

Los líquidos, pastas y demás cuerpos que no son miscibles con el agua, pero tienen un peso específico menor y, por lo tanto, tienen tendencia a flotar en su superficie, pueden ser retenidos y eliminados de la línea de tratamiento por medio de dispositivos muy simples,

como en el caso de caudales muy pequeños (trampas de grasa) o por medio de tanques más grandes dotados con sistemas de flotación y desnatado (TULSMA, 2003).

2.3.1.4. Tanque de igualamiento

El tanque de igualamiento o ecualizador, en su mayoría en forma de tanque rectangular, son usadas generalmente en lugares donde el flujo no es constante. Su principal objetivo es el de atenuar las variaciones de caudal que se producen en ciertos procesos productivos haciendo que el flujo que ingresa al tratamiento primario sea constante. Mejora la eficiencia de los tratamientos, sobre todo biológicos controlando las cargas choque. Entre las principales ventajas que presenta la colocación de estas unidades, antes del tratamiento primario, es que se mejora la tratabilidad del agua residual, se reducen los requerimientos de área y carga de las unidades posteriores aumenta la eficiencia de la PTAR. Si es colocado antes del tratamiento primario, el tanque ecualizador requiere mezcla con el fin de evitar la sedimentación dentro del tanque (Romero, 2010).

2.3.2. Tratamiento primario

El objetivo es la reducción del material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua, turbidez y parte de la materia orgánica. También es airear el agua y sedimentar partículas más finas que vienen con esta (polvo y tierra). Es posible además la eliminación de una pequeña fracción de contaminación bacteriológica, así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 65% de sólidos sedimentables y hasta un 30 a 35 % de sólidos suspendidos presentes en el agua residual. Igualmente, se puede conseguir una reducción de la contaminación bacteriológica.

Estos tratamientos preparan las aguas residuales para su tratamiento biológico, eliminan ciertos contaminantes y reducen las variaciones del caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta. Esta etapa se encarga de la remoción de parte de los sólidos pesados (arenilla) y trabaja únicamente con las fuerzas de la gravedad (Rigola, 1989).

2.3.2.1. Sedimentación

El propósito principal es producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente. El agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares de 3 a 5 m de profundidad, con un periodo de retención de 2 a 3 horas, estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios, que son suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración, de allí que ambos procesos se consideren como complementarios. Remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior. Es un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos más utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación (Romero, 2010).

2.3.2.2. Flotación

Se emplea para la separación de sólidos o líquidos de una fase líquida, esta separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire en fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hacen que suban hasta la superficie del líquido, de esta manera es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido.

Se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas remanentes; tienen mayor eficiencia que las rejillas y las trampas. La eficiencia se puede aumentar agregando floculantes químicos (aluminio, sales de hierro, entre otros). El lodo de la flotación tiene un alto contenido de proteínas y grasas y puede ser usado para alimento de animales, después de pasteurizarlo o ser procesada en una planta recuperadora (Romero, 2010).

2.3.3. Precipitación química (coagulación-floculación)

Este proceso implica la mezcla de químicos con el agua residual con el propósito de mejorar la formación y asentamiento del floc. Los químicos utilizados comúnmente incluyen sales de aluminio (sulfato de aluminio), sales de hierro (cloruro férrico) o cal. Puede ser capaz de producir un efluente que es casi equivalente al tratamiento secundario y puede eliminar huevos de helmintos a un nivel aceptable, lo que reduciría significativamente los riesgos para la salud. También puede dar como resultados una eliminación de DBO₅ en un 50% a 60 % o incluso más comparado con un 40% logrado con proceso de sedimentación.

La remoción de sólidos es aún más significativa, incrementándose la eficiencia de un 50% a un rango de 70 a 85% cuando se emplean químicos, este nivel de eliminación de sólidos suspendidos es cercano al alcanzado por las plantas de tratamiento secundario de menor eficiencia. Normalmente este proceso es seguido de filtración y desinfección (Romero, 2010).

Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación (Romero, 2010).

2.3.3. Tratamiento secundario

Esta etapa se efectúa cuando a pesar del tratamiento primario las aguas negras tienen más sólidos en suspensión, su descomposición depende de organismos aeróbicos o anaeróbicos.

El propósito es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos. Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos, remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la DBO₅ del efluente en un 90% (Seoáñez, 2001). Para escoger un sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los que podemos mencionar requerimientos de efluente (estándares de descarga), sistema de pre tratamiento escogido, la disponibilidad del terreno, regulaciones ambientales locales y factibilidad económica de una planta de proceso.

Entre los procesos más utilizados tenemos los: lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización y aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.3.3. Filtros percoladores

Los filtros percoladores o lecho bacteriano consisten en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos, que degradan la materia orgánica, y a través del cual percola el agua residual. Consiste en un tanque, cilíndrico o rectangular, que contiene un lecho (relleno o empaquetadura) de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de piedras de diversas formas o materiales sintéticos, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles (Menéndez et al., 2005).

2.3.4. Sistemas biológicos rotativos de contacto (RBC – biodiscos rotatorios)

Consiste en una serie de discos circulares de plástico, situados sobre un eje central perpendicular de corta distancia uno del otro. Los discos están parcialmente sumergidos en el efluente y giran lentamente en el seno de la misma. De esta manera, los microorganismos

responsables del tratamiento se adhieren a la superficie del disco hasta formar una película biológica, que se pone en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica y con la atmósfera, permitiendo la transferencia de oxígeno. Es recomendable que los sólidos desprendidos de los discos sean transportados a un sedimentador secundario. Su funcionamiento es bastante similar al de los filtros percoladores (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.3.5. Lodos activados

El proceso consiste en introducir el agua en un reactor donde se mantiene en suspensión una masa activa de microorganismos, capaz de estabilizar la materia orgánica por vía aerobia. Después de haber removido la materia orgánica presente en el agua residual, ésta es llevada a un sedimentador en el cual se lleva a cabo la separación de la biomasa desde el líquido, una parte de las células sedimentadas es recirculada para mantener la concentración deseada de organismos en el reactor. El ambiente aerobio se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.3.6. Reactores anaerobios

Consisten en un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de estos (Tilley et al., 2022).

En la Tabla 6 se muestran los distintos tipos de tratamiento (preliminar, primario y secundario) de aguas residuales con su respectiva eficiencia teórica de remoción para los parámetros evaluados.

Tabla 6. Tipos de tratamiento para aguas residuales y su eficiencia teórica de remoción.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	REMOCIÓN (%)					
		DBO ₅	DQO	SST	A-G	CT	CF
PRELIMINAR	Cribado fino	5-10	5-10	5-20	5-20	-	-
Remueve materiales sólidos suspendidos gruesos y arenas	Desengrasador	20-35	15-22	10-35	10-15	-	-
	Desarenador	-	-	20-45	-	-	-
	Sedimentación	25-40	30-45	40-80	15-50	30-50	20-40
PRIMARIO	Flotación	30-45	30-45	70-90	>90	-	-
Remueve sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, DBO para disminuir la carga orgánica.	Precipitación química	50-85	60-70	70-90	-	-	-
	Coagulación/floculación	70-80	70-80	90-95	>95	-	-
SECUNDARIO	Filtros percoladores	75-95	50-80	70-90	-	10-20	10-15
Procesos biológicos con una eficacia de remoción de DBO soluble mayor a 80%	Reactor biológico	80-95	80-90	90-95	30-80	30-50	25-40
Remover materia orgánica soluble y suspendida, eliminar patógenos y otros contaminantes.	Lodos activados	80-95	80-95	80-90	85-95	70-90	70-90
	Biodiscos rotatorios	80-85	80-85	80-85	-	80-90	80-90

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003. NP OS 090.

Los procesos de tratamiento de estas tres categorías pueden agruparse por procesos físicos, químicos y biológicos, según describe Sans & de Pablo (1989), así tenemos:

a. Procesos físicos

Son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento, en general, las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (desbaste, dilaceración y homogenización de caudales).

Los principales procesos físicos son los siguientes:

- Desbaste
- Dilaceración
- Floculación
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración
- Ósmosis inversa
- Intercambio iónico

b. Procesos químicos

Son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos, estos procesos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos.

Los principales procesos químicos son los siguientes:

- Precipitación química
- Transferencia de gases
- Adsorción
- Desinfección
- Desinfección con cloro
- Ozono

c. Procesos biológicos

Este tratamiento se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario, tiene como misión la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria, así como la estabilización de la materia orgánica. Se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos principalmente bacterias. Este proceso consiste únicamente en transformar los nutrientes en tejido celular y diversos gases; cuya separación de los tejidos celulares se dará por sedimentación y decantación. Los procesos de tratamiento biológicos más utilizados son: procesos aerobios, anóxicos, anaerobios, entre otros.

Esta clasificación (físicos, químicos y biológicos) se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. *Procesos físicos–químicos y biológicos.*

FÍSICOS	PROCESOS QUÍMICOS	BIOLÓGICOS
<p>Aquellos que emplean fuerzas físicas para el tratamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desbaste • Dilaceración • Evaporación • Homogenización de caudales • Mezclado • Floculación • Sedimentación • Flotación • Filtración • Intercambio iónico • Ósmosis inversa 	<p>La eliminación de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos químicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación química • Transferencia de gases • Separación de amonio por arrastre • Adsorción • Desinfección • Desinfección con cloro • Ozono • Decloración 	<p>Es un tratamiento secundario, tiene como misión la coagulación y eliminación de sólidos coloidales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesos aerobios • Procesos anóxicos • Procesos anaerobios • Procesos facultativos

Fuente: Elaboración Propia, basada en Sans & de Pablo,(1989).

2.4. Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador, 2008, establece:

En su artículo 264, competencias exclusivas a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), numeral 4 *“Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.”*.

En el artículo 411: *“El estado garantizara la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.”*.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014:

La disposición general QUINTA: *“Los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes, en materia de provisión de agua y saneamiento, implementarán sistemas adecuados para el abastecimiento de agua potable, de modo que, en el plazo previsto en el Plan Nacional de Desarrollo del Buen Vivir y en la estrategia de erradicación de la pobreza y la desigualdad, quede plenamente garantizado el acceso total de la población al agua potable. Del mismo modo, procederán de acuerdo con las metas, objetivos y plazos previstos en el plan nacional de desarrollo y el plan nacional de recursos hídricos a la planificación, implementación y construcción de los sistemas de alcantarillado y de la infraestructura para tratamiento de aguas residuales y desechos urbanos, de modo que se cubran las necesidades de saneamiento de la población y se trate la totalidad de las aguas servidas. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados establecerán en coordinación con la Autoridad Única del Agua una programación de obras y el financiamiento respectivo.”*.

Metodología

3.1. Área de estudio

3.1.1. Ubicación

El camal municipal se encuentra ubicado en el centro urbano del cantón Girón, en la calle 3 de noviembre, junto al río Chorro, cuyas coordenadas corresponden a UTM WGS84: 9 650 760.28 N y 706 065.07 E según levantamiento topográfico realizado en septiembre de 2022 (Anexo B).

El establecimiento únicamente presta el servicio de faenamiento de bovinos y es administrado por el departamento de Obras Públicas del GAD municipal de Girón, los días de mayor faenamiento son los días sábados, pero el resto de los días de la semana se realiza el faenamiento de ser necesario.

3.2. Dotación de faena

La dotación de faena hace referencia a la cantidad de animales que llegan al camal para su posterior faenamiento, esta puede ser diaria, semanal o mensual y dependiendo de la misma el camal puede denominarse grande, mediano o pequeño (Beltrán, 1985).

En el caso del camal municipal de Girón, al ser pequeña la población a la que sirve, la dotación de faena no es constante, es decir, el camal no opera diariamente y existen días de nula, escasa o excepcional dotación de faena (Anexo C). Por esta razón, en primera instancia, se establecieron los días en que el camal está operativo (exceptuando los antes mencionados), aunque se consideran de igual manera para el diseño de la PTAR los casos excepcionales en los que, por alguna razón, este tiene que operar.

3.3. Consumo de agua en el proceso

Para determinar el consumo de agua durante el proceso de faenamiento de reses en el camal municipal de Girón, se solicitó la respectiva información al departamento de Obras Públicas del GAD Municipal de Girón, ya que son los encargados de administrar el camal. La información brindada (Anexo D) consta del consumo de agua en m³ por cada mes, además de la medición anterior y actual del medidor del camal. Es importante mencionar que para algunos meses no se contaba con mediciones, por lo que en estos casos se promedió el valor de consumo del mes en el que si se tenía medición (Tabla 8).

Tabla 8. Datos de consumo de agua años 2019 - 2021

	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Mes	Consumo (m ³)		
Enero	61	76	22
Febrero	100	76	63
Marzo	126	76	52
Abril	100	75	52
Mayo	61	76	53
Junio	131	76	69
Julio	82	75	69
Agosto	68	75	69
Septiembre	134	41	87
Octubre	100	48	115
Noviembre	76	48	105
Diciembre	76	47	55

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó como metodología la evaluación de las diferentes características del agua residual producto del faenamiento que se realiza en el camal municipal del cantón Girón, con el objeto de establecer un adecuado tratamiento en procura que las descargas líquidas cumplan con los parámetros establecidos por la ley y a su vez permita la reutilización, por lo que se procedió así:

- Reconocimiento de la zona y alrededores.
- Verificar las instalaciones.
- Selección de los puntos críticos a evaluar.
- Aplicación de técnicas para conocer el caudal de las aguas.

- Realizar un muestreo compuesto. El fin de este muestreo es identificar cuáles son las características de los efluentes y poder tener un conocimiento de la cantidad de materia orgánica presente en estas aguas (aceites y grasas, DBO₅, DQO, SST, coliformes totales y fecales).

3.5. Caracterización del efluente proveniente del camal municipal de Girón

3.5.1. Muestreo de aguas residuales

El muestreo del efluente proveniente del camal municipal de Girón se llevó a cabo en tres campañas, en los meses de octubre y noviembre del año 2021, meses de mayor demanda del camal municipal, puesto que, por las festividades de estos meses, se sacrifican un mayor número de bovinos. Se planteó tomar dos muestras por campaña, una muestra compuesta en la descarga P1 del camal, antes de la rejilla, debido a que esto contaría como un pre tratamiento y otra muestra puntual en P2, es decir en la descarga al río Chorro (Ilustración 2). El muestreo fue realizado por los autores de este trabajo.

Se tomaron muestras simples cada hora durante la jornada laboral. Al final se obtuvieron las muestras con las cuales se formó la muestra compuesta de 1.0 litro. Cada vez que se tomó una muestra simple se midió el caudal para poderlo relacionar con la alícuota respectiva para armar la muestra compuesta. Las muestras fueron almacenadas en una hielera para su conservación en las condiciones de temperatura adecuadas.

– Sitio de muestreo

Las muestras simples, para la formación de la muestra compuesta, fueron tomadas en el punto P1 de descarga, mientras que la muestra puntual se tomó en el punto P2, de descarga al río (Ilustración 2). Todas las muestras fueron recolectadas siguiendo lo estipulado en la normativa (NTE INEN 2 169:98- 1998-11); (NTE INEN 2 176:1998- 1998-08); (NTE INEN 2 226:2000 – 2000-01).

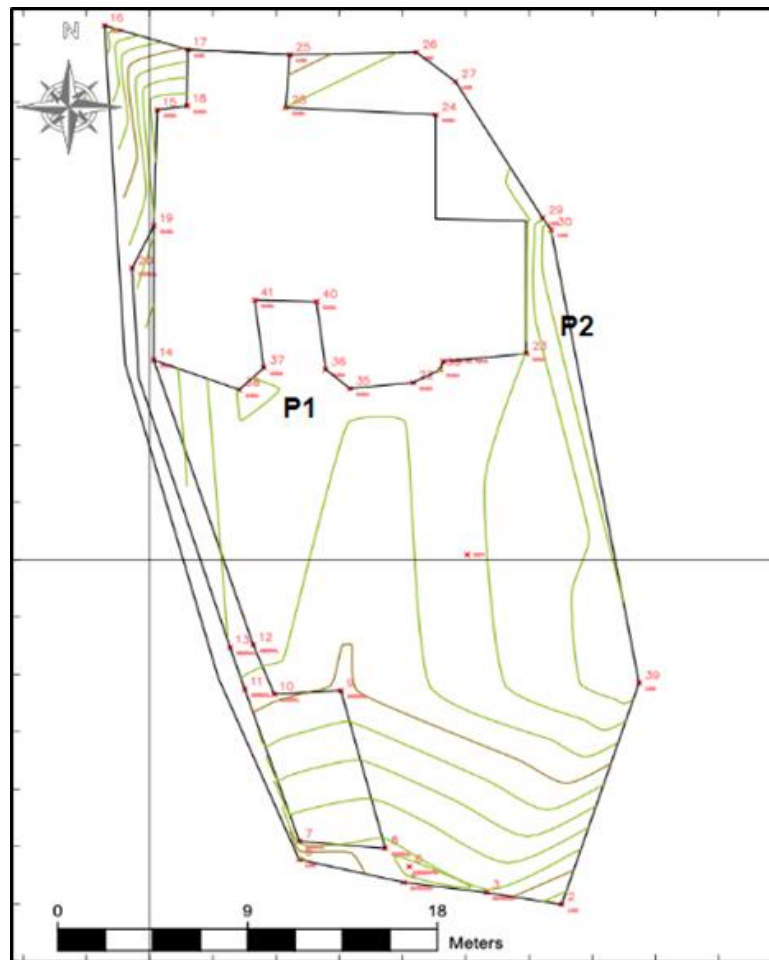


Ilustración 2. Puntos de muestreo.

Nota: P1 es el punto de descarga 1, antes de la rejilla. P2 es el punto de descarga 2, al río Chorro. En el Anexo B se encuentra el levantamiento topográfico completo.

– **Período de muestreo**

El muestreo se realizó en tres campañas durante la jornada laboral del camal. Las muestras simples en el punto P1 se tomaron cada 60 minutos, desde la hora de inicio de labores del camal. Mientras que la muestra puntual, en el punto P2, se tomó al finalizar la jornada laboral.

– **Metodología de monitoreo**

Las técnicas para utilizar en la toma de muestras asumen gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis, es así como para garantizar dicha acción confiable se tuvieron en cuenta varios criterios a saber:

A. Diseño del plan de muestreo

Las muestras tomadas para el desarrollo del presente estudio contaron con el apoyo del personal que labora en el camal del GAD municipal del cantón Girón, quienes brindaron las facilidades necesarias, además de proporcionar la información pertinente que permitió organizar las labores de campo, que se refieren como actividades:

- Identificación de la zona de estudio
- Verificación del acceso a los puntos de toma de muestras
- Horarios de faenamiento
- Ubicación de los puntos a evaluar
- Capacidad y volumen de faenamiento
- Dotación y consumo diario de agua
- Check list de materiales a utilizar

B. Muestreo

La toma de muestras se realizó de manera manual y los recipientes utilizados para conservar y transportar las muestras fueron de plástico y nuevos, con un volumen de 1000 ml. Para la recolección de la muestra se usó una jarra y recipiente de boca ancha.

– Tipo de muestra, conservación y transporte

Durante la toma de cada muestra se determinó el caudal del efluente. Las muestras simples tomadas fueron etiquetadas y conservadas hasta el final de la jornada. Se preparó la muestra compuesta tomando la alícuota, según el volumen calculado, y trasvasándola al recipiente de 1000 mililitros.

La muestra puntual se tomó en el punto P2 y de igual manera el recipiente fue etiquetado y almacenado en la hielera. Es importante mencionar que las muestras se tomaron por duplicado, y se conservaron en refrigeración hasta llegar al laboratorio de Aguas, ubicado en el campus Balzay, de la Universidad de Cuenca para su posterior análisis, los parámetros analizados fueron: sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo (P), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites y coliformes fecales y totales. El volumen de las alícuotas se calculó según las ecuaciones (1 y 2).

$$V_i = \frac{V_t}{n * Q_p} * Q_i \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{\sum Q_i}{n} \quad (2)$$

Dónde:

V_i : Volumen (ml) que debe tomarse de cada muestra puntual

Q_i : Caudal (l/s) medido cada 60 minutos

V_t : Volumen (ml) de muestra compuesta (1000ml)

Q_p : Sumatoria de los caudales medidos cada 60 minutos.

– Caudal

Los caudales instantáneos se determinaron en la descarga in situ usando el método de aforo volumétrico, el cual consistió en colocar un recipiente de volumen conocido en el punto de salida de la tubería y cronometrar el tiempo que tarda el mismo en llenarse, a partir de estos datos se calcula el caudal instantáneo usando la Ecuación (3).

$$Q_i = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Dónde:

Q_i : Caudal instantáneo, en l/s

V : Volumen recolectado, en l

t : Tiempo medido, en s

Para la toma de muestras se tuvieron en cuenta diferentes aspectos como:

- Verificación los equipos e instrumentos a utilizar.
- El material de los frascos o recipientes de muestreo fue de plástico y vidrio según como lo requirió el parámetro.
- Recolectar el suficiente volumen de muestras en estudio.
- Tener en cuenta el método de preservación para cada una de las muestras hasta el momento de los análisis.
- Tener precaución en cuanto a la manipulación y muestreo (cuidado integridad física).
- Asimismo, para la toma de muestra se tendrá en cuenta las recomendaciones propuestas por (TULSMA, 2003).

– **Codificación, recolección y traslado de muestras**

Para la toma de las muestras se procedió primero a rotular los envases con sus etiquetas respectivas, indicando número de muestra, código de punto de muestreo, fecha, hora y lugar de ubicación del muestreo.

Las muestras fueron recolectadas de forma manual en frascos de boca ancha tapa rosca estériles (Ilustración 3); transportadas en cajas térmicas (cooler) a una temperatura de 4°C disponiendo para ello Ice pack e inmediatamente trasladarlas al laboratorio donde se ejecutarán las pruebas.



Ilustración 3. Recipientes de muestreo rotulados.

– **Materiales e insumos de recolección de muestras**

Los materiales usados para la recolección de muestras se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. *Materiales e insumos*

BIOLÓGICO	• Aguas de proceso	
	• Efluentes de los diferentes puntos críticos	
PLASTICO/VIDRIO	• Frascos estériles plástico con tapa rosca, boca ancha	
	• Pipetas de 1 ml y 5 ml.	
OTROS	• Guantes	• Etiquetas para rotular
	• Mascarillas.	• Marcador
	• Cintas de pH.	• Cuaderno de apuntes
	• Gafas de protección	• Termo para cadena de frío
	• Botas de caucho	• Mandil o guardapolvo

3.5.2. Procesamiento de datos y análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el criterio del análisis descriptivo, a través del cual se extrajo resúmenes de las observaciones obtenidas según las variables en el desarrollo del proyecto.

De igual manera, la información fue procesada y evaluada usando programas informáticos como “Microsoft Excel” para la elaboración y selección de la base de datos, tablas e ilustraciones.

3.6. Verificación del cumplimiento de la normativa vigente

La comparación de los resultados de los análisis de agua residual proveniente del camal municipal se realizó con la “Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” de la normativa TULSMA, Revisión del Libro VI, Anexo 1. La comparación se realizó con los resultados de la muestra puntual (tomada en el punto P2 de descarga al río). Se tomaron en cuenta los valores máximos para cada parámetro evaluado.

3.7. Eficiencias de remoción de las unidades de tratamiento según la literatura

Según la literatura consultada las eficiencias de remoción teóricas, en porcentaje, para los parámetros considerados como los más importantes se presentan en la Tabla 10. En el caso de los valores que se presentan como 75-80, para el caso de rejillas y trampa de grasas en el parámetro grasas y aceites, significa que el proceso tiene una eficiencia de remoción que va entre el 75 y 80% para el parámetro mencionado. Por lo tanto, para los cálculos se tomaron valores intermedios dentro de los rangos mencionados.

Tabla 10. Eficiencias de remoción teóricas de cada unidad de tratamiento.

		Eficiencias de remoción (%)						
	Unidad de tratamiento	SST	DBO ₅	DQO	Grasas y aceites	NT	P	CF
Pretratamiento	Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	2-20	5-10	5-10	75-80	-	-	10-20
Tratamiento primario	Coagulación-floculación	70-90	50-85	40-70	90	5-10	-	40-80
	Sedimentador primario	50-65	30-40	30-40	60-80	10-20	10-20	40
Tratamiento secundario	Lodos activados	80-95	80-95	80-85	-	15-50	10-25	90
	Biodiscos rotatorios	80-85	80-85	80-85	-	15-50	10-25	88
	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	80	79	75	-	-	-	90

Fuente: Romero, 2010.

3.7.1. Cálculo de la concentración remanente del efluente

Para esta sección, se calcularon las concentraciones remanentes del efluente para cada parámetro analizado según la Ecuación (4). Tomando como base esta ecuación se obtuvo la Ecuación (5); en donde C. Afluente es la concentración del afluente obtenida de los análisis de laboratorio. A partir de un porcentaje de remoción teórico (% Remoción) se determinó si la concentración del efluente (C. Efluente) en cada unidad de tratamiento cumple o no la normativa, dicho porcentaje se obtuvo de la Tabla 10 (Chuchón & Aybar, 2008).

$$\%Remoción = \frac{C.Afluente - C.Efluente}{C.Afluente} * 100 \quad (4)$$

$$C.Efluente = C.Afluente - \left(\frac{\%Remoción}{100} * C.Afluente \right) \quad (5)$$

3.8. Datos preliminares para el diseño de la PTAR

3.8.1. Datos de faenamiento

Entendiéndose a las variables que intervienen (días de la semana, meses del año, años de los que se recopilaron los datos y la cantidad de animales faenados) como variables discretas, se procedió a realizar el análisis estadístico descriptivo. En el camal no se labora todos los días de la semana; razón por lo cual, con los datos de días laborados durante los años 2019, 2020 y 2021 y considerando la cantidad de animales faenados durante estos años, se logró determinar el número promedio de animales faenados en los meses de los distintos años. También se obtuvo la cantidad promedio de animales faenados en el día de mayor demanda, los datos antes mencionados permitieron calcular el caudal de diseño.

3.8.2. Determinación del caudal de diseño

El caudal futuro (Q_f) de las aguas residuales provenientes del camal municipal se calculó mediante la aplicación de la Ecuación (6). La dotación de agua se obtuvo a partir de los datos del consumo de agua del camal (Anexo D) y la dotación de faena (Anexo C), la relación entre estos dos parámetros proporcionó el dato de dotación de agua para este cálculo (Villacrés, 2020).

$$Q_f = D_f * \text{Dotación de agua} \quad (6)$$

Donde,

Q_f : Caudal futuro

D_f : Demanda futura de carne

Para la determinación de la demanda futura de carne (D_f) fue necesario calcular el Índice de consumo de carne (ICC) (Ecuación 7).

$$ICC = \frac{\text{Número de animales faenados}}{Pac} \quad (7)$$

Dónde:

Pac : Población actual del cantón Girón, número de habitantes.

Número de animales faenados: consumo promedio diario de animales, res/día.

Así mismo fue necesario conocer la demanda futura de carne, por lo que se aplicó la Ecuación (8).

$$Df = Pf * ICC \text{ (8)}$$

Dónde,

Df: Demanda futura de carne

Pf: Población futura (proyección de crecimiento poblacional)

ICC: Índice de consumo de carne

Finalmente, con la obtención de estos datos y la aplicación de la Ecuación (6) se calculó el caudal futuro (Qf).

Para obtener el caudal de diseño (Qd) se comparó el máximo caudal medido (Qi) *in situ* durante las campañas de muestreo con el caudal futuro calculado (Qf), el mayor entre los dos se tomó como Qd.

3.8.3. Selección de las alternativas para el tratamiento de aguas residuales

Una vez realizada la caracterización de las aguas residuales del camal y determinado el caudal de diseño se estableció el grado de tratamiento óptimo para el efluente proveniente del camal municipal de Girón. Las opciones de unidades de tratamiento planteadas se hicieron con base a las características del efluente, el espacio físico disponible en el establecimiento y el crecimiento de la demanda de faenamiento proyectada según el crecimiento poblacional.

Para lo cual, se sienta como base que, el tratamiento necesario es: pretratamiento, tratamiento primario y secundario con el propósito de garantizar que el efluente luego de tratado cumpla con la normativa ecuatoriana vigente y pueda ser descargado al cuerpo de agua cercano o bien al alcantarillado común. Hay que recalcar que el pretratamiento será el mismo para cualquiera de los tres sistemas que se propondrá; por tanto, las opciones de tratamiento variarán en lo que respecta tratamiento primario y secundario según esto se establece tres opciones de tratamiento en la Tabla 11.

Tabla 11. Grado de tratamiento necesario.

Grado de Tratamiento				
Opciones	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Estudios realizados
1	Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	Coagulación-floculación	Lodos activados	Pallarés, (2016)
2	Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	Sedimentador primario	Biodiscos rotatorios	Álvarez & Murillo, (2018)
3	Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	Coagulación-floculación	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	Núñez & Lupaca, (2021)

3.9. Diseño del sistema de tratamiento para los efluentes generados en el camal municipal de Girón

Para el diseño de la PTAR objeto de este trabajo, se procedió a realizar los respectivos cálculos con base en las ecuaciones propuestas en la literatura para cada una de las tres opciones propuestas (trenes de tratamiento).

3.9.1. Tratamiento preliminar

3.9.1.1. Rejillas

El dimensionamiento del tratamiento preliminar es el mismo para las tres opciones, se estableció un tipo de rejas medianas (6 a 38 mm de espaciamiento entre barras) según se indica en la Tabla 13 (Álvarez, 2016). Como características de las rejillas se seleccionó una forma de barras (circular), los materiales de construcción (acero galvanizado) y el tiempo de retención en el canal de aproximación (3 s). Como se mencionó anteriormente, estas rejillas son de limpieza manual y en la Tabla 12 se muestran los valores adoptados para el diseño de esta unidad.

Tabla 12. *Valores adoptados para el diseño de rejillas.*

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal de diseño (Qd)	0.00036*	m ³ /s
Espesor de las barras (a _b)	10	mm
Profundidad de las barras (P _{max})	75	mm
Abertura o espaciamiento entre barras (e _b)	25	mm
Inclinación con la vertical (ϑ)	45	° (grados)
Velocidad de acercamiento (v _a)	0.3	m/s
Velocidad a través de las barras (v _R)	0.9	m/s
Tirante hidráulico con fines de construcción (h)	0.3	m
Borde libre (h _b)	0,2	m
Ancho del canal (b)	0.3	m
Factor de forma de barras (circulares) (β)	1.79	-

Nota: El factor de forma de las barras (barra circular, Anexo E). El coeficiente de rugosidad de Manning se tomó un valor estándar.

**Ver en las secciones 3.3.1. Caudal de diseño y 4.1.5. Resultados del cálculo del caudal de diseño. Fuente: Álvarez, 2016; Romero, 2010.*

Para el diseño de las rejillas se proponen las siguientes ecuaciones según Álvarez (2016) y Romero (2010) (Tabla 13):

Tabla 13. Parámetros y ecuaciones para el diseño de rejillas.

Parámetros y fórmulas para el diseño de rejillas		
Parámetros	Fórmulas	Descripción
Canal de aproximación	$a_{canal} = \frac{Q_{max}}{0.6P_{max}} \left[\frac{a_b + e_b}{e_b} \right] \quad (9)$	a _{canal} = Ancho canal de aproximación, m. Q _{max} = Caudal máximo, m ³ /s. 0.6 = Velocidad máxima a través de las barras, m/s. P _{max} = Profundidad máxima de agua en el canal. Q=Q _{max} , m. a _b = Ancho de barras, mm. e _b = Espaciamiento entre barras, mm.
Velocidad en el canal de aproximación	$v = \frac{0.6}{\frac{a_b + e_b}{e_b}} \quad (10)$	v = Velocidad en el canal de aproximación, m/s.
Pérdida de carga a través de la rejilla	$h_f = \frac{1}{0.7} \left[\frac{v_R^2 - v_a^2}{2g} \right] \quad (11)$	h _f = Pérdida de carga, m. 10.7 = Coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia. v _R = Velocidad a través de la rejilla, m/s. v _a = Velocidad en el canal de aproximación, m/s. g = Aceleración de gravedad, 9.81 m/ s ² .
Pérdida en rejillas	$H = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{h_v^2}{2g} \sin \theta \quad (12)$	H = Pérdida de energía, m. β = Factor de forma de las barras. W = Ancho máximo de la sección transversal de la barra, m. e _b = Espaciamiento entre barras, m. h _v = Energía de velocidad del flujo de aproximación, m. sin = Ángulo de la rejilla con la horizontal.
Área total	$A_t = h * b \quad (13)$	h = Tirante hidráulico, m. b = ancho del canal, m.
Longitud (L)	$L = \frac{h + hb}{\text{sen}(\theta)} \quad (14)$	h = Tirante hidráulico con fines de construcción, m. hb = Borde libre, m. θ = Inclinación con la vertical.
Eficiencia de barras de barras	$E = \frac{a_b}{e_b + a_b} \quad (15)$	E = Eficiencia de barras. a _b = Ancho de barras, mm. e _b = Espaciamiento entre barras, mm.
Número de barras	$n_b = \frac{b - e_b}{a_b + e_b} \quad (16)$	N _b = Número de barras. b = Ancho del canal, m. a _b = Ancho de barras, mm. e _b = Espaciamiento entre barras, mm.
Radio hidráulico	$Rh = \frac{bh}{(b + 2h)} \quad (17)$	b = Ancho del canal, m. h = Tirante hidráulico, m.

Fuente: Álvarez, 2016; Romero, 2010.

En la Ecuación (10) se asume que la velocidad máxima que pasa a través de las rejillas es de 0.6 m/s, por lo que la velocidad calculada debe ser aproximadamente de 0.45 m/s, si se utiliza valores de y comunes (5-15 mm y 25-50 mm, respectivamente). La Ecuación

(11) propuesta por Tchobanoglous et al., (2003), se aplica únicamente cuando las rejillas están limpias.

Existe otra forma de calcular las pérdidas de energía a través de las rejillas y es mediante la aplicación de la Ecuación (12) propuesta por Kirschmer, que está en función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las barras, se establecen los diferentes valores en función de la forma de las barras (Anexo E) (Álvarez, 2016; Romero, 2010).

3.9.1.2. Tanque de igualamiento

Un tanque ecualizador o de igualamiento es necesario para controlar el caudal que fluirá hacia las siguientes opciones tratamiento luego de haber pasado por el tratamiento preliminar. El tanque regulador o también denominado de igualamiento se dimensionó según criterios establecidos por Romero, 2010. Los criterios de diseño de este tanque se presentan en la Tabla 14 y las ecuaciones empleadas se muestran en la Tabla 15.

Tabla 14. *Parámetros para el dimensionamiento del tanque ecualizador.*

Parámetro	Valor	Unidades
Tiempo de retención (TR)	4	Horas
Caudal (Q)	1.30	m ³ /h
Profundidad (h)	1.80	m
Largo (l)	1.60	m
Borde libre (bl)	0.2	m
Altura total (ht)	2	m
Nivel mínimo de operación	1.5	m

Fuente: *Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010.*

Tabla 15. Ecuaciones para el dimensionamiento del tanque ecualizador.

Parámetro	Ecuación	Unidades
Volumen (V)	$V = Q * Tr$ (18)	m ³
Área (A)	$A = V/(h + bl)$ (19)	m ²
Ancho (a)	$a = A/l$ (20)	m

Fuente: Chasi & Montenegro, 2016.

3.9.1.3. Trampa de grasas

La trampa de grasas se dimensionó considerando la metodología recomendada por Álvarez & Murillo (2018), como tratamiento preliminar. La forma seleccionada de la unidad fue rectangular, el material concreto con tubería de entrada con codo a 90°, 75 mm (3 in) de diámetro al igual que la salida, en cuanto a la diferencia de nivel entre las tuberías se adoptó el mínimo recomendado de 0.05 m y para la cantidad de material retenido en el tanque se tomó la tercera parte del volumen de la trampa (Tabla 16). Con respecto al resto de parámetros necesarios para su dimensionamiento, se adoptaron valores según la literatura consultada.

Tabla 16. Valores adoptados para el diseño de la trampa de grasas.

Parámetros	Valor	Unidades
Largo (l)	L	m
Ancho (a)	3L/2	m
Altura de pantalla (bafle)	0.5	m
Diferencia de nivel entre la tubería de entrada y salida	0.05	m
Tiempo de retención (Tr)	3	min
Altura útil (h)	0.5	m
Carga superficial (qs)	4	l/s.m ²
Velocidad ascendente (v_{as})	0.004	m/s
Borde libre	0.30	m

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010.

En la Tabla 17, se muestran las fórmulas necesarias para diseñar trampas de grasas:

Tabla 17. *Parámetros y ecuaciones para el diseño de trampas de grasas.*

Parámetros y fórmulas para el diseño de trampas de grasas		
Parámetros	Fórmulas	Descripción
Volumen	$V = Q * Tr$ (18)	Q = Caudal de diseño, m ³ /s Tr = Tiempo de retención hidráulico, segundos
Área superficial (carga superficial)	$As = \frac{Q}{qs}$ (21)	As = Área superficial, m ² Q = Caudal de diseño (máximo instantáneo), l/s qs = Carga superficial, l/s/m ²
Área superficial (velocidad ascendente)	$As = \frac{Q}{v_{as}}$ (22) $As = l * a = \frac{3}{2} a^2$ (23)	As = Área superficial, m ² Q = Caudal de diseño (máximo instantáneo), m ³ /s v _{as} = velocidad ascendente máxima, m/s
Altura útil	$h = \frac{V}{As}$ (24)	h = Altura útil, m V = Volumen As = Área superficial
Ancho	$a = \sqrt{\frac{2}{3} As}$ (25)	As = Área superficial, m ² a = Ancho del tanque. m
Largo	$l = \frac{V}{(h*a)}$ (26)	h = Altura útil, m V = Volumen, m ³ a = Ancho del tanque, m
Volumen total del tanque (V _t)	$V_t = l * a * (h + b_l)$ (27)	V _t = Volumen total del tanque, m ³ b _l = Borde libre, m
Cantidad de material retenido (V _l)	$V_l = V/3$ (28)	V _l = Volumen de material retenido, m ³

Nota: Para la altura útil del tanque (h), en el caso de que al dividir V/As, el valor calculado no supere los 0.8 m, se toma como altura útil la mínima (0.8 m), caso contrario se toma el valor calculado.

Fuente: Álvarez & Murillo, 2018.

3.9.2. Tratamiento primario

3.9.2.1. Coagulación/floculación

Para determinar las características del sistema coagulación/floculación se desarrollaron pruebas de jarras, para lo cual, se tomaron muestras del agua residual del camal en un volumen aproximado de 20 L para cada día de pruebas; considerado una muestra representativa y suficiente para la realización de varias pruebas de laboratorio

durante cada jornada de trabajo. Se realizaron cuatro jornadas de pruebas en diferentes días durante dos semanas. Las muestras de agua residual se tomaron en el camal el mismo día en que se realizaron las pruebas de jarras y se trasladaron inmediatamente al laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Cuenca.

En las pruebas de jarras se determinaron las dosis óptimas de coagulante y floculante para diferentes condiciones de turbidez según los días de la semana en que se realizaron el faenamiento, además del tiempo de retención y gradiente de velocidad para las mezcla rápida y lenta. Las muestras de agua se tomaron una vez que el agua ha pasado por las rejillas que actualmente dispone el camal. Adicionalmente, en el laboratorio se realizó un tamizado del agua con un cernidor (el proceso fue el mismo para las cuatro jornadas de trabajo). Con respecto a los coagulantes se emplearon tres opciones: sulfato de aluminio, cloruro férrico y policloruro de aluminio; mientras que, como floculante se empleó polímero (polifloc).

En la Tabla 18 se presentan las ecuaciones necesarias para la ejecución de la prueba de jarras (Ecuaciones 29, 30 y 31).

Tabla 18. Ecuaciones para la prueba de jarras.

Ecuaciones para la realización de la prueba de jarras		
Parámetro	Ecuación	Descripción
Volumen de coagulante	$V_x = \frac{D*V}{C*10^4}$ (29)	V _x : Volumen de coagulante, ml D: Dosis deseada, ppm V: Volumen de la jarra, ml C: Concentración solución madre del coagulante, mg/L
Volumen de floculante	$V_x = \frac{D*V}{C*10^4}$ (30)	V _x : Volumen de floculante, ml D: Dosis deseada, ppm V: Volumen de la jarra, ml C: Concentración solución madre del floculante, mg/l
Eficiencia de remoción	$\%Remoción = \frac{Turbidez_i - Turbidez_f}{Turbidez_i} * 100$ (31)	Turbidez _i : Turbidez inicial, NTU Turbidez _f : Turbidez final, NTU

Una vez obtenidas las dosis óptimas de cada coagulante y del floculante, se procedió a dimensionar los tanques coagulador y floculador, respectivamente. El dimensionamiento del tratamiento de coagulación/floculación se realizó en dos partes, primero se dimensionó

un tanque coagulador y luego un tanque floculador (ambos sistemas mecánicos), cada uno con un agitador. Los datos para el dimensionamiento se presentan en la Tabla 19.

Para el tanque coagulador Martínez & Yugcha, (2018) establecen un tiempo de retención de 1.5 minutos (gradiente de velocidad de 290 s^{-1}), recomendado por la literatura consultada, el coagulante se agrega una vez transcurridos 30 segundos de agitación. Mientras que, para el tanque floculador se empleó un valor de 30 minutos como tiempo de retención (gradiente de velocidad de 52 s^{-1}), el floculante se agrega transcurridos tres (3) minutos de agitación. Estos datos bibliográficos se validan con las pruebas de jarras realizadas por los autores de este trabajo. Las ecuaciones y los valores empleados para el diseño del mezclador y floculador mecánico se presentan en las Tablas 19 y 20, el tiempo de retención es el parámetro que distingue a las dos unidades y el agitador tendrá sus propias características en el tanque de mezcla rápida (coagulador), así como en el floculador, es decir la altura, diámetro, altura y espesor de la paleta, entre otros parámetros, serán diferentes en cada sistema.

Tabla 19. Valores adoptados para el dimensionamiento del tanque coagulador y floculador.

Parámetro	Valor	Unidades
Viscosidad (μ)	0.001	kg/ms
Densidad (ρ)	1000	kg/m ³
Número de potencia (Np)	5	-
Coagulación (mezcla rápida)		
Tiempo de retención para coagulación (t_r)	1.5	min
Valor de sobredimensionamiento del volumen (coagulador)	1.2	-
Agitación mezcla rápida (Nr)	500	rpm
Floculación (mezcla lenta)		
Tiempo de retención para floculación (t_r)	30	min
Valor de sobredimensionamiento del volumen (floculador)	1.2	-
Agitación mezcla lenta (Nr)	80	rpm

Nota: NP, es el número de potencia, el cual es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del impulsor y la fuerza de inercia (Anexo F3). El valor de Np es igual para el coagulador y el floculador

Fuente: Martínez & Yugcha, 2018; Romero, 2010.

Tabla 20. Ecuaciones para el diseño del tanque coagulador y floculador.

Tanque coagulador y floculador		
Parámetro	Ecuación	Unidades
Volumen (V)	$V = Q * t_R$ (18)	m ³
Volumen final (V_{final})	$V_{final} = V * 1.2$ (32)	m ³
Diámetro (d)	$d = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{final}}{\pi}}$ (33)	m
Altura (A)	$A = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{final}}{\pi}}$ (34)	m
Agitador		
Altura del tanque (H)	$H = d$ (35)	m
Diámetro del tanque (d)	$d = H$ (36)	m
Diámetro del agitador (D_a)	$D_a = \frac{d}{2}$ (37)	m
Espesor de pared (j)	$j = \frac{d}{12}$ (38)	m
Altura de la paleta (W)	$W = \frac{D_a}{5}$ (39)	m
Largo de paleta (g)	$g = 0.25 * D_a$ (40)	m
Distancia del fondo del tanque a la paleta (E)	$E = 0.33 * d$ (41)	m
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{N * (D_a)^2 * \rho}{\mu}$ (42)	-
Potencia (P)	$P = N_p * \rho * N^3 * D_a^5$ (43)	W
P/V_{final}	$P/V_{final} = \frac{P}{V_{final}}$ (44)	HP/m ³

Nota: D_a se calculó de acuerdo a la relación $L/d = 2$, (largo del tanque sobre diámetro del agitador), la cual debe estar entre 2 y 6.6.

Fuente: Martínez & Yugcha, 2018; Romero, 2010.

3.9.2.2. Sedimentador primario

Para la optimización del espacio disponible para la implementación de la PTAR, se ha escogido un tanque sedimentador primario de forma circular, el cual será seguido de un tratamiento secundario (biodiscos rotatorios), se tomaron en cuenta las recomendaciones de diseño de los Anexos G1, G2 y G3.

Según la forma escogida del sedimentador se establecen los parámetros necesarios para el diseño de este sistema. Se consideraron factores claves como: el tiempo de retención hidráulico, los caudales pico y promedio, la carga superficial y la carga sobre el vertedero, tal como se muestra en las Tablas de los Anexos G1, G2 y G3.

Además, en estas unidades, se hace una diferenciación dependiendo de la configuración de la PTAR, es decir, según Tchobanoglous et al., 2003, la diferencia se basa en, si el tratamiento primario de sedimentación está seguido de un tratamiento secundario o si tiene retorno de lodos activados. Mientras que, Romero 2004, establece la diferencia dependiendo de si el tanque sedimentador primario está seguido de un tratamiento secundario, si es tratamiento primario con lodos activados o si únicamente es un tratamiento primario de sedimentación sin adición de químicos. Finalmente, en el Anexo G3 se diferencian por la forma escogida para el sedimentador primario.

La eficiencia de remoción se calculó según la Ecuación (45):

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad (45)$$

Dónde:

R: Eficiencia de remoción esperada

t: Tiempo de retención nominal en horas

a, b: Constantes empíricas

Los valores típicos de las constantes empíricas a y b se muestran en la Tabla 21, los cuales dependen de la DBO o SST, se establecieron a una temperatura estándar de 20 °C, las ecuaciones necesarias para el dimensionamiento se presentan en la Tabla 22.

Tabla 21. Valores adoptados para el diseño del sedimentador primario.

Parámetros	Valor	Unidades
Altura (h)	2	m
Carga mínima sobre el vertedero (CV_{\min})	1.4	L/s.m
Carga superficial (qs)	24	m/d
Tiempo de retención (Tr)	2	h
Profundidad de agua (h_1)	1.8	m
Constante de cohesión (k)	0.05	-
Gravedad específica de las partículas (s)	1.03	-
Diámetro de las partículas	0.000001	m
Aceleración de la gravedad (g)	9.81	m/s
Factor de Darcy-Weisbach (f)	0.02	-
Concentración SST afluente (según eficiencia remoción teórica)	1200	mg/l
Relación $Q_{\max}/Q_{\text{promedio}}$ (r)	1.73	-
Eficiencia de remoción (Tchobanoglous et. al.)		
	a	b
Constantes para DBO	0.018	0.020
Constantes para SST	0.0075	0.014

Nota: El calor de carga sobre el vertedero se tomó del Anexo G1, mientras que el tiempo de retención se obtuvo de los Anexos G1 y G2 y la pendiente interior se tomó del Anexo G3.

Fuente: Adaptado de Romero, 2010; Tchobanoglous et al., 2003.

Tabla 22. Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador primario.

Parámetro	Ecuación	Unidades
Área (A)	$As = \frac{Q}{qs}$ (46)	m^2
Radio (r)	$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ (47)	m
Diámetro (d)	$D = 2 * r$ (48)	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * r^2 * h$ (49)	m^3
Tiempo de retención corregido (Trc)	$Trc = 1.125 * Tr$ (50)	h
Velocidad crítica de arrastre (Vc)	$v_c = \left[\frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{0.5}$ (51)	m/s
Eficiencia de remoción (SST y DBO)	$R = \frac{t}{a+bt}$ (45)	%

Fuente: Adaptado de Romero, 2010; Tchobanoglous et al., 2003.

3.9.3. Tratamiento secundario

3.9.3.1. Lodos activados

Los datos requeridos para el dimensionamiento de lodos activados fueron:

- Caudal (Q_f), m^3/s .
- DBO₅ entrada (S_o), mg/l.
- DBO₅ efluente (S_e), mg/l.
- SST, mg/l
- SST afluente, mg/l
- Parámetros biocinéticos:
 - K: tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos, d^{-1} (Anexo H3).
 - Y: coeficiente de crecimiento de microorganismos, mg/l (Anexo H3).
 - k_d : coeficiente de declinación endógena, d^{-1} (Anexo H3)
 - a: oxígeno requerido para la oxidación del sustrato, kgO₂/Kg DBO
 - b: respiración endógena, d^{-1}
- Relación alimento/microorganismos (A/M), d^{-1} (Anexo H2).
- Sólidos volátiles en el reactor (X_{va}), mg/l

El tratamiento de lodos activados se dimensionó a partir de los datos de la Tabla 23, donde se encuentran datos de la caracterización del agua residual y datos teóricos. Las ecuaciones se encuentran en la Tabla 24, el dimensionamiento se realizó según Ramalho (2004), para este tratamiento se incluye un sedimentador secundario, del que su dimensionamiento se presenta en las Tablas 25 y 26.

Tabla 23. Valores adoptados para el diseño de lodos activados.

Parámetros	Valor	Unidades
DBO ₅ entrada (S_o)	135*	mg/l
DBO ₅ efluente (S_e)	4.47	mg/l
DBO ₅ efluente (limite normativo)	50	mg/l
SST total (antes de lodos activados)	60**	mg/l
SST efluente (después de lodos activados)	30.6	mg/l
SSV	960	mg/l
Oxígeno requerido para la oxidación del sustrato (a)	0.718	kg /Kg
Respiración endógena (b)	0.0852	d ⁻¹
Coeficiente de crecimiento de microorganismos (Y)	0.410	mg SSV/mg DBO
Sólidos volátiles en el reactor (X_{va})	2500	mg/l
Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos (K)	0.67	d ⁻¹ /mg
Factor de seguridad - potencia (Fs)	0.1	-
Relación alimento/microorganismo (A/M)	0.2	d ⁻¹
Velocidad superficial (v_s)	0.5	m/h
Concentración de O.D en régimen estacionario (CL)	2	mg/l
Relación de transferencia de oxígeno en agua residual a potable a la misma temperatura ($\alpha_{20^\circ C}$)	0.87	-
Relación de concentración de saturación OD en el agua residual a la del agua potable o destilada (P)	0.97	-
Concentración de saturación para el agua en la superficie, a presión atmosférica (C_{SS}) ₇₆₀	8.4	mg/l
Presión atmosférica Girón (P)	584.48	mm Hg
Presión de vapor (P^v)	17.535	mm Hg
Potencia específica (supuesta) (Pv)	0.01	CV/h
Transferencia de oxígeno al agua corriente en condiciones de referencia (RT) _{ref} (Anexo H1)	0.98	kg /CVh
Potencia de la unidad (CV)	8	CV
Diámetro de influencia (di)	0.5	m
Coeficiente de declinación endógena (k_d)	0.04	d ⁻¹
Sólidos volátiles iniciales (X_{vf})	0	mg/l

Continuación		
Parámetros	Valor	Unidades
Sólidos volátiles de purga (X_{vu})	10000	mg/l
Sólidos volátiles del efluente del sedimentador secundario (X_{ve})	10000	mg/l

Nota: * Datos obtenido de la caracterización. ** Dato calculado a partir de la eficiencia de remoción. Los valores para la tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos (K), coeficiente de crecimiento de microorganismos (Y), coeficiente de declinación endógena (k_d), Relación alimento/microorganismos (A/M) se obtuvieron del Anexo H2 y H3, respectivamente, mientras que las constantes de oxígeno requerido para la oxidación del sustrato (a) y Respiración endógena (b) fueron propuestos por Ramalho (2004). La potencia de la unidad (CV) y el diámetro de influencia se establecieron mediante el Anexo H1.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ramalho (2004).

Tabla 24. Ecuaciones para el diseño de lodos activados.

Parámetro	Ecuación	Unidades
DBO consumida ($\frac{kg\ DBO_5}{d}$)	$\frac{kg\ DBO_5}{d} = 86.4Q_f(S_f - S_e)$ (52)	kg DBO/día
Potencia preliminar del reactor (HP_p)	$HP_p = \frac{86.4Q_f(S_f - S_e)}{20 a^{22}}$ (53)	HP
Potencia con factor de seguridad (HP)	$HP = HP_p^*(1 + Fs)$ (54)	HP
Tiempo de retención hidráulica (t) (relación A/M)	$t = \frac{S_f}{X_{va} * A / M_{\text{optimo}}}$ (55)	d
Tiempo de retención hidráulica (t) (horas)	$t = t * 24$ (56)	horas
Volumen del reactor (V)	$V = Q_f * t$ (57)	m ³
Tiempo de retención celular (TCR)	$TCR = \frac{V_r * X}{Q_w X_{vu} + Q_e X_{ve}}$ (58)	horas
Dimensiones tanque rectangular		
Largo (L)	$L = 6V^{\frac{1}{3}}$ (59)	m
Ancho (W)	$W = \frac{L}{2}$ (60)	m
Profundidad (h)	$h = \frac{L}{3}$ (61)	m
Demanda de oxígeno ($\frac{kg\ O_2}{d}$)	$\frac{kg\ O_2}{d} = a 86.4 (S_f - S_e) Q_f + b X_{va} V$ (62)	kg/día

Continuación		
Parámetro	Ecuación	Unidades
Demanda de oxígeno ($\frac{kg\ O_2}{h}$)	$\frac{kg\ O_2}{h} = \frac{kg\ O_2}{d} / 24$ (63)	kg/h
Aireador Superficial		
Rendimiento de transferencia (RT)	$(RT)_{ref} = 1.024^{(t-20)}$ (64)	-
Concentración de saturación en la superficie (C_{ss})	$C_{s,s} = (C_{s,s})_{760} \frac{P-P^V}{760-P^V}$ (65)	mg/l
Concentración de O.D a saturación en el agua residual (C_{sr})	$C_{sr} = \beta * C_{ss}$ (66)	mg/l
Coeficiente de transferencia (K)	$K = (\alpha_{20^{\circ}C} * 1.024^{T-20} * \frac{\beta C_{s,s} - C_L}{9.2})$ (67)	-
RT real	$RT_{real} = K * (RT)_{ref}$ (68)	kg O ₂ /CVh
Potencia real	$Potencia = \frac{O_2\ requerido}{RT_{real}}$ (69)	CV
Potencia recalculada P _v	$P_v = \frac{Potencia}{Volumen}$ (70)	CV
Número de aireadores (n _a)	$n_a = \frac{Potencia}{Potencia\ de\ la\ unidad\ (CV)}$ (71)	-
Diámetro de influencia (20% coef. seguridad) (d)	$d = \frac{Diámetro\ influencia}{1.2}$ (72)	m
Largo (L _a)	$L_a = 3d$ (73)	m
Ancho (W _a)	$W_a = 2d$ (74)	m
Superficie (A _a)	$A_a = L_a * W_a$ (75)	m ²
Profundidad (h _a)	$h_a = \frac{V}{A_a}$ (76)	m
Volumen (V _a)	$V_a = W_a * A_a * h_a$ (77)	m ³
Producción biomasa neta (ΔX_v)	$\Delta X_v = 86.4 * Y(S_f - S_e)Q_f - k_d * X_{va} * V$ (78)	kg/día

Continuación		
Parámetro	Ecuación	Unidades
Cálculos para la re-circulación		
Relación de recirculación (r)	$r = \frac{X_{va}}{X_{vu} - X_{va}}$ (79)	-
Relación de recirculación en porcentaje (r)	$r * 100$ (80)	%
Caudal de recirculación (Q_r)	$Q_r = rQ_f$ (81)	m ³ /s
Caudal de alimentación combinada (Q_o)	$Q_o = Q_f(r + 1)$ (82)	m ³ /s
Caudal de purga (Q_w)	$Q_w = \frac{\Delta X_v + Q_f * X_{vf} - Q_f X_{ve}}{X_{vu} - X_{ve}}$ (83)	m ³ /d
Caudal del efluente (Q_e)	$Q_e = Q_f - Q_w$ (84)	m ³ /s
Caudal de descarga del clarificador (Q_u)	$Q_u = Q_o - Q_e$ (85)	m ³ /s
Tiempo de retención (trh)	$t_h = \frac{t}{(r+1)}$ (86)	h
Eficiencia de remoción (E)	$E = \frac{S_f - S_e}{S_f} * 100$ (87)	%

Fuente: Ramalho, 2004.

El dimensionamiento y diseño del sedimentador secundario para el proceso de lodos activados se basó en Ramírez, 2004; Romero, 2010; Valencia, 2012. Generalmente los tanques de sedimentación son circulares, pero se han construido en formas diferentes como rectangulares, cuadrados, entre otras, este aspecto no tiene ninguna influencia sobre la calidad del efluente.

La profundidad óptima del tanque depende de diferentes aspectos o variables, pero la tendencia actual es la de aumentar la profundidad para mejorar la eficiencia; sin embargo, se puede tener una eficiencia igual en un tanque poco profundo si se mantiene un manto de lodos de profundidad mínima. La estructura de la entrada al sedimentador se diseña para velocidades de flujo menores a 0.6 m/s y la carga de rebose sobre el vertedero generalmente es menor a 2.2 l/s.m (Ramírez, 2004; Romero, 2010). En la Tabla 25 y 26 se presentan los valores adoptados y ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador secundario circular.

Tabla 25. Valores adoptados para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.

Parámetros	Valores	Unidades
Caudal (Q)	31.15*	m ³ /d
Caudal (Q)	0.00036	m ³ /s
Carga superficial (qs)	24	m/día
Profundidad del agua (altura)	2.2	m

Nota: *Caudal de diseño en m³/d, Sección 4.1.10. Los valores de esta tabla se basaron en el Anexo I. *Fuente:* Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010.

Tabla 26. Ecuaciones para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.

Parámetro	Ecuación	Unidades
Área (A)	$A = Q/q_s$ (46)	m ²
Radio (r)	$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ (47)	m
Diámetro (d)	$D = 2 * r$ (48)	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * r^2 * h$ (49)	m ³
Reparto central (Rc)	$Rc = D * 0.25$ (88)	m
Altura de reparto (Hr)	$Hr = \frac{1}{4} * h$ (89)	m
Inclinación de fondo (x)	$x = \frac{r * \text{sen}(90)}{\text{sen}(75)}$ (90)	m
Altura fondo inclinado (hf)	$hf = r * \tan(15)$ (91)	m
Altura total (ht)	$ht = hf + h$ (92)	m
Carga del vertedero (CV)	$CV = \frac{Q}{D * \pi}$ (93)	m ² /s
Tiempo de retención (TRH)	$THR = \frac{V}{Q}$ (94)	h

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010; Tchobanoglous et al., 2003.

3.9.3.2. Biodiscos rotatorios

La unidad de tratamiento de biodiscos rotatorios se diseñó partiendo de la relación entre la sDBO (Demanda bioquímica de oxígeno soluble) y la DBO que ingresa a esta unidad,

y de la sDBO que se busca obtener luego del tratamiento del agua residual en la misma en función de la eficiencia de remoción de la DBO que tienen los biodiscos rotatorios.

- **Consideraciones de diseño de plantas con biodiscos**

Siendo el tratamiento de biodiscos similar al de los filtros percoladores, ya que ambos sistemas desarrollan una gran superficie de biopelícula y se basan en la transferencia masiva de oxígeno y sustratos del líquido a la biopelícula; su diseño se debe basar en información que se pueda obtener de una planta piloto y las instalaciones de campo. La carga orgánica afecta la eficiencia de remoción de la DBO y la carga de nitrógeno luego alcanzar una concentración mínima de DBO afecta la eficiencia de la nitrificación, tal como sucede en los filtros percoladores. En contraste con estos, donde el flujo de agua residual se aproxima a un régimen hidráulico de flujo pistón, las unidades de biodiscos están rotando en un tanque que contiene el agua residual, por lo que la separación con baffles o deflectores es necesaria para aprovechar los beneficios del diseño de un reactor biológico por etapas. El diseño de una unidad de tratamiento por biodiscos rotatorios debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: las etapas de la unidad, los criterios de carga, las características del efluente y el diseño del clarificador secundario, la información típica se presenta en el Anexo J1 (Tchobanoglous et al., 2003).

- **Condiciones para el dimensionamiento**

Así como se establecen materiales de construcción, medidas y parámetros estandarizados en el diseño de una unidad de biodiscos rotatorios, en el Anexo J, se encuentran algunas características comunes para estas unidades de tratamiento. Estas se toman en cuenta a la hora de dimensionar este tipo de unidades (en cuanto a tratamiento previo, etapas, criterio de carga del afluente) y también para dimensionar el sedimentador secundario que se recomienda colocar como tratamiento posterior a los biodiscos.

Con estas consideraciones, además de los valores estandarizados (por ejemplo: carga superficial, densidad de discos, diámetro de los discos, entre otros) (Tabla 27) se procedió a dimensionar la unidad de tratamiento aplicando cada uno de los parámetros necesarios para el funcionamiento adecuado de dicha unidad de tratamiento (Tabla 28). Con respecto a sDBO (antes de biodiscos) (S_0) y DBO (luego de biodiscos) (Sobjetivo, es decir la DBO luego de biodiscos) estos valores se obtuvieron a partir de la relación entre la DBO soluble y la DBO, la cual es de 0.75.

Tabla 27. *Parámetros adoptados para el dimensionamiento de la unidad de biodiscos rotatorios.*

Parámetro	Valor adoptado	Unidades
DBO ₅ total (antes de biodiscos)	80.73*	mg/l
DBO ₅ efluente (luego de biodiscos)	14.53*	mg/l
Relación sDBO/DBO	0.75	-
sDBO (antes de biodiscos) (So)	60.55	mg/l
sDBO (luego de biodiscos) (Sobjetivo)	10.9	mg/l
Sólidos suspendidos totales (antes de biodiscos)	428.4*	mg/l
Sólidos suspendidos totales (luego de biodiscos)	77.11*	mg/l
sDBO diaria	1883.27	g/día
Carga orgánica superficial (Csup.)	6.5	g/m ² .día
Carga orgánica superficial máxima en la 1a etapa	4	g/m ² .día
Densidad del disco (δ_{disco})	1 717.61	m ² /eje
Diámetro de discos (d)	2	m
a/A	0.4	-
Relación D/d (tabla hidráulica King & Brater)	0.42	-
Distancia libre entre discos y batea del tanque (x)	0.05	m
Espesor disco (e)	0.01	m
Separación (s)	0.03	m
Espacio división etapas (xe)	0.05	m
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	0.85	h
Velocidad de rotación	1.2	rpm
Potencia	4	Kw/eje
Potencia	5.36	HP/eje
KDBO (constante de crecimiento de bacterias heterotróficas) (Abdel, 2013)**	5	d ⁻¹

*Nota: *Valores calculados en la Tabla 37. ** El valor de KDBO varía entre 2 y 10 d⁻¹ por lo que se tomó un valor intermedio de 5 d⁻¹ (Montaño et. al.,2020).*

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ramalho, 2014; Tchobanoglous et al., 2003.

Tabla 28. Ecuaciones para el dimensionamiento de la unidad de biodiscos.

Parámetro	Ecuación	Unidades
Dimensionamiento según Romero (2004)		
Carga orgánica (Corg)	$C_{org} = \frac{sDBO}{DBO} * DBO * Q$ (95)	g DBO/d
Área de discos (As)	$As = \frac{C_{org}}{C_{sup}}$ (96)	m ²
Número de discos	$\#discos = \frac{As*4}{\pi*d^2*2}$ (97)	discos
Número de discos por etapa	$\#discos/etapa = \frac{\#discos}{\#etapas}$ (98)	discos
Área sumergida	$a = \frac{a/A*\pi*d^2}{4}$ (99)	m ²
C	$C = \frac{a}{d^2}$ (100)	-
Profundidad de sumergencia (D)	$D = D/d * d$ (101)	m
Profundidad agua en el reactor (h)	$h = D + x$ (102)	m
Longitud cada etapa (Le)	$L_e = (e * \frac{\#discos}{etapa}) + [s * (\frac{\#discos}{etapa} - 1)] + 2e$ (103)	m
Longitud reactor (L)	$L = \#etapas * L_e$ (104)	m
Ancho del reactor (W)	$W = d + 2e$ (105)	m
Área del reactor (Ar)	$A_r = L * W$ (106)	m ²
Volumen del reactor (Vr)	$V_r = A_r * h$ (107)	m ³
Sustrato específico consumido (Se)	$S_e = DBO * e^{-KDBO * \frac{TRH}{24} * \frac{sDBO}{DBO}}$ (108)	mg/l
Eficiencia de remoción (E)	$E = (1 - \frac{DBO - S_e}{DBO}) * 100$ (109)	%

Nota: D/d es una relación obtenida de la tabla hidráulica King & Brater y d es el diámetro de los discos.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ramalho, 2014; Tchobanoglous et al., 2003.

En las tablas 29 y 30 se presentan los valores y ecuaciones adoptados para el dimensionamiento del sedimentador secundario para el tratamiento de biodiscos rotatorios (Anexo J).

Tabla 29. Valores adoptados para el dimensionamiento del sedimentador secundario en los biodiscos.

Parámetro	Mínimo	Máximo	Valor adoptado	Unidades
Carga de sólidos para el caudal máximo	147	176	1.1	kg/día
Carga superficial (Qprom)	8	33	16	m/d
Carga superficial (Qpico)	24	49	24	m/d
Altura del sedimentador (h)	-	-	2	m
Carga de sólidos	23	164	23	kg/m ² d

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010; Tchobanoglous et al., 2003.

Tabla 30. Ecuaciones para el dimensionamiento del sedimentador secundario para los biodiscos.

Parámetro	Ecuación	Unidades
Área (A)	$A = Q/q_s$ (46)	m ²
Radio (r)	$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ (47)	m
Diámetro (d)	$D = 2 * r$ (48)	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * r^2 * h$ (49)	m ³
Reparto central (Rc)	$Rc = D * 0.25$ (88)	m
Altura de reparto (Hr)	$Hr = \frac{1}{4} * h$ (89)	m
Inclinación de fondo (x)	$x = \frac{r * \text{sen}(90)}{\text{sen}(75)}$ (90)	m
Altura fondo inclinado (hf)	$hf = r * \tan(15)$ (91)	m
Altura total (hT)	$ht = hf + h$ (92)	m
Carga del vertedero (CV)	$CV = \frac{Q}{D * \pi}$ (93)	m ² /s
Carga de rebose sobre el vertedero (CV)	$THR = \frac{V}{Q}$ (94)	l/s.m

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Romero, 2010; Tchobanoglous et al., 2003.

3.9.3.3. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

El Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) se dimensionó según CONAGUA (2015) y Tchobanoglous et al. (2003). En la Tabla 31 se presentan los datos necesarios para el diseño de los mismos, mientras que en la Tabla 32 se muestran las ecuaciones para el dimensionamiento. Los valores de DQO soluble (S_o) y SSV se obtuvieron a partir de la relación entre la DQO soluble y la DQO y la relación entre sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles, respectivamente.

Tabla 31. Valores adoptados para el dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Parámetros	Valor adoptado	Unidades
DQO afluente (S)	37.26*	mg/l
DQO soluble del afluente (S_o)	27.95	mg/l
SST del afluente	40.8*	mg/l
SSV del afluente	32.64	mg/l
Temperatura ambiente (T)	18	C
THR	0.208	d
Altura recomendada (h)	2	m
Ancho del reactor (a)	2	m
Área de influencia (A_d)	1.5	m ²
DBO afluente (S_{oDBO})	135	mg/l
Rendimiento de la producción de sólidos, en términos de DQO (Y_{abs})	0.11	kg DQO lodo/kg DQO aplicada
DQO correspondiente a un mol de CH ₄ (K_{DQO})	64	gDQO/mol
Presión lugar (P)	584.48	mm Hg
Constante gases (R)	0.08206	atm L/mol K
Temperatura agua residual (T)	20	C
Fracción de metano en el biogás	0.6	-
Ancho parte superior colector (A_g)	0.05	m
Ancho aberturas (A_u)	0.2	m
Altura colector (h_c)	0.57**	m
Espesor de la pared de concreto (A_p)	0.05	m
Rendimiento de la producción de sólidos (Y)	0.1	kg SST/kgDQO aplicada
Densidad de lodo (γ)	1020	kg/m ³
Concentración esperada de la descarga de lodos (C)	0.02	-

*Nota: *Valores calculados en la Tabla 38. Para el dimensionamiento según Tchobanoglous et al. (2003), el valor de la tasa de carga orgánica (L_{org}) se tomó del Anexo K1 y K2, el valor de la velocidad de flujo ascendente (v) se estableció según el Anexo K3. Mientras que para el dimensionamiento según CONAGUA (2015) los valores de altura y ancho tanto del reactor, colector y aberturas dependen del diseñador, en este caso se tomaron los mismos datos de la bibliografía consultada. El tiempo de residencia hidráulica (THR) se estableció con base al Anexo K4. **Altura del colector determinada*

según lo establecido por Ayala & Márquez, (2008) “la altura del colector de gas debe estar entre 1.5-2 m para reactores de 5-7 m de altura”.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de CONAGUA, 2015; Tchobanoglous et al., 2003.

Tabla 32. Ecuaciones para el dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Parámetro	Ecuación	Unidades
Dimensionamiento según CONAGUA		
Carga de DQO en el afluente (L_o)	$L_o = S_o * Q$ (110)	kg/d
Volumen total del reactor (V)	$V = Q * t$ (111)	m ³
Volumen del módulo (V_u)	$V_u = \frac{V}{N}$ (112)	m ³
Área del reactor (A)	$A = \frac{V_u}{H}$ (113)	m ²
Largo reactor (l)	$l = \frac{A}{a}$ (114)	m
Carga hidráulica volumétrica (CHV)	$CHV = \frac{Q}{V}$ (115)	m ³ /m ³ d
Carga orgánica volumétrica (COV)	$COV = \frac{Q * S_o}{V}$ (116)	kg DQO/m ³
Velocidad de flujo ascendente (v)	$v = \frac{Q}{A_t}$ (117)	m/d
Tubos de distribución (N_d)	$N_d = \frac{A_t}{A_d}$ (118)	-
Eficiencia de remoción DQO (E_{DQO})	$E_{DQO} = 100 * (1 - 0.60 * t^{-0.35})$ (119)	%
Eficiencia de remoción DBO (E_{DBO})	$E_{DBO} = 100 * (1 - 0.70 * t^{-0.50})$ (120)	%
DQO efluente (C_{efl})	$C_{efl} = S_o - \frac{(E_{DQO} * S_o)}{100}$ (121)	kg DQO/m ³
DBO efluente (C_{efl1})	$C_{efl1} = S_{o1} - \frac{(E_{DQO} * S_{o1})}{100}$ (122)	kg DBO/m ³
Producción teórica de metano (DQO_{CH_4})	$DQO_{CH_4} = Q * \{(S_o - C_{efl}) - Y_{obs} * S_o\}$ (123)	kg DQO/d

Continuación		
Parámetro	Ecuación	Unidades
Factor de corrección función de T (K(t))	$K(t) = \frac{PK_{DQO}}{R(273+T)} \text{ (124)}$	kg DQO/m ³
Producción de metano volumétrico (Q_{CH_4})	$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)} \text{ (125)}$	m ³ /d
Producción de biogás (Q_g)	$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0.60} \text{ (126)}$	m ³ /d
Colector de gas		
Ancho del colector (W_{cg})	$W_{cg} = \frac{h_c}{\tan \alpha} * \frac{1}{2} \text{ (127)}$	m
Área total colector (A_{tg})	$A_{tg} = L_t * A_g \text{ (128)}$	m ²
Tasa de liberación biogás (K_g)	$K_g = \frac{Q_g}{A_{tg}} \text{ (129)}$	m/h
Compartimento del sedimentador		
Longitud total sedimentador (L_{ts})	$L_{tt} = N_c * L_s \text{ (130)}$	m
Ancho efectivo del sedimentador (A_{es})	$A_{es} = A_s - A_g \text{ (131)}$	m
Área total del sedimentador (A_{ts})	$A_{ts} = L_{ts} * A_{es} \text{ (132)}$	m ²
Tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s)	$v_s = \frac{Q}{A_{ts}} \text{ (133)}$	m/d
Producción de lodos		
Producción de lodos (Pl)	$Pl = Y * DQO_{app} \text{ (134)}$	kg SST/d
Producción volumétrica de lodos (V_s)	$V_s = \frac{Pl}{y * c} \text{ (135)}$	m ³ /d

Fuente: Elaboración propia, adaptado de CONAGUA, 2015; Tchobanoglous et al., 2003.

3.10. Cálculo de áreas de cada tren de tratamiento

Para el cálculo del área que ocupa cada tren de tratamiento, se procedió mediante el método de Guerchet (Toro, 2021). Según el dimensionamiento del punto anterior (3.9) se tomaron las tres medidas principales de cada unidad de tratamiento (largo, ancho y altura) y se procedió a la aplicación del método con la ayuda del software Microsoft Excel (Anexo L).

3.11. Modelado de tren de tratamiento

El modelo de cada tren de tratamiento se realizó mediante el software CapdetWorks y los datos obtenidos a partir del dimensionamiento. Este software es una herramienta muy útil para el diseño preliminar y la estimación de costos de proyectos de plantas de tratamiento

de aguas residuales. Tiene opciones de análisis y comparación de costos, además de múltiples alternativas de tratamiento para el diseño y planificación de una PTAR.

CapdetWorks cuenta con una ventana en donde se desplazan todas las opciones de tratamiento, comenzando con tratamientos preliminares, primarios, secundarios y tratamientos más sofisticados y específicos (tratamientos terciarios), por lo que se puede desarrollar diferentes trenes de tratamiento dependiendo de la necesidad y elección. Una vez escogidos los procesos, cada uno presenta la opción de editar los datos de entrada, por lo que es necesario contar con datos de dimensionamiento y de caracterización. Al ingresar los datos requeridos el software brinda resultados de un efluente final, pero también de un efluente para cada opción de tratamiento, además de ofrecer un análisis de costos y una proyección de los mismos con respecto a la construcción, operación y mantenimiento; gráficas con respecto al costo y los diferentes procesos.

Resultados y discusión

4.1. Resultados de la caracterización del efluente

4.1.1. Monitoreo de caudal y volumen de agua para las muestras

Los cálculos y resultados de la determinación del volumen de las alícuotas se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Caudales y volúmenes de las alícuotas para cada muestra.

Caudales y volúmenes de las alícuotas para cada muestra						
# Muestra	Alícuotas C01		Alícuotas C02		Alícuotas C03	
	Qi (l/s)	Vi (ml)	Qi (l/s)	Vi (ml)	Qi (l/s)	Vi (ml)
1	0.25	500	0.06	118.43	0.19	165.54
2	0.25	500	0.15	269.47	0.17	143.98
3	-	-	0.19	349.52	0.15	131.47
4	-	-	0.16	282.58	0.24	209.84
5	-	-	-	-	0.13	108.62
6	-	-	-	-	0.30	260.55
Σ	0.50	1 000	0.57	1 000	1.18	1 000
Qp	0.25		0.14		0.20	

Nota: Las muestras simples se guardaron en una hielera hasta el momento de preparar la muestra compuesta. Una vez formada la muestra compuesta, los recipientes de la muestra puntual y compuesta fueron sellados herméticamente y dispuestos en una hielera para su transportación. Las alícuotas C01, C02 y C03 corresponden a cada una de las campañas de muestreo realizadas. El caudal máximo medido en las 3 campañas fue de 0.30 l/s

4.1.2. Resultados de los análisis físicoquímicos realizados al efluente

Los parámetros analizados fueron: SST, NT, P, DBO₅, DQO, grasas y aceites, CF Y CT, los resultados del análisis de las muestras C01, C02 y C03, tomadas en el punto de descarga P1 del centro y los resultados de las muestras P01, P02 y P03, tomadas en el punto P2 de la descarga (Ilustración 2), se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Resultados de los análisis de laboratorio de agua residual.

Resultados análisis Físico-Químicos								
Muestra	SST (mg/l)	Nitrógeno Total (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Coliformes totales (NMP/100 ml)
C01	1200	63.86	1.23	67	135	205	1.20E+04	1.70E+06
C02	763	8.02	1.1	47	85.6	214	1.20E+03	5.30E+06
C03	951.1	7.25	1.5	70.1	97	145	4.20E+03	7.20E+05
P01	700	7.06	0.85	56	105	184	4.80E+03	2.10E+05
P02	422	56.82	1.8	72	84.3	152.75	6.30E+03	5.80E+06
P03	825.3	60.23	1.7	72	82.1	205.25	5.30E+03	6.70E+06

4.1.3. Valores máximos de la caracterización

Una vez que se obtuvieron los resultados de dichos los análisis de laboratorio (Anexo M), se tomaron los valores máximos que sirvieron para dimensionar las tres opciones de PTAR propuestas en este trabajo (Tabla 35), esto debido a que, se usan las peores condiciones de trabajo para el diseño de una PTAR.

Tabla 35. Valores máximos resultantes de los análisis de agua residual del camal de Girón.

Parámetro	Valor	Unidades
SST	1 200	mg/l
NT	63.86	mg/l
Grasas y aceites	72	mg/l
DBO ₅	135	mg/l
DQO	214	mg/l
CF	1.2E+04	NMP/100ml
CT	6.7E+06	NMP/100ml

4.1.4. Análisis de los resultados de la caracterización

La Tabla 34 presenta los resultados obtenidos a partir del análisis de laboratorio del agua residual, con estos resultados se realizó una comparación de los mismos para cada parámetro analizado, en cada punto de muestreo.

- Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales presentaron valores de 750 - 1200 mg/l en el punto de descarga P1 del proceso, siendo 1200 mg/l el valor más alto obtenido en la muestra C01. Con respecto a las muestras puntuales tomadas en el punto P2 de la descarga directa al río, se obtuvieron valores entre 420 - 826 mg/l, siendo el valor más alto el de la muestra P03 (Tabla 34). Según (Ramírez &Viña, 1998) este cuerpo de agua se considera altamente contaminado, ya que supera el valor límite propuesto por los autores de 150 mg/l y el de la normativa ecuatoriana vigente. Comparando el resultado máximo de SST (1200 mg/l) del camal municipal de Girón, con los resultados de los análisis químicos y microbiológicos del efluente del camal municipal de Lago Agrio (3627.40 mg/l) (López, 2015), este presenta un valor que es tres veces mayor, presentando de igual manera un agua residual altamente contaminada.

- Nitrógeno total

Para el nitrógeno total se encontraron valores mínimos de 7.26 y 7.07 mg/l para la muestra C03 y P01, respectivamente. Se obtuvieron valores máximos de 63.85 mg/l para la muestra C01 y 60.24 mg/l para P03 (Tabla 34). Al comparar con diferentes estudios como “Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino” y “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del Cusco” se recopilieron valores de 550 mg/l y 41.51 mg/l, respectivamente, representando un agua altamente contaminada. La gran diferencia entre los resultados para este parámetro radica en el caudal y en el número de animales sacrificados, pues en el camal porcino el caudal es de 54.16 l/s y el número de animales faenados por día es de 120 cerdos (Pallarés, 2016), mientras que en el camal del municipio de Cusco el caudal es de 7.94 l/s y el número de bovinos faenados es de 130 (Alvarez & Suni, 2021) de Girón el caudal es de 0.36 l/s y el número promedio de reses faenadas por día es 7.

- Fósforo total

En la Tabla 34 se muestra que para el fósforo se obtuvieron valores mínimos y máximos de 0.85 y 1.8 mg/l para las muestras en el punto P2, mientras que, para las muestras en el punto de descarga P1 del proceso se encontraron valores entre 1.1 mg/l (C02) y 1.5 mg/l (C03). Comparando el valor máximo con otro estudio realizado por Pallarés, 2016 el cual presenta un valor de 75 mg/l para el fosforo, supera por mucho al de esta caracterización, demostrando que la contaminación por fosforo del agua residual del camal municipal de Girón es baja, pero no por ello debe ignorarse.

- Grasas y aceites

Las grasas y aceites presentaron variaciones mínimas entre las diferentes muestras y puntos de muestreo, se observó un valor mínimo de 47 mg/l en la muestra C02 y un valor máximo de 72 mg/l para las muestras P02 y P03 (Tabla 34). El valor máximo de este parámetro comparado con otros estudios como el de Acosta (2017), donde la caracterización del agua residual arroja un resultado de 10447.80 mg/l para grasas y aceites o el de (Pallarés, 2016) con un valor de 1600 mg/l que superan excesivamente los valores de esta caracterización, siendo valores realmente preocupantes. Esto ayuda a deducir que el agua residual del camal municipal de Girón presenta una contaminación baja con respecto a otros estudios.

- Demanda bioquímica de oxígeno

Para la DBO₅, parámetro clave en el diseño de la PTAR, los análisis arrojaron un valor de 135 mg/l para la muestra C01, siendo este el valor más alto de todas las muestras, para la muestra P01 se observó un valor de 105 mg/l, siendo el más alto para este tipo de muestra. Como valor mínimo se obtuvo 82.1 mg/l para la muestra P03 y 85.6 mg/l para la muestra C02 (Tabla 34). Al comparar el valor máximo con otros estudios realizados como el de López (2015), Acosta (2017) y Pallarés (2016) que presentan valores de 291.88 mg/l, 1600 mg/l y 3725 mg/l respectivamente, se define como un agua residual altamente contaminada por DBO₅ (Semarnat, 2015), las diferencias existentes radican de igual forma en el caudal, además de la cantidad de animales faenados por día.

- Demanda química de oxígeno

Con respecto a la DQO, los valores máximos encontrados fueron 214 y 205.25 mg/l para las muestras C02 y P03, mientras que para la muestra C03 y P02 se observaron valores de 145 y 152.75 mg/l, siendo estos los más bajos (Tabla 34). La comparación de estos valores máximos con otros análisis que presentan valores de 346.87 mg/l (López, 2015), 28900 mg/l (Acosta, 2017) y 8000 mg/l (Pallarés, 2016) demuestran que la contaminación es baja, pues son valores usados en la comparación son extremadamente altos de DQO.

- Coliformes fecales y totales

El valor máximo para coliformes fecales fue 1.20E+04 NMP/100 ml en la muestra C01 y 6.30E+03 NMP/100 ml para la muestra P02. Como valores mínimos se obtuvo 1.20E+03 y 4.80E+03 NMP/100 ml, para las muestras C02 y P01, respectivamente. Para coliformes totales los valores más altos encontrados fueron 5.30E+06 y 6.70E+06 NMP/100 ml para la muestra C02 y P03. Mientras que los valores mínimos encontrados fueron 7.20E+05 NMP/100 ml para la muestra C03 y 2.10E+05 NMP/100 ml para P01 (Tabla 34). Comparando estos resultados con el estudio de López (2015), quien presenta valores de 1.6E+05 para coliformes fecales y 1.47E+05 para coliformes totales, se deduce que el camal municipal de Girón supera en contaminación con respecto a coliformes totales al camal de Lago Agrio, mientras que ocurre lo contrario con respecto a coliformes fecales, no obstante, la alta contaminación del agua por estas bacterias acarrea problemas para la salud de las poblaciones que pueden servirse de estas aguas (Samboni et al., 2007).

4.1.5. Comparación de los resultados de los análisis con la normativa vigente pertinente

En la Tabla 36 se presentan los valores del punto P2 de descarga directa al río obtenidos en el análisis de laboratorio, se observa que parámetros como sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total, grasas y aceites, DBO₅, DQO y coliformes fecales, no cumplen con los valores límites establecidos en la normativa mencionada, siendo los SST y los coliformes fecales parámetros que superan ampliamente al límite máximo permisible. Con respecto al fósforo, es el único parámetro que está dentro de los valores permisibles. Es importante mencionar que la normativa no cuenta con un valor establecido para coliformes totales.

Tabla 36. Comparación/cumplimiento de la normativa

Resultados análisis físico-químico de agua				
Parámetros	Valor	Límites de descarga	Unidades	Observaciones
Sólidos suspendidos totales	825.3	80	mg/l	Sobrepasa el valor del límite permisible
Nitrógeno total	60.23	50	mg/l	Sobrepasa el valor del límite permisible
Fósforo	1.8	10	mg/l	Dentro del valor del límite permisible
Grasas y aceites	72	30	mg/l	Sobrepasa el valor del límite permisible
DBO ₅	105	50	mg/l	Sobrepasa el valor del límite permisible
DQO	205.25	100	mg/l	Sobrepasa el valor del límite permisible
Coliformes fecales	6.30E+34	Remoción > 99.9 %	NMP/100 ml	Sobrepasa el valor del límite permisible
Coliformes totales	6.70E+06		No hay valores referenciales	

4.1.6. Concentraciones remanentes en las unidades de tratamiento con base en la literatura consultada

La eficiencia de remoción de cada opción de tratamiento se calculó considerando los valores máximos de los parámetros analizados en la caracterización, a excepción de coliformes totales (la normativa no cuenta con un valor establecido para coliformes totales), se obtuvieron valores de concentración remanente, para cada uno de los procesos dentro de cada tren de tratamiento (Tablas 37, 38 y 39), es decir, los valores con los que el efluente será descargado al cuerpo de agua en caso de implementar las diferentes opciones de tratamiento y si cumpliera o no con la norma TULSMA, para estos cálculos se aplicó la ecuación 5.

Tabla 37. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 1.

Unidades de tratamiento	Parámetros					
	SST (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
	Valores máximos obtenidos de la caracterización					
	1200	63.86	72	135	214	1.20E+04
	Concentración remanente del efluente (opción 1)					
Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	1020	-	16.56	124.2	196.88	1.02E+04
Coagulación - floculación	204	58.75	1.66	37.26	127.97	6.12E+03
Lodos activados	30.6	38.19	1.66	4.47	23.03	6.12E+02
Efluente	30.6	38.19	1.66	4.47	23.03	6.12E+02
Normativa TULSMA	80	50	30	50	100	Remoción > 99.9 %

Tabla 38. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 2.

Unidades de tratamiento	Parámetros					
	SST (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100m l)
	Valores máximos obtenidos de la caracterización					
	1200	63,86	72	135	214	1,20E+04
Concentración remanente del efluente (opción 2)						
Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	1020	-	9.36	124.2	196.88	1.02E+04
Sedimentador primario	428.4	54.28	2.81	80.73	127.97	1.02E+03
Biodiscos rotatorios	77.11	35.28	2.81	14.53	23.03	1.22E+02
Efluente	77.11	35.28	2.81	14.53	23.03	1.22E+02
Normativa TULSMA	80	50	30	50	100	Remoción > 99.9 %

Tabla 39. Concentración remanente en el efluente luego de tratado mediante la opción 3.

Unidades de tratamiento	Parámetros					
	SST (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Coliforme fecales (NMP/100ml)
	Valores máximos obtenidos de la caracterización					
	1200	63.86	72	135	214	1,20E+04
Concentración remanente del efluente (opción 3)						
Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas	1020	-	9.36	124.2	196.88	1.02E+04
Coagulación-floculación	204	58.75	0.93	37.26	127.97	6.12E+03
RAFA	40.8	58.75	0.93	7.82	31.99	6.12E+02
Efluente	40.8	58.75	0.93	7.82	31.99	6.12E+02
Normativa TULSMA	80	50	30	50	100	Remoción > 99.9 %

Según la tabla 39 en la opción 3 todos los parámetros presentan valores inferiores al límite permisible, a excepción del nitrógeno total y coliformes fecales, ya que, según los cálculos, el efluente se descargaría al río con un valor para NT de 58.75 mg/l y una remoción

menor al 99.99 % superando el valor de 50 mg/l y de una Remoción > 99.9 % establecido en la normativa. Con respecto a las opciones 1 y 2 (tabla 37 y 38), estas no presentaron ningún inconveniente, pues la mayoría de los parámetros del efluente serían descargados al río rigiéndose y cumpliendo los límites permisibles de la norma TULSMA, a excepción de las coliformes fecales.

4.1.7. Eficiencias de remoción calculadas según porcentajes de remoción obtenidos de la literatura consultada

En la Tabla 40 se presentan las eficiencias de remoción total calculadas de cada tren de tratamiento para cada parámetro analizado, con base en las eficiencias de remoción consultadas en la literatura. La remoción de SST presenta un porcentaje entre 93 y 98 % para todas las opciones de tratamiento, representando una remoción casi completa. El NT no presentó remociones significativas para la ninguna opción de tratamiento (40.20, 44.75 y 8 % respectivamente). El porcentaje de remoción para grasas y aceites se mantuvo entre 96.1 % para la opción 2 y, 97.7 y 98.7 % para las opciones 1 y 3 respectivamente, mostrando una remoción significativa. Para la DBO₅, esta presentó valores variables, para la opción 1 el porcentaje de remoción de este parámetro fue de 96.69 %, siendo este el más alto, mientras que para la opción 2 fue de 89.24% y para la opción 3 presentó un valor de 94.20%. Los porcentajes de remoción para DQO se encontraron entre 85.05 % para la opción 3 y 89.24 % para la opción 1 y 2, siendo los más altos. Finalmente, para coliformes fecales el porcentaje de remoción mayor fue de 98.98% para la opción 2, mientras que para la opción 1 y 3 fue de 94.90 %.

Tabla 40. Eficiencia de remoción total para cada opción de tratamiento.

Eficiencias de remoción			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Parámetro	% Remoción		
Sólidos suspendidos totales	97.45	93.57	96.60
Nitrógeno total	40.20	44.75	8.00
Grasas y aceites	97.70	96.10	98.70
DBO ₅	96.69	89.24	94.20
DQO	89.24	89.24	85.05
Coliformes fecales	94.90	98.98	94.90

El tren de tratamiento que presentó un mayor porcentaje de remoción y se considera la mejor opción, es el número 1 (rejillas y trampa de grasas, coagulación/floculación y lodos activados). Para este tratamiento, todos los parámetros a excepción del nitrógeno sobrepasan el 80% de remoción, este presenta un valor de 40.20% de remoción. Este tren de tratamiento produce un efluente apto para enviar a un cuerpo de agua dulce (Río Chorro) con todos los parámetros de descarga dentro de los límites establecidos en la normativa vigente. La opción 2 presenta eficiencias de remoción menores en comparación con las otras opciones, a excepción del nitrógeno total, pues este tiene un porcentaje de remoción mayor (44.75%). La opción 3 no presenta un porcentaje de remoción óptimo de nitrógeno (8 %) por lo que este no se coloca dentro del límite de descarga permisible.

4.1.8. Eficiencias de remoción del proceso experimental de coagulación/floculación

En el tratamiento de coagulación/floculación, luego de realizadas las pruebas de jarras, se obtuvieron los resultados mostrados en el Anexo F. Las dosificaciones y el tipo de coagulante se recomendaron basándose en los días transcurridos luego de la última jornada de faenamiento, debido a la influencia que tiene este tiempo en las características del agua residual que ingresa al proceso, sobre todo, en cuanto a la turbidez esta. Cuando el faenamiento se da a días seguidos (turbidez baja), se usó como coagulante el policloruro de aluminio con una dosis de 25 ppm y el floculante con una dosis de 0.5 ppm. Estas dosificaciones fueron las de mejores resultados en las pruebas de jarras. En los casos de que

hayan transcurrido de 2 a 3 días desde la última jornada de faena (turbidez alta), se puede usar como coagulante cloruro férrico o sulfato de aluminio, con dosificaciones de 80 y 175 ppm, respectivamente. Cabe resaltar que las soluciones se prepararon al 2 % en el caso del sulfato y policloruro de aluminio, mientras que el cloruro férrico se preparó al 1%. El floculante se dosificó a 1 ppm para el sulfato de aluminio y cloruro férrico.

Se obtuvieron eficiencias de remoción para el cloruro férrico de 83.51 % (turbidez alta, 151 NTU) y de 1.90 % (turbidez baja, 15.8 NTU). Para el sulfato de aluminio se obtuvo una eficiencia de remoción de 97.79 % (turbidez alta, 131 NTU) y eficiencias de remoción negativas (valores no válidos) para el agua que presentaba una turbidez baja (15.2 NTU), demostrando que estos coagulantes son mejores para aguas con turbidez alta. Con respecto al policloruro de aluminio, este presentó resultados contrarios, pues para turbidez baja (15.2 NTU) presenta una eficiencia de remoción de 90.92 %, mientras que para turbidez alta (190 NTU) presentó una remoción de 40.53%, indicando que la mejor opción para el proceso de coagulación/floculación aplicado a un agua con turbidez baja es el policloruro de aluminio.

El artículo "Tratamiento del agua residual de un matadero: Eficiencia del proceso de coagulación - floculación" realizado por Azabache et al. (2020), tiene por objetivo evaluar los beneficios y eficacia del tratamiento de coagulación y floculación en las aguas residuales provenientes de un matadero. Se analizaron muestras de 500 ml y se utilizó sulfato de aluminio (1%) y cloruro férrico (1%) como agentes coagulantes y polímero catiónico (1%) como agente floculante. Los resultados del afluente y efluente en cuanto a la turbidez (parámetro base para el cálculo de la eficiencia de remoción del proceso) fueron de: 436 NTU para el experimento con sulfato de aluminio y de 537 NTU para el proceso con cloruro férrico. Con el primer coagulante se obtuvo una turbidez final de 4.85 NTU, con el segundo la turbidez final fue de 15.76 NTU. La eficiencia de remoción fue calculada mediante la Ecuación 4 para la comparación de resultados. El sulfato de aluminio presentó una eficiencia de remoción de turbidez de 98.8% y para el proceso desarrollado con cloruro férrico fue de 97 %. Los valores de turbidez presentados en este caso de estudio y los obtenidos en las pruebas experimentales desarrolladas para este trabajo de tesis concuerdan (83.51 % para cloruro férrico y 97.79 % para el sulfato de aluminio con turbidez alta de 151 NTU y 131 NTU respectivamente), demostrando la efectividad de estos coagulantes para su aplicación en aguas residuales de camal con turbidez alta.

4.1.9. Resultados del análisis y procesamiento de datos

4.1.9.1. Resultados de análisis estadístico descriptivo de los datos de faenamiento

El análisis mensual de los años 2019, 2020 y 2021 se presenta en la Tabla 41. Los meses del 2019 que presentaron un mayor número de animales faenados fueron agosto, octubre, noviembre y diciembre con una cantidad superior a 40 animales faenados, sobresale el mes de noviembre, pues superó al resto de meses con un total de 85 bovinos faenados, coincidiendo con la época de fiestas del cantón. En total en el año 2019 se faenaron 472 animales.

Para el año 2020, los meses de enero y febrero presentaron una mayor cantidad de animales faenados, pues en estos meses la pandemia aún no tomaba fuerza y las actividades eran normales, al surgir la misma, la cantidad de animales faenados disminuyó y en el mes de mayo no hubo funcionamiento del camal, es decir, no hubo jornadas de faenamiento. En el resto de los meses la demanda de faenamiento se mantuvo entre 17 y 20 animales, pero en septiembre y octubre esta llegó a 24 animales faenados; en total en ese año se faenaron 277 bovinos. Finalmente, en el año 2021 se retomó la “Fiesta del Señor de Girón”, la cual se realizó en los meses de octubre y noviembre, por lo que esos meses presentan la mayor cantidad de animales faenados, con un total de 53 y 58 respectivamente, por tal motivo se decidió hacer el muestreo en estos meses. Durante este año se contabilizó un total de 340 animales faenados.

Tabla 41. Número de animales faenados por mes en el camal municipal de Girón en el período 2019-2021.

	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Animales faenados mensualmente			
Enero	31	46	12
Febrero	29	38	21
Marzo	30	21	18
Abril	36	29	23
Mayo	30	0	19
Junio	35	19	25

Continuación			
Julio	35	19	26
Agosto	41	21	22
Septiembre	35	24	30
Octubre	42	24	53
Noviembre	85	19	58
Diciembre	43	17	33
Total anual	472	277	340

El consumo diario de animales en el camal municipal de Girón es de 7 bovinos/día, para obtener este dato, se tomó en cuenta el día de mayor frecuencia de operación del camal, que es el día sábado y también es el día en el que se faena una mayor cantidad de animales, siendo este el valor que se tomó en cuenta para el cálculo del caudal de diseño (Tabla 42).

Tabla 42. *Días de operación del camal municipal de Girón durante los años 2019, 2020 y 2021.*

Frecuencia de operación por día de la semana del camal municipal de Girón			
	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Lunes	8	17	17
Martes	32	23	23
Miércoles	14	27	37
Jueves	11	17	20
Viernes	7	16	9
Sábado	52	35	46
Domingo	0	3	6
Total días operación	124	138	158

4.1.10. Resultados de la determinación del caudal de diseño

4.1.10.1. Consumo de agua por res faenada

Con los datos del Anexo C (dotación de faena) y del Anexo D (consumo de agua), se procedió a calcular el consumo de agua por cada res faenada en el camal de Girón. De esta manera se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 43. Se realizó un análisis para obtener el máximo consumo de agua, siendo este el dato que nos permitió calcular el caudal de diseño de la PTAR. Como dotación de agua para calcular el caudal de diseño se tomó el máximo consumo de los tres años en que se analizó, el mismo que fue 4.20 m³/res correspondiente al año 2019 en el mes de marzo. Lo relevante del dato de consumo de agua, mencionado anteriormente, es que, según Signorini & Civit (2006) citado en (López, 2015) el consumo de agua promedio para el faenamamiento de bovinos en mataderos es de 1.6 m³/animal faenado. En otro estudio realizado por Álvarez & Murillo (2018) el consumo de agua por animal es de 1 m³/bovino, diferenciándose del cálculo realizado en la sección 3.8.2. Determinación del caudal de diseño (división del consumo de agua y número de reses faenadas), ya que en este estudio (Álvarez & Murillo, 2018) el cálculo se realizó mediante datos de consumo por kilogramo y peso de bovino. Con base en los estudios revisados, se determinó que, en el camal municipal de Girón existe un excesivo consumo y desperdicio de agua para llevar a cabo el faenamamiento de bovinos.

Tabla 43. Datos consumo de agua por res faenada de los años 2019, 2020 y 2021.

Mes	Año 2019			Año 2020			Año 2021		
	Consumo (m ³)	#Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res	Consumo (m ³)	# Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res	Consumo (m ³)	# Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res
Enero	61	31	1.97	76	46	1.65	22	12	1.83
Febrero	100	29	3.45	76	38	2.00	63	21	3.00
Marzo	126	30	4.20	76	21	3.62	52	18	2.89
Abril	100	36	2.78	75	29	2.59	52	23	2.26
Mayo	61	30	2.03	76	0	0.00	53	19	2.79
Junio	131	35	3.74	76	19	4.00	69	25	2.76
Julio	82	35	2.34	75	19	3.95	69	26	2.65
Agosto	68	41	1.66	75	21	3.57	69	22	3.14

Continuación

Mes	Año 2019			Año 2020			Año 2021		
	Consumo (m ³)	#Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res	Consumo (m ³)	# Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res	Consumo (m ³)	# Reses faenadas	Consumo /res m ³ /res
Septiembre	134	35	3.83	41	24	1.71	87	30	2.90
Octubre	100	42	2.38	48	24	2.00	115	53	2.17
Noviembre	76	85	0.89	48	19	2.53	105	58	1.81
Diciembre	76	43	1.77	47	17	2.77	55	33	1.67

4.1.10.2. Proyección de crecimiento poblacional

A partir de información obtenida de los censos poblacionales del año 2001 y 2010 (INEC, 2022), y del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Girón 2014 – 2023 (Uzhca, 2014), se generó un análisis de regresión lineal para proyectar la población futura (al año 2045) (Ilustración 4), para el posterior cálculo del caudal de diseño. Los datos obtenidos fueron que: en el año 2001, el cantón Girón contaba con una población de 12 583 habitantes, en el año 2010 tenía una población de 12 607 habitantes y finalmente en el año 2019 la población fue de 13 191 habitantes, estableciéndose un crecimiento de la población de manera lineal, más no exponencial como se presume el crecimiento de una población en nuestro país, esto debido a diversos factores, principalmente la migración de la población del cantón.

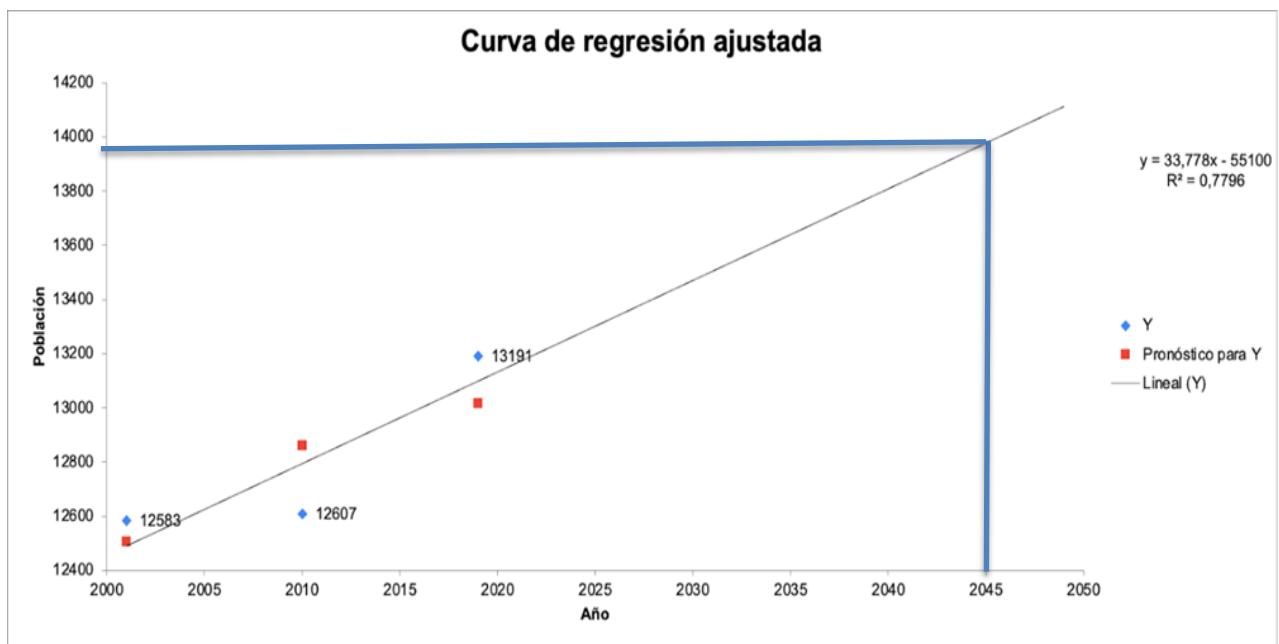


Ilustración 4. Proyección del crecimiento poblacional del cantón Girón.

Para el año futuro establecido, 2045, se estima una población de 13 976 habitantes (Ilustración 4).

La determinación del caudal de diseño se realizó según la sección 3.8.2. Determinación del caudal de diseño, a partir de los datos de bovinos faenados y consumo de agua del camal, obtenidos por los registros del camal, se realizó un análisis estadístico para obtener los valores de consumo de agua por cada bovino faenado, de estos se escogió el

valor máximo, siendo este de 4.2 m³/res. Haciendo uso de los datos de los censos poblacionales del cantón, se estimó la población futura para el año 2045, obteniendo como resultado una población estimada de 13 976 habitantes. Todos estos valores ya mencionados se emplearon para determinar el índice de consumo de carne, demanda futura de carne y finalmente el caudal futuro de agua residual proveniente del camal (Tabla 44).

Tabla 44. Caudal de diseño para las diferentes opciones de tratamiento.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Índice de consumo de carne (ICC)	$ICC = \frac{7 \text{ reses/día}}{13\ 191 \text{ habitantes}} \text{ (5)}$	5.31 x 10 ⁻⁴	res/hab/día
Demanda futura de carne (Df)	$DF = 13976 \text{ hab} * 5.3066 \times 10^{-4} \text{ res/hab/día} \text{ (6)}$	7.42	res/día
Caudal futuro de aguas residuales (Qf)	$Qf = 7.42 \text{ res/día} * 4.2 \text{ m}^3/\text{res} \text{ (7)}$	31.15	m ³ /día
		0.36	l/s

Debido a que el caudal máximo fue de 0.30 l/s medido en el día de mayor demanda de faenamiento y siendo este menor al caudal futuro calculado, se tomó como caudal de diseño para la PTAR el Qf = 0.36 l/s.

4.1.11. Selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales

En la Tabla 11, se presentaron las tres opciones de combinación de tratamientos como propuesta para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.

La opción de tratamiento 1 (rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, coagulación/floculación y lodos activados) resulta un poco nueva, pues el tren de coagulación/floculación seguido de lodos activados ha sido muy poco implementado. Por tal motivo es importante recalcar que en el caso de estudio “Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino” que tiene por objetivo de depurar el agua residual de un conjunto de mataderos porcinos, los parámetros más significativos de estas aguas residuales son los sólidos en suspensión, la carga orgánica (DQO y DBO₅), los aceites y grasas, el nitrógeno y el fósforo. Las instalaciones que constan en este trabajo son: pretratamiento (desbaste, un desarenador/desengrasador y un regulador de caudal), un tratamiento primario (coagulación, floculación y decantación primaria) y un tratamiento secundario (fangos activos). El estudio presentó resultados de la caracterización

del afluente y efluente, con estos datos y aplicando la Ecuación (4) se calculó la eficiencia de remoción para la DQO, DBO₅ y materias en suspensión, la cual fue del 90 %. Para NT estas opciones de tratamiento mostraron una eficiencia de remoción del 91 % y finalmente un porcentaje de remoción de 0 % para aceites y grasas y PT (Pallarés, 2016).

Por otro lado, se analizó el caso de estudio “Evaluación Hidráulico – Sanitario de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del camal Metropolitano de Quito” el cual tiene por objetivo evaluar la operación y funcionamiento de los procesos unitarios de la Planta de tratamiento de aguas residuales del camal Metropolitano de Quito, mediante un análisis Hidráulico – Sanitario. Esta planta tiene un sistema de tratamiento que consta de: pretratamiento o tratamiento primario (tamiz y tanque de homogeneización), tratamiento secundario (lodos activados, sedimentador secundario y recirculación de lodos) y finalmente tratamiento terciario (tanque físico - químico y filtración) en este caso se opta por emplear el proceso biológico, de lodos activados antes del proceso físico-químico, de coagulación/floculación. Se utiliza este tipo de tratamiento terciario o avanzado para una mayor remoción de materia orgánica residual y para una remoción de otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como: nutrientes, fósforo y nitrógeno. De igual manera que en el caso de estudio anterior las eficiencias de remoción se calcularon con la Ecuación (4), pues el artículo cuenta con valores de la caracterización del afluente y efluente. Las eficiencias de remoción fueron de 98.5 % para DBO₅, 97.5 % para DQO, 6 % para CF, 26 % para grasas y aceites y finalmente de 85 % para SST (Lluma & Mendoza, 2016).

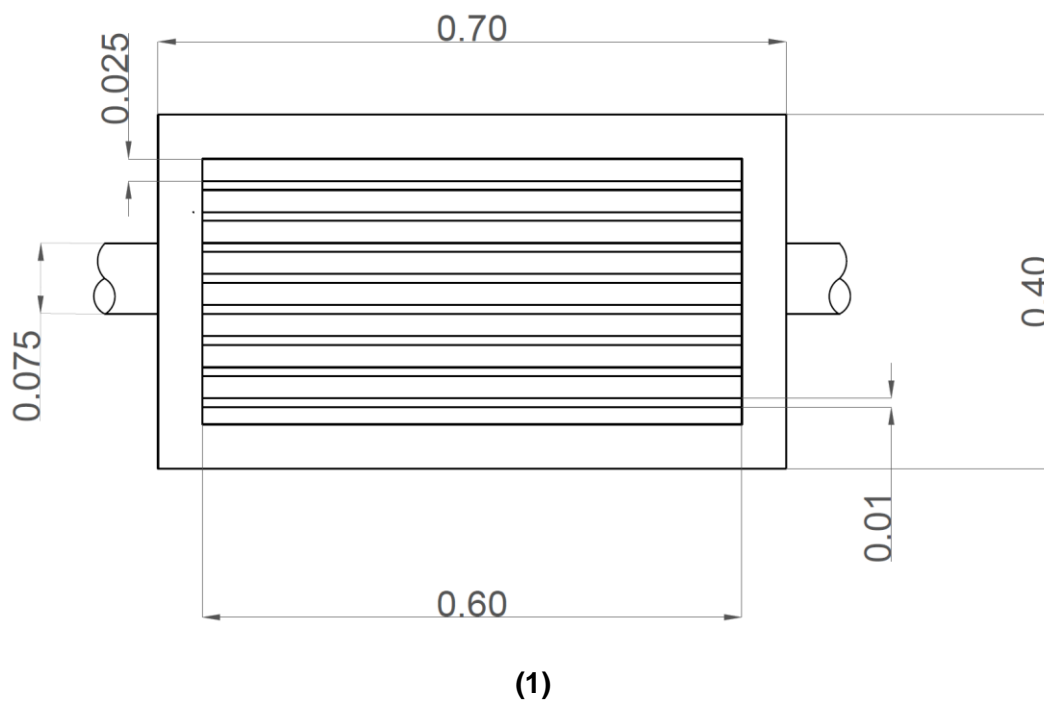
Los dos estudios presentados y analizados anteriormente presentaron eficiencias de remoción altas para DBO₅ y DQO, siendo igual o mayor al 90 %, con respecto a grasas y aceites la eficiencia de remoción fue nula en el primer estudio y en el segundo fue de 26 %, siendo un valor muy bajo. Es importante mencionar que, en el estudio de Pallarés 2016, existe una eficiencia de remoción de NT alta, de 91 %, este parámetro no fue analizado en el estudio de Lluma & Mendoza, 2016, pero en este se destaca el porcentaje de remoción de CF, el cual fue de 85 %.

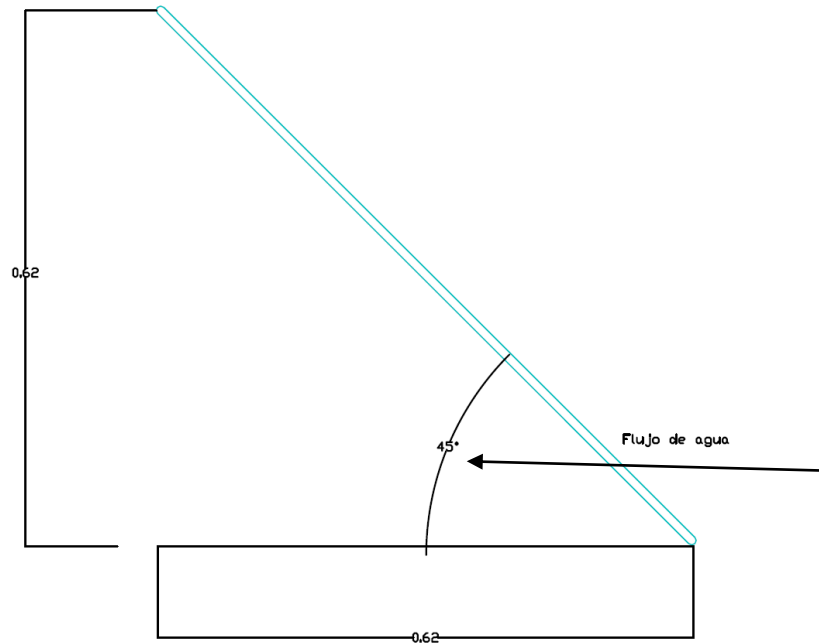
4.1.12. Dimensionamiento de las diferentes opciones de tratamiento

4.1.12.1 Tratamiento preliminar

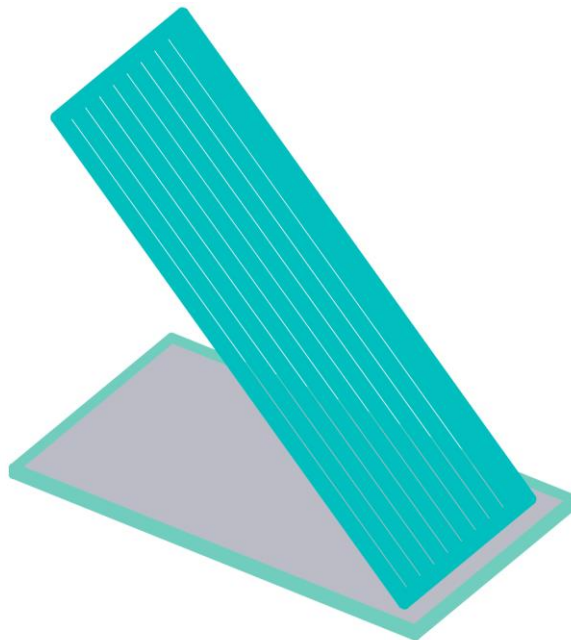
A. Rejillas

En la Tabla 45, se muestra paso a paso el procedimiento para el cálculo de las dimensiones de la unidad de pretratamiento (rejillas), se recalca que esta unidad se usará en los tres trenes de tratamiento propuestos en este trabajo, por lo cual, únicamente se detallan estos cálculos en la presente sección. Las rejillas constan de un total de 8 barrotes de forma cilíndrica (10 mm de diámetro) y un espaciamiento entre barrotes de 25 mm y la longitud de las rejillas es de 0.61 m (Ilustración 5).





(2)



(3)

Ilustración 5. Rejillas.

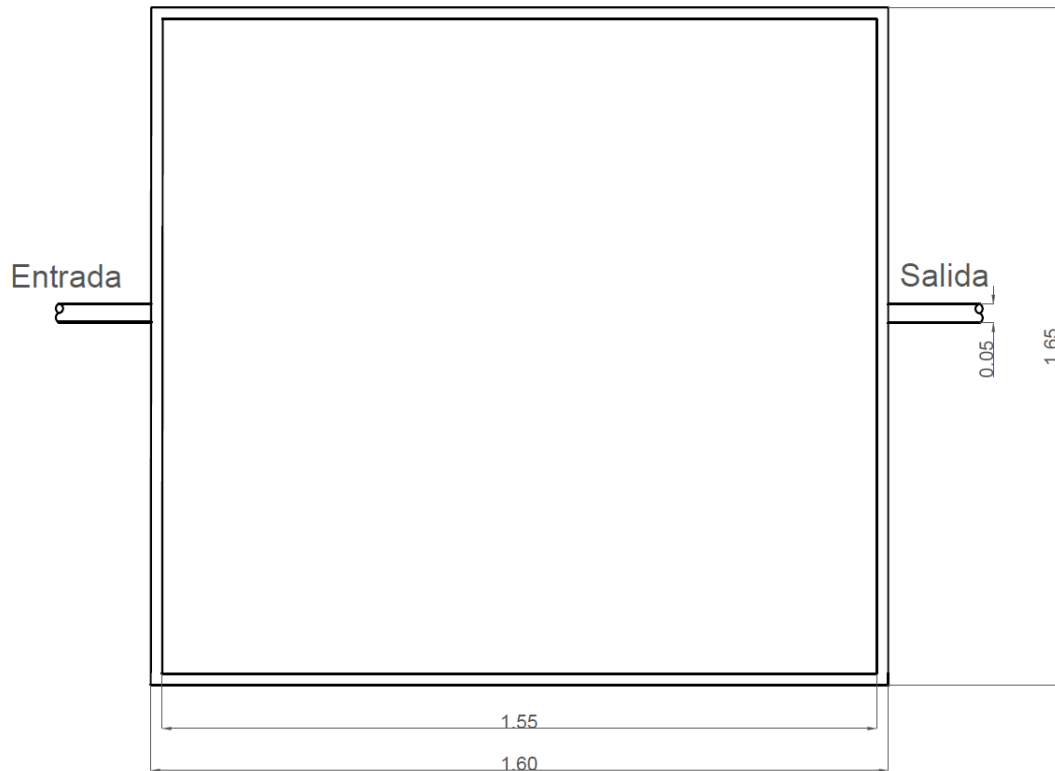
Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista lateral. (3) Vista en 3D. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 45. Cálculos y resultados del dimensionamiento de rejillas.

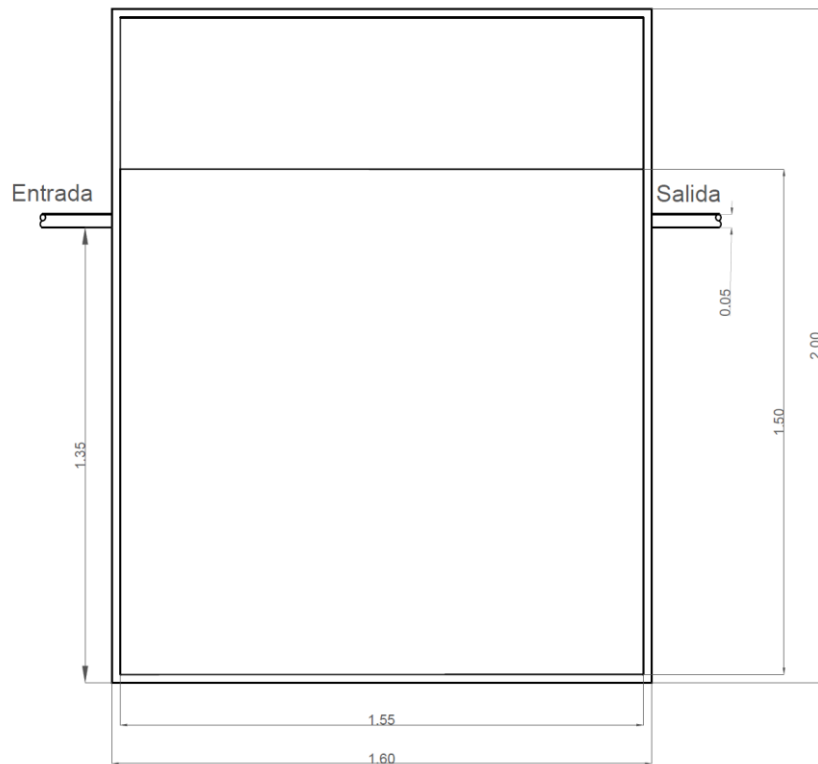
Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Canal de aproximación (a_{canal})	$a_{canal} = \frac{0.00036 \text{ m}^3/\text{s}}{0.9 \text{ m/s} * 75/1000 \text{ m}} \left[\frac{10 \text{ mm} + 15 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} \right]$ (9)	0.01	m
Velocidad en el canal de aproximación (v_a)	$v_a = \frac{0.9 \text{ m/s}}{\frac{10 \text{ mm} + 50 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}}$ (10)	0.64	m/s
Pérdida de carga a través de la rejilla (h_f)	$h_f = \frac{1}{0.7} \left[\frac{(0.9 \text{ m/s})^2 - (0.6 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right]$ (11)	0.05	m
Pérdida de energía (forma de las barras) (H)	$H = 1.79 \left(\frac{10 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} \right)^4 * \frac{(0.9 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8} \sin(60)$ (12)	0.02	m
Eficiencia de barras (E)	$E = \frac{15 \text{ mm}}{15 + 10 \text{ (mm)}} * 100$ (13)	71	%
Área total (A_t)	$A_t = 0.3 \text{ m} * 0.3 \text{ m}$ (14)	0.090	m ²
Longitud de la reja	$L = \frac{0.3 \text{ m} + 0.2 \text{ m}}{\text{sen}(45)}$ (15)	0.61	m
Número de barras (n_b)	$n_b = \frac{200 \text{ mm} - 15 \text{ mm}}{10 \text{ mm} + 15 \text{ mm}}$ (16)	8	
Radio hidráulico (Rh)	$Rh = \frac{0.3 \text{ m} * 0.3 \text{ m}}{(0.3 + 2 * 0.3) \text{ m}}$ (17)	0.1	m

B. Tanque de igualamiento

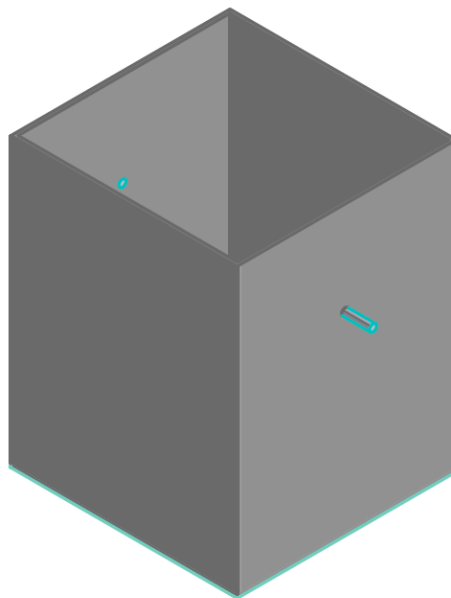
En la Tabla 46 se presentan los cálculos respectivos para el dimensionamiento del tanque ecualizador (Ilustración 6), este al igual que los tratamientos anteriores (rejillas y trampa de grasas) será usado en todas las opciones de tratamiento. El tanque de igualamiento tiene un largo de 1.60 m, un ancho de 1.65 m y una altura total de 2 m. En la Ilustración 5 se presenta el diseño del tanque de igualamiento con las dimensiones respectivas.



(1)



(2)



(3)

Ilustración 6. Tanque equalizador.

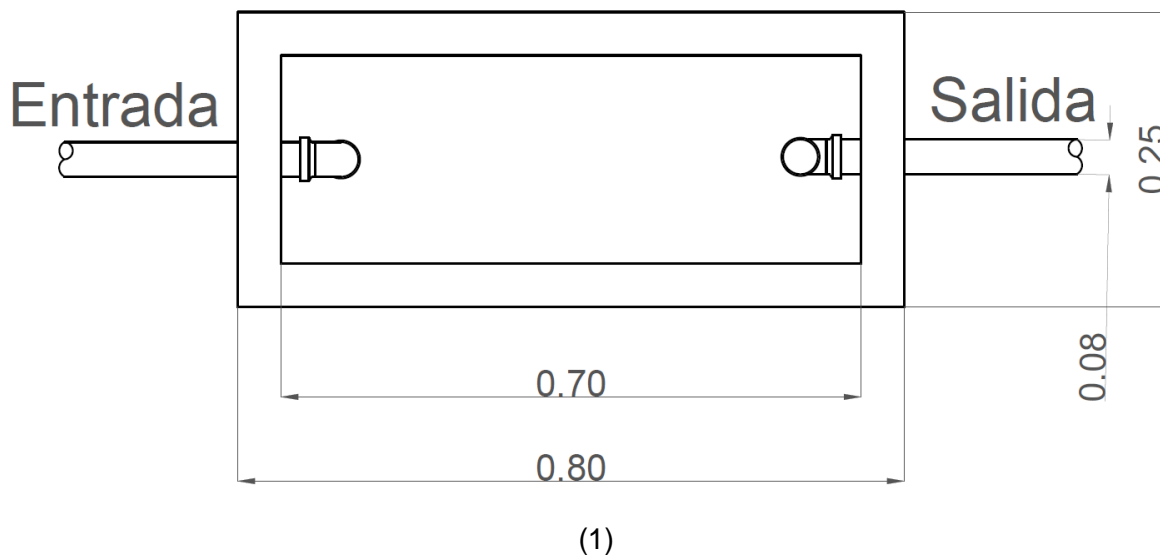
Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. (3) Vista en 3D. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

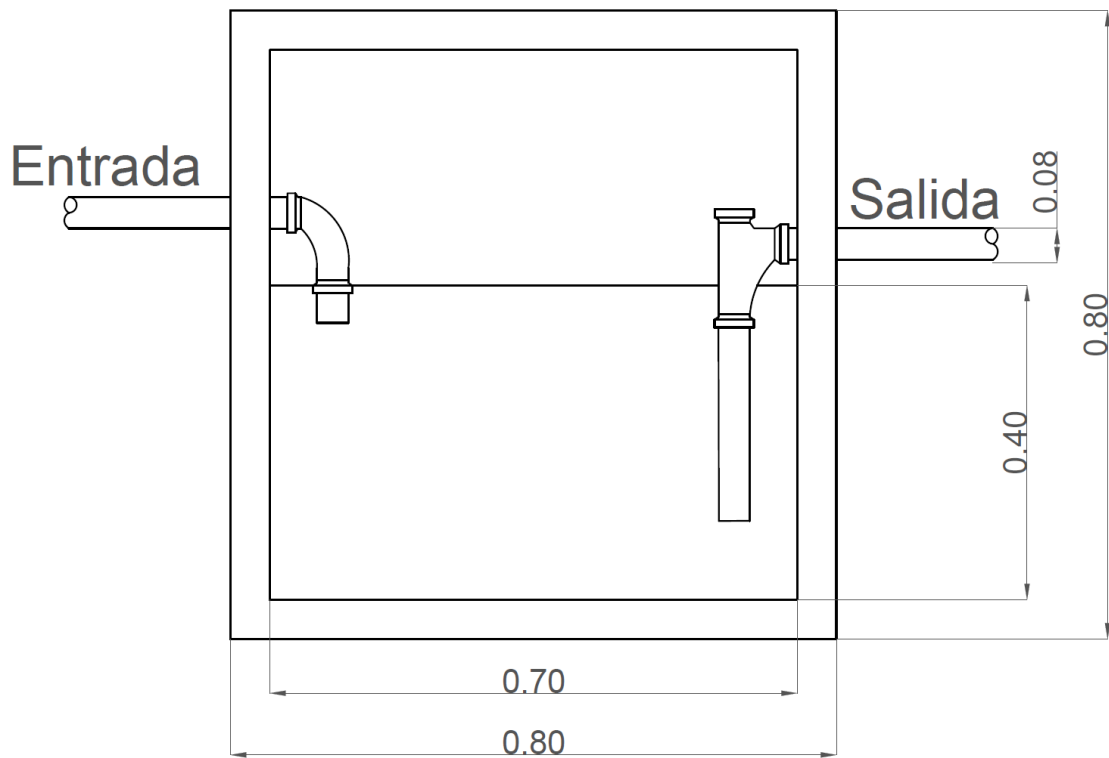
Tabla 46. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque ecualizador.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Volumen (V)	$V = 1.30 \frac{m^3}{h} * 4h$ (18)	5.16	m ³
Área (A)	$A = \frac{5.16m^3}{2m}$ (19)	2.58	m ²
Ancho (a)	$a = \frac{2.58 m^2}{1.6 m}$ (20)	1.61	m
Largo (l)	-	1.60	m
Altura (h)	-	2	m

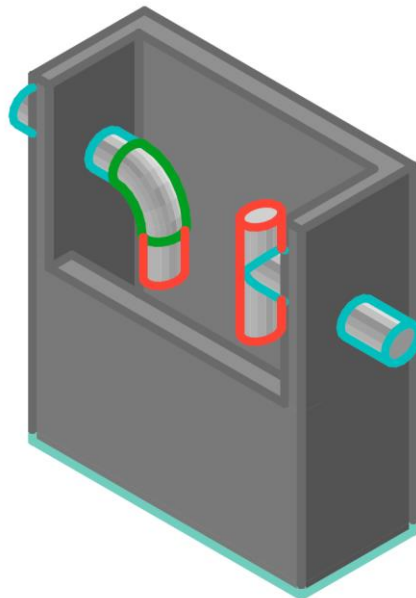
C. Trampa de grasas

En la Tabla 47 se muestran los cálculos realizados para el dimensionamiento de la segunda unidad de tratamiento preliminar (trampa de grasas) de agua residual proveniente del camal municipal de Girón. Al igual que las rejillas, esta unidad será usada en todas las opciones de tratamiento. Las dimensiones de la trampa de grasa son de 0.80 m de largo y alto, y 0.25 m de ancho. Todas las dimensiones ya mencionadas se presentan en la Ilustración 7.





(2)



(3)

Ilustración 7. Trampa de grasas.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. (3) Vista en 3D. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 47. Cálculos y resultados del dimensionamiento de la trampa de grasas.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Volumen	$V = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s} * 180 \text{ s}$ (18)	0.15	m ³
Área superficial (carga superficial) (As)	$As = \frac{0.36 \text{ l/s}}{4 \text{ l/s.m}^2}$ (21)	0.09	m ²
Área superficial (velocidad ascendente) (As)	$As = \frac{0.00036 \text{ m}^3/\text{s}}{0.004 \text{ m/s}}$ (22)	0.09	m ²
Altura útil (h)	$h = 0.5 + 0.3$ (24)	0.80	m
Ancho (a)	$a = \sqrt{\frac{2}{3} * 0.09 \text{ m}^2}$ (25)	0.24	m
Largo (l)	$l = \frac{0.15}{(0.80 * 0.24)}$ (26)	0.77	m
Volumen total del tanque	$V_t = 0.24 * 0.36 * (0.8)$ (27)	0.15	m ³
Cantidad de material retenido	$V_l = 0.06 \text{ m}^3 / 3$ (28)	0.05	m ³

Nota: La altura útil calculada es menor a la mínima recomendada (0.8 m), por lo que se seleccionó la h mínima.

4.1.12.2. Tratamiento primario

A. Coagulación/floculación

Para la determinación de las dosis óptimas de los diferentes coagulantes, se inició con dosificaciones entre 50 - 400 ppm, la jarra con una mayor eficiencia de remoción de turbidez demuestra que la dosis óptima está dentro de esos intervalos, por lo que se establecen dosis mínimamente mayores y menores entre la mejor dosis encontrada, este proceso se realizó con todos los coagulantes. Para el floculante se establecieron dosis de 1 ppm para las pruebas de jarras con cloruro férrico y sulfato de aluminio, mientras que para el policloruro se estableció una dosis de 0.5 ppm. En las pruebas de jarras la eficiencia de remoción depende de la turbidez inicial, si es baja, la remoción será baja, si es alta, será alta la eficiencia de remoción.

Los volúmenes de químico calculados a partir de la ecuación de planta (Ecuación 29), son los que se agregan al tanque coagulador, tanto el sulfato de aluminio como el policloruro de aluminio tienen una concentración (C) del 2% en la solución madre y las dosis óptimas obtenidas fueron de 175 y 25 ppm, respectivamente. En el caso del cloruro férrico la concentración de la solución madre (C) fue del 1% y su dosis de 80 ppm.

Para el cloruro férrico se realizaron un total de 13 pruebas de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante, en estas pruebas de igual manera se modificó el

tiempo de duración de la mezcla rápida y el gradiente de velocidad de la mezcla lenta. Se pudo establecer un tiempo de un minuto y treinta segundos a 515.39 s^{-1} (500 rpm) (mezcla rápida) que es la máxima velocidad que proporciona el equipo de jarras usado; el coagulante se agregó en todas las pruebas a los 30 segundos de iniciada la mezcla. Para la mezcla lenta se determinó un tiempo de 15 minutos a 80 rpm (52 s^{-1} , según Anexo F; el floculante se agregó luego de transcurridos 5 minutos de mezcla. Estos tiempos y velocidades fueron los que mejores resultados mostraron en la turbidez residual medida luego de los 15 minutos, establecido como periodo de sedimentación.

Los volúmenes de floculante se obtuvieron a partir de la ecuación de planta (Ecuación 30), y con base en las dosis óptimas obtenidas en la prueba de jarras. Para los tres coagulantes la concentración en la solución madre (C) fue del 0.1 %, mientras que, la dosis (D) fue de 1 ppm en el sulfato de aluminio y el cloruro férrico. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima fue de 0.5 ppm.

En la Tabla 48 se presentan los valores obtenidos en la prueba de jarras donde se obtuvieron los mejores resultados con la dosis de 80 ppm con una eficiencia de remoción de turbidez del 83.51 %. Esta dosificación es la recomendada para los días en los que el agua residual tiene turbidez más alta (300 NTU), se recomienda usar esta dosis cuando se realiza el faenamiento luego de transcurridos dos a tres días del último faenamiento puesto que ha ocurrido un proceso previo de sedimentación de sólidos suspendidos (se acumula agua residual que no pasó las rejillas y las descargas de los animales que llegan a los corrales de descanso para ser faenados en días posteriores) que son arrastrados por el agua residual producto de las primeras descargas de la nueva jornada laboral y la turbidez es más elevada (por ejemplo, desde el día sábado hasta el día lunes o martes en que nuevamente se faena).

Si la siguiente jornada laboral es a día seguido, no se recomienda usar este coagulante pues con dosis de 40 ppm y de 1 ppm de floculante, se obtuvo una eficiencia de 1.90 %, mientras que con una dosis menor de floculante (0.50 ppm) se obtuvo una eficiencia de remoción negativa (-10.76%), esto se debe a que no hay acumulación de descargas antes de las rejillas y la turbidez es baja.

Tabla 48. Pruebas para determinar la dosis óptima de cloruro férrico con turbidez alta y baja.

Parámetro	Turbidez alta				Turbidez baja		Unidades
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 1	Jarra 2	
Dosis aplicada (D)	20	40	60	80	40	40	ppm
Dosis floculante	1	1	1	1	1	0.5	mg/l
Volumen de floculante	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.40	ml
Volumen de coagulante	1.60	3.20	4.80	6.40	5	5	ml
Turbidez inicial	151	151	151	151	15.8	15.8	NTU
pH inicial	6.85	6.85	6.85	6.85	6-7	6-7	-
Color inicial	25300	25300	25300	25300	3610	3610	
Turbidez residual	137	192	38.9	24.9	15.5	17.5	NTU
pH residual	6.67	6.73	6.5	6.3	6-7	6-7	-
Color residual	27800	27800	27800	27800	3000	3000	
Eficiencia de remoción	9.27	-27.15	74.24	83.51	1.90	-10.76	%
Gradiente de velocidad mezcla rápida	290	290	290	290	290	290	s ⁻¹
Gradiente de velocidad mezcla lenta	52	52	52	52	45	45	s ⁻¹
Tiempo mezcla rápida	90	90	90	90	90	90	s
Tiempo mezcla lenta	15	15	15	15	15	15	min
Tiempo sedimentación	15	15	15	15	15	15	min

Nota: la columna de turbidez baja cuenta únicamente con dos jarras pues se consideró la dosis aplicada de 5 ppm donde se obtuvieron eficiencias de remoción más altas.

Para el sulfato de aluminio se realizaron 11 pruebas con las que se determinaron las dosis óptimas de coagulante y floculante. Al igual que para el cloruro férrico, se modificaron gradientes de velocidad en mezcla lenta y se trabajó con iguales tiempos en los que se

adicionó el coagulante y el floculante (transcurridos 30 s y 5 min de mezcla respectivamente). Como se observa en la Tabla 49, este coagulante arrojó los mejores resultados con una dosis de 175 ppm y una dosis de floculante de 1 ppm, dando una eficiencia de remoción de turbidez del 97.79 %.

Estas dosificaciones óptimas se recomiendan, al igual que para el cloruro férrico, colocarlas cuando han transcurrido dos o tres días desde la última jornada de faenamiento (luego de faenar el sábado, los días martes o miércoles). Este coagulante se recomienda usar únicamente cuando la turbidez del agua residual es alta, debido a que no arrojó buenos resultados con baja turbidez, es decir, cuando se faena a día seguido.

Tabla 49. Pruebas para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio con turbidez alta y baja.

Parámetro	Turbidez alta				Turbidez baja			Unidades
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	
Dosis deseada (D)	125	175	225	275	175	87.5	87.5	ppm
Volumen de floculante	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.40	ml
Volumen de coagulante	5.00	7.00	9.00	11.00	7.00	3.50	3.50	ml
Turbidez inicial	137	137	137	137	15	15.8	15.8	NTU
pH inicial	7.03	7.03	7.03	7.03	6-7	6-7	6-7	-
Color inicial	27 300	27 300	27 300	27 300	3170	3610	3610	Unidades de color
Turbidez residual	17.6	3.03	12.7	29.6	17.8	19.8	19.7	NTU
pH residual	6.29	6.02	5.61	5.33	4-5	-		
Color residual	21 100	21 100	21 100	21 100	2 830	1 950	2 250	Unidades de color

Continuación

Parámetro	Turbidez alta				Turbidez baja			Unidades
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	
Eficiencia de remoción	87.15	97.79	90.73	78.39	-18.67	-25.32	-24.68	%
Gradiente de velocidad mezcla rápida	290	290	290	290	290	290	290	s ⁻¹
Gradiente de velocidad mezcla lenta	52	52	52	52	52	52	52	s ⁻¹
Tiempo mezcla rápida	90	90	90	90	90	90	90	s
Tiempo mezcla lenta	15	15	15	15	15	15	15	min
Tiempo de sedimentación	15	15	15	15	15	15	15	min

Nota: las mediciones de pH inicial (7-8; 7-9) y pH residual (6-7) se obtuvieron entre estos rangos mencionados puesto que no se disponía del equipo el día de las pruebas, por lo que las mediciones se realizaron con el uso de tiras para medir pH. Para turbidez baja se consideraron las jarras 2, 3 y 4 puesto que en la jarra 1 se repitió la prueba que arrojaba mejor eficiencia de remoción de turbidez.

En el caso del policloruro de aluminio, el coagulante arrojó dosis bajas cuando la turbidez es alta, para este caso, se determinó una dosis óptima del coagulante de 25 ppm con una dosis de floculante de 0.5 ppm como ya se ha mencionado, la eficiencia de remoción de turbidez fue del 40.53 %. En cambio, cuando la turbidez fue baja, la eficiencia de remoción fue del 90.92 % con las mismas dosificaciones tanto de coagulante como de floculante (Tabla 50). Es por esto que, se recomienda usar policloruro de aluminio cuando el faenamiento sea a día seguido.

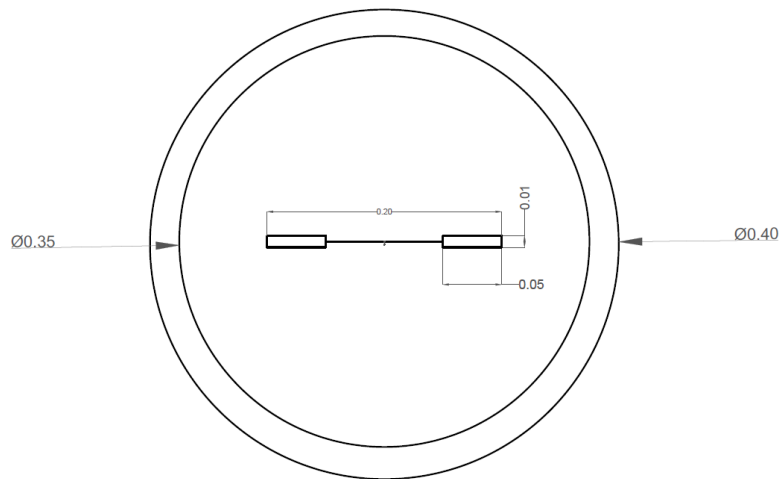
Tabla 50. Pruebas para determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio con turbidez alta y baja.

Parámetro	Turbidez alta	Turbidez baja		Unidades
	Jarra 1	Jarra 1	Jarra 2	
Dosis deseada (D)	25	25	30	ppm
Volumen de floculante	0.40	0.40	0.40	ml
Volumen de coagulante	1.00	1.00	1.20	ml
Turbidez inicial	190	15.2	15.2	NTU
pH inicial	7.03	8-7	9-7	-
Turbidez residual	113	1.38	3.13	NTU
pH residual	5.61	6-7		-
Eficiencia de remoción	40.53	90.92	79.41	%
Gradiente de velocidad mezcla rápida	290	290	290	s ⁻¹
Gradiente de velocidad mezcla lenta	45	52	52	s ⁻¹
Tiempo mezcla rápida	90	90	90	s
Tiempo mezcla lenta	15	15	15	min
Tiempo de sedimentación	15	15	15	min

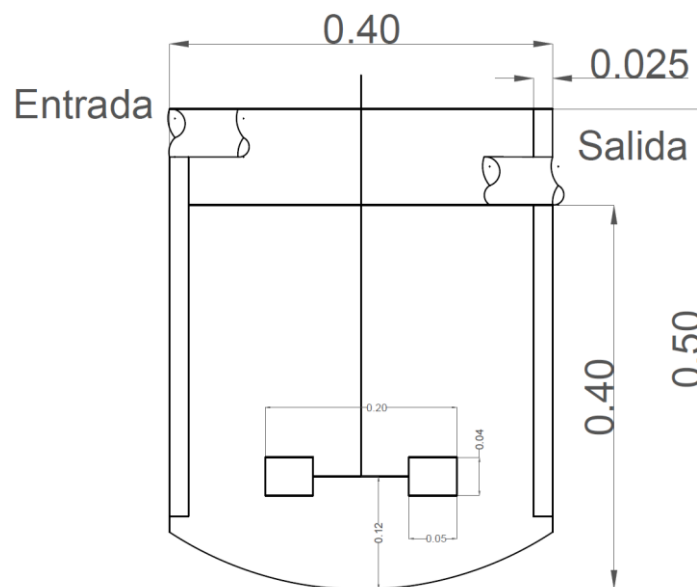
Nota: las mediciones de pH inicial (7-8; 7-9) y pH residual (6-7) se tomaron entre estos rangos mencionados puesto que no se disponía del equipo el día de las pruebas, por lo que las mediciones se realizaron con el uso de tiras para medir pH. La columna de turbidez alta (una jarra) y turbidez baja (dos jarras) muestra la diferencia en las eficiencias de remoción de turbidez con la misma dosis aplicada, por ello se tomaron únicamente ese número de jarras. Los resultados mostrados son las repeticiones de las pruebas con las dosificaciones óptimas determinadas.

Los cálculos realizados para este proceso se presentan en las Tablas 51 y 52, tanto para el tanque coagulador (mezcla rápida) como para el floculador (mezcla lenta). El tanque coagulador tiene una altura y diámetro de 0.40 m y el diámetro del agitador es de 0.20 m. En

la Ilustración 8 se presenta el diseño del tanque coagulador, el material del mismo será hormigón.



(1)



(2)

Ilustración 8. Tanque coagulador.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 51. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque coagulador.

Tanque coagulador			
Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Volumen (V)	$V = 1.30 \frac{m^3}{h} * 1.5 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$ (18)	0.03	m ³
Volumen final	$V_{final} = 0.03m^3 * 1.2$ (32)	0.04	m ³
Diámetro (d)	$d = \sqrt[3]{\frac{4*0.04 m^3}{\pi}}$ (33)	0.4	m
Altura (A)	$A = \sqrt[3]{\frac{4*0.04 m^3}{\pi}}$ (34)	0.4	m
Agitador			
Altura del tanque (H)	$H = 0.50 \text{ m}$ (35)	0.5	m
Diámetro del tanque (D _t)	$D_t = 0.37 \text{ m}$ (36)	0.4	m
Diámetro del agitador (D _a)	$D_a = \frac{0.4 \text{ m}}{2}$ (37)	0.2	m
Espesor de pared (j)	$j = \frac{0.37m}{12}$ (38)	0.03	m
Altura de la paleta (W)	$W = \frac{0.2 \text{ m}}{5}$ (39)	0.04	m
Largo de paleta (g)	$g = 0.25 * 0.2 \text{ m}$ (40)	0.05	m
Distancia del fondo del tanque a la paleta (E)	$E = 0.33 * 0.37 \text{ m}$ (41)	0.12	m
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{500 * (0.2 \text{ m})^2 * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001 \text{ kg/m.s}}$ (42)	333 333.33	-
Potencia (P)	$P = 5 * 1000 \frac{kg}{m^3} * (\frac{500 \text{ rpm}}{60})^3 * (0.2 \text{ m})^5$ (43)	925.93	W
Potencia (P)	$P = 925.93 \text{ W} * \frac{1HP}{746 \text{ W}}$	1.24 ≈ 1.25	HP
Revoluciones máximas del agitador	-	1313*	rpm
P/V _{final}	$\frac{P}{V} = \frac{1.25 \text{ HP}}{0.04 \text{ m}^3}$ (44)	31.92	HP/m ³

Nota: D_a se calculó de acuerdo a la relación L/d = 2, (largo del tanque sobre diámetro del agitador), la cual debe estar entre 2 y 6.6. * El número de revoluciones máximas del agitador es función del torque del motor, se calculó dividiendo 5252*P entre el torque de 5 lb - pie de un motor comercial de 1.25 HP.

Por otro lado, el tanque floculador tiene una altura y diámetro de 1.0 m y el diámetro del agitador es de 0.50 m. En la Ilustración 9 se presenta el diseño del tanque floculador.

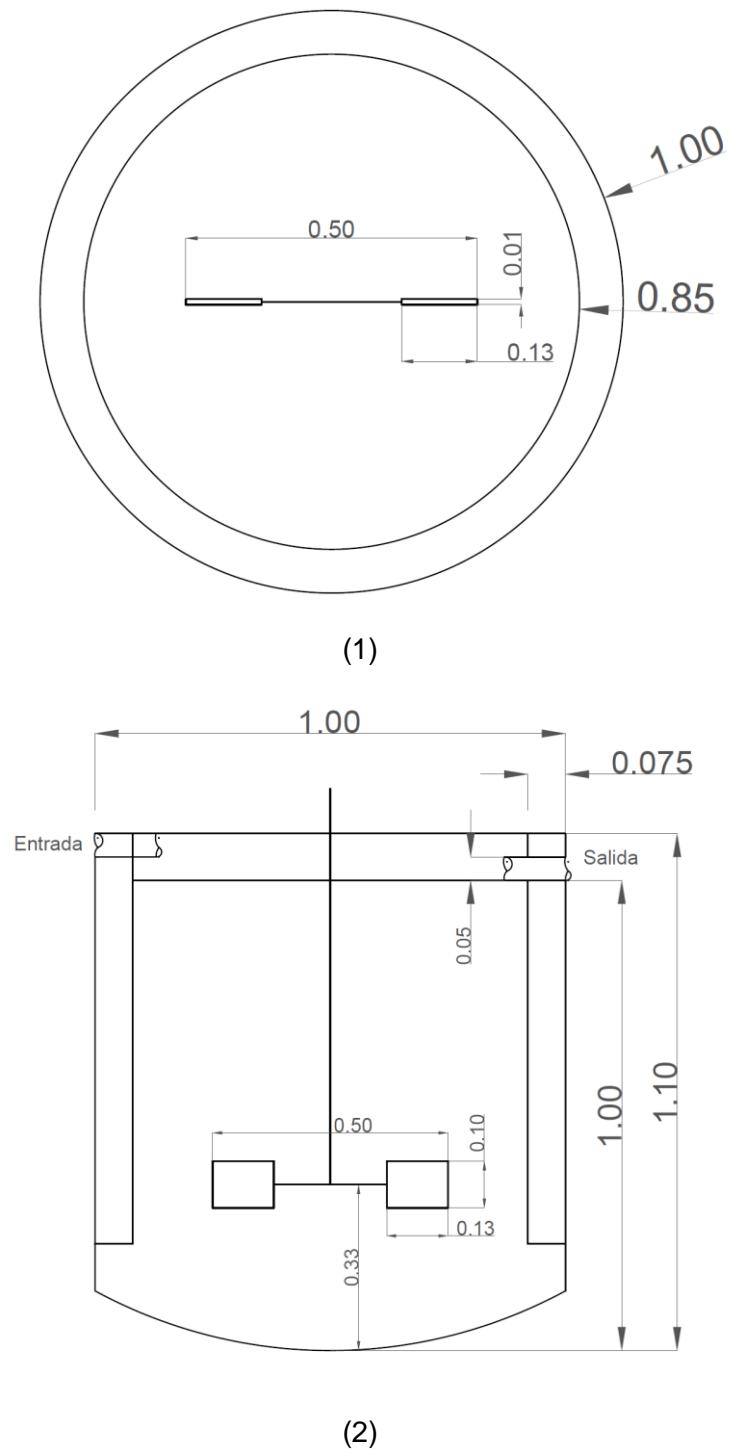


Ilustración 9. Tanque floculador.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

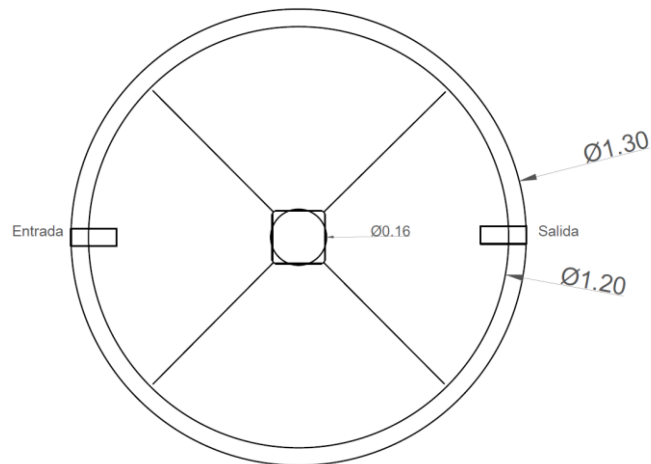
Tabla 52. Cálculos y resultados del dimensionamiento del tanque floculador.

Tanque floculador			
Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Volumen (V)	$V = 1.30 \frac{m^3}{h} * 30 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$ (18)	0.65	m ³
Volumen final	$V_{final} = 0.65 \text{ m}^3 * 1.2$ (32)	0.77	m ³
Diámetro (d)	$d = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.65 \text{ m}^3}{\pi}}$ (33)	1.00	m
Altura (A)	$A = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.65 \text{ m}^3}{\pi}}$ (34)	1.00	m
Agitador			
Altura del tanque (H)	$H = 1.10 \text{ m}$ (35)	1.10	m
Diámetro del tanque (D _t)	$D_t = 1 \text{ m}$ (36)	1.00	m
Diámetro del agitador (D _a)	$D_a = \frac{1 \text{ m}}{2}$ (37)	0.5	m
Espesor de pared (j)	$j = \frac{1 \text{ m}}{12}$ (38)	0.08	m
Altura de la paleta (W)	$W = \frac{0.5 \text{ m}}{5}$ (39)	0.10	m
Largo de paleta (g)	$g = 0.25 * 0.5 \text{ m}$ (40)	0.13	m
Distancia del fondo del tanque a la paleta (E)	$E = 0.33 * 1 \text{ m}$ (41)	0.33	m
Número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{80 * (0.5 \text{ m})^2 * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001 \text{ kg/m.s}}$ (42)	3.33E+05	-
Potencia P	$P = 5 * 1000 \frac{kg}{m^3} * \left(\frac{80 \text{ rpm}}{60}\right)^3 * (0.5 \text{ m})^5$ (43)	370.37	W
Potencia P	$P = 370.37 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}}$	0.5	HP
Revoluciones máximas del agitador	-	1280.98*	rpm
P/V _{final}	$\frac{P}{V} = \frac{0.4 \text{ HP}}{0.77 \text{ m}^3}$ (44)	0.51	HP/m ³

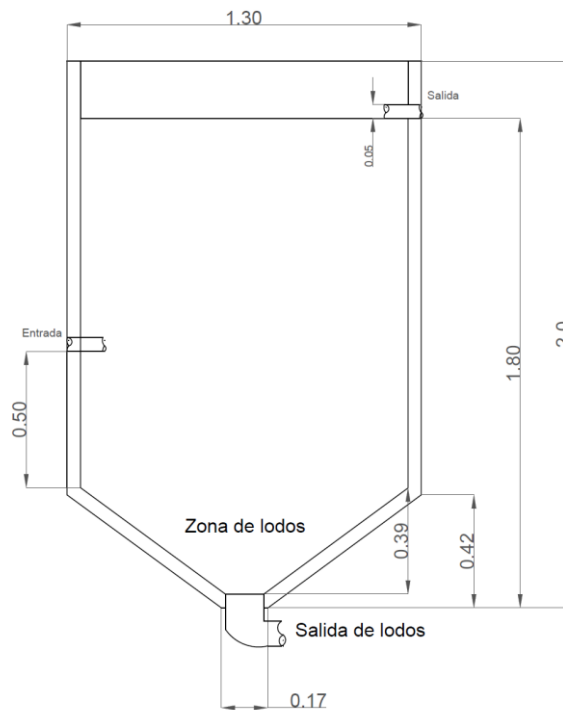
Nota: D_a se calculó de acuerdo a la relación L/d = 2, (largo del tanque sobre diámetro del agitador), la cual debe estar entre 2 y 6.6. * El número de revoluciones máximas del agitador es función del torque del motor, se calculó dividiendo 5252 * P entre el torque de 2.05 lb - pie de un motor comercial de 0.5 HP.

B. Sedimentador primario

En la Tabla 53 se muestran todos los resultados de los diferentes cálculos realizados para dimensionar la unidad. El sedimentador primario tiene una altura de 2.0 m y un diámetro de 1.30 m. En la Ilustración 10 se presentan las dimensiones del sedimentador.



(1)



(2)

Ilustración 10. Sedimentador primario.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista lateral. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 53. Cálculos y resultados del dimensionamiento del sedimentador (circular) primario.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Área (A)	$As = \frac{31.15 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ m/día}} \text{ (46)}$	1.30	m ²
Radio del sedimentador (r)	$r = \sqrt{\frac{1.30 \text{ m}^2}{\pi}} \text{ (47)}$	0.64	m
Diámetro del sedimentador (D)	$D = 2 * 0.64 \text{ m} \text{ (48)}$	1.28	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * 0.64^2 * 2 \text{ (49)}$	2.57	m ³
Tiempo de retención corregido (Trc)	$Trc = 1.125 * 2 \text{ h} \text{ (50)}$	2.25	h
Velocidad crítica de arrastre (Vc)	$v_c = \left[\frac{8 * 0.05 * (1.03 - 1) * 9.81 \text{ m/s}^2 * 1 * 10^{-6} \text{ m}}{0.02} \right]^{0.5} \text{ (51)}$	0.002	m/s
Eficiencia de remoción SST (Tchobanoglous et. al.)	$R = \frac{2.2 \text{ h}}{0.0075 + (0.014 * 2.2 \text{ h})} \text{ (45)}$	59.48	%
Eficiencia de remoción DBO (Tchobanoglous et. al.)	$R = \frac{2.2 \text{ h}}{0.018 + (0.020 * 2.2 \text{ h})} \text{ (45)}$	37.38	%
Eficiencia de remoción corregida SST (Tchobanoglous et. al.)	$R = \frac{2.48 \text{ h}}{0.0075 + (0.014 * 2.48 \text{ h})}$	60.61	%
Eficiencia de Remoción corregida DBO (Tchobanoglous et. al.)	$R = \frac{2.48 \text{ h}}{0.018 + (0.020 * 2.48 \text{ h})}$	38.46	%

4.1.12.3. Tratamiento secundario

A. Lodos activados

En la Tabla 54 se muestran todos los cálculos realizados para dimensionar la unidad de lodos activados. Esta tiene una altura de 1.25 m, un ancho de 1.85 m y un largo de 3.70. La potencia del aireador es de 0.07 CV. En la Ilustración 11 se presentan todas las dimensiones del tratamiento de lodos activados.

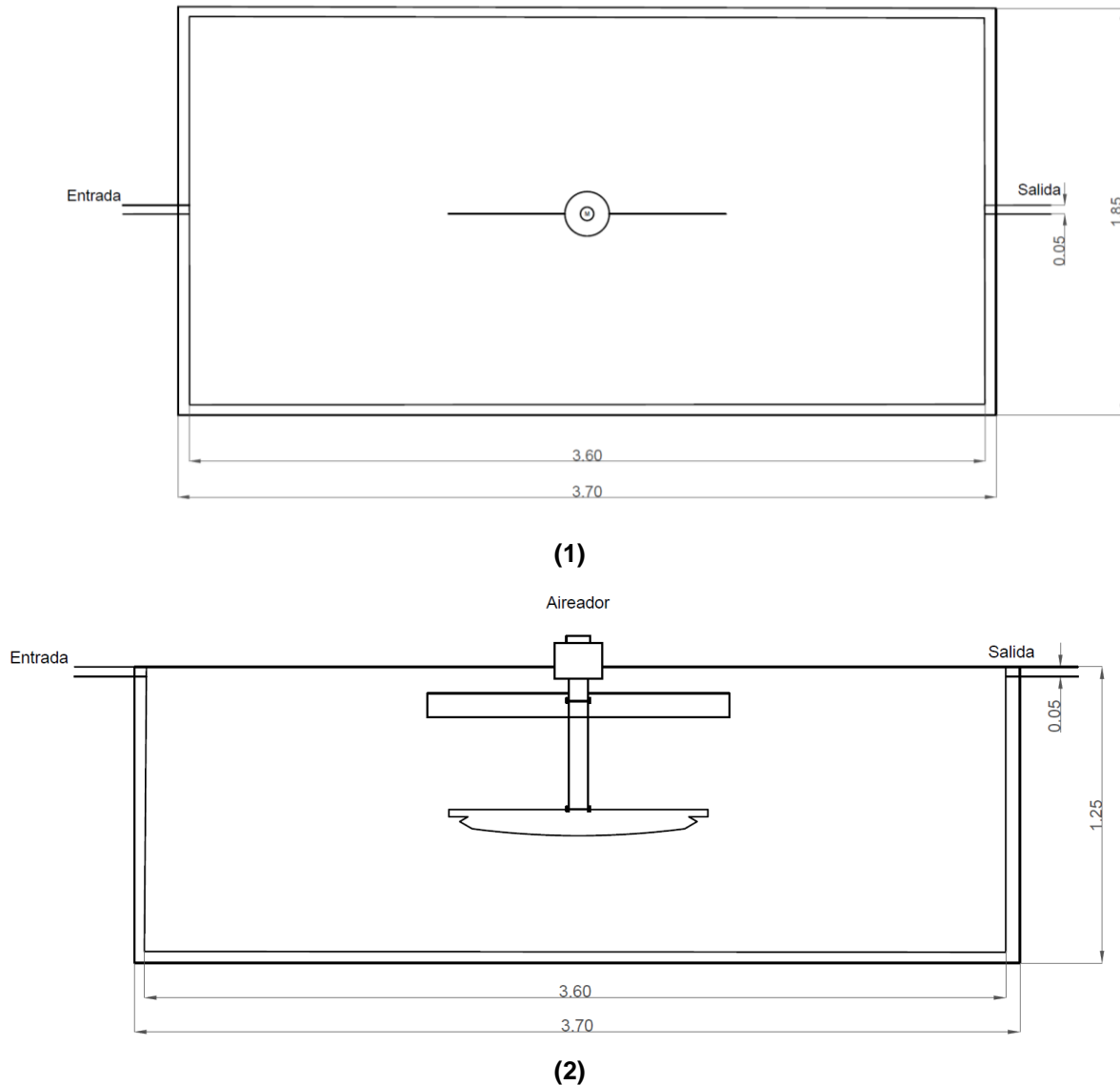


Ilustración 11. Lodos activados.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 54. Cálculos y resultados del dimensionamiento de lodos activados.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
DBO consumida ($\frac{kg\ DBO_5}{d}$)	$\frac{kg\ DBO_5}{d} = 86.4(0.00036m^3/s)(135 - 4.47)mg/l$ (52)	4.06	kg DBO/día
Potencia preliminar del reactor (HP_p)	$HP_p = \frac{86.4(0.00036m^3/s)(135-4.47)mg/l}{20}$ (53)	0.20	hp
Potencia con factor de seguridad (HP)	$HP = 0.20 * (1 + 0.1)$ (54)	0.22 \approx 0.25	hp
Tiempo de retención hidráulica (t) (relación A/M)	$t = \frac{135\ mg/l}{2500\ mg/l * 0.2\ d^{-1}}$ (55)	0,27	d
Tiempo de retención hidráulica (t) (horas)	$t = 0.27d * 24h/1d$ (56)	6.48	horas
Volumen del reactor (V)	$V = 31.15\ m^3/d * 0.27d$ (57)	8.40	m ³
Tiempo de retención celular	$TCR = \frac{8.40\ m^3 * 960mg/l}{\left(\frac{0.01m^3}{d} * \frac{10000000mg}{m^3}\right) + \left(\frac{31.09m^3}{d} * 0\right)}$ (58)	10 234.6	días horas
Dimensiones tanque rectangular			
Largo (L)	$L = (6 * 8.40\ m^3)^{\frac{1}{3}}$ (59)	3.69	m
Ancho (W)	$W = \frac{3.69\ m}{2}$ (60)	1.85	m
Profundidad (h)	$h = \frac{3.69\ m}{3}$ (61)	1.23	m
Demanda de oxígeno ($\frac{kg\ O_2}{d}$)	$\frac{kg\ O_2}{d} = (0.718 \frac{kg\ O_2}{kg\ DBO}) * (86.4 \left(135 - 4.47 \frac{mg}{l}\right) * \frac{0.00036m^3}{s}) + (0.0852\ d^{-1} * 2500 \frac{mg}{l} * 8.40m^3 / 1000)$ (62)	4.70	kg/día
Demanda de oxígeno ($\frac{kg\ O_2}{h}$)	$\frac{kg\ O_2}{h} = 4.70 \frac{kg\ O_2}{d} / 24$ (63)	0.20	kg/h
Aireador superficial			
Rendimiento de transferencia (RT)	$(RT)_{ref} = 1.024^{(18-20)}$ (64)	0.95	-

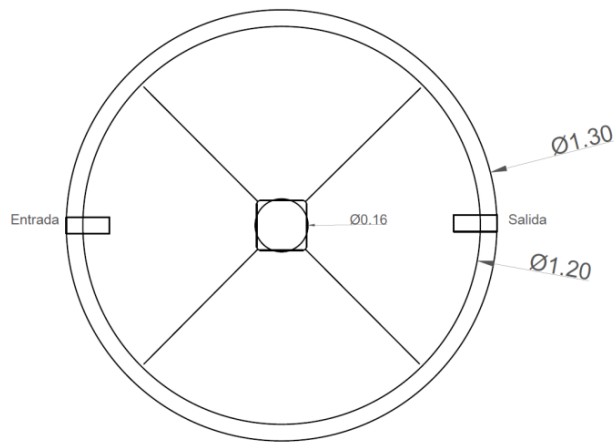
Continuación			
Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Concentración de saturación en la superficie (C _{ss})	$C_{s,s} = (8.4 \frac{mg}{l}) \frac{(584.48 - 17.535)mmHg}{(760 - 17.535)mmHg}$ (65)	6.41	mg/l
Concentración de O.D a saturación en el agua residual (C _{sr})	$C_{sr} = 0.97 * 6.41 mg/l$ (66)	6.22	mg/l
Coefficiente de transferencia (K)	$K = (0.87 * 1.024^{18-20} * \frac{0.97(6.41-2)mg/l}{9.2})$ (67)	0.38	-
RT real	$RT_{real} = 0.38 * 0.98 \frac{kgO_2}{CVh}$ (68)	0.37	kg O ₂ /CVh
Potencia real	$Potencia = \frac{0.20 kgO_2/h}{0.37 kgO_2/CVh}$ (69)	0.53	CV
Potencia recalculada P _v	$P_v = \frac{0.53 CV}{8.40 m^3}$ (70)	0.07	CV
Número de aireadores (n _a)	$n_a = \frac{0.53 CV}{8 CV}$ (71)	1.00	-
Diámetro de influencia (20% coef. seguridad) (d)	$d = \frac{0.5 m}{1.2}$ (72)	0.42	m
Largo (L _a)	$L_a = 3(0.42m)$ (73)	1.25	m
Ancho (W _a)	$W_a = 2(0.42m)$ (74)	0.83	m
Superficie (A _a)	$A_a = 1.25m * 0.83m$ (75)	1.04	m ²
Producción biomasa neta (ΔX _v)	$\Delta X_v = (86.4 * 0.41 \frac{mgSS V}{mgDBO_5} (135 - 4.47)mg/l * (0.00036 \frac{m^3}{s}) - (0.04d^{-1} * \frac{2500mg}{l} * \frac{8.40m^3}{1000}))$ (78)	0.82	kg/día

Continuación

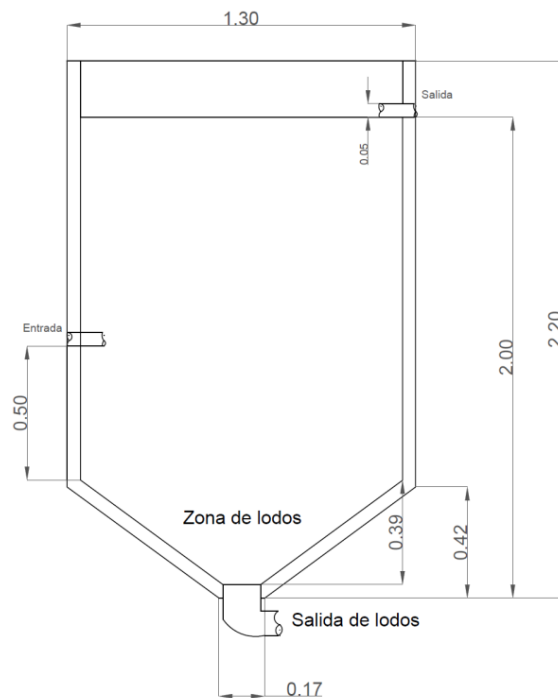
Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Cálculos para la re-circulación			
Relación de reciclado (r)	$r = \frac{2500 \text{ mg/l}}{10000 \text{ mg/l} - 2500 \text{ mg/l}}$ (79)	0.33	-
Relación de reciclado (r)	$r = 0.33 * 100$ (80)	33.33	%
Caudal de recirculación (Q _r)	$Q_r = 0.33 * 0.00036 \text{ m}^3/\text{s}$ (81)	10.27	m ³ /d
Caudal de alimentación combinada (Q _o)	$Q_o = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s} (0.33 + 1)$ (82)	41.29	m ³ /d
Caudal de purga (Q _w)	$Q_w = \frac{0.82 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + (0.00036 \text{ m}^3/\text{s} * 0) - (0.00036 \text{ m}^3/\text{s} * 0)}{10000 \text{ mg/l} - 0}$ (83)	0.083	m ³ /d
Caudal de purga (Q _w)	$Q_w = \frac{0.01 \text{ m}^3/\text{d}}{86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}$	0.083	m ³ /d
Caudal del efluente (Q _e)	$Q_e = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s} - 0.95 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (84)	31.02	m ³ /d
Caudal de descarga del clarificador (Q _u)	$Q_u = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0004 \text{ m}^3/\text{s}$ (85)	10.45	m ³ /d
Tiempo de retención (trh)	$t_h = \frac{6.48 \text{ h}}{(0.33+1)}$ (86)	4.86	h
Eficiencia de remoción (E)	$E = \frac{135 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 4.47 \text{ mg/l}}{135 \text{ mg/l}} * 100$ (87)	96	%

A1. Sedimentador secundario del proceso de lodos activados

En la Tabla 55 se presentan los cálculos y los valores obtenidos del dimensionamiento del sedimentador secundario. Este se dimensionó con un diámetro de 1.30 m y una altura de 2.20 m. El diseño de esta unidad de tratamiento se presenta en la Ilustración 12.



(1)



(2)

Ilustración 12. Sedimentador secundario para lodos activados.

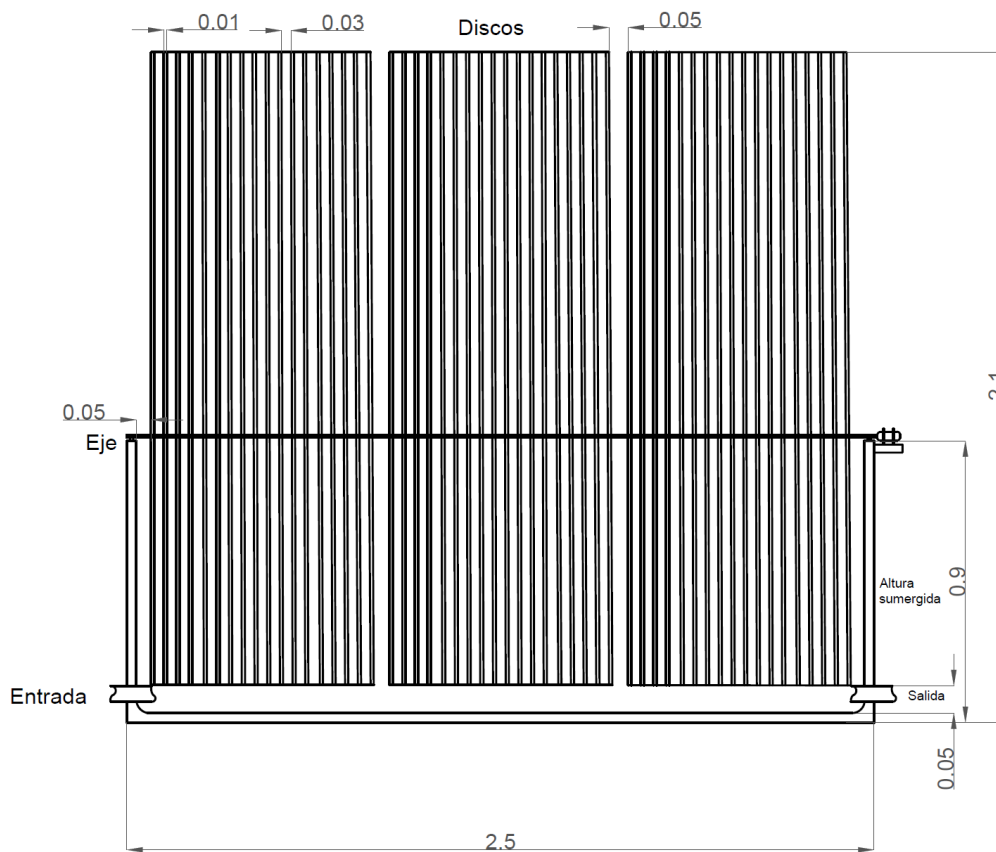
Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista lateral. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 55. Cálculos para el diseño del sedimentador secundario en lodos activados.

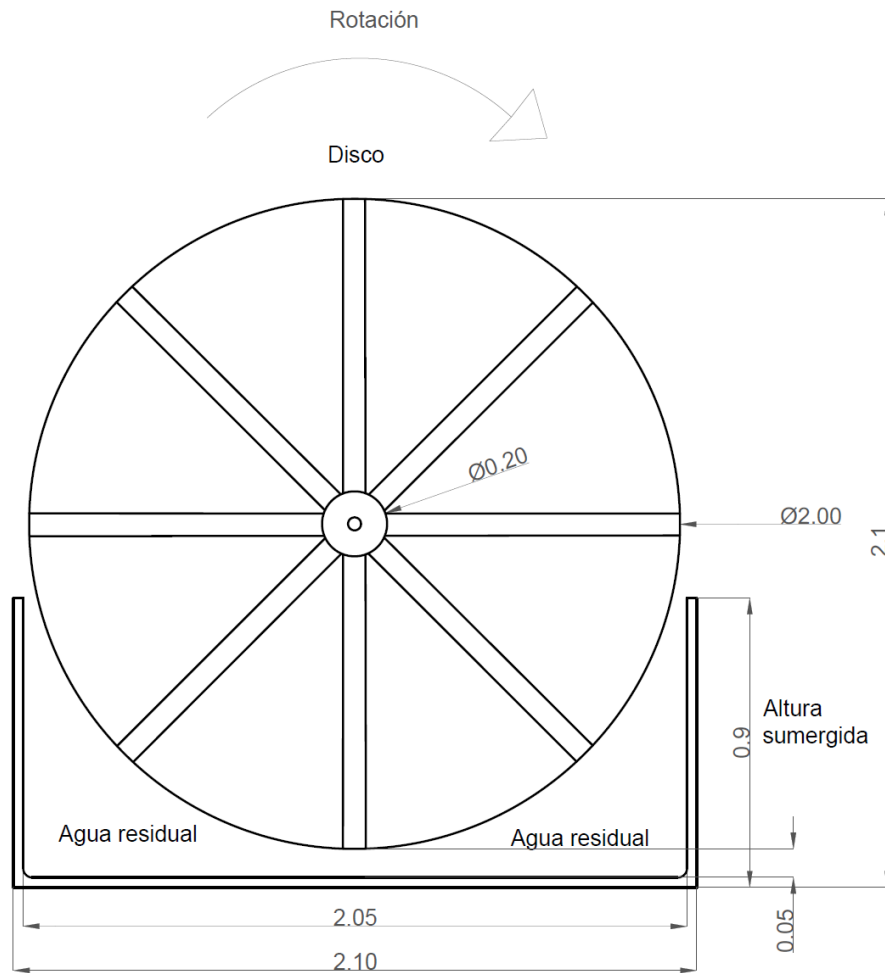
Parámetro	Sustitución de valores	Valor	Unidades
Área (A)	$A = \frac{31.15 \frac{m^3}{d}}{24 \frac{m}{d}} \quad \text{(45)}$	1.30	m ²
Radio del sedimentador (r)	$r = \sqrt{\frac{1.30 \text{ m}^2}{\pi}} \quad \text{(46)}$	0.64	m
Diámetro del sedimentador (D)	$D = 2 * 0.64 \text{ m} \quad \text{(47)}$	1.28	m
Altura (h)	-	2.2	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * 0.64^2 * 2.2 \quad \text{(48)}$	2.83	m ³
Reparto central (Rc)	$Rc = 1.25 \text{ m} * 0.25 \quad \text{(88)}$	0.32	m
Altura de reparto (Hr)	$Hr = \frac{1}{4} * 2.2 \text{ m} \quad \text{(89)}$	0.55	m
Inclinación de fondo (x)	$x = \frac{0.64 \text{ m} * \text{sen}(90)}{\text{sen}(75)} \quad \text{(90)}$	0.66	m
Altura fondo inclinado (hf)	$hf = 0.64 \text{ m} * \tan(15) \quad \text{(91)}$	0.17	m
Altura total (ht)	$ht = 0.17 \text{ m} + 2.2 \text{ m} \quad \text{(92)}$	2.37	m
Carga del vertedero (CV)	$CV = \frac{0.00036 \frac{m^3}{s}}{1.25 \text{ m} * \pi} \quad \text{(93)}$	0.000089	m ² /s
Tiempo de retención (TRH)	$THR = \frac{2.83 \text{ m}^3}{31.15 \frac{m^3}{d}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \quad \text{(94)}$	2.18	h

B. Biodiscos Rotatorios

La Tabla 56 presenta los valores del dimensionamiento del proceso de biodiscos rotatorios. El tratamiento de biodiscos se dimensionó con un largo de 2.5 m y un ancho de 2.1 m. Cuenta con un total de 54 biodiscos divididos en tres etapas (18 discos/etapa), el diámetro de estos es de 2.0 m. El diseño de esta unidad de tratamiento se presenta en la Ilustración 13.



(1)



(2)

Ilustración 13. Biodiscos rotatorios.

Nota: (1) Vista frontal. (2) Representación del disco. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 56. Cálculos para el diseño de la unidad de biodiscos.

Parámetro	Sustitución de valores	Resultado	Unidades
Dimensionamiento según Romero (2004)			
Carga orgánica (Corg)	$C_{org} = 0.75 * \frac{80.73g}{m^3} * 31.15 m^3/día$ (95)	1883.27	g DBO/d
Área de discos (As)	$As = \frac{1883.27 gDBO/día}{6.5 gDBO/m^2.día}$ (96)	289.73	m ²
Número de discos	$\#discos = \frac{289.73 m^2 * 4}{\pi * 2^2 * 2}$ (97)	54	discos
Número de etapas	-	3	etapas
Número de discos por etapa	$\#discos/etapa = \frac{54 discos}{3 etapas}$ (98)	18	discos
Área sumergida	$a = \frac{0.4 * \pi * 2^2}{4}$ (99)	1.26	m ²
C	$C = \frac{1.26 m^2}{(2m)^2}$ (100)	0.31	-
Profundidad de sumergencia (D)	$D = 0.42 * 2 m$ (101)	0.84	m
Profundidad agua en el reactor (h)	$h = 0.84 + 0.05 (m)$ (102)	0.89	m
Longitud cada etapa (Le)	$L_e = (0.01 * 18) + [0.03 * (18 - 1)] + (2 * 0.05)(m)$ (103)	0.79	m
Longitud reactor (L)	$L = 3 * 0.79 (m)$ (104)	2.36	m
Ancho del reactor (W)	$W = 2 + (2 * 0.05)(m)$ (105)	2.1	m
Área del reactor (Ar)	$A_r = 2.36 m * 2.1 m$ (106)	4.96	m ²
Volumen del reactor (Vr)	$V_r = 4.96 m^2 * 0.89 m$ (107)	4.2	m ³
Sustrato específico consumido (Se)	$S_e = 80.73 mg/l * e^{-5 * \frac{0.85 h}{24 h} * 0.75}$ (108)	70.69	mg/l
Eficiencia de remoción (E)	$E = \left(1 - \frac{80.73 - 70.69 (mg/l)}{80.73 mg/l}\right) * 100$ (109)	87.56	%

B1. Sedimentador secundario del proceso de biodiscos rotatorios

La Tabla 57 presenta los valores obtenidos del dimensionamiento del sedimentador secundario, el cual es el mismo al sedimentador secundario de lodos activados. Este se dimensionó con un diámetro de 1.30 m y una altura de 2.20 m. El diseño de esta unidad de tratamiento se presenta en la Ilustración 14.

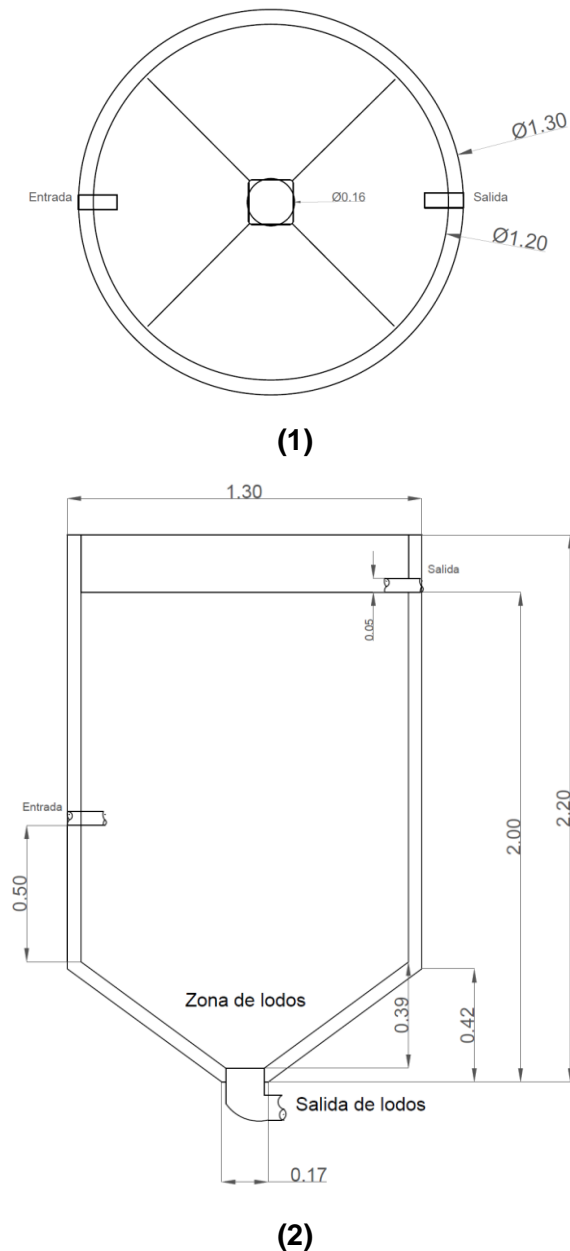


Ilustración 14. Sedimentador secundario para biodiscos rotatorios.

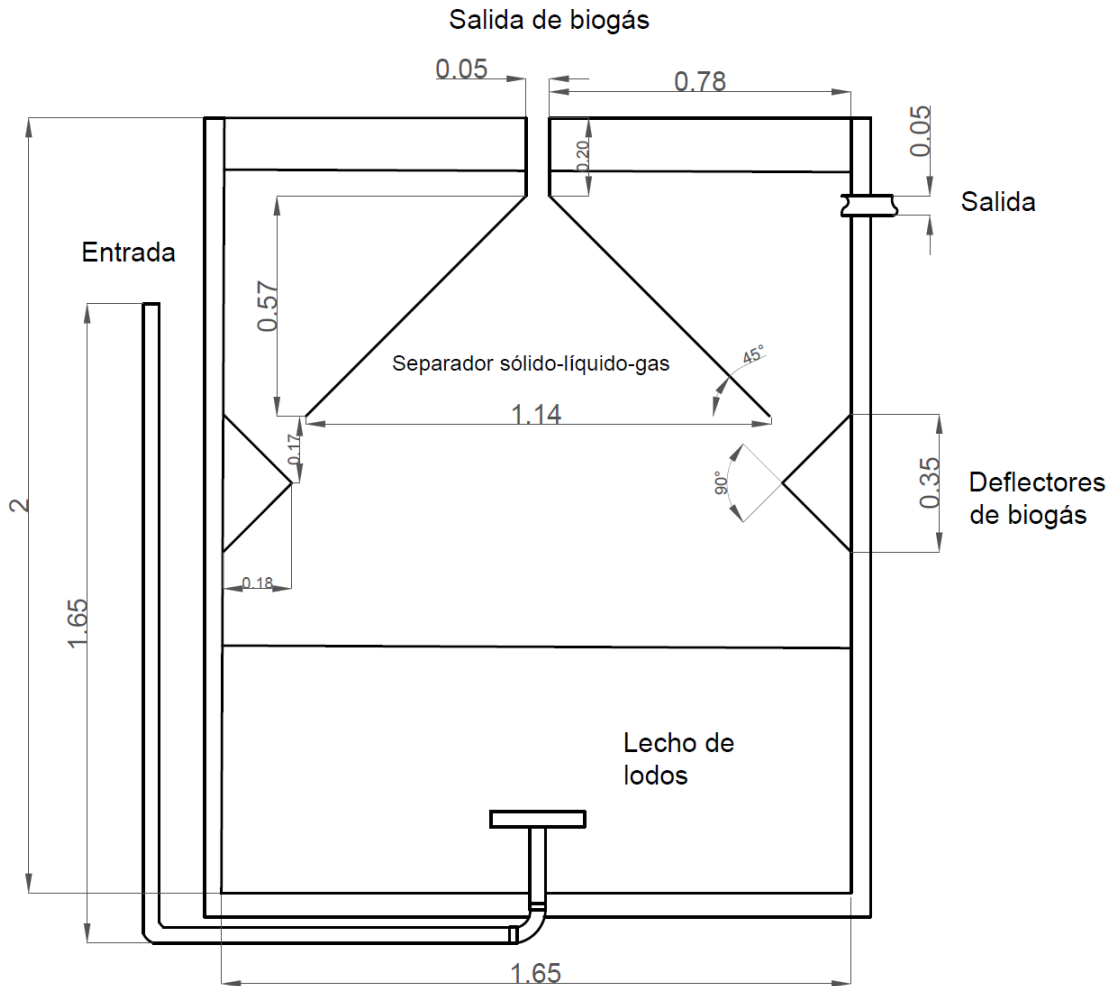
Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista lateral. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 57. Dimensionamiento del sedimentador secundario para los biodiscos.

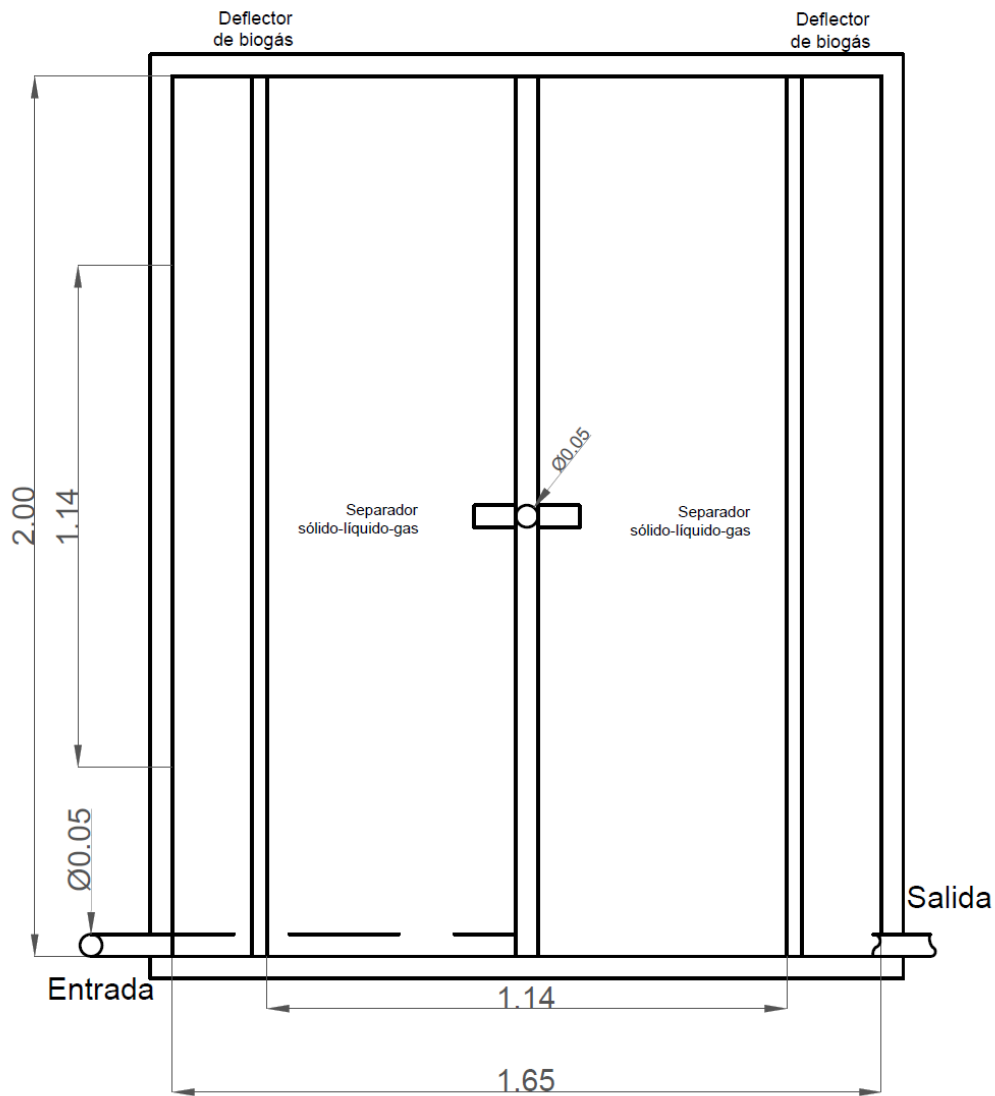
Parámetro	Sustitución de valores	Valor	Unidades
Área (A)	$A = \frac{31.15 \frac{m^3}{d}}{24 \frac{m}{d}}$ (45)	1.30	m ²
Radio del sedimentador (r)	$r = \sqrt{\frac{1.30 m^2}{\pi}}$ (46)	0.64	m
Diámetro del sedimentador (D)	$D = 2 * 0.64 m$ (47)	1.28	m
Altura (h)	-	2.2	m
Volumen del sedimentador (V)	$V = \pi * 0.64^2 * 2.2$ (48)	2.83	m ³
Reparto central (Rc)	$Rc = 1.25 m * 0.25$ (88)	0.32	m
Altura de reparto (Hr)	$Hr = \frac{1}{4} * 2.2m$ (89)	0.55	m
Inclinación de fondo (x)	$x = \frac{0.64 m * \text{sen}(90)}{\text{sen}(75)}$ (90)	0.66	m
Altura fondo inclinado (hf)	$hf = 0.66 m * \tan(15)$ (91)	0.17	m
Altura total (ht)	$ht = 0.17 m + 2.2 m$ (92)	2.37	m
Carga del vertedero (CV)	$CV = \frac{0.00036 \frac{m^3}{s}}{1.25 m * \pi}$ (93)	0.000089	m ² /s
Tiempo de retención (TRH)	$THR = \frac{2.83 m^3}{31.15 \frac{m^3}{d}} * \frac{24 h}{1 d}$ (94)	2.18	h

C. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

Los resultados del dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente se presentan en la Tabla 58. Este tratamiento cuenta con las siguientes dimensiones: 1.85 m de largo, 2.0 m de ancho y 2.0 m de altura. El diseño de esta unidad se presenta en la Ilustración 15. (Ilustración 15).



(1)



(2)

Ilustración 15. Reactor anaerobio de flujo ascendente.

Nota: (1) Vista en planta. (2) Vista frontal. Todas las dimensiones están acotadas en m. Las dimensiones en los planos se han redondeado con fines constructivos.

Tabla 58. Dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Parámetro	Sustitución de valores	Valor	Unidades
Dimensionamiento según CONAGUA			
Carga de DQO en el afluente (L_o)	$L_o = 0.037 \frac{kg}{m^3} * 31.15 \frac{m^3}{d}$ (110)	1.16	kg/d
Volumen total del reactor (V)	$V = 31.15 \frac{m^3}{d} * 0.2 d$ (111)	6.48	m ³
Número de módulos	-	1	
Volumen del módulo (V_u)	$V_u = \frac{6.48 m^3}{1}$ (112)	6.48	m ³
Área del reactor (A)	$A = \frac{6.48 m^3}{2 m}$ (113)	3.24	m ²
Largo reactor (l)	$l = \frac{3.24 m^2}{2 m}$ (114)	1.61	m
Carga hidráulica volumétrica (CHV)	$CHV = \frac{31.15 \frac{m^3}{d}}{6.48 m^3}$ (115)	4.80	m ³ /m ³ d
Carga orgánica volumétrica (COV)	$COV = \frac{31.15 \frac{m^3}{d} * 0.037 \frac{kg}{m^3}}{6.48 m^3}$ (116)	0.18	kg DQO/m ³
Velocidad de flujo ascendente (v)	$v = \frac{31.15 \frac{m^3}{d}}{3.24 m^2}$ (117)	9.60	m/d
Velocidad de flujo ascendente (v)	$v = 9.60 \frac{m}{d} * \frac{1d}{24h}$	0.4	m/h
Tubos de distribución (N_d)	$N_d = \frac{3.24 m^2}{1.5 m^2}$ (118)	2	
Eficiencia de remoción DQO (E_{DQO})	$E_{DQO} = 100 * (1 - 0.60 * 0.208^{-0.35})$ (119)	61.29	%
Eficiencia de remoción DBO (E_{DBO})	$E_{DBO} = 100 * (1 - 0.70 * 0.208^{-0.50})$ (120)	68.69	%
DQO final (C_{efl})	$C_{efl} = 0.037 \frac{kg}{m^3} - \frac{(61.29 * 0.037 \frac{kg}{m^3})}{100}$ (121)	0.01	kg DQO/m ³
DQO final (C_{efl1})	$C_{efl1} = 0.036 \frac{kg DQO}{m^3} * 1000$	14.42	mg DQO/l
DBO final (C_{efl})	$C_{efl} = 0.135 \frac{kg}{m^3} - \frac{(68.6948 * 0.135 \frac{kg}{m^3})}{100}$ (122)	0.04	kg DBO/m ³

Continuación			
Parámetro	Sustitución de valores	Valor	Unidades
DBO final (C_{efl1})	$C_{efl1} = 0.04 \frac{kg\ DQO}{m^3} * 1000$	42.26	mg DBO/l
Producción teórica de metano (DQO_{CH4})	$DQO_{CH4} = 31.15 \frac{m^3}{d} * \left\{ \left(0.037 \frac{kg}{m^3} - 0.04 \frac{kg\ DQO}{m^3} \right) - \left(0.11 \frac{kg\ DQO\ lodo}{kg\ DQO\ apl} * 0.037 \frac{kg}{m^3} \right) \right\} \text{ (123)}$	0.58	kg DQO/d
Factor de corrección función de T ($K(t)$)	$K(t) = \frac{(0.77\ atm) * 64 \frac{g\ DQO}{mol}}{0.082 \frac{atm\ l}{mol\ K} (273 + 20^\circ C)} \text{ (124)}$	2.05	kg DQO/m ³
Producción de metano volumétrico (Q_{CH4})	$Q_{CH4} = \frac{0.58 \frac{kg\ DQO}{d}}{2.05 \frac{kg\ DQO}{m^3}} \text{ (125)}$	0.28	m ³ /d
Producción de biogás (Q_g)	$Q_g = \frac{0.28 \frac{m^3}{d}}{0.60} \text{ (126)}$	0.47	m ³ /d
Producción de biogás (Q_g)	$Q_g = 0.47 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{24h}$	0.019	m ³ /h
Colector de gas			
Número de colector	-	1	-
Longitud colector (L_t)	-	2.0	m
Ancho parte superior colector (A_g)	-	0.05	m
Altura colector (h_g)	-	0.57	m
Ángulo de la campana (α_g)	-	45	°
Ancho colector (W_{cg})	$W_{cg} = \frac{0.57\ m}{\tan 45^\circ} * \frac{1}{2} \text{ (127)}$	1.14	m
Área total colector (A_{tg})	$A_{tg} = 1.61\ m * 0.05\ m \text{ (128)}$	0.08	m ²
Tasa de liberación biogás (K_g)	$K_g = \frac{0.019 \frac{m^3}{h}}{0.08\ m^2} \text{ (129)}$	0.24	m/h
Deflectores			
Número de deflectores (N_d)	-	2	-
Altura de los deflectores (h_d)	-	0.35	m
Longitud de los deflectores (L_d)	-	2	m
Ancho del deflector (a_d)	-	0.18	m
Distancia entre el colector y el deflector	-	0.17	m

Continuación			
Parámetro	Sustitución de valores	Valor	Unidades
Ángulo del deflector (α_d)	-	45	°
Compartimento del sedimentador			
Número de compartimentos del sedimentador (N_{es})	-	1	-
Longitud (L_s)	-	1.61	m
Longitud total sedimentador (L_{ts})	$L_{tt} = 1 * 1.61 \text{ m}$ (130)	1.61	m
Ancho de cada colector (A_g)	-	0.1	m
Ancho compartimento (A_s)	-	2	m
Ancho efectivo del sedimentador (A_{es})	$A_{es} = 2 \text{ m} - 0.1 \text{ m}$ (131)	1.90	m
Área total del sedimentador (A_{ts})	$A_{ts} = 1.61 \text{ m} * 1.9 \text{ m}$ (132)	3.06	m ²
Tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s)	$v_s = \frac{31.15 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{3.06 \text{ m}^2}$ (133)	10.11	m/d
Tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s)	$v_s = 10.11 \frac{\text{m}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}$	0.42	m/h
Producción de lodos			
Producción de lodos (PI)	$Pl = 0.1 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DQO apl}} * 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$ (134)	0.12	kg SST/d
Producción volumétrica de lodos (V_s)	$V_s = \frac{0.12 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}}}{(1020 \frac{\text{kg SST}}{\text{m}^3} * 0.02)}$ (135)	0.0057	m ³ /d

Nota: los valores de ancho (a) y profundidad (h) se encuentran en la sección 3.4.3.3. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), Anexo K.

4.1.13. Resultado de las áreas de cada tren de tratamiento

El cálculo del área que ocupa cada tren de tratamiento aplicando el método de Guerchet (Ramírez, 2021) dio como resultado un área/superficie total de 39.47 m² para la opción de tratamiento 1; 35.28 m² para la opción 2 y finalmente de 23.03 m² para la opción 3 (Tablas 59, 60 y 61).

Tabla 59. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 1.

Proceso	Superficie total	Unidades
Rejillas	0.38	m ²
Trampa de grasas	0.59	m ²
Tanque ecualizador	8.13	m ²
Tanque coagulador	0.42	m ²
Tanque floculador	3.12	m ²
Lodos activados	21.43	m ²
Sedimentador secundario	5.18	m ²
Superficie total - opción 1	39.47	m²

Tabla 60. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 2.

Proceso	Superficie total	Unidades
Rejillas	0.38	m ²
Trampa de grasas	0.59	m ²
Tanque ecualizador	8.13	m ²
Sedimentador primario	5.18	m ²
Biodiscos rotatorios	15.61	m ²
Sedimentador secundario	5.18	m ²
Superficie total - opción 2	35.28	m²

Tabla 61. Superficie total ocupada por la opción de tratamiento 3.

Proceso	Superficie total	Unidades
Rejillas	0.38	m ²
Trampa de grasas	0.59	m ²
Tanque ecualizador	8.13	m ²
Tanque coagulador	0.42	m ²
Tanque floculador	3.12	m ²
Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	10.16	m ²
Superficie total - opción 3	23.03	m²

En cuanto a las áreas que ocupa cada tren de tratamiento y debido al espacio disponible dentro del camal para la implementación de la PTAR (34.73 m²) (Ilustración 16), se seleccionó como la mejor opción de tratamiento la que ocupa menor área, esta fue la opción número 3 (rejillas y trampa de grasas, coagulación/floculación, reactor anaerobio de flujo ascendente), con 23.03 m² de área. Un tratamiento similar ha sido desarrollado por Álvarez & Rodríguez ,(2021), este estudio analiza una opción de tratamiento compuesta por rejillas, trampa de grasa, sedimentador primario, reactor RAFA, filtro percolador y humedal artificial, demostrando que la opción planteada es viable y se ha aplicado.

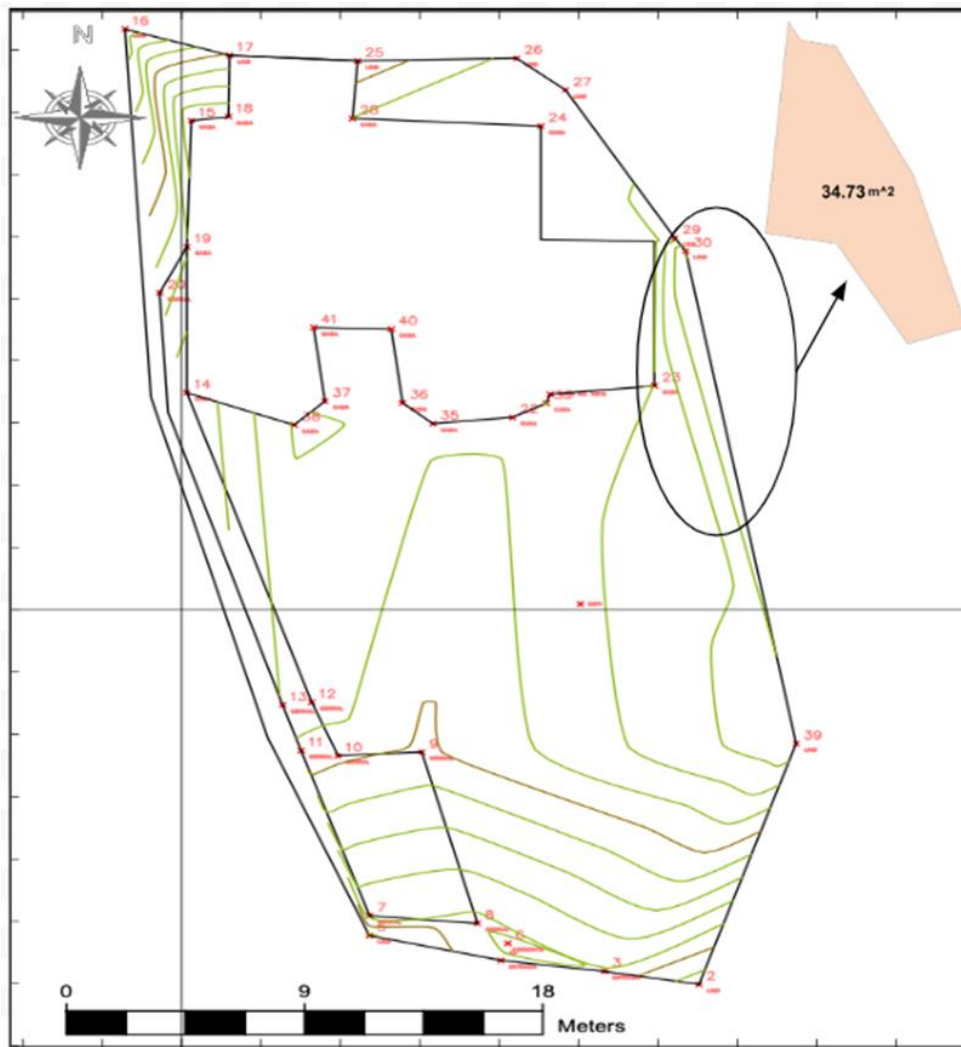


Ilustración 16. Área disponible para emplazamiento de la PTAR calculada con base en el levantamiento topográfico.

Nota: El área de color rosa está ubicada dentro del círculo negro y corresponde al área disponible para emplazar la PTAR.

4.1.14. Eficiencias de tratamiento obtenidas por el modelo de cada opción de tratamiento

En las tablas 62, 63 y 64 se presentan los resultados obtenidos a partir del modelo desarrollado en el software CapdetWorks para el efluente, según las tres opciones de tratamiento, además del porcentaje de eficiencia de remoción para cada uno de los parámetros analizados. En las Ilustraciones 17, 18 y 19 se presentan los esquemas del modelado con el software CapdetWorks 4.0 de cada una de las opciones de tratamiento propuestas.

Los resultados obtenidos a partir del software demuestran que los procesos de cada opción de tratamiento tienen eficiencias de remoción elevadas en casi todos los parámetros. La opción de tratamiento 1 presenta una eficiencia de remoción entre 82.77% y 100% para todos los parámetros excluyendo al nitrógeno, pues presenta una remoción de 52.11% (Tabla 62, Ilustración 17).

Tabla 62. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 1, mediante el software CapdetWorks.

Opción 1 – Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, coagulación/floculación y lodos activados					
Parámetro	Afluente	Efluente	Unidades	Normativa TULSMA	% remoción
Sólidos suspendidos	1200	20	g/m ³	80	98.33
DBO ₅	135	4.95	g/m ³	50	96.33
DQO	214	26.1	g/m ³	100	87.80
Nitrógeno	63.9	30.6	g/m ³	50	52.11
Fósforo	1.8	0.31	g/m ³	10	82.77
pH	7.1	10.5	-	-	-
Grasas y aceites	100	0	g/m ³	30	100
Temperatura	18	18	C	-	-

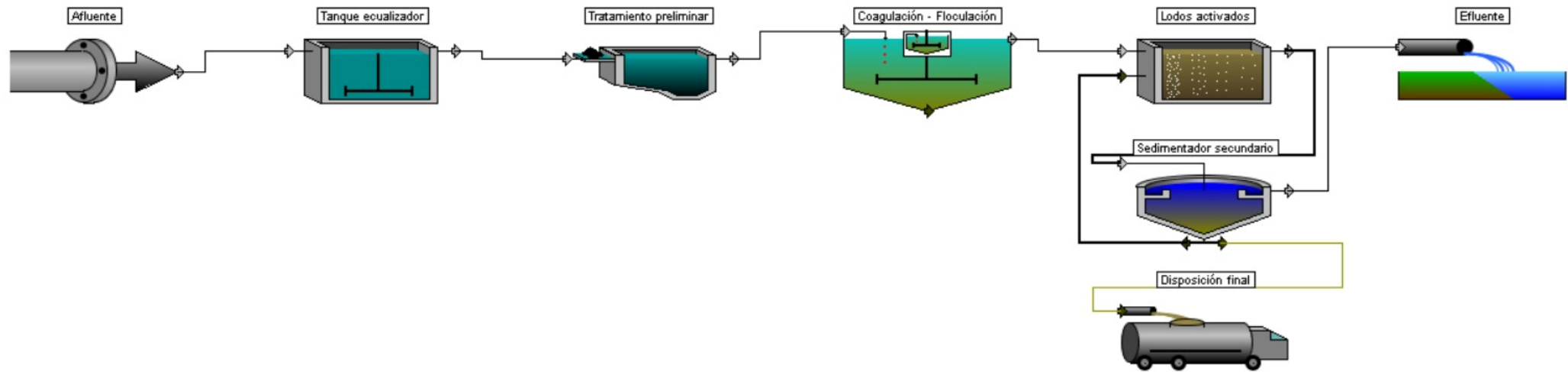


Ilustración 17. Esquema de la opción de tratamiento 1.

La opción de tratamiento 2 al igual que la opción 1 presenta valores de remoción altos para todos los parámetros a excepción del nitrógeno total, este presenta un porcentaje de remoción de 17.52%, siendo el más bajo, en cuanto a este parámetro, de todas las opciones de tratamiento (Tabla 63, Ilustración 18).

Tabla 63. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 2, mediante el software CapdetWorks.

Opción 2 – Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, sedimentador primario y biodiscos rotatorios					
Parámetro	Afluente	Efluente	Unidades	Normativa TULSMA	% remoción
Sólidos suspendidos	1200	20	g/m ³	80	98.33
DBO ₅	135	14.4	g/m ³	50	89.33
DQO	214	40.2	g/m ³	100	81.21
Nitrógeno	63.9	52.7	g/m ³	50	17.52
Fósforo	1.8	0.32	g/m ³	10	82.22
pH	7.1	7.1	-	-	-
Grasas y aceites	100	0	g/m ³	30	100
Temperatura	18	18	C	-	-

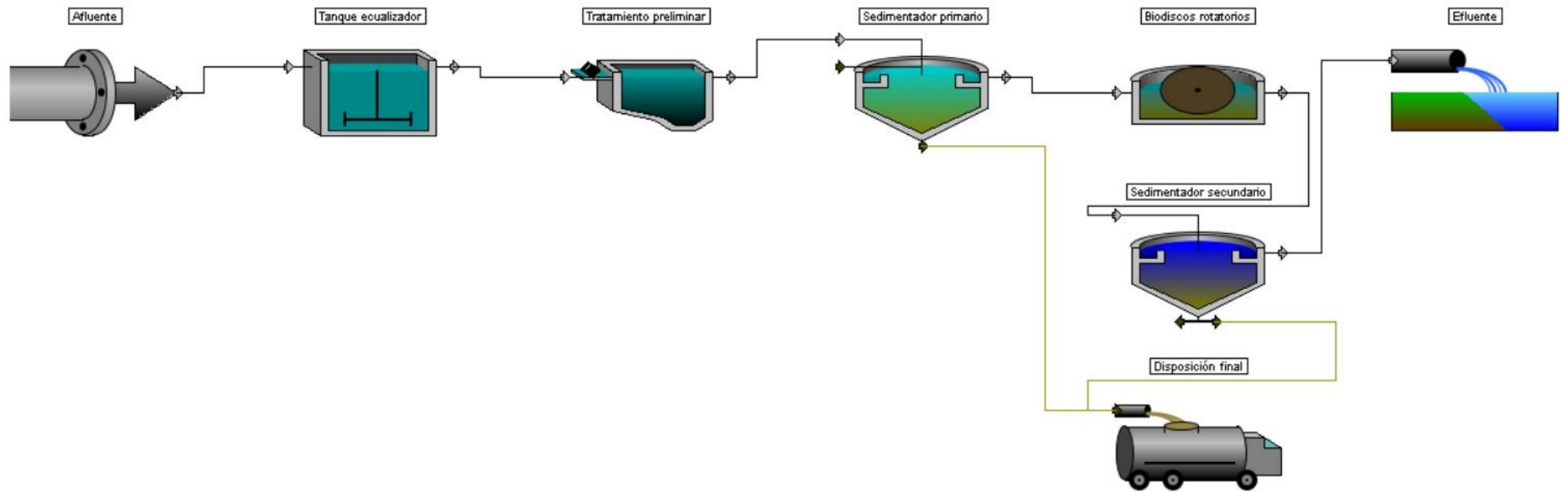


Ilustración 18. Esquema de la opción de tratamiento 2.

La eficiencia de remoción para la opción 3 presenta resultados de remoción altos, lo que resulta favorable para la depuración del agua, en este caso la DQO presenta valores inferiores a las 2 opciones anteriores, con un valor de 41.12%, con respecto al nitrógeno total esta opción de tratamiento presenta el mayor porcentaje de remoción con respecto a las otras opciones (65.88%) (Tabla 64, Ilustración 19).

Tabla 64. Resultados del modelo para la opción de tratamiento 3, mediante el software CapdetWorks.

Opción 3 – Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas. coagulación/floculación y reactor anaerobio de flujo ascendente					
Parámetro	Afluente	Efluente	Unidades	Normativa TULSMA	% remoción
Sólidos suspendidos	1200	24	g/m ³	80	97.92
DBO ₅	135	17.9	g/m ³	50	86.74
DQO	214	126	g/m ³	100	41.12
Nitrógeno	63.9	21.8	g/m ³	50	65.88
Fósforo	1.8	0.75	g/m ³	10	58.33
pH	7.1	10.5	-	-	-
Grasas y aceites	100	0	g/m ³	30	100
Temperatura	18	35	°C	-	-

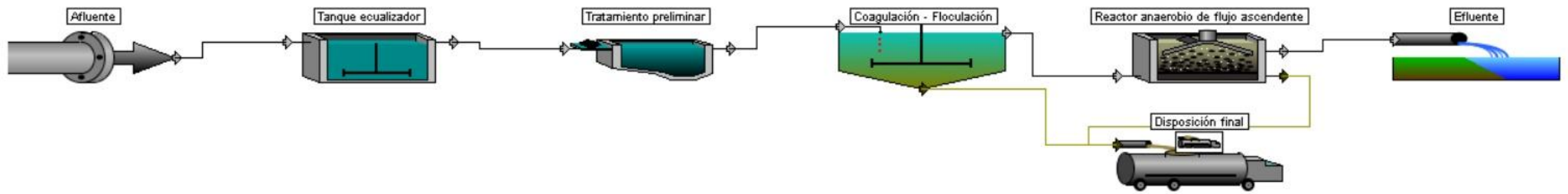


Ilustración 19. Esquema de la opción de tratamiento 3.

Comparando los resultados de eficiencia de remoción arrojados por el software CapdetWorks y los resultados obtenidos por el cálculo según la literatura consultada (Tabla 65) se tiene que la remoción de sólidos suspendidos totales según el software son superiores al 97%, coincidiendo de igual manera con los resultados de remoción del nitrógeno total y grasas y aceites, pues estos son superiores al teórico, es importante destacar que el programa arrojó una remoción de 100% de grasas y aceites para las tres opciones de tratamiento, lo que coincide con las eficiencias de remoción teóricas que estuvieron entre 96% y 99%.

Con respecto a la DBO₅ los resultados no presentan diferencias muy marcadas, pero la remoción teórica es superior a los resultados del programa CapdetWorks. Para DQO las diferencias son notorias pues según las eficiencias teóricas las tres opciones de tratamiento presentan una remoción entre 85% y 90%, mientras que según el software la remoción más alta es para la opción con 87.80% seguida de la opción 2 con 81.21% y finalmente la opción 3 con 41.12% siendo la remoción más baja (Tabla 65).

Tabla 65. Comparación eficiencias de remoción.

Eficiencias de remoción						
Opción de Tratamiento	Teóricas (%)			CapdetWorks (%)		
	1	2	3	1	2	3
Sólidos suspendidos totales	97.45	93.57	96.60	98.33	98.33	97.92
Nitrógeno total	40.20	44.75	8.00	52.11	17.52	65.88
Grasas y aceites	97.70	96.10	98.70	100	100	100
DBO ₅	96.69	89.24	94.20	96.33	89.33	86.74
DQO	89.24	89.24	85.05	87.80	81.21	41.12
Coliformes fecales	94.90	98.98	94.90	-	-	-

Las eficiencias de remoción según los modelos realizados en el software CapdetWorks arrojan que la mejor opción de tratamiento es la número 1 (Rejillas y trampa de grasas, coagulación/floculación y lodos activados), ya que los porcentajes de remoción sobrepasan el 80 % para todos los parámetros, excepto para el nitrógeno total, pues el

porcentaje de remoción fue de 52.11 %, siendo el más alto con respecto a las demás opciones.

Una vez que se han evaluado los tres criterios establecidos (eficiencia de remoción teórica, área que ocupa cada tren de tratamiento y eficiencia de remoción del modelo), podemos observar que, cada una de las opciones de tratamiento resultan ser mejores en base a un criterio analizado, por ejemplo, la opción de tratamiento 1 resulta ser la mejor en cuanto a eficiencia de remoción teórica y calculada con el *software*, pero no cumple con el criterio del espacio físico disponible, por lo cual, al ser la DBO_5 el parámetro base para determinar el tren de tratamiento a aplicar en el camal municipal de Girón, se ha tomado la opción que ocupa menor área, ya que el área disponible en el camal es el limitante (34.73 m²) (Ilustración 16), siendo escogida la opción 3 con 23.03 m² de área y una eficiencia de remoción alta de DBO_5 (94.20% según los cálculos de eficiencia de remoción y 86.74 % según el modelo realizado en CapdetWorks). Se recalca que, según las visitas realizadas al camal y las conversaciones con los encargados del manejo del establecimiento, el área adecuada para emplazar la PTAR, para que esta no interfiera con el normal desarrollo de las actividades, es la que se observa en la Ilustración 16.

En el estudio “Sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero Municipal de Tacna” realizado por Núñez & Lupaca (2021), se implementa una opción de tratamiento similar a la establecida como la mejor opción en este trabajo de tesis, esta está compuesta por cribas, sedimentador primario, trampa de grasas, reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y sedimentador secundario. Este estudio presenta los valores de la caracterización del afluente y efluente proveniente del matadero Municipal de Tacna, a partir de estos datos y aplicando la Ecuación (4) se calcularon las eficiencias de remoción para la DBO_5 , DQO, SST, aceites y grasa y N, estas fueron de 45 % para la DBO_5 , 59 % para DQO, 55% para SST, 98 % para aceites y grasas y de 98 % para N. Al comparar las eficiencias de este estudio con las del presente trabajo, se puede observar que el parámetro base (DBO_5) tiene una remoción mayor al 50 %, lo que es destacable en este estudio pues la carga contaminante supera los 4000 mg/l para la DBO_5 . Al contrastar estos resultados con los obtenidos en el cálculo de la eficiencia de remoción teórica y mediante el software CapdetWorks este valor resulta muy poco favorable y representativo, pues las eficiencias de remoción de DBO_5 obtenidas fueron superiores al 85 %.

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- En base al diagnóstico ambiental ejecutado en el área de estudio se concluye que, en el camal municipal del cantón Girón las actividades que se desarrollan durante los procesos generan residuos líquidos, los cuales al no tener un tratamiento y disposición final adecuada causan impactos a los factores ambientales, principalmente en el río Chorro que es donde van a parar todos los residuos.
- La caracterización del agua residual procedente del camal municipal de Girón, realizada en los meses de mayor demanda del camal (octubre y noviembre por las fiestas) y en los días de la semana de mayor demanda (sábados y en casos excepcionales domingo) arrojó resultados máximos de: 1 200 mg/l para SST, 63.86 mg/l para NT, 72 mg/l para grasas y aceites, 135 mg/l para DBO₅, 214 mg/l para DQO y finalmente de 1.2E+04 y 6.7E+06 NMP/100ml para CF y CT, respectivamente.
- Los resultados de la caracterización obtenidos en el laboratorio fueron comparados con la normativa ambiental vigente TULSMA (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria), LIBRO VI, Anexo 1, tabla 10, donde se concluye que los parámetros: Coliformes Fecales y Coliformes Totales, sobrepasan el valor límite permisible que es 1.20E+04 NMP/100 ml, y 6.70E+06 NMP/100 ml respectivamente; es decir, existe contaminación biológica. En cuanto al parámetro DBO₅, la descarga sin tratamiento presentó un valor de 135 mg/l, que representa 170 % más que el valor límite permisible de la normativa que es 50 mg/l. De igual manera, en el parámetro DQO, la descarga sin tratamiento previo presentó un valor de 214 mg/l, que representa 114% más que el valor límite permisible de la normativa que es 100 mg/l. En tanto, los sólidos suspendidos totales, sobrepasan el valor límite permisible que es 80 mg/l, pues el resultado de laboratorio arrojó un valor de 1200 mg/l.
- Las eficiencias de remoción calculados según datos de la literatura para los diferentes contaminantes, considerando diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales, expusieron que para la opción de tratamiento 1 (Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, coagulación/floculación y lodos activados) las eficiencias de remoción para todos los parámetros son superiores al 90 %, a excepción del NT y DQO, que presentan valores de 40.20 y 89.24 %, respectivamente. Para la opción 2 (Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, sedimentador primario y biodiscos rotatorios) las eficiencias de remoción para SST, grasas y aceites y coliformes fecales son superiores al 90%, pero con respecto a la DQO (89.24 %),

DBO₅ (89.24 %) y NT (44.75 %) estos presentan valores inferiores, con respecto a las otras opciones. Finalmente, la opción 3 (Rejillas, tanque de igualamiento y trampa de grasas, coagulación/floculación y reactor anaerobio de flujo ascendente) presenta valores superiores al 90 % para todos los parámetros a excepción del NT y DQO, que presentan valores de 8 % y 85.05%, respectivamente. Por lo que, tomando en cuenta las eficiencias de remoción según la literatura en relación al parámetro base DBO₅, la mejor opción de tratamiento sería la número 1.

- Los cálculos aplicados permitieron determinar el caudal de las aguas residuales generadas durante el desarrollo de las actividades propias del proceso de faenamiento en el camal municipal del cantón Girón, siendo este de 0.36 L/s.
- En base a la interpretación de resultados y al caudal se concluye que el prototipo del diseño de la planta de tratamiento para las aguas residuales del camal municipal del cantón Girón que mejor se adapta al espacio físico y presenta uno de los mejores resultados con respecto a eficiencias de remoción, es la opción de tratamiento 3: rejillas y trampa de grasas, coagulación/floculación y reactor anaerobio de flujo ascendente, pues presenta una eficiencia de remoción del parámetro base (DBO₅) de 94.20% según los cálculos (datos teóricos) y de 86.74 % según el modelo realizado en CapdetWorks.

5.2. Recomendaciones

- La caracterización del agua residual del camal municipal de Girón demostró que el efluente está compuesto de contaminantes que sobrepasan los límites establecidos por la normativa ecuatoriana vigente, por ello se recomienda la implementación de la PTAR escogida en este estudio para que contribuya a disminuir la carga contaminante y que el efluente pueda ser reutilizado o descargado al río sin causar afecciones al medio ambiente.
- Se recomienda a los funcionarios del camal municipal de Girón establecer un horario específico para las jornadas de faenamiento, pues esto contribuirá a que cuando la PTAR diseñada sea implementada trabaje de mejor manera con respecto a los diferentes procesos en los que se establecen tiempos de retención necesarios.
- Realizar un estudio y análisis para adoptar la mejor medida para el tratamiento de lodos.
- Se recomienda realizar un uso adecuado del agua potable durante las jornadas de faenamiento, pues se analizó que existe un gran desperdicio de la misma.

- Reutilizar los desechos orgánicos producidos durante la jornada de faenamiento y no únicamente enviarlos al relleno sanitario.

Referencias bibliográficas

- Abdel, M. (2013). *Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system*. Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 25(2), 89-95. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S101836391200013X>
- Achiras. (2015). Municipio de Girón adecua los equipos de su camal. En «El portal de Girón». <https://achiras.net.ec/municipio-de-giron-adecua-los-equipos-de-su-camal/>
- Acosta, M. (2017). *Propuesta de optimización del tratamiento de aguas residuales de la empresa DANEC, S.A.* [Tesis de grado]. UDLA.
- Álvarez, L. (2016). *Estudio de los parámetros de diseño en el pretratamiento de pequeñas Plantas Depuradoras de Residuales* [Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas]. dspace.uclv.edu.cu
- Álvarez, A. C., & Murillo, P. A. (2018). *Propuesta para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca* [Universidad El Bosque]. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3378>
- Alvarez, L., & Suni, E. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal del Cusco* [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo.
- Alvarez, A., & Rodríguez, M. (2021). *Análisis de Operaciones Unitarias para el planteamiento de mejora en el tratamiento de aguas residuales del Matadero Municipal de Tacna*.
- Ayala, R., & Márquez, G., (2008). *La enseñanza–aprendizaje, A. D. E. FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN)*.
- Bachoon, S., Markand, S., Otero, E., Perry, G., & Ramsubaugh, A. (2010). Assessment of non-point sources of fecal pollution in coastal waters of Puerto Rico and Trinidad. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 1117-1121. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2010.04.020>
- Beltrán, F. (1985). SANEAMIENTO DE MATADEROS DE BOVINOS, OVINOS Y PORCINOS. *BOLETIN DE LA OFICINA SANITARIA PANAMERICANA*, 17. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16953/v98n3p211.pdf?sequence=1>
- Briceño, K., & Castillo, X. (2009). *Diagnóstico ambiental y plan de manejo para el camal de Zapotillo*. Universidad Nacional de Loja.
- Casp, A., & López, R. (2004). *Tecnología de mataderos*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (1990). *Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales*.
- Chasi, P., & Montenegro, M. (2016). *Análisis de eficiencia y propuesta de diseño de un tanque ecualizador y un tanque DAF para la planta de tratamiento de aguas residuales en la extractora de aceite de palma Teobroma* [Tesis de grado]. Universidad Central del Ecuador.
- Chuchón, S., & Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de

aguas residuales" La Totorá", Ayacucho, Perú. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 165-171.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a20v7n1-2.pdf>

CONAGUA. (2015). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente* (Issue 28).
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20M anual%20Reactores%20anaerobios%20de%20flujo%20asce.pdf

Constitución de la República del Ecuador, 449 Registro Oficial 449 (2008). www.lexis.com.ec

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de agua residuales: para núcleos pequeños y descentralizados*.

Delgadillo, O., Camacho, A., Luis, •, Pérez, F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho Calzada, K. (2012). *Tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible*. 14(1), 78-97.

Encinas, M. D. (2011). *Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos* (Primera).
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>

Espigares, M., & Pérez, J. (s. f.). *Aguas Residuales. Composición*.

Espinoza, S. (2017). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del Distrito de Tumán* [Universidad de Lambayeque].
<https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/111/3/TESIS%202017%20SALLY.pdf>

Hathaway, S., Paskin, R., Anil, H., Buncic, S., Fischer, A., Small, A., Warriss, P., & Wotton, S. (2004). *Buenas prácticas para la industria de la carne. FAO Producción y sanidad animal*. (Issue 2). FAO & Fondation Internationale Carrefour.
<https://www.fao.org/publications/card/es/c/49cc9db8-e033-5c02-bc20-a72e4485baad/>

INEC. (2022). INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. En ecuadorencifras.gob.ec.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

Lara, E. (2011). *Las aguas residuales del camal municipal del cantón Baños y su incidencia en la contaminación del río Pastaza en la provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1611/1/Tesis%20587%20-%20Lara%20Villac%C3%ADs%20Ligia%20Elena.pdf>

Lluma, J., & Mendoza, I. (2016). *Evaluación hidráulico-sanitario de la planta de tratamiento de aguas residuales del camal metropolitano de Quito* [Tesis de grado]. Universidad Central del Ecuador.

López, J. (2015). *Determinación de la eficiencia de la laguna de oxidación de las aguas residuales del camal municipal del cantón Lago Agrío provincia Sucumbíos mediante el rediseño de la infraestructura física* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja.

Martínez, K., & Yugcha, F. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento para agua de pozo en la industria láctea «Grupo Rossi»* [Tesis de grado]. Universidad Central del Ecuador.

- Menendez, C., Perez, J., & Zumalacárregui, J. (2005). *Plantas de tratamiento de aguas residuales mediante filtros percoaldores*. Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echeverria.
- Montaño, D., Reina, A., & Rodríguez, M. (2020). *Dimensionamiento y puesta en marcha de la tecnología de un biodisco a escala piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario ubicado en el Municipio de Cucunubá-Cundinamarca*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26031/ReinaBlandonDavidAndres2020.PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pallarés, C. (2016). *Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino*. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/165304/TFG_2016_PallaresBosqueCristina.pdf?sequence=1
- Pierson, M. (2001). Modulo 2. Microorganismos Indicadores de calidad de agua. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/2Indicadores_6422.pdf
- Ramalho, R. (2004). *Tratamiento de aguas residuales* (Reverté, Ed.; Segunda Edición).
- Ramírez, A. (2021). *Propuesta de redistribución en planta de Maderatto LTDA. encaminada a la mejora de la productividad del proceso productivo de superficies sólidas*. Universidad Católica de Colombia.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis* (BP Exploration Company, Ed.; Segunda).
- Ramírez, E. (2004). *Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/Capitulo11Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>
- Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales* (Vol. 27). Marcombo.
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua* (2da ed.). Escuela colombiana de ingeniería.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño* (Tercera). <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/22876/1/11991.pdf>
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño* (Tercera edición). Escuela colombiana de ingeniería. <https://catalogo>.
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *DICIEMBRE DE*, 27(3), 172-181.
- Sans, R., & de Pablo, J. (1989). *Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos* (Primera). Marcombo. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kumplOJs6T0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Sans,+R.,+Ribas,+J.,+\(1989\).+Ingenier%C3%ADa+ambiental:+contaminaci%C3%B3n+y+tratamientos&ots=0E5CX5VJuj&sig=PocrTiiL3tUJ1MTPIB0ot0kfaDY#v=onepage&q=Sans%2C%20R.%2C%20Ribas%2C%20J.%2C%20\(1989\).%20Ingenier%C3%ADa%20ambiental%3A%20contaminaci%C3%B3n%20y%20tratamientos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kumplOJs6T0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Sans,+R.,+Ribas,+J.,+(1989).+Ingenier%C3%ADa+ambiental:+contaminaci%C3%B3n+y+tratamientos&ots=0E5CX5VJuj&sig=PocrTiiL3tUJ1MTPIB0ot0kfaDY#v=onepage&q=Sans%2C%20R.%2C%20Ribas%2C%20J.%2C%20(1989).%20Ingenier%C3%ADa%20ambiental%3A%20contaminaci%C3%B3n%20y%20tratamientos&f=false)
- Semarnat. (2015, noviembre). *Compendio de estadísticas ambientales*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016/dgeiawf.semarnat.gob.mx

_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html#:~:text=La%20DBO5%20determina%20la%20cantidad,afectaci%C3%B3n%20a%20los%20ecosistemas%20acu%C3%A1ticos.

Seoáñez, M. (2001). *Tratado de Gestión del Medio Ambiente urbano*. Mundi - Prensa.

Tafur, H. (2017). Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiyacu, distrito de Moyobamba. Sainz, J. (2007). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales* (1.a ed.). Fundación EOI.
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3044/1/SANITARIA%20-%20Erickson%20Henner%20Tafur%20Bardales.pdf>

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización: Vol. I y II* (J. de D. Trillo Montsoriu & I. Trillo Fox, Trans.; Tercera edición). McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, D., & Inc., M. & E. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse* (Cuarta edición, Vol. 95). McGraw-Hill New York.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Raymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2022). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (segunda ed.). Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag).

Toro, A. (2021). *PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE MADERATTO LTDA. ENCAMINADA A LA MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO DE SUPERFICIES SÓLIDAS*.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/27221/1/PROPUESTA%20DE%20REDISTRIBUCI%C3%A0N%20EN%20PLANTA%20DE%20MADERATTO%20LTDA.%20ENCAMINADA%20A%20LA%20MEJORA%20EN%20LA%20PRODUCTIVIDAD%20DEL%20PROCESO%20PRODUCTIVO%20DE%20SUPERFICIES%20S%C3%A0LIDAS.pdf>

Tritt, P., & Schuchardt, F. (1992). Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review. *Bioresource Technology*, 41(3), 235-245. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90008-L](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90008-L)

TULSMA. (2003). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del MAGAP* (p. 293). http://www.emurplag.gob.ec/sites/default/files/TextUniMagap_0.pdf

Uzhca, J. (2014). *Concejo de Planificación del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Girón*. 177.

Valencia, J. (2012). *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Bovinos en el Camal Frigorífico Municipal Riobamba*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/1983>

Vásquez, A., Aguinaga, E., Zegarra, A., & Timaná, F. (2013). *Propuesta de mejora de tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Piura.

Villarroel, K. (2018). *Evaluación de bienestar animal durante el aturdimiento de bovinos sacrificados en un Centro de Faenamiento Municipal*.

Vizcaíno, D. (2016). *Manual de procedimiento para la vigilancia y control de la inspección ante y post-mortem de animales de abasto en mataderos* (p. 77).
<https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/fae3.pdf>

Anexos

Anexo A. Límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN-	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NPM	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Color real 1	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	50
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	100
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	Fenol	mg/l	5
Fósforo total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10

Continuación

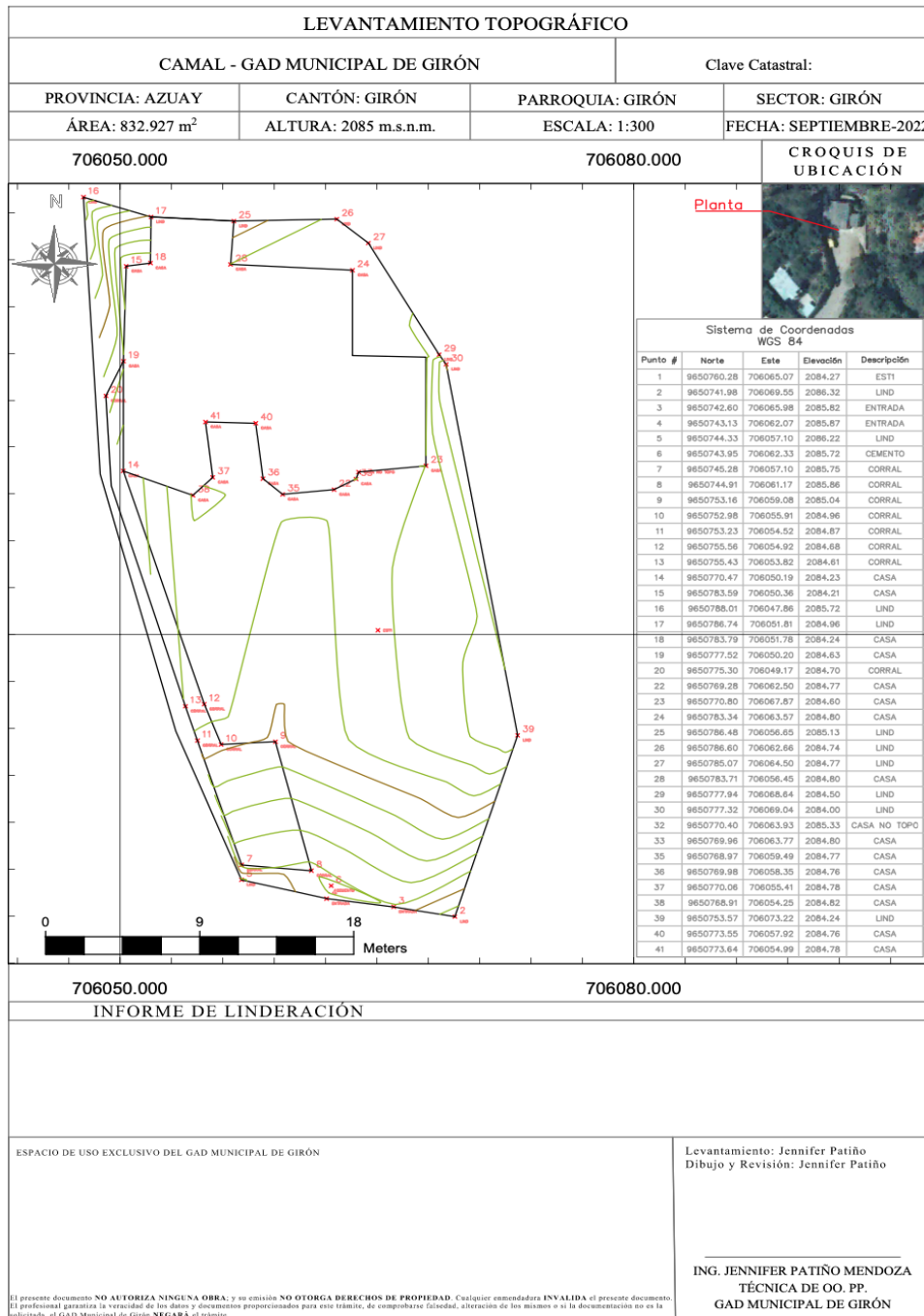
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles	-	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH	-	5-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	80
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0.5
Temperatura	°C	-	< 35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

Fuente: Tabla 10 de la revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA, s.f)

Anexo B. Visita al camal para verificación del área disponible y levantamiento topográfico del camal



Visita al camal.



Levantamiento topográfico

Puntos del levantamiento

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	9650760.28	706065.065	2084.271	EST1
2	9650741.98	706069.549	2086.322	LIND
3	9650742.6	706065.982	2085.822	ENTRADA
4	9650743.13	706062.067	2085.871	ENTRADA
5	9650744.33	706057.097	2086.222	LIND
6	9650743.95	706062.333	2085.716	CEMENTO
7	9650745.28	706057.102	2085.751	CORRAL
8	9650744.91	706061.175	2085.856	CORRAL
9	9650753.16	706059.076	2085.041	CORRAL
10	9650752.98	706055.908	2084.961	CORRAL
11	9650753.23	706054.519	2084.869	CORRAL
12	9650755.56	706054.919	2084.677	CORRAL
13	9650755.43	706053.82	2084.612	CORRAL
14	9650770.47	706050.195	2084.234	CASA
15	9650783.59	706050.361	2084.211	CASA
16	9650788.01	706047.863	2085.716	LIND
17	9650786.74	706051.81	2084.96	LIND
18	9650783.79	706051.775	2084.243	CASA
19	9650777.52	706050.203	2084.629	CASA
20	9650775.3	706049.172	2084.703	CORRAL
22	9650769.28	706062.501	2084.766	CASA
23	9650770.8	706067.867	2084.597	CASA
24	9650783.34	706063.571	2084.796	CASA
25	9650786.48	706056.649	2085.127	LIND
26	9650786.6	706062.66	2084.742	LIND
27	9650785.07	706064.505	2084.774	LIND
28	9650783.71	706056.453	2084.796	CASA
29	9650777.94	706068.636	2084.497	LIND
30	9650777.32	706069.045	2083.996	LIND
				CASA NO
32	9650770.4	706063.931	2085.327	TOPO
33	9650769.96	706063.774	2084.803	CASA
35	9650768.97	706059.495	2084.77	CASA
36	9650769.98	706058.346	2084.763	CASA
37	9650770.06	706055.412	2084.785	CASA
38	9650768.91	706054.252	2084.817	CASA
39	9650753.57	706073.218	2084.244	LIND
40	9650773.55	706057.92	2084.763	CASA
41	9650773.64	706054.987	2084.785	CASA

Anexo C. Datos brindados por el personal del camal municipal de Girón

Datos de faenamiento (Dotación de faena)

Registros del ganado Bovino en el Camal municipal de Girón al mes de febrero del 2019

Sacha	5 do 1	Anguila bardi	1 H	Puntada	109	grasa
Sacha	5 do 1	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	110	grasa
Sacha	5 do 1	Jeri Huatado	2 H	Puntada	111	grasa
Sacha	5 do 1	Luzma Villa	1 H	Puntada	112	grasa
Sacha	7 do 1	Estia Pulla	1 H	Puntada	113	grasa
Sacha	7 do 1	Muti Soria	2 H	Puntada	114	grasa
Sacha	7 do 1	Jeri Huatado	1 H	Puntada	115	grasa
Sacha	7 do 1	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	116	grasa
Sacha	7 do 1	Anguila bardi	1 H	Puntada	117	grasa
mar	15 do 1	Estia Pulla	1 H	Puntada	118	grasa
mar	16 do 1	Jeri Huatado	1 H	Puntada	119	grasa
Sacha	19 do 1	Luzma Villa	1 H	Puntada	120	grasa
Sacha	19 do 1	Anguila bardi	1 H	Puntada	121	grasa
Sacha	19 do 1	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	122	grasa
Sacha	19 do 1	Jeri Huatado	2 H	Puntada	123	grasa
Sacha	19 do 1	Estia Pulla	1 H	Puntada	124	grasa
Juan	24 do 1	Anguila bardi	1 H	Puntada	125	grasa
Sacha	26 do 1	Muti Soria	1 H	Puntada	126	grasa
Sacha	26 do 1	Anguila bardi	1 H	Puntada	127	grasa
Sacha	26 do 1	Camuñilanguiz	1 H	negra	128	grasa
Sacha	26 do 1	Jeri Huatado	2 H	Puntada	129	grasa
Sacha	26 do 1	Luzma Villa	1 H	negra	130	grasa
Sacha	26 do 1	Estia Pulla	1 H	Puntada	131	grasa

Registros del ganado Bovino en el Camal municipal de Girón al mes de marzo del 2019

Sacha	2 do 2	Anguila bardi	1 H	Puntada	132	grasa
Sacha	2 do 2	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	133	grasa
Sacha	2 do 2	Luzma Villa	1 H	Puntada	134	grasa
Sacha	2 do 2	Estia Pulla	1 H	negra	135	grasa
Sacha	2 do 2	Muti Soria	1 H	negra	136	grasa
Sacha	2 do 2	Jeri Huatado	2 H	Puntada	137	grasa
Sacha	4 do 2	Anguila bardi	1 H	negra	138	grasa
Sacha	4 do 2	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	139	grasa
Sacha	4 do 2	Jeri Huatado	2 H	Puntada	140	grasa
Sacha	4 do 2	Luzma Villa	1 H	Puntada	141	grasa
Sacha	4 do 2	Estia Pulla	1 H	negra	142	grasa
Sacha	4 do 2	Muti Soria	1 H	Puntada	143	grasa
Sacha	6 do 2	Anguila bardi	1 H	Puntada	144	grasa
Sacha	6 do 2	Luzma Villa	1 H	Puntada	145	grasa
Sacha	6 do 2	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	146	grasa
Sacha	6 do 2	Jeri Huatado	1 H	Puntada	147	grasa
Sacha	6 do 2	Estia Pulla	1 H	Puntada	148	grasa
Sacha	6 do 2	Muti Soria	1 H	Puntada	149	grasa
Sacha	8 do 2	Anguila bardi	1 H	Puntada	150	grasa
Sacha	8 do 2	Luzma Villa	1 H	Puntada	151	grasa
Sacha	8 do 2	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	152	grasa
Sacha	8 do 2	Jeri Huatado	1 H	Puntada	153	grasa
Sacha	8 do 2	Estia Pulla	1 H	Puntada	154	grasa
Sacha	8 do 2	Muti Soria	1 H	Puntada	155	grasa
mar	19 do 2	Jeri Huatado	1 H	Puntada	156	grasa
mar	20 do 2	Blanca Puntada	1 H	Puntada	157	grasa
Juan	27 do 2	Anguila bardi	1 H	Puntada	158	grasa
Sacha	23 do 2	Anguila bardi	1 H	Puntada	159	grasa
Sacha	23 do 2	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	160	grasa
Sacha	23 do 2	Jeri Huatado	1 H	Puntada	161	grasa

Registros del ganado Bovino en el Camal municipal de Girón al mes de marzo del 2019

Sacha	23 do 2	Luzma Villa	1 H	Puntada	162	grasa
Sacha	23 do 2	Estia Pulla	1 H	Puntada	163	grasa
Sacha	23 do 2	Muti Soria	1 H	Puntada	164	grasa
mar	2 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	165	grasa
Sacha	2 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	166	grasa
Sacha	2 do 3	Estia Pulla	1 H	Puntada	167	grasa
Sacha	2 do 3	Muti Soria	1 H	Puntada	168	grasa
Sacha	2 do 3	Jeri Huatado	1 H	negra	169	grasa
mar	6 do 3	Anguila bardi	1 H	negra	170	grasa
Sacha	9 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	171	grasa
Sacha	9 do 3	Jeri Huatado	2 H	Puntada	172	grasa
Sacha	9 do 3	Luzma Villa	1 H	Puntada	173	grasa
Sacha	9 do 3	Estia Pulla	1 H	Puntada	174	grasa
Sacha	9 do 3	Muti Soria	1 H	Puntada	175	grasa
mar	12 do 3	Anguila bardi	1 H	negra	176	grasa
Sacha	16 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	177	grasa
Sacha	16 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	178	grasa
Sacha	16 do 3	Jeri Huatado	1 H	Puntada	179	grasa
Sacha	16 do 3	Luzma Villa	1 H	Puntada	180	grasa
Sacha	16 do 3	Estia Pulla	1 H	negra	181	grasa
Sacha	16 do 3	Muti Soria	1 H	Puntada	182	grasa
mar	19 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	183	grasa
mar	20 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	184	grasa
Sacha	23 do 3	Luzma Villa	1 H	negra	185	grasa

Registros del ganado Bovino en el Camal municipal de Girón al mes de marzo del 2019

Sacha	23 do 3	Anguila bardi	1 H	negra	186	grasa
Sacha	23 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	187	grasa
Sacha	23 do 3	Estia Pulla	1 H	negra	188	grasa
Sacha	23 do 3	Muti Soria	1 H	Puntada	189	grasa
Sacha	23 do 3	Jeri Huatado	1 H	Puntada	190	grasa
mar	26 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	191	grasa
mar	27 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	192	grasa
Sacha	30 do 3	Muti Soria	1 H	Puntada	193	grasa
Sacha	30 do 3	Anguila bardi	1 H	Puntada	194	grasa
Sacha	30 do 3	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	195	grasa
Sacha	30 do 3	Luzma Villa	1 H	Puntada	196	grasa
Sacha	30 do 3	Estia Pulla	1 H	negra	197	grasa
Sacha	30 do 3	Jeri Huatado	2 H	Puntada	198	grasa
mar	2 do 4	Anguila bardi	1 H	negra	199	grasa
mar	3 do 4	Jeri Huatado	1 H	Puntada	200	grasa
Sacha	6 do 4	Anguila bardi	1 H	negra	201	grasa
Sacha	6 do 4	Camuñilanguiz	1 H	Puntada	202	grasa
Sacha	6 do 4	Jeri Huatado	1 H	Puntada	203	grasa
Sacha	6 do 4	Luzma Villa	1 H	Puntada	204	grasa
Sacha	6 do 4	Estia Pulla	1 H	negra	205	grasa
Sacha	6 do 4	Muti Soria	1 H	Puntada	206	grasa
mar	9 do 4	Anguila bardi	1 H	Puntada	207	grasa
Sacha	13 do 4	Anguila bardi	1 H	negra	208	grasa

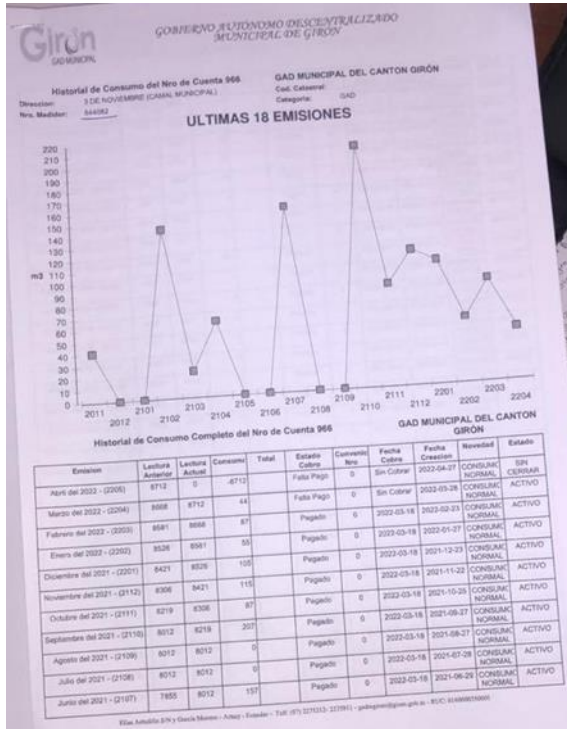
Anexo D. Datos brindados por el personal del camal municipal de Girón

Consumo de agua del camal

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE GIRÓN

Emision	Lectura Anterior	Lectura Actual	Consumo	Total	Estado Cobro	Comenta No	Fecha Cobro	Fecha Creacion	Novedad	Estado
Octubre del 2018 - (1912)	5518	5518	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-11-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2018 - (1911)	4936	5016	80		Pagado	0	2018-03-13	2018-10-23	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2018 - (1910)	4936	4936	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-08-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2018 - (1909)	4936	4936	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-07-07	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2018 - (1908)	4936	4936	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-06-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2018 - (1907)	4936	4936	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-05-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2018 - (1906)	4936	4936	0		Pagado	0	2018-03-13	2018-04-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Abril del 2018 - (1905)	4940	4930	80		Pagado	0	2018-04-17	2018-03-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2018 - (1904)	4748	4940	192		Pagado	0	2018-04-03	2018-03-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2018 - (1903)	4591	4748	157		Pagado	0	2018-04-03	2018-01-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2018 - (1902)	4591	4591	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-12-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2017 - (1901)	4517	4591	74		Pagado	0	2018-04-03	2018-11-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2017 - (1710)	4363	4517	154		Pagado	0	2018-04-03	2018-10-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2017 - (1711)	4291	4363	72		Pagado	0	2018-04-03	2018-09-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2017 - (1710)	4298	4291	83		Pagado	0	2018-04-03	2018-08-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2017 - (1709)	4119	4298	89		Pagado	0	2018-04-03	2018-07-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2017 - (1708)	4013	4119	104		Pagado	0	2018-04-03	2018-06-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2017 - (1707)	3990	4013	423		Pagado	0	2018-04-03	2018-05-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2017 - (1706)	3990	3990	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-04-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Abril del 2017 - (1705)	3990	3990	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-03-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2017 - (1704)	3990	3990	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-02-21	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2017 - (1703)	3990	3990	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-01-24	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2017 - (1702)	3492	3990	101		Pagado	0	2018-04-03	2018-11-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2016 - (1701)	3360	3492	127		Pagado	0	2018-04-03	2018-10-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2016 - (1700)	3228	3360	132		Pagado	0	2018-04-03	2018-10-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2016 - (1611)	3071	3228	157		Pagado	0	2018-04-03	2018-10-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2016 - (1610)	2871	3071	100		Pagado	0	2018-04-03	2018-09-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2016 - (1609)	2774	2871	107		Pagado	0	2018-04-03	2018-08-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2016 - (1608)	2774	2774	0		Pagado	0	2018-04-03	2018-07-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2016 - (1607)	2398	2774	436		Pagado	0	2018-04-03	2018-06-23	CONSULAC NORMAL	ACTIVO

FECHA IMPRESION: 10/05/2022 14:54



GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE GIRÓN

Emision	Lectura Anterior	Lectura Actual	Consumo	Total	Estado Cobro	Comenta No	Fecha Cobro	Fecha Creacion	Novedad	Estado
Mayo del 2021 - (2106)	7955	7955	0		Pagado	0	2021-05-19	2021-05-03	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Abril del 2021 - (2103)	7955	7955	63		Pagado	0	2021-05-01	2021-03-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2021 - (2104)	7779	7779	22		Pagado	0	2021-05-01	2021-03-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2021 - (2105)	7627	7779	143		Pagado	0	2021-05-01	2021-01-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2021 - (2102)	7627	7627	0		Pagado	0	2021-05-01	2021-01-24	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2020 - (2101)	7627	7627	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-11-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2020 - (2013)	7627	7627	41		Pagado	0	2021-05-01	2020-10-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2020 - (2011)	7627	7627	41		Pagado	0	2021-05-01	2020-09-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2020 - (2010)	6903	7627	683		Pagado	0	2021-05-01	2020-08-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2020 - (2008)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-07-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2020 - (2006)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-06-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2020 - (2007)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-06-17	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2020 - (2005)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-05-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Abril del 2020 - (2004)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-05-19	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2020 - (2003)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-04-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2020 - (2002)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-03-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2020 - (2001)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-01-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2019 - (2001)	6903	6903	0		Pagado	0	2021-05-01	2020-01-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2019 - (1912)	6903	6903	100		Pagado	0	2021-05-01	2019-11-21	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2019 - (1911)	6903	6903	134		Pagado	0	2021-05-01	2019-10-23	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2019 - (1910)	6901	6903	80		Pagado	0	2021-05-01	2019-09-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2019 - (1909)	6919	6901	82		Falta Pago	0	Sin Cobrar	2019-08-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2019 - (1908)	6388	6919	131		Falta Pago	0	Sin Cobrar	2019-07-22	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2019 - (1907)	6207	6388	81		Falta Pago	0	Sin Cobrar	2019-06-24	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2019 - (1906)	6227	6227	100		Pagado	0	2019-05-14	2019-05-27	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Abril del 2019 - (1905)	6101	6227	126		Pagado	0	2019-05-14	2019-04-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2019 - (1904)	6020	6101	81		Pagado	0	2019-05-14	2019-03-23	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2019 - (1903)	5925	6020	95		Pagado	0	2019-05-14	2019-02-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2019 - (1902)	5795	5925	130		Pagado	0	2019-03-13	2019-01-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2018 - (1901)	5519	5795	276		Pagado	0	2019-03-13	2019-12-21	CONSULAC NORMAL	ACTIVO

FECHA IMPRESION: 10/05/2022 14:54

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE GIRÓN

Emision	Lectura Anterior	Lectura Actual	Consumo	Total	Estado Cobro	Comenta No	Fecha Cobro	Fecha Creacion	Novedad	Estado
Agosto del 2016 - (1908)	2368	2368	0		Pagado	0	2016-04-03	2016-05-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2016 - (1905)	2368	2368	0		Pagado	0	2016-04-03	2016-04-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2016 - (1904)	2366	2368	2		Pagado	0	2016-04-03	2016-04-15	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2016 - (1903)	2302	2366	64		Pagado	0	2016-04-03	2016-03-26	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Enero del 2016 - (1902)	2253	2302	49		Pagado	0	2016-04-03	2016-01-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Diciembre del 2015 - (1901)	1954	2253	319		Pagado	0	2016-04-03	2015-12-31	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2015 - (1912)	1934	1934	0		Pagado	0	2016-04-03	2015-11-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Octubre del 2015 - (1911)	1734	1934	200		Pagado	0	2016-04-03	2015-10-29	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2015 - (1910)	1734	1734	0		Pagado	0	2016-04-03	2015-09-30	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Agosto del 2015 - (1909)	1540	1734	94		Pagado	0	2016-04-03	2015-08-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2015 - (1908)	1564	1840	76		Pagado	0	2016-04-03	2015-07-28	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Junio del 2015 - (1907)	927	1564	637		Pagado	0	2016-04-03	2015-07-21	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Noviembre del 2014 - (1412)	827	927	100		Pagado	0	2016-04-03	2014-12-19	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Septiembre del 2014 - (1410)	639	704	65		Pagado	0	2016-04-03	2014-10-16	CONSULAC NORMAL	ACTIVO
Julio del 2014 - (1408)	477	566	89		Pagado	0	2016-04-03	2014-08-22	CONSULAC NORMAL	ACTIVO

Consumo Promedio 80

FECHA IMPRESION: 10/05/2022 14:54

Anexo E. Valores de β en función de la forma de las barras

β - Factor de forma de las barras	Tipos de Barras
2.42	Barras rectangulares de caras rectas
1.67	Barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba y abajo
1.83	Barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba
1.79	Barras circulares

Fuente: CONAGUA, 2015.

Anexo F. Prueba de jarras

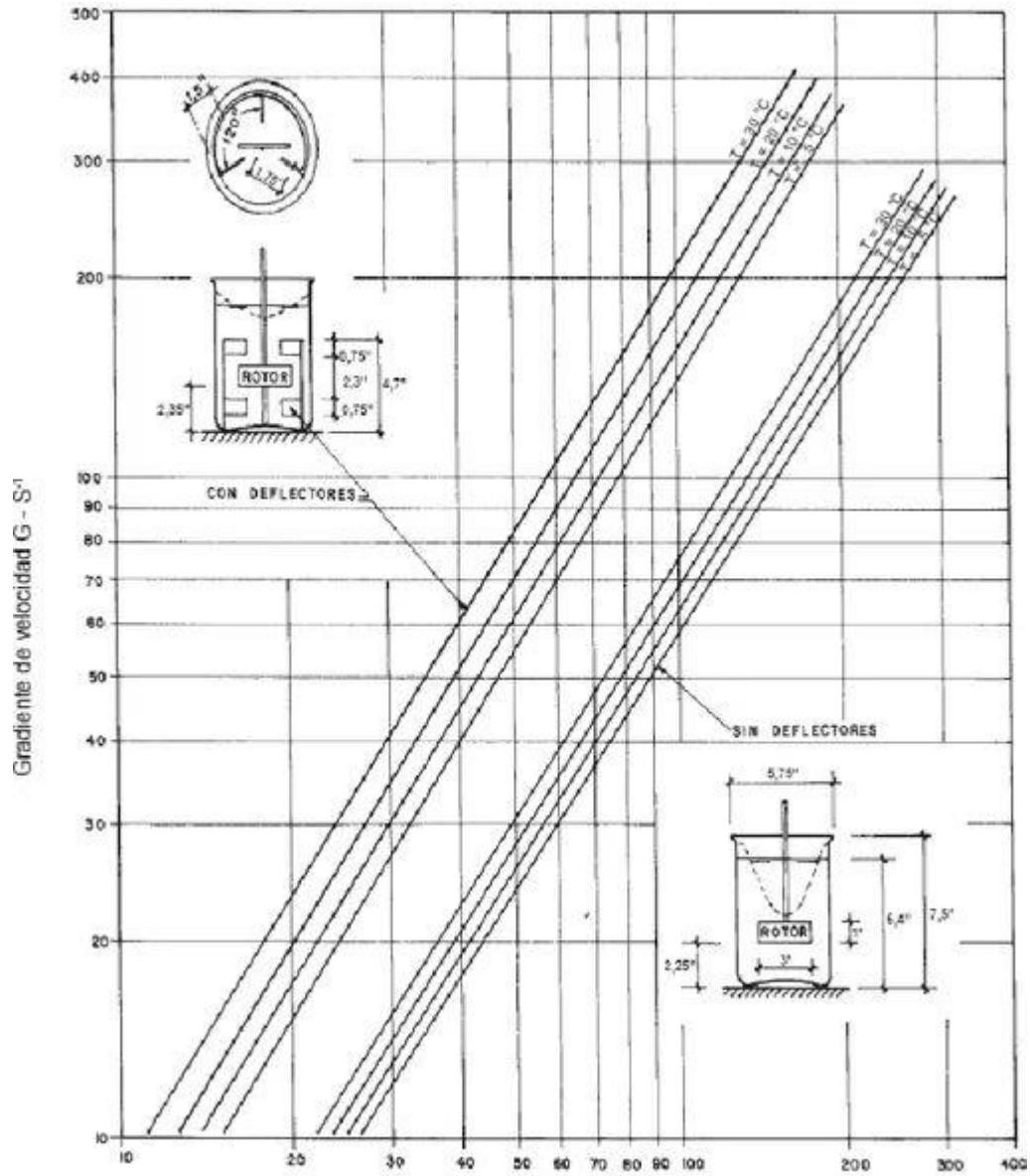


Muestra para prueba de jarras



Prueba de jarras

Anexo F1. Gradiente de velocidad para la prueba de jarras



Anexo F2. Datos completos de las pruebas de jarras.

Pruebas para determinar la dosis óptima de cloruro férrico con turbidez alta.

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Unidades
Dosis deseada (D)	20	40	60	80	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	800	800	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	1	1	1	1	%
Concentración soluc. madre (C)	10	10	10	10	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	10000	10000	10000	10000	mg/l
Peso del coagulante	5	5	5	5	g
Peso del coagulante	50	50	50	50	mg/ml
Factor 10 ⁴		10000			ppm/%
Dosis floculante	1	1	1	1	mg/l
Concentración floculante	0.10	0.10	0.10	0.10	%
Concentración floculante	1	1	1	1	mg/ml
Concentración floculante	1000	1000	1000	1000	mg/l
Peso floculante	0.25	0.25	0.25	0.25	g
Volumen floculante	0.80	0.80	0.80	0.80	ml
Volumen de químico	1.60	3.20	4.80	6.40	ml
Turbidez inicial	151	151	151	151	NTU
pH inicial	6.85	6.85	6.85	6.85	-
Color inicial	25300	25300	25300	25300	Unidades de color
Turbidez residual	137	192	38.9	24.9	NTU
pH residual	6.67	6.73	6.5	6.3	-
Color residual		27800			Unidades de color
Eficiencia de remoción	9.27	-27.15	74.24	83.51	%
Gradiente de Velocidad mezcla lenta		52			s ⁻¹
Gradiente de Velocidad mezcla rápida		290			s ⁻¹

Pruebas para determinar la dosis óptima de cloruro férrico con turbidez baja.

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Unidades
Dosis deseada (D)	40	40	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	1	1	%
Concentración soluc. madre (C)	10	10	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	10000	10000	mg/l
Peso del coagulante	5	5	g
Peso del coagulante	50	50	mg/ml
Factor 10 ⁴		10000	ppm/%
Dosis floculante	1	0.50	mg/l
Concentración floculante	0.10	0.10	%
Concentración floculante	1	1	mg/ml
Concentración floculante	1 000	1 000	mg/l
Peso floculante	0.25	0.25	g
Volumen floculante	0.80	0.40	ml
Volumen de químico	3.20	3.20	ml
Turbidez inicial	15.8	15.8	NTU
pH inicial	6.-7	6-7	-
Color inicial	3610	3610	Unidades de color
Turbidez residual	15.5	17.5	NTU
pH residual		6-7	-
Eficiencia de remoción	1.90	-10.76	%
Gradiente de Velocidad mezcla lenta		45	s ⁻¹
Gradiente de Velocidad mezcla rápida		290	s ⁻¹

Pruebas para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio con turbidez alta.

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Unidades
Dosis deseada (D)	125	175	225	275	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	800	800	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	2	2	2	2	%
Concentración soluc. madre (C)	20	20	20	20	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	20 000	20 000	20 000	20 000	mg/l
Peso del coagulante	5	5	5	5	g
Peso del coagulante	50	50	50	50	mg/ml
Factor 10 ⁴			10 000		ppm/%
Dosis floculante	1	1	1	1	mg/l
Concentración floculante	0.10	0.10	0.10	0.10	%
Concentración floculante	1	1	1	1	mg/ml
Concentración floculante	1 000	1 000	1 000	1 000	mg/l
Peso floculante	0.25	0.25	0.25	0.25	g
Volumen floculante	0.80	0.80	0.80	0.80	ml
Volumen de químico	5.00	7.00	9.00	11.00	ml
Turbidez inicial	137	137	137	137	NTU
pH inicial	7.03	7.03	7.03	7.03	-
Color inicial	27 300	27 300	27 300	27 300	Unidades de color
Turbidez residual	17.6	3.03	12.7	29.6	NTU
pH residual	6.29	6.02	5.61	5.33	-
Color residual		21 100			Unidades de color
Eficiencia de remoción	87.15	97.79	90.73	78.39	%
Gradiente de velocidad mezcla lenta			52		s ⁻¹
Gradiente de velocidad mezcla rápida			290		s ⁻¹

Pruebas para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio con turbidez baja.

Parámetro	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Unidades
Dosis deseada (D)	175	87.5	87.5	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	800	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	2	2	2	%
Concentración soluc. madre (C)	20	20	20	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	20 000	20 000	20 000	mg/l
Peso del coagulante	5	5	5	g
Peso del coagulante	50	50	50	mg/ml
Factor 10 ⁴		1 000		ppm/%
Dosis floculante	1	1	0.50	mg/l
Concentración floculante	0.10	0.10	0.10	%
Concentración floculante	1	1	1.00	mg/ml
Concentración floculante	1 000	1 000	1 000	mg/l
Peso floculante	0.25	0.25	0.25	g
Volumen floculante	0.80	0.80	0.40	ml
Volumen de químico	7.00	3.50	3.50	ml
Turbidez inicial	15	15.8	15.8	NTU
pH inicial	6-7	6-7	6-7	-
Color inicial	3170	3610	3610	Unidades de color
Turbidez residual	17.8	19.8	19.7	NTU
pH residual		4-5		-
Color residual	2 830	1 950	2 250	Unidades de color
Eficiencia de remoción	-18.67	-25.32	-24.68	%
Gradiente de velocidad mezcla lenta		52		s ⁻¹
Gradiente de velocidad mezcla rápida		290		s ⁻¹

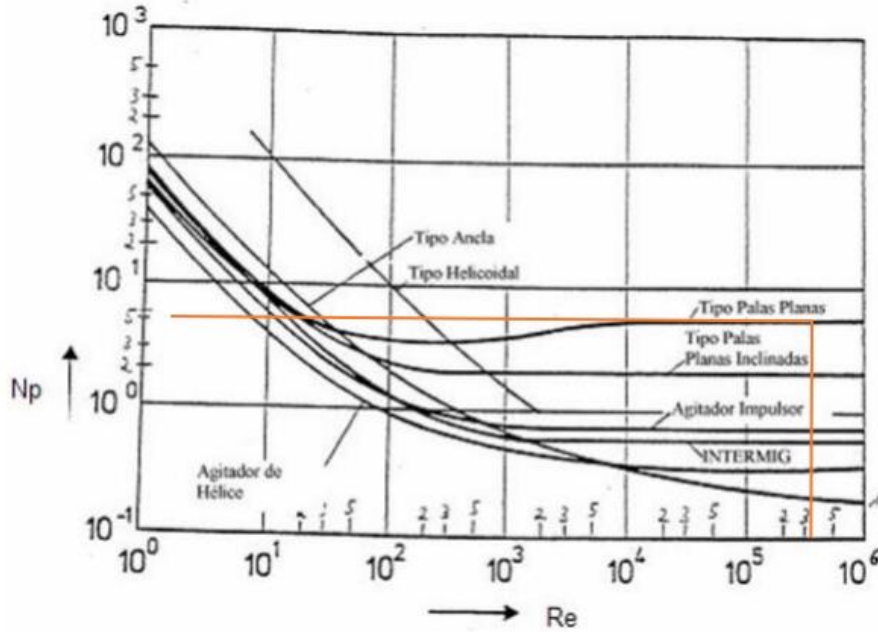
Pruebas para determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio con turbidez alta.

Parámetro	Jarra 1	Unidades
Dosis deseada (D)	25	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	2	%
Concentración soluc. madre (C)	20	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	20 000	mg/l
Peso del coagulante	5	g
Peso del coagulante	50	mg/ml
Factor 10^4	10 000	ppm/%
Dosis floculante	0.50	mg/l
Concentración floculante	0.10	%
Concentración floculante	1	mg/ml
Concentración floculante	1 000	mg/l
Peso floculante	0.25	g
Volumen floculante	0.40	ml
Volumen de químico	1.00	ml
Turbidez inicial	190	NTU
pH inicial	7.03	-
Turbidez residual	113	NTU
pH residual	5.61	-
Eficiencia de remoción	40.53	%
Gradiente de velocidad mezcla lenta	45	s^{-1}
Gradiente de velocidad mezcla rápida	290	s^{-1}

Pruebas para determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio con turbidez baja.

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Unidades
Dosis deseada (D)	25	30	ppm
Volumen muestra en jarra (V)	800	800	ml
Concentración soluc. madre (C)	2	2	%
Concentración soluc. madre (C)	20	20	mg/ml
Concentración soluc. madre (C)	20 000	20 000	mg/l
Peso del coagulante	5	5	g
Peso del coagulante	50	50	mg/ml
Factor 10^4		1 000	ppm/%
Dosis floculante	0.50	0.50	mg/l
Concentración floculante	0.10	0.10	%
Concentración floculante	1	1	mg/ml
Concentración floculante	1 000	1 000	mg/l
Peso floculante	0.25	0.25	g
Volumen floculante	0.40	0.40	ml
Volumen de químico	1.00	1.20	ml
Turbidez inicial	15.2	15.2	NTU
pH inicial	8-7	9-7	-
Color inicial	2 400	2 400	Unidades de color
Turbidez residual	1.38	3.13	NTU
pH residual		6-7	-
Color residual	2 100	3 850	Unidades de color
Eficiencia de remoción	90.92	79.41	%
Gradiente de velocidad mezcla lenta		52	s^{-1}
Gradiente de velocidad mezcla rápida		290	s^{-1}

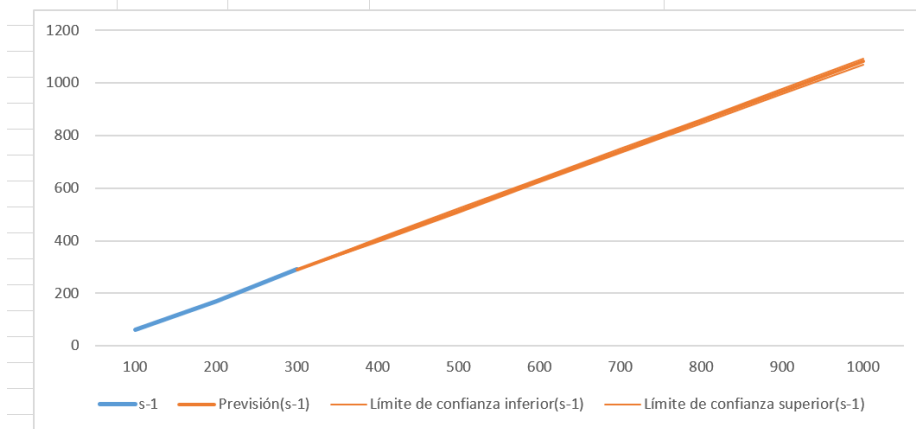
Anexo F3. Número de potencia.



Fuente: Martínez & Yugcha, 2018

Anexo F4. Extrapolación del gradiente de velocidad (Microsoft Excel)

RPM	s-1	Previsión(s-1)	Límite de confianza inferior(s-1)	Límite de confianza superior(s-1)
100	62.5			
200	170			
300	290	290	290.00	290.00
400		402.1350063	394.92	409.35
500		515.3893875	508.04	522.74
600		628.6437688	620.98	636.30
700		741.89815	733.72	750.08
800		855.1525313	846.23	864.08
900		968.4069125	958.50	978.31
1000		1081.661294	1070.57	1092.76



Anexo G. Parámetros de diseño del sedimentador primario

Anexo G1. Parámetros de diseño de sedimentadores primarios basado en la configuración de la PTAR.

Tipo de tratamiento	Carga superficial, (m/d)		Profundidad (m)	Carga sobre el vertedero, (L/s.m)	Tiempo de retención, (h)	% remoción	
	Caudal promedio	Caudal pico				DBO	SS
Primario	32 - 49	80 - 122	3 - 5	1.4 - 4.3	1.5 - 2.5		50 - 70
seguido de tratamiento secundario	33 - 49	81 - 122		<5.8		35 - 45	50 - 60
Primario con lodo activado de desecho	24 - 33	48 - 70	3 - 5	1.4 - 4.3	1.5 - 2.5		50 - 70
	24 - 33	49 - 69		<5.8		35 - 45	50 - 60
	24 - 32	49 - 61	3.7 - 4.6	1.4 - 5.7	1.5 - 2.5		
Primario	30	45	>1.5	<5.2	2	35 - 40	50 - 70
	24 - 33		2.1 - 3.6	1.4 - 2.2	1 - 2		

Fuente: Romero, 2010.

Anexo G2. Parámetros de diseño de sedimentadores primarios según la configuración de la PTAR.

Parámetro	Unidades habituales de EE.UU			Unidades de SI		
	Unidad	Rango	Valor Típico	Unidad	Rango	Valor Típico
Tanques de sedimentación primaria seguidos de un tratamiento secundario						
Tiempo de retención	<i>h</i>	1.5 - 2.5	2.0	<i>h</i>	1.5 - 2.5	2.0
Tasa de desbordamiento						
Caudal medio	$\frac{gal}{ft^2 * d}$	800 - 1 200	1 000	$\frac{m^3}{m^2 * d}$	30 - 50	40
Flujo horario pico	$\frac{gal}{ft^2 * d}$	2 000 - 3 000	2 500	$\frac{m^3}{m^2 * d}$	80 - 120	100
Carga del vertedero	$\frac{gal}{ft * d}$	10 000 - 40 000	20 000	$\frac{m^3}{m * d}$	125 - 500	250
Decantación primaria con retorno de lodos activados						
Tiempo de retención	<i>h</i>	1.5 - 2.5	2.0	<i>h</i>	1.5 - 2.5	2.0
Tasa de desbordamiento						
Caudal medio	$\frac{gal}{ft^2 * d}$	600 - 800	700	$\frac{m^3}{m^2 * d}$	24 - 32	28
Flujo horario pico	$\frac{gal}{ft^2 * d}$	1 200 - 1 700	1 500	$\frac{m^3}{m^2 * d}$	48 - 70	60
Carga del vertedero	$\frac{gal}{ft * d}$	10 000 - 40 000	20 000	$\frac{m^3}{m * d}$	125 - 500	250

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo G3. Parámetros de diseño de sedimentadores primarios según su forma.

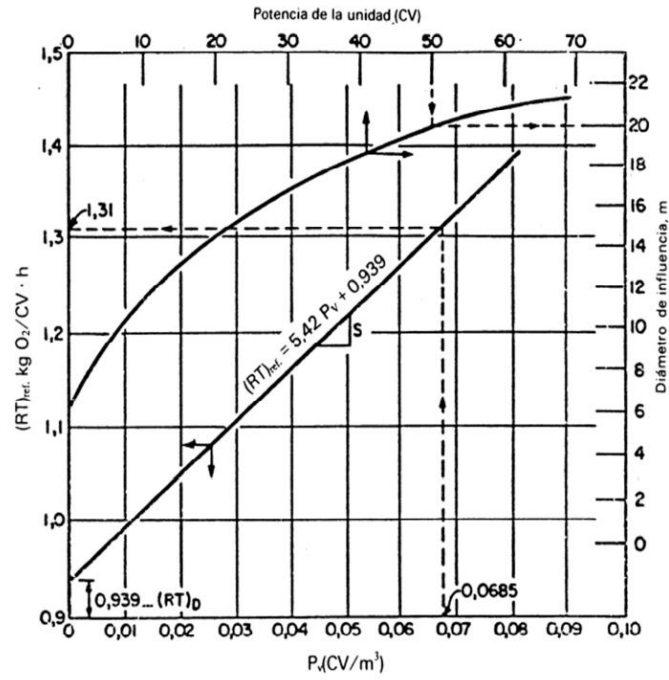
Parámetro	Unidades habituales de EE.UU			Unidades de SI		
	Unidad	Rango	Valor Típico	Unidad	Rango	Valor Típico
Rectangular:						
Profundidad	<i>ft</i>	10 - 16	14	<i>m</i>	3 - 4.9	4.3
Longitud	<i>ft</i>	50 - 300	80 - 130	<i>m</i>	15 - 90	24 - 40
Ancho	<i>ft</i>	10 - 80	16 - 32	<i>m</i>	3 - 24	4.9 - 9.8
Velocidad de vuelo	<i>ft/min</i>	2 - 4	3	<i>m/min</i>	0.6 - 1.2	0.9
Circular:						
Profundidad	<i>ft</i>	10 - 16	14	<i>m</i>	3 - 4.9	4.9
Diámetro	<i>ft</i>	10 - 200	40 - 150	<i>m</i>	3 - 60	12 - 45
Pendiente inferior	<i>in/ft</i>	3/4 - 2/ft	1.0/ft	<i>mm/min</i>	1/16 - 1/6	1/12
Velocidad de vuelo	<i>r/min</i>	0.02 - 0.05	0.03	<i>r/min</i>	0.02 - 0.05	0.03

Nota: Si los anchos de los tanques de limpieza mecánica son mayores a 6 m (20 ft), se deben usar bahías múltiples con equipamiento de limpieza individual, lo que permite tanques de 24 m (80 ft) de ancho o más.

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo H. Parámetros de diseño de lodos activados

Anexo H1. Características de aireadores superficiales.



Fuente: Ramalho, 2014.

Anexo H2. Parámetros de diseño y operación de procesos de lodos activados.

Proceso	Periodo de aireación θ , horas	Carga volumétrica $\frac{g\ DBO}{m^3 * d}$	A/M $\frac{g\ DBO}{g\ SSVLM*d}$	Biomasa del reactor X SSLM mg/l	Edad de lodos θ_c , d	Tasa de recirculación R, %	Eficiencia DBO, %	Observaciones
Convencional	4 - 8	300 - 600	0.2 - 0.4	1 500 - 3 000	5 - 15	25 - 75	85 - 95	Sensible a cargas súbitas
Aireación gradual	4 - 8	300 - 600	0.2 - 0.4	1 500 - 3 000	5 - 15	25 - 50	85 - 95	Uso General
Mezcla completa	3 - 5	800 - 2 400	0.2 - 0.6	2 500 - 4 000	5 - 15	25 - 100	85 - 95	Resistente a cargas choque
Aireación escalonada	3 - 5	600 - 1 000	0.2 - 0.4	2 000 - 3 500	5 - 15	25 - 75	85 - 95	Uso general
Aireación corta	1.5 - 3	1 200 - 2 400	1.5 - 5.0	200 - 1 000	0.2 - 0.5	5 - 25	60 - 75	Efluente de baja calidad
Contacto	0.5-1.0	1 000 - 1 200		1 000 - 3 000				Operación Flexible
Estabilización	3 - 6	1 000 - 1 200	0.2 - 0.6	4 000 - 10 000	5 - 15	50 - 150	80 - 90	Usado para ampliar plantas existentes
Aireación prolongada	18 - 36	100 - 400	0.05 - 0.15	3 000 - 6 000	20 - 30	50 - 150	75 - 95	Usado en plantas pequeñas, operación flexible
Krauss	4 - 8	600 - 1 600	0.3 - 0.8	2 000 - 3 000	5 - 15	50 - 100	85 - 95	Usado en residuos fuertes, bajos en N.
Tasa alta	2 - 4	1 600 - 16 000	0.4 - 1.5	4 000- 10 000	5 - 10	100 - 500	75 - 90	Uso general. Mezcla completa
Oxígeno puro	1 - 3	1 600 - 3 300	0.25 - 1.0	2 000 - 5 000	3 - 10	25 - 50	85 - 95	Usado para reducir volumen requerido para tratamiento
Zanjón de oxidación	8 - 36	80 - 480	0.05 - 0.3	3 000 - 6 000	10 - 30	75 - 150	75 - 95	Usado en ciudades pequeñas
Reactor secuencial de cochada	2 - 4	100 - 300	0.04 - 0.10	2 000 - 5 000	10 - 30	-	-	Control del proceso complicado

Fuente: Romero, 2010.

Anexo H3. Coeficientes cinéticos para tratamiento biológico aeróbico de diferentes sustratos orgánicos

Sustrato	Y $\frac{mg\ SSV}{mg\ sustrato}$	μ_m d^{-1}	K d^{-1}	K_s $\frac{mg}{L}$	k_d d^{-1}	Base del coeficiente	Temperatura °C
Residuo doméstico	0.5	-	-	-	0.055	DBO	-
Residuo doméstico	0.57	-	-	-	0.048	DBO	20
Residuo doméstico	0.5	13.2	26.4	120	0.06	DBO	-
Residuo doméstico	0.67	3.84	5.7	22	0.07	DQO	-
Residuo doméstico	0.67	3.75	5.6	22	0.07	DQO	-
Leche desnatada	0.48	2.45	5.1	100	0.045	DBO	-
Glucosa	0.42	1.26	3.0	355	0.087	DBO	-
Glucosa	0.59	1.96	3.3	-	-	DBO	1
Peptona	0.43	6.24	14.5	65	-	DBO	30
Glucosa-peptona	0.49	5.05	10.3	-	-	DBO	20
Residuo gaseosas	0.35	0.35	1.0	0.31	0.031	DQO	-
Residuo sintético	0.65	-	-	-	0.18	DBO	-
Pulpa y papel	0.47	-	-	-	0.20	DBO	-
Procesadora de camarones	0.50	-	-	85.5	1.6	DBO	-
Aguas residuales municipales	0.35 - 0.45	-	-	25 - 100	0.05 - 0.10	DQO	20
Matadero	0.41	-	0.67	150	0.04	DQO	20
Soya	0.74	-	16.2	355	0.4	DBO	-

Nota: Y : coeficiente de producción de crecimiento o relación de la masa de células formadas a la masa de sustrato consumido. μ_m : tasa máxima específica de crecimiento o valor máximo de μ para la concentración de saturación, d^{-1} . K : tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos, d^{-1} . K_s : constante de saturación, (mg)/l. K_d : coeficiente de declinación endógena, d^{-1} .

Fuente: Romero, 2010.

Anexo I. Parámetros de diseño de los sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga superficial		Carga de sólidos		Profundidad <i>m</i>
	<i>m/d</i>		<i>kg/dm²</i>		
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
Sedimentación secundaria	16 - 29 <34	40 - 65 <65	100 - 150	245	3.7 - 4.6
Sedimentación secundaria	8 - 33	24 - 49	23 - 164	164 - 234	3 - 6
Sedimentación después del filtro percolador	16 - 24	41 - 49	-	-	3 - 3.7
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	98 - 147	245	3.7 - 4.6
Sedimentación después de aireación prolongada	8 - 16	32	98 - 147	245	3.7 - 4.6

Fuente: Romero, 2010.

Anexo J. Parámetros de diseño para biodiscos rotatorios

Anexo J1. Parámetros típicos en planta con biodiscos rotatorios.

Parámetro	Unidad	Nivel de tratamiento		
		Remoción de DBO	Remoción de nitrificación	Remoción de DBO y Nitrificación separada
		DBO	nitrificación	separada
Carga hidráulica	$\frac{m^3}{m^2 * d}$	0.08 - 0.16	0.03 - 0.08	0.04 - 0.10
Carga orgánica	$\frac{g\ sDBO}{m^2 * d}$	4 - 10	2.5 - 8	0.5 - 1.0
	$\frac{g\ sDBO}{m^2 * d}$	8 - 20	5 - 16	1 - 2
Carga orgánica máxima en la 1a etapa	$\frac{g\ sDBO}{m^2 * d}$	12 - 15	12 - 15	-
	$\frac{g\ sDBO}{m^2 * d}$	24 - 30	24 - 30	-
Carga de NH ₃	$\frac{g\ N}{m^2 * d}$	-	0.7 - 1.5	-
Tiempo de retención hidráulica	<i>h</i>	0.7 - 1.5	1.5 - 4	1.2 - 3
DBO del efluente	<i>mg/l</i>	15 - 30	7 - 15	7 - 15
NH ₄ -N del efluente	<i>mg/l</i>	-	<2	1 - 2

Nota: Temperatura del agua residual alrededor de 13 °C.

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo J2. Parámetros típicos en planta con biodiscos rotatorios.

Afluyente	Sedimentado
	0.04 - 0.06 <i>m/d</i>
Carga hidráulica	0.02 - 0.08 <i>m/d</i>
	0.06 - 0.10 <i>m/d</i>
Para remoción de DBO	0.06 - 0.24 <i>m/d</i>
Para DBO/SS < 30/30 mg/l	0.08 - 0.16 <i>m/d</i>
Para remoción de N	0.06 - 0.07 <i>m/d</i>
Para DBO/SS < 15/15 mg/l y nitrificación	0.03 - 0.08 <i>m/d</i>
Carga orgánica	
	50 - 80 <i>g DBO/m²d</i>
Sobre la primera etapa	<100 <i>g DBO/m²d</i>
	<31 <i>g DBO/m²d</i>
DBO soluble	12 - 20 <i>g DBO/m²d</i>
DBO total	30 - 40 <i>g DBO/m²d</i>
Tiempo de retención	50 - 70 minutos
Coeficiente de temperatura	1.02 - 1.04
Ejes	
Velocidad de rotación	1 - 2 RPM
Longitud	<7.5 <i>m</i>
Diámetro	13 - 25 <i>mm</i>
Motores	3.7 - 5.6 <i>kW/eje</i>

Continuación	
Discos	
Número de discos por eje	40 - 60
Número de etapas en serie	4 - 5
Diámetro	3.0 - 3.6 m
Espesor	2 - 3 m
Material, planos o corrugados	10 mm
Sumergencia	poliestireno o polietileno
Velocidad de rotación periférica	40 %
Separación	20 - 30 cm/s
Área de discos por eje	3 - 4 cm
Área superficial específica del medio	9 300 - 11 700 m ²
	115 - 175 m ² /m ³
Sedimentador secundario	
Carga de sólidos para caudal pico	147 - 176 kg/m ² d
Tiempo de retención	4 h
Carga superficial	33 m/d
Efluente	
DBO total	15 - 30 mg/L
DBO soluble	7 - 15 mg/L
<i>NH₃ - N</i>	1 - 10 mg/L
<i>NO₃ - N</i>	2 - 7 mg/L
Lodos	
Producción	0.04 - 0.5 kg/kg DBO removida
Concentración de sólidos	2 - 5 %
Eficiencia	
Remoción de DBO	80 - 95 %
Energía	
Consumo	0.6 W/m ²
Costo	US\$ 3.2 - \$5.4/m ²

Fuente: Romero, 2010.

Anexo K. Parámetros de diseño del reactor RAFA

Anexo K1. Carga volumétrica recomendada para reactores RAFA.

DQO Agua residual mg/l	Fracción de partículas como DQO	Carga Volumétrica, $kg\ DQO/m^3d$		
		Lodo floculante	Lodo granular con alta remoción de SST	Lodo granular con baja remoción de SST
1 000 - 2 000	0.10 - 0.30	2 - 4	2 - 4	8 - 12
	0.30 - 0.60	2 - 4	2 - 4	8 - 14
	0.60 - 1.00	na	na	na
2 000 - 6 000	0.10 - 0.30	3 - 5	3 - 5	12 - 18
	0.30 - 0.60	4 - 8	2 - 6	12 - 24
	0.60 - 1.00	4 - 8	2 - 6	na
6 000 - 9 000	0.10 - 0.30	4 - 6	4 - 6	15 - 20
	0.30 - 0.60	5 - 7	3 - 7	15 - 24
	0.60 - 1.00	6 - 8	3 - 8	na
9 000 - 18 000	0.10 - 0.30	5 - 8	4 - 6	15 - 24
	0.30 - 0.60	na	3 - 7	na
	0.60 - 1.00	na	3 - 7	na

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo K2. Carga volumétrica recomendada para reactores RAFA en función de la temperatura.

Carga Volumétrica, kg sCOD/m³d				
Temperatura °C	Ácidos grasos volátiles del agua residual		Ácidos grasos no volátiles del agua residual	
	Rango	Valor típico	Rango	Valor típico
15	2 - 4	3	2 - 3	2
20	4 - 6	5	2 - 4	3
25	6 - 12	6	4 - 8	4
30	10 - 18	12	8 - 12	10
35	15 - 24	18	12 - 18	14
40	20 - 32	25	15 - 24	18

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo K3. Velocidades de flujo ascendentes y alturas recomendadas.

Tipo de agua residual	Velocidad de flujo ascendente, m/h		Altura del reactor, m	
	Rango	Valor típico	Rango	Valor típico
DBO casi 100% soluble	1.0 - 3.0	1.5	6 - 10	8
DBO parcialmente soluble	1.0 - 1.25	1.0	3 - 7	6
Agua residual doméstica	0.8 - 1.0	0.7	3 - 5	5

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003.

Anexo K4. Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA

Temperatura agua residual (°C)	Tiempo de residencia hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo (durante 4 - 6 h)
16 - 19	10 - 14	7 - 9
22 - 26	7 - 9	5 - 7
>26	6 - 8	4 - 5

Fuente: CONAGUA, 2015.

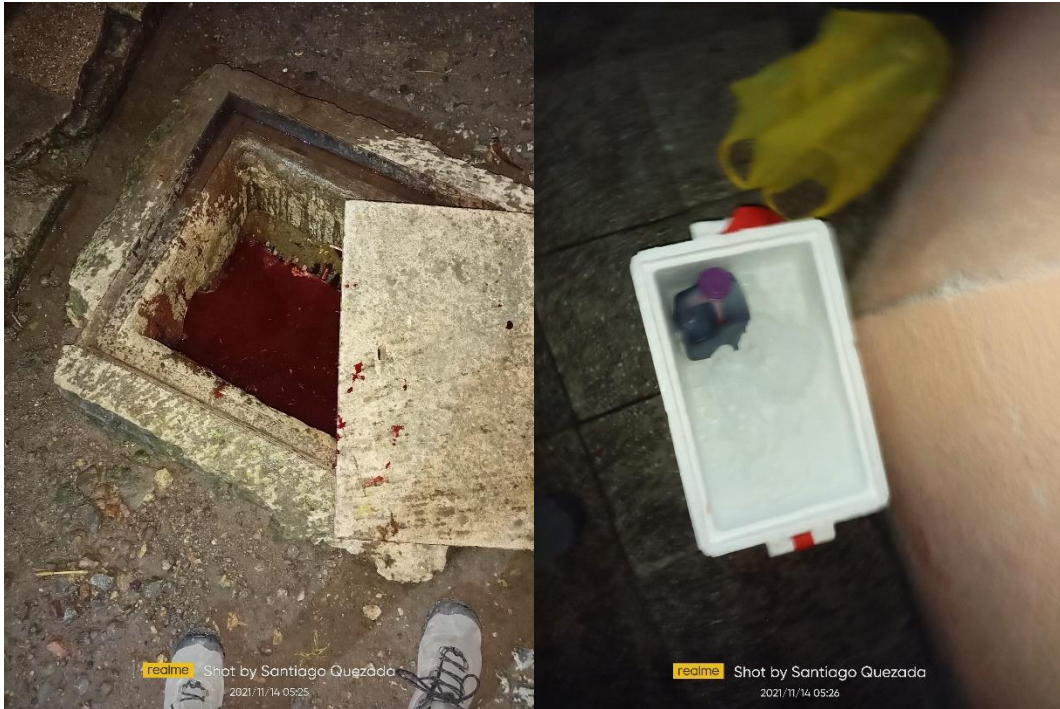
Anexo L. Método de Guerchet

Parámetro	Ecuación	Unidades
Superficie total (S_T)	$S_T = S_s + S_g + S_e$	m ²
Superficie estática (S_s)	$S_s = Largo * Ancho$	m ²
Superficie de gravitación (S_g)	$S_g = S_s * N$	m ²
Superficie de evolución (S_e)	$S_e = (S_s + S_g) k$	m ²

Nota: k es el coeficiente de evolución y para este tipo de industria toma el valor de 0.05. Mientras que N es el número de lados.

Fuente: Toro, 2021.

Anexo M. Campañas de muestreo y resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual




Toma de muestra en P1



Toma de muestra en P2

Resultados de los análisis de laboratorio.



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez **Código** 080021

Lugar de la toma de muestra: DESCARGA DEL PROCESO (Camal de Girón)

Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón

Dirección: Girón

Teléfono:

Fecha de la toma: 09/10/2021

Fecha de ingreso al laboratorio: 11/10/2021

Fecha del análisis: 11/10/2018

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 Sólidos Suspendidos totales	1200	mg / L	MNE 2320-B
2 Nitrógeno Total	63,862	mg/l N ⁵	MNE 4500-B
3 Fósforo	1.23	mg / L	MNE 4500-E
4 Grasas y aceites	67	mg/l	MNE 5520-D
5 DBO ₅	135	mg/l	MNE 5210-B
6 DQO	205	mg/l	MNE 5220-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
7 Coliformes fecales	1,2x 10 ⁴	NMP/ml	
8 Coliformes Totales	1,7x10 ⁵	NMP/ml	

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg, y siguiendo los proceso de. Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por las condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez Código 150021
 Lugar de la toma de muestra: DESCARGA AL RÍO (Camal de Girón) CO2
 Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón
 Dirección: Girón
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 06/11/2021
 Fecha de ingreso al laboratorio: 08/11/2021
 Fecha del análisis: 08/11/2021 al 12/11/2021

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 Sólidos Suspendidos totales	763	mg / L	MNE 2320-B
2 Nitrógeno Total	8,021	mg/l N ⁵	MNE 4500-B
3 Fosforo	1,1	mg / L	MNE 4500-B
4 Grasas y aceites	47	mg/l	MNE 5520-D
5 DBO ₅	85,6	mg/l	MNE 5210-B
6 DQO	214	mg/l	MNE 5220-B
ANALIS MICROBIOLÓGICO			
7 Coliformes fecales	1,2x 10 ³	NMP/ml	
Coliformes Totales	5,3x10 ⁶	NMP/ml	
Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados			

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez Código 190021
 Lugar de la toma de muestra: DESCARGA AL RÍO (Camal de Girón) CD3
 Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón
 Dirección: Girón
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 06/11/2021
 Fecha de ingreso al laboratorio: 08/11/2021
 Fecha del análisis: 08/11/2021 al 12/11/2021

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS	
1	Sólidos Suspendedos totales	951,1	mg / L	MNE 2320-B
2	Nitrógeno Total	7,257	mg/l N ⁵	MNE 4500-B
3	Fosforo	1,5	mg / L	MNE 4500-B
4	Grasas y aceites	70,1	mg/l	MNE 5520-D
5	DBO ₅	97	mg/l	MNE 5210-B
6	DQO	145	mg/l	MNE 5220-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO				
7	Coliformes fecales	4,2x 10 ⁴	NMP/ml	
	Coliformes Totales	7,2 x10 ⁵	NMP/ml	

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg. y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva
Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores—las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio. Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez Código 090021
 Lugar de la toma de muestra: DESCARGA AL RÍO (Camal de Girón)
 Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón
 Dirección: Girón
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 09/10/2021
 Fecha de ingreso al laboratorio: 11/10/2021
 Fecha del análisis: 11/10/2018

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 Sólidos Suspendidos totales	700	mg / L	MNE 2320-B
2 Nitrógeno Total	7,065	mg/l N ⁺⁵	MNE 4500-B
3 Fosforo	0,85	mg / L	MNE 4500-B
4 Grasas y aceites	56	mg/l	MNE 5520-D
5 DBO ₅	105	mg/l	MNE 5210-B
6 DQO	184	mg/l	MNE 5220-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
7 Coliformes fecales	4,8 10 ³	NMP/ml	
8 Coliformes Totales	2,1x10 ⁵	NMP/ml	

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg, y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio. Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez Código 140021
 Lugar de la toma de muestra: DESCARGA AL RÍO (Camal de Girón) PO2
 Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón
 Dirección: Girón
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 06/11/2021
 Fecha de ingreso al laboratorio: 08/11/2021
 Fecha del análisis: 08/11/2021 al 11/11/2021

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 Sólidos Suspendidos totales	422	mg / L	MNE 2320-B
2 Nitrógeno Total	56,822	mg/l N ¹⁵	MNE 4500-B
3 Fosforo	1,8	mg / L	MNE 4500-B
4 Grasas y aceites	72	mg/l	MNE 5520-D
5 DBO ₅	84,3	mg/l	MNE 5210-B
6 DQO	152,75	mg/l	MNE 5220-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
7 Coliformes fecales	6,3x 10 ³	NMP/ml	
Coliformes Totales	5,8x10 ⁶	NMP/ml	

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por las condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado el análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Santiago Quezada y la Srta. Elizabeth Ordóñez Código 180021
Lugar de la toma de muestra: DESCARGA AL RÍO (Camal de Girón) PO3
Tipo de agua: Aguas residuales del camal de Girón
Dirección: Girón
Teléfono:
Fecha de la toma: 13/11/2021
Fecha de ingreso al laboratorio: 15/11/2021
Fecha del análisis: 15/11/2021 al 20/11/2021

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 Sólidos Suspendidos totales	825,3	mg / L	MNE 2320-B
2 Nitrógeno Total	60,235	mg/l N ⁵	MNE 4500-B
3 Fosforo	1,7	mg / L	MNE 4500-B
4 Grasas y aceites	72	mg/l	MNE 5520-D
5 DBO ₅	82,1	mg/l	MNE 5210-B
6 DQO	205,25	mg/l	MNE 5220-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
7 Coliformes fecales	5,3x 10 ³	NMP/ml	
Coliformes Totales	6,7x10 ⁶	NMP/ml	

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg. y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio