



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil - Construcciones Civiles

***Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de
Agua Residual “Huaycopungo Sur” de la Parroquia
San Rafael de la Laguna, Cantón Otavalo, Provincia
de Imbabura – Ecuador***

Segundo Wilson Ulco Llulluna

Leiria, septiembre de 2018



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil – Construcciones Civiles

***Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de
Agua Residual “Huaycopungo Sur” de la Parroquia
San Rafael de la Laguna, Cantón Otavalo, Provincia
de Imbabura – Ecuador***

Segundo Wilson Ulco LLulluna

Disertación de Maestrado, realizado bajo la orientación del Doctor Ricardo de Jesus Gomes, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y coorientaciones de la Doctora Helena Manuela Pala Dias de Sousa, Profesora de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y de la Magíster María Susana Guzmán Rodríguez, Profesora de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador.

Leiria, septiembre de 2018

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a Dios por haberme brindado tantas bondades y oportunidades en la vida; a mis Padres, hermanos y sobrinos, por su infinito amor, apoyo y permanecer junto a mí en cada paso y logro alcanzado; a los buenos amigos y a todos los que estuvieron junto a mí, en los buenos y malos momentos de mi vida.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Agradecimientos

A **Dios**, por haberme acompañado durante el caminar de mi carrera, por estar conmigo siempre, haberme dado la sabiduría para culminar este trabajo, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi formación académica profesional.

A mis **padres**, quienes me han dado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor, como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el apoyo brindado hacia mí, por esto y más ...Gracias.

A mis **hermanos** por brindarme su tiempo y palabras de aliento en esos momentos difíciles.

Al **comité asesor**: Ricardo de Jesus Gomes, PhD; Helena Manuela Pala Dias de Sousa, PhD e Ing. María Susana Guzmán Rodríguez, MSc., por sus valiosos aportes y consejos a lo largo del proceso investigativo, realizado en el presente documento.

A los **docentes de la Maestría de Ingeniería Civil – Construcciones Civiles** que influyeron en mi formación profesional guiando, apoyando y transmitiendo sus conocimientos.

A mis **amigos de maestría**, por su amistad sincera y por todo su apoyo incondicional en todo momento.

A la **Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT)** por el reconocimiento al esfuerzo y dedicación de mis estudios y por haberme brindado la oportunidad de continuar superándome profesionalmente.

Al **Instituto Politécnico de Leiria (IPL)**, en especial a la **Escuela Superior de Tecnología y Gestión (ESTG)**, por haber abierto sus puertas para prepararme para un futuro competitivo y por haberme formado como profesional con sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico.

A la **Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Otavalo (EMAPAO-EP)**, por haber permitido que el presente estudio se realice en su empresa y por permitir aportar y poner en práctica los conocimientos adquiridos.

A todos y cada una de las personas que de una u otra forma, siempre me han apoyado.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Resumen

El presente trabajo de investigación, evalúa el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta “Huaycopungo Sur” ubicada en la parroquia San Rafael de la Laguna, cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador. Bajo este contexto, se busca diagnosticar el estado físico de la planta de tratamiento de agua residual; determinar la eficiencia del tratamiento y calidad del agua residual tratada; y, finalmente establecer las condiciones de mejora a la infraestructura y sistemas operativos.

La evaluación se realizó mediante la medición de caudales para verificar la capacidad física de diseño de la planta; monitoreo de los parámetros de control “in situ” (pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales) para verificar las condiciones requeridas en los procesos; y la caracterización físico-química y microbiológica del afluente y efluente del sistema y cada uno de los procesos unitarios para constatar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, así como también para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes de cada proceso y el sistema en su conjunto.

Los resultados muestran que el caudal promedio que ingresa a la PTAR es 228 m³/día y el caudal horizonte de diseño año 2026 es 235 m³/día, lo cual indica que, a corto plazo está por llegar a su capacidad límite de diseño por lo que se debe prever el rediseño y ampliación del sistema. Por otra parte, se reportó valores de temperaturas medias que oscilaron entre 16 y 19 °C, valores medios de pH entre 6,5 y 8,5 y valores de conductividad eléctrica que fluctuaron entre 550 y 650 uSiemens/cm, encontrándose condiciones adecuadas para el desempeño del proceso biológico.

Los resultados de la caracterización físico-química y microbiológica de los parámetros SST, ST, temperatura, aceites y grasas, compuestos organoclorados, compuestos organofosforados, DBO₅, DQO, tensoactivos, As, P, hidrocarburos totales de petróleo, N-NH₃, NKT, pH, SO₄²⁻, S²⁻, Cr⁶⁺, Pb y CF del agua residual tratada, indicó que el efluente de la PTAR cumple con la legislación vigente en el país, exceptuando los parámetros de compuestos organoclorados y organofosforados. Además, se identificó que el afluente de la planta de tratamiento, presenta una composición típica de un agua residual de concentración baja.

La eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema fue 84% en SST; 52% en DBO₅, -1% en DQO; 99,9% en CF; 34% en NKT y -5% de P total. Aunque el efluente final de la planta de tratamiento cumplió con la normativa ambiental en términos de calidad de agua tratada, esta presenta bajas eficiencias de remoción que se deben principalmente a la deficiencia operativa y de mantenimiento, a la falta de remoción de arena y partículas en suspensión gruesa previo al tratamiento primario y a la deficiencia del diseño en el sedimentador.

Dentro de las propuestas de mejora realizadas en este proyecto para la optimización del desempeño de la PTAR, fueron categorizadas en propuestas a corto, mediano y largo plazo. Entre las propuestas a implementar a corto plazo se presenta la instalación de pantallas difusoras en los sedimentadores, el uso de cal como floculante para acelerar el proceso de sedimentación de las partículas y el reemplazo del material de soporte del FAFA. A corto plazo se propone instalar un desarenador a la entrada de la PTAR, ampliar la estructura de los sedimentadores e implementar un sistema de filtro en los lechos de secado de lodos. En la propuesta a largo plazo, se sugiere rediseñar el sistema o implementar un sistema paralelo al existente para satisfacer la demanda de gastos de la población.

Palabras clave: *agua residual doméstica, calidad de agua, tratamiento de agua residual doméstica, tratamiento biológico.*

Abstract

This research work evaluates the domestic wastewater treatment system of "South Huaycopungo" plant located in San Rafael at parish Lagoon, Otavalo, Imbabura Province – Ecuador. Under this context, we are looking to find the physical state of the wastewater treatment plant; determine the treatment efficiency and quality of the treated wastewater; and, finally, establish the conditions for improving the infrastructure and operating systems.

The evaluation was made by measuring flows to verify the physical design capacity of the plant; monitoring "in situ" controlling parameters like: (pH, temperature, electrical conductivity and total dissolved solids) to verify required conditions during the processes; and the physical-chemical and microbiological characterization of the stream and influent from the system and each of the unitary processes to verify compliance with current environmental regulations, as well as to determine the pollutants removal efficiency from each process and the system in its set.

The results show the average flow that enters at the WWTP is 228 m³/day and the horizon flow design year 2026 is 235 m³/day, which suggests that, in the short term, it will be reaching its limit design capacity. The redesign and extension of the system must be prevented. In the other hand, values of average temperatures that oscillated between 16 and 19 ° C, average values of pH between 6,5 and 8,5 and values of electrical conductivity that fluctuated between 550 and 650 μ Siemens/cm were reported, finding suitable conditions for the performance of the biological process.

The results of the physical-chemical and microbiological characterization of the parameters SST, ST, temperature, oils and fats, organochlorine compounds, organophosphorus compounds, BOD₅, COD, surfactants, As, P, total petroleum hydrocarbons, N-NH₃, NKT, pH, SO₄²⁻, S₂⁻, Cr⁶⁺, Pb and CF of the treated wastewater, indicated that the effluent of the WWTP matches with the established legislation of our country, except for organochlorine and organophosphorus compounds parameters. In addition, we identified that the stream from the treatment plant has a typical composition of a low concentration wastewater.

The removal efficiency of the pollutants in the system were 84% in SST; 52% in BOD₅, -1% in DQO; 99,9% in CF; 34% in NKT and -5% in total P. Although the final influent from the treatment plant matched with environmental regulations in terms of quality of treated water, it has low removal efficiencies that are mainly due to operational and maintenance deficiency, lack of sand and removal particles in thick suspension prior to primary treatment and deficiency design in the settler.

Within the improvement proposals made in this project to optimize the performance of the WWTP, they were categorized into short, medium and long term proposals. Among the proposals to be implemented in the short term is the installation of diffuser screens in the sedimentation tanks, the use of lime as a flocculant to accelerate the sedimentation process of the particles and the replacement of the FAFA support material. In the short term, it is proposed to install a desander at the entrance to the WWTP, expand the structure of the

sedimentation tanks and implement a filter system in the sludge drying beds. In the long-term proposal, it is suggested to redesign the system or implement a parallel system to the existing one to satisfy the demand of the population's expenses.

Keywords: *domestic wastewater, water quality, domestic wastewater treatment, biological treatment.*

Lista de figuras

Figura 1. Esquema metodológico del proyecto.	6
Figura 2. Clasificación de las aguas residuales.	9
Figura 3. Clasificación de las aguas residuales.	10
Figura 4. Composición de las aguas residuales domésticas, % en peso.	11
Figura 5. Características de las aguas residuales.	14
Figura 6. Características físicas de las aguas residuales.	15
Figura 7. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro.	16
Figura 8. Clasificación de los sólidos en las aguas residuales.	17
Figura 9. Biodegradabilidad de las AR urbanas en función de la relación DBO/DQO.	22
Figura 10. Esquema de una PTAR.	31
Figura 11. % de Tratamiento del agua empleada en el consumo, en Ecuador.	34
Figura 12. Principales medios de descarga de efluentes (tratados y no tratados), en Ecuador.	35
Figura 13. Medios receptores del agua residual tratada (%).	36
Figura 14. Medios receptores del agua residual no tratada (%).	36
Figura 15. Tecnologías aplicadas en Ecuador en el tratamiento de aguas residuales domésticas.	37
Figura 16. Rejas de cribado, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.	38
Figura 17. Desarenador, PTAR Tarqui Centro, Victoria del Portete-Ecuador.	38
Figura 18. Trampa o interceptor de grasa.	39
Figura 19. Rejas de cribado, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.	39
Figura 20. a) Fosa séptica con un deflector; b) Fosa séptica con varios deflectores en serie.	40
Figura 21. Tanque séptico, PTAR Churuguzo, Victoria del Portete-Ecuador.	40
Figura 22. Tanque Imhoff vacío y en proceso de construcción en Perú.	41
Figura 23. Sedimentador convencional.	41
Figura 24. Humedales artificiales, PTAR Flor y Selva, Molleturo-Ecuador.	44
Figura 25. Lagunas de estabilización, PTAR Ucubamba, Ucubamba-Ecuador.	44
Figura 26. Unidad de desinfección con hipoclorito de sodio, PTAR Quitumbe, Quito-Ecuador.	45
Figura 27. Lecho de secado de lodos, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.	46
Figura 28. Localización del proyecto en el Ecuador.	57
Figura 29. Ubicación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	58
Figura 30. PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	60
Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de las aguas residuales de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	61
Figura 32. Esquema general de tratamiento, PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	62
Figura 33. Diagrama de flujo de Proceso PTAR “Huaycopungo Sur”.	66

Figura 34. Implantación PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	69
Figura 35. Vista en planta – Estructura de ingreso.	70
Figura 36. Vista en elevación – Estructura de ingreso.	71
Figura 37. Unidad de control y distribución de caudales de ingreso.	72
Figura 38. Separador de caudales de ingreso.	72
Figura 39. Reja de desbaste de la obra de toma.	73
Figura 40. Vista en planta – Estación de bombeo.	75
Figura 41. Vista en elevación – Estación de bombeo.	76
Figura 42. Desbaste – Estación de bombeo.	78
Figura 43. Cárcamo de bombeo.	79
Figura 44. Válvulas de compuerta – Estación de bombeo.	80
Figura 45. Tablero de control operación y monitoreo de la estación de bombeo.	81
Figura 46. Vista en planta y elevación – Sedimentador.	83
Figura 47. Vista en elevación – Sedimentador.	84
Figura 48. Sedimentador.	84
Figura 49. Zonas del sedimentador.	85
Figura 50. Vista en planta – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).	89
Figura 51. Vista en elevación – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).	90
Figura 52. Vista en elevación – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).	91
Figura 53. Filtro anaerobio de flujo ascendente, FAFA.	92
Figura 54. Conversión biológica en los sistemas aerobios y anaerobios.	93
Figura 55. Jacinto de agua, eichhomia crassipes.	94
Figura 56. Zonas de los estanques con macrófitas flotantes, Eichhomia crassipes (Jacinto de agua).	97
Figura 57. Vista en planta – Estanques con macrófitas flotantes, Eichhomia crassipes (Jacinto de agua).	98
Figura 58. Vista en elevación – Estanques con macrófitas flotantes, Eichhomia crassipes (Jacinto de agua).	99
Figura 59. Estanques con macrófitas flotantes (Jacinto de agua).	100
Figura 60. Vista en planta – Lechos de secados de lodos.	103
Figura 61. Vista en elevación – Lechos de secados de lodos.	104
Figura 62. Lechos de secado de lodos.	104
Figura 63. Área de influencia PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	109
Figura 64. Reconocimiento in situ del área de influencia PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	110
Figura 65. Socialización de la entrevista con los dirigentes.	110
Figura 66. Levantamiento de información socio-económica y de población en las localidades de Tocagón y Huaycopungo.	110
Figura 67. Porcentajes de viviendas entrevistadas de las localidades de Tocagón y Huaycopungo.	114
Figura 68. Porcentaje de población según género.	115
Figura 69. Ingresos que perciben las familias.	117

Figura 70. Tenencia de la vivienda.	117
Figura 71. Vía de acceso principal a la vivienda.	118
Figura 72. Tenencia de la vivienda.	118
Figura 73. Disposición de servicios básicos.	119
Figura 74. Aforo de caudal en la entrada de la PTAR (cámara de desbaste).	121
Figura 75. Puntos de muestreo, PTAR “Huaycopungo Sur”.....	130
Figura 76. Recolección manual de muestra de agua residual a la entrada de la PTAR (Cámara de desbaste).	132
Figura 77. Recolección de muestra de agua residual mediante muestreador automático a la salida del sedimentador = Entrada FAFA y salida de la PTAR (Estructura de descarga).	133
Figura 78. Sistema de evaluación de desempeño PTAR.	139
Figura 79. Campos de evaluación de desempeño de PTAR.....	141
Figura 80. Metodología de desarrollo para el sistema de evaluación de desempeño de la PTAR.	142
Figura 81. Eficiencia de capacidad física de la PTAR “Huaycopungo Sur”.	145
Figura 82. Desborde de caudal en estanques con macrófitas flotantes (imagen izquierda), distribuidor de caudal y sedimentador (imagen derecha), PTAR “Huaycopungo Sur”. ...	145
Figura 83. Evolución de la temperatura en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.	148
Figura 84. Evolución del pH en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.	149
Figura 85. Evolución de la conductividad eléctrica en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.....	150
Figura 86. Evolución de los sólidos disueltos, en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.	151
Figura 87. Variaciones de los parámetros físicos del agua residual, antes y después del tratamiento.	156
Figura 88. Variaciones de los parámetros químicos orgánicos del agua residual, antes y después del tratamiento.	156
Figura 89. Variaciones de los parámetros químicos inorgánicos del agua residual, antes y después del tratamiento.	157
Figura 90. Variación de coliformes fecales del agua residual, antes y después del tratamiento.	157
Figura 91. Evolución temporal de las eficiencias de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento de aguas Residuales “Huaycopungo Sur”.	175
Figura 92. Deterioro de algunos componentes del sistema: a) Válvula de compuerta, b) tuberías de la línea de impulsión, c) lechos de secado.	185
Figura 93. Detalles de la propuesta de mejoramiento del sedimentador.	188
Figura 94. Detalles de la propuesta para el medio de soporte del FAFA.	190
Figura 95. Pormenores del diseño del desarenador.	193
Figura 96. Pormenores del rediseño del sedimentador.	196
Figura 97. Pormenores del medio de drenaje a implementarse en las unidades de secado.	199

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Lista de tablas

Tabla 1. Contaminantes importantes de las aguas residuales.	8
Tabla 2. Criterios para clasificar el ARD según su composición.	12
Tabla 3. Definiciones para sólidos encontrados en el agua residual.	18
Tabla 4. Condición General del agua residual.	20
Tabla 5. Comparación de varios parámetros utilizados para caracterizar aguas residuales.	23
Tabla 6. Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.	24
Tabla 7. Tipo y concentración de organismos patógenos encontrados típicamente en un agua residual Doméstica sin tratamiento.	26
Tabla 8. Características de los principales niveles de tratamiento.	29
Tabla 9. Plantas de Tratamiento existentes en el Ecuador hasta el 2016.	35
Tabla 10. Información general de la ubicación del proyecto.	54
Tabla 11. Coordenadas WGS84 de referencia de ubicación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	55
Tabla 12. Datos generales de la parroquia San Rafael de Laguna.	56
Tabla 13. Información general de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	63
Tabla 14. Resumen de los elementos principales que conforman “Huaycopungo Sur”. ...	68
Tabla 15. Características del separador de caudales.	72
Tabla 16. Características de la reja de desbaste de la obra de toma.	73
Tabla 17. Ventajas y desventajas del uso de rejillas de cribado.	74
Tabla 18. Características de la reja de desbaste de la estación de bombeo.	78
Tabla 19. Características del cárcamo de bombeo.	79
Tabla 20. Ventajas y desventajas del uso de la válvula de compuerta.	81
Tabla 21. Eficiencias de remoción promedio esperadas para el sedimentador, según concepción de diseño.	82
Tabla 22. Características del sedimentador.	82
Tabla 23. Ventajas y desventajas del sedimentador.	86
Tabla 24. Eficiencias de remoción promedio esperadas para el FAFA, según concepción de diseño.	87
Tabla 25. Características del FAFA.	88
Tabla 26. Ventajas y desventajas del FAFA.	92
Tabla 27. Características de la especie <i>Eichhornia crassipes</i>	94
Tabla 28. Características de los estanques.	96
Tabla 29. Eficiencias de remoción promedio esperadas para los estanques con macrófitas flotantes, según concepción de diseño.	96

Tabla 30. Ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas de estanques con jacinto de agua.	100
Tabla 31. Características de los lechos de secado.	103
Tabla 32. Ventajas y desventajas de lechos de secado de lodos.	105
Tabla 33. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	107
Tabla 34. Resumen de los resultados de la encuesta socio-económica de las localidades de Tocagón y Huaycopungo.	113
Tabla 35. Población total del área de influencia PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.	114
Tabla 36. Alfabetismo y analfabetismo en las localidades Tocagón y Huaycopungo.	115
Tabla 37. Actividad económica de las poblaciones.	115
Tabla 38. Percepción sobre necesidad de obras de infraestructura.	116
Tabla 39. Disposición para beneficio de obras de mejora.	116
Tabla 40. Condición de uso de la vivienda.	117
Tabla 41. Reporte del levantamiento a cinta.	120
Tabla 42. Caudales medios horarios que ingresan a la PTAR “Huaycopungo Sur” en época lluviosa.	123
Tabla 43. Caudales medios horarios que ingresan a la PTAR “Huaycopungo Sur” en época seca.	124
Tabla 44. Rangos de variabilidad de los parámetros medidos “in situ”.	125
Tabla 45. Valores promedios de Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Hidrógeno (pH) y Sólidos Disueltos Totales (SDT), en el sistema tratamiento “Huaycopungo Sur” período de lluvia.	126
Tabla 46. Valores promedios de Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Hidrógeno (pH) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el sistema tratamiento “Huaycopungo Sur” período de sequía.	127
Tabla 47. Parámetros físico-químicos y microbiológicos considerados en la caracterización del afluente y efluente de la PTAR “Huaycopungo Sur”.	129
Tabla 48. Parámetros físico-químicos y microbiológicos considerados en la caracterización de los afluentes y efluentes de las unidades operativas que conforman los procesos unitarios de la PTAR “Huaycopungo Sur”.	129
Tabla 49. Plan de muestreo.	131
Tabla 50. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR “Huaycopungo Sur”.	135
Tabla 51. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente del Sedimentador, PTAR “Huaycopungo Sur”.	136
Tabla 52. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente del FAFA, PTAR “Huaycopungo Sur”.	137
Tabla 53. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente de los estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua), PTAR “Huaycopungo Sur”.	138
Tabla 54. Indicadores de desempeño de PTAR.	143

Tabla 55. Eficiencia de capacidad física de la PTAR “Huaycopungo Sur”.....	145
Tabla 56. Intervalos típicos de temperatura para diversas bacterias para ambientes anaeróbicos.....	146
Tabla 57. Principales grupos de los contaminantes del agua y sus efectos.....	152
Tabla 58. Resultados de la verificación del cumplimiento de la emisión de descarga de la PTAR “Huaycopungo Sur” con la normativa ambiental vigente.....	153
Tabla 59. Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes del sedimentador.....	160
Tabla 60. Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO ₅ , CF, P y NKT del sedimentador.....	160
Tabla 61. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa sedimentadora del tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.....	162
Tabla 62. Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción del FAFA.....	165
Tabla 63. Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO ₅ , CF, P y NKT del FAFA.....	165
Tabla 64. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa FAFA del tratamiento secundario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.....	167
Tabla 65. Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción de los humedales artificiales.....	170
Tabla 66. Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO ₅ , DQO, CF, P y NKT de los humedales artificiales.....	171
Tabla 67. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño del tratamiento de agua residuales con macrófitas flotantes en el sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.....	172
Tabla 68. Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).	176
Tabla 69. Composición del agua residual que ingresa a la PTAR “Huaycopungo”.	179
Tabla 70. Desempeño del tren de tratamiento: sedimentador más filtro anaerobio (FAFA) mas estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua).....	180
Tabla 71. Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).	183
Tabla 72. Informacion poblacional.....	186
Tabla 73. Costo de la propuesta de mejora de infraestructura del sedimentador (2018)..	187
Tabla 74. Costo del uso de floculante por cada año de operación del la PTAR (2018)...	189
Tabla 75. Prarámetro para el medio filtrante del FAFA.....	190
Tabla 76. Costo para el reemplazo del material del medio filtrante del FAFA (2018). ...	190
Tabla 77. Especificaciones del desarenador.....	192

Tabla 78. Especificaciones del sedimentador.....	195
Tabla 79. Especificaciones del medio de drenaje propuesto parara la implementación en las unidades de secado.	198

Lista de siglas

La simbología que se presenta a continuación se refiere sólo a los símbolos más relevantes, pudiendo, en el texto, utilizar otros símbolos en casos particulares y no pasibles de ambigüedad.

AR	Agua Residual
ARC	Agua Residual Cruda
ARD	Agua Residual Doméstica
ARI	Agua Residual Industrial
ART	Agua residual Tratada
ARU	Agua Residual Municipal o Urbana
CE	Conductividad Eléctrica
CF	Coliformes Fecales
COT	Carbono Orgánico Total
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDAR	Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales
EPTAR	Entrada Planta de Tratamiento de Agua Residual
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
ID	Indicador de Desempeño
LMPN	Límite Máximo Permissible, recomendado por la Norma
NKT	Nitrógeno Kjeldahl Total
NMP	Número más Probable
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Concentración del ion Hidrógeno
PTAR	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
Q	Gasto o Caudal
RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
S	Concentración Contaminante en el Efluente
S ₀	Concentración Contaminante en el Afluente
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SPTAR	Salida Planta de Tratamiento de Agua Residual
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
STAR	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
T	Temperatura
TRH	Tiempo de Residencia Hidráulica
UFC	Unidad Formadora de Colonias
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Índice

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS.....	XV
LISTA DE SIGLAS.....	XIX
ÍNDICE.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
1.1. Agua Residual (AR).....	7
1.1.1. Fuentes de Aguas Residuales.....	8
1.1.2. Clasificación de las Aguas Residuales.....	9
1.1.3. Características de las Aguas Residuales.....	13
1.2. Niveles de tratamiento.....	28
1.3. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).....	30
1.4. Operación y mantenimiento de una Planta de Tratamiento de Agua Residual.....	32
1.4.1. Responsabilidad de la población y mantenimiento de una PTAR.....	32
1.5. Eficiencia y Optimización de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	33
1.6. Tratamiento de Aguas Residuales en Ecuador.....	34
1.6.1. Ecuador: Algunos datos importantes.....	34
1.6.2. Tipos de tratamiento.....	36
1.7. Marco legal en el Ecuador.....	46
1.7.1. Leyes ambientales.....	47
1.7.2. Ley de aguas.....	50
1.7.3. Ley orgánica de la salud.....	52
1.7.4. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Todo una Vida.....	52
1.7.5. Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).....	53

2. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES N° 3 “HUAYCOPUNGO SUR” – ECUADOR.....	54
2.1. Localización Geográfica.....	54
2.2. Descripción de la PTAR.....	59
2.2.1. Información general de la PTAR.....	62
2.2.2. Descripción del Tratamiento.....	63
2.2.3. Reconocimiento “in situ” y descripción de las unidades y componentes que conforman la PTAR.....	67
2.3. Operación y Administración de la PTAR.....	105
3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	108
3.1. Encuesta socio-económica y poblacional.....	108
3.1.1. Aspectos Metodológicos.....	108
3.1.2. Aspectos operativos de la encuesta.....	111
3.1.3. Resultados.....	111
3.2. Levantamiento a cinta y verificación del estado actual de las estructuras.....	119
3.3. Medición de Caudales.....	121
3.3.1. Aforo volumétrico.....	121
3.3.2. Resultados.....	122
3.4. Monitoreo de parámetros de calidad de agua residual.....	125
3.4.1. Monitoreo de parámetros operacionales de control “in situ”.....	125
3.4.2. Caracterización de los parámetros de calidad de agua para análisis en laboratorio.....	128
4. EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO N° 3 DE AGUA RESIDUAL “HUAYCOPUNGO SUR”.....	139
4.1. Situación actual de la PTAR “Huaycopungo Sur”.....	139
4.1.1. Eficiencia de capacidad física del sistema.....	144
4.1.2. Parámetros operacionales de control “in situ”.....	145
4.1.3. Calidad de agua tratada.....	151
4.1.4. Eficiencia del tren de tratamiento.....	158
4.2. Resultados y diagnóstico de la evaluación de la PTAR “Huaycopungo Sur” 	176
4.2.1. Indicadores de desempeño.....	176
4.2.2. Capacidad física del sistema.....	178
4.2.3. Composición del agua residual.....	179
4.2.4. Calidad de agua tratada.....	179
4.2.5. Eficiencia de remoción de contaminantes.....	180
4.2.6. Factores influyentes en el rendimiento y eficiencia del sistema de tratamiento.....	181
4.2.7. Operativos y de mantenimiento.....	182

4.2.8. Aspectos sociales relacionados a la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	185
4.3. Propuestas de mejora para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	186
4.3.1. Propuestas a corto plazo.....	187
4.3.2. Propuestas a mediano plazo.....	190
4.3.3. Propuestas a largo plazo.....	200
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	201
5.1. Conclusiones.....	201
5.2. Recomendaciones.....	204
BIBLIOGRAFÍA.....	206
ANEXOS.....	213
GLOSARIO.....	255

Introducción

El desarrollo y crecimiento de la industrialización, la urbanización y la población humana acrecienta los problemas de contaminación y en consecuencia el suministro de agua potable y la generación de residuos líquidos (aguas residuales) que se descargan a los cursos de agua como ríos, mares, lagos, lagunas, esteros y océanos.

Para el tratamiento de las aguas residuales se han desarrollado un conjunto de operaciones las mismas que pueden ser de tipo físico, químico o biológico con la finalidad de eliminar, transformar o reducir la contaminación o las características no deseables de las aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.

La finalidad de las operaciones de tratamiento es obtener aguas tratadas que cumplan con los parámetros establecidos en la legislación vigente de acuerdo a la descarga o al uso que se les vaya a dar, por lo que cada uno de los procesos varían en función de las características de las aguas a tratar.

Existen diferentes tecnologías para tratar las aguas residuales, pero todas deben cumplir los mismos principios: cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, con un rendimiento efectivo y eficiente para evitar problemas ambientales y riesgos para la salud de la población aledaña.

El Municipio de Otavalo construye la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en el sector denominado “Huaycopungo Sur”, en la parroquia San Rafael, con el fin de tratar el agua servida proveniente de las actividades domésticas de la zona. Esta planta es de un diseño tradicional, cuenta con tanque sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente, estanques con macrófitas flotantes y lechos de secado. La falta de un adecuado control en los procesos de operación y mantenimiento de la PTAR ocasiona que el sistema no opere con normalidad, convirtiéndola en protagonista del deterioro de la calidad de agua del lago San Pablo y generando afectación al colectivo aledaño por la generación de olores desagradables y proliferación de insectos debido a los constantes desbordamientos de agua que se presentan en algunas unidades de la planta durante su proceso operativo. El municipio cuenta con cierto tipo de registros de operación y mantenimiento de la planta, sin embargo, el control del sistema no ha sido suficiente. Por tal motivo se planteó evaluar la planta de tratamiento, para diagnosticar su desempeño actual y encontrar posibles soluciones que permitan minimizar los problemas generados por la deficiente operación y mantenimiento y que a su vez permitan mejorar el desempeño del sistema.

Justificación

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) como máxima autoridad ambiental, promueve y fomenta iniciativas de preservación y cuidado de la flora y fauna, estableciendo proyectos que garanticen el desarrollo sostenible, rentabilidad económica y equidad social.

La contaminación del lago San Pablo, por la vía de aguas servidas que provienen de parroquias y comunidades locales, es motivo de preocupación de autoridades durante los últimos años. Como una forma de buscar soluciones, en diferentes sectores se realizan estudios y plantean alternativas para superar esta problemática

En el 2009 el MAE inició el proyecto de recuperación del lago San Pablo a través de la construcción de alcantarillado sanitario, el tratamiento de aguas servidas provenientes de las comunidades aledañas y la evaluación del estado actual de funcionamiento de algunas plantas de tratamiento construidas en la zona del Lago San Pablo, con el propósito de garantizar y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cuenca del lago y rescatar este recurso hídrico que además es un icono turístico del cantón Otavalo.

Es por eso, que surge la necesidad e importancia de estudiar el estado actual del funcionamiento de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual “Huaycopungo Sur” que es una de las plantas de tratamiento que descarga el agua depurada al lago.

Esta investigación pretende ser un aporte en la iniciativa que promueve y fomenta la MAE en la recuperación del lago San Pablo y la mejora continua en todos los procesos de tratamiento de aguas de descarga y descontaminación de este cuerpo hídrico, a través de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Otavalo (EMAPAO – EP). Los resultados del estudio se medirán a futuro, en la toma de acciones para la mejora de la eficiencia del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Huaycopungo Sur” además se podrán replicar en el resto de plantas de tratamiento de similares características que se localizan en el sector.

Objetivos

Objetivo General

- Plantear alternativas de mejora luego de analizar y evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual “Huaycopungo Sur” localizada en la parroquia San Rafael de la Laguna, cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado físico actual de funcionamiento de la Planta de Tratamiento No. 3 de Aguas Residuales “Huaycopungo Sur”.
- Verificar mediante la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual doméstica del sistema de tratamiento, el cumplimiento de la disposición legal vigente en el país.
- Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes de cada uno de los procesos unitarios y el sistema en su conjunto.
- Determinar los factores que afectan el buen funcionamiento de las unidades que conforman la planta de tratamiento.
- Establecer acciones que mejoren el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Metodología de investigación

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, se consideró cuatro etapas con sus respectivas actividades.

En la **primera etapa** se realizó la recopilación de la información mediante literatura existente sobre tratamiento de agua residual doméstica, recopilación de artículos y memorias. Se realizó una investigación que permitió establecer los dominios y aspectos relevantes de la evaluación de desempeño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. El objetivo es dar al proyecto las bases teóricas suficientes para un desarrollo adecuado.

En la **segunda etapa** se recabó y revisó información existente y disponible del colectivo que tiene relación directa con el proyecto, así como información específica de la planta de tratamiento: planos de diseño, manual de operación y mantenimiento y reportes operacionales (caudal, monitoreos de calidad de agua, registros del control y vigilancia de cada proceso operacional). Al mismo tiempo, se iniciaron las visitas a la planta. En primera instancia se realizó una visita preliminar en la que se realizó una inspección general de la planta y los procesos. También, se entrevistó al encargado de la supervisión de la PTAR para conocer de forma general el funcionamiento de todo el sistema.

En vista que no se disponía información actualizada de la población a la cual se atiende y sobre todo no se contaba con los respectivos reportes y registros operacionales de la PTAR, se decidió realizar una encuesta socio-económica a la población servida y fue necesario realizar una serie de monitoreos en la PTAR, durante temporada seca y lluviosa.

- *Encuesta socio-económica:* Se levantó información para conocer y aportar información actualizada del poblado, y para conocer el nivel de satisfacción en cuanto a los servicios de saneamiento.
- *Levantamiento a cinta y verificación del estado actual de las estructuras:* El objetivo principal de esta actividad fue el cotejar el número de unidades y sus dimensiones con las de diseño; y, para constatar el estado actual de las estructuras, a través de una inspección visual.
- *Determinación de caudales:* Se realizaron mediciones de caudal del agua residual que ingresa a la PTAR, cada hora durante un período de 7 días consecutivos (06h00 a 18h00), con el fin de establecer el caudal medio afluente y verificar el caudal de diseño que garantiza su eficiencia hidráulica en su operación y funcionamiento. Con estos datos se construyó la curva de variación de caudal para apreciar su variación y evidenciar los picos de caudal y las horas en las que se presentan, para de acuerdo a esto tener una mayor influencia en la toma de muestras del afluente en cuanto a su composición en función del ritmo de vida de los habitantes.
- *Monitoreo de parámetros operacionales de control “in situ”:* En esta fase se realizaron mediciones de temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), potencial de

hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (SDT) utilizando equipos portátiles digitales durante 7 días consecutivos (06h00 a 18h00) tanto en la temporada seca como la temporada de lluvia para verificar las condiciones operativas de cada uno de los procesos que conforman la planta de tratamiento.

- *Monitoreo de parámetros operacionales de control “in situ”*: En esta fase, para verificar las condiciones operativas de cada uno de los procesos que conforman la planta de tratamiento, en campo se realizaron mediciones de temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (SDT) utilizando equipos portátiles digitales. Las mediciones se realizaron durante 7 días (06h00 a 18h00) para cada temporada.
- *Monitoreo de parámetros de calidad de agua residual*: Para la caracterización del agua residual se identificaron los puntos de muestreo, los parámetros a monitorear, las técnicas a utilizar en la medición de estos parámetros y el tipo de muestra a tomar, el procedimiento de muestreo se llevó a cabo conforme a las especificaciones presentadas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:201323, Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo y la NTE INEN 2169:201324, Calidad del agua, muestro, manejo y conservación de muestras. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Ensayo de Microbiología y Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, Acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE). El objetivo principal del monitoreo de los parámetros de calidad de agua residual, es verificar el cumplimiento del efluente final de la PTAR con los límites máximos admisibles establecidos en la norma ambiental vigente del país; y, el evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de cada proceso de tratamiento y del sistema en su conjunto.

En la **tercera etapa** se realizó la evaluación de la PTAR, definiendo indicadores de desempeño de acuerdo con los datos recopilados en la segunda etapa. La evaluación se efectuó teniendo como bases indicadores relativos al campo de evaluación de eficiencia física del sistema, parámetros operacionales de control “in situ” de los procesos, calidad del agua tratada y eficiencia y fiabilidad de la PTAR, con el fin de conocer su desempeño.

Finalmente, en la **cuarta etapa** se plantea y fundamenta propuestas de mejora para la optimización del sistema de tratamiento, identificando propuestas a corto, mediano y largo plazo.

En la Figura 1 se presenta el esquema general de la metodología utilizada para la elaboración del proyecto.

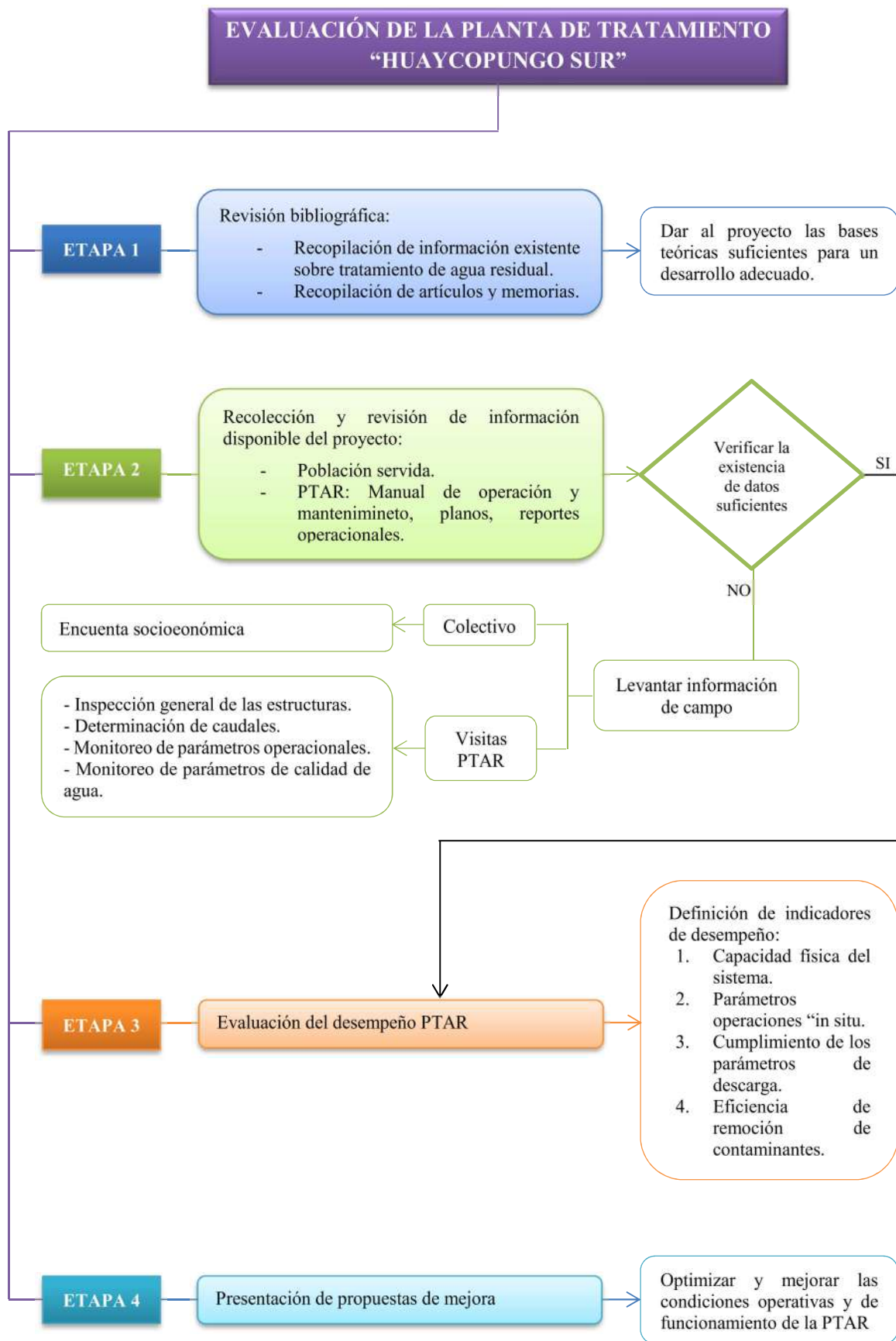


Figura 1. Esquema metodológico del proyecto.

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur” de la Parroquia San Rafael de la Laguna,
Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador**

Fundamento teórico

Capítulo 1

1. Fundamento teórico

En este capítulo se hace una breve referencia a la teoría, conceptos, definiciones y antecedentes en general más relevantes en los que se fundamenta el desarrollo de la investigación. Básicamente en este capítulo se realiza un enfoque en las aguas residuales, clasificación de los contaminantes de agua, caracterización de las aguas residuales, parámetros para medir las características de las aguas residuales, caracterización y aspectos legales del tratamiento de las Aguas Residuales en el Ecuador.

1.1. Agua Residual (AR)

Las aguas residuales pueden definirse como las 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 comerciales, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado (*Mara, 1976*).

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (*Mendoca, 1987*).

La composición del agua residual a tratar debe conocerse antes del tratamiento para que éste resulte eficaz. La caracterización del agua permite conocer los elementos químicos y biológicos que contiene, proporcionando la información necesaria para el diseño de una planta de tratamiento eficaz. Como se ha indicado, la composición de las aguas residuales se establece con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas.

El tipo y la cantidad de agua residual efluente a una estación depuradora reflejan la naturaleza del área a la que sirve, el uso que se le ha dado y las condiciones del medio de conducción. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Las aguas residuales pueden contener grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, residuos hospitalarios, agro ganaderos, herbicidas, plaguicidas y sustancias tóxicas, entre otros. Por esta razón es que estas aguas antes de ser devueltas a la naturaleza, a entrar en contacto nuevamente con el entorno natural, deben ser depuradas, tratadas de un modo especial, con el fin de eliminar, transformar o reducir sus agentes contaminantes, para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

Lamentablemente en muchos pueblos y ciudades no se realiza este trabajo depurador tan necesario sobre las aguas residuales y las mismas son directamente vertidas en los cuerpos

de agua. Esta acción ha provocado a que los problemas ambientales y sociales se acrecienten cada vez más.

La Tabla 1 presenta una lista de contaminantes que es común encontrar en las aguas residuales municipales, la fuente que los genera y sus consecuencias ambientales.

Tabla 1. *Contaminantes importantes de las aguas residuales.*
Fuente: Adaptado de Hang (2006).

CONTAMINANTE	FUENTE	IMPORTANCIA AMBIENTAL
Sólidos suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles (cólera, hepatitis, dengue, etc).
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales	Pueden causar eutrofización.
Compuestos orgánicos refractarios	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente
Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Puede interferir con el reúso del efluente.
Contaminantes emergentes <i>(productos farmacéuticos, del cuidado personal, productos fitosanitarios agropecuarios)</i>	Desechos domésticos, industriales, agrícolas y ganaderos.	Alteran el sistema endocrino (conjunto de órganos y tejidos del organismo) afectando la salud de los seres humanos y de especies animales.

1.1.1. Fuentes de Aguas Residuales

En general, los vertidos que se generan en los núcleos de una población urbana, resultan de la combinación de las aguas provenientes de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario, entre otras, junto a cualquier agua subterránea, superficial o de precipitación que puedan agregarse. Estos vertidos son recolectados y conducidos por un sistema de alcantarillado y tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales para su depuración antes de su vertido, aunque no siempre es así en todos los países.

Las aguas lluvias transportan la carga contaminante de techos, calles y demás superficies por donde circula; sin embargo, en algunas ciudades estas aguas se recogen en sistemas separados de alcantarillado denominado alcantarillado pluvial, sin conexiones a los sistemas

de alcantarillado de aguas residuales domésticas o industriales (alcantarillado sanitario) y, en general, se descargan directamente al curso de agua natural más próximo sin ningún tipo de tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra captar el caudal de tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y conducirlo a la planta de tratamiento para su procesamiento. Sin embargo, durante las épocas de lluvia, el caudal en exceso de la capacidad de la planta y del alcantarillado receptor se desvía directamente al curso natural de agua. En este caso se pueden presentar riesgos de contaminación y el incumplimiento de las normas de descarga, los cuales se pueden evitar reemplazando el sistema de alcantarillado combinado o la construcción de cuencas de retención. La Figura 2 resume las principales fuentes de aguas residuales.

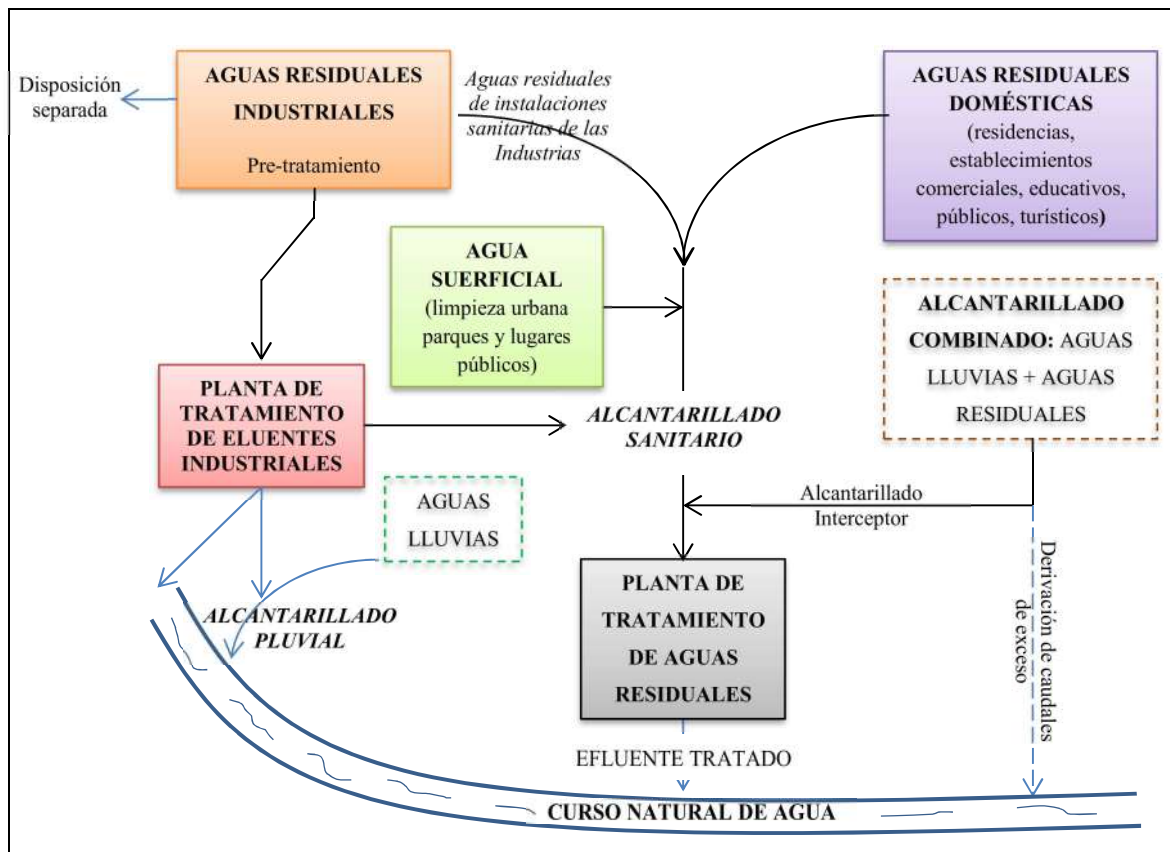


Figura 2. Clasificación de las aguas residuales.

Fuente: Adaptado de Rojas (2010).

1.1.2. Clasificación de las Aguas Residuales

Existen diversos tipos de aguas residuales, los criterios de clasificación se basan en sus orígenes y están vinculados a la actividad del ser humano. Las aguas residuales pueden tener uno o diversos orígenes: doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo, entre otros, los mismos que determinan sus características. Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como se presenta en la Figura 3.

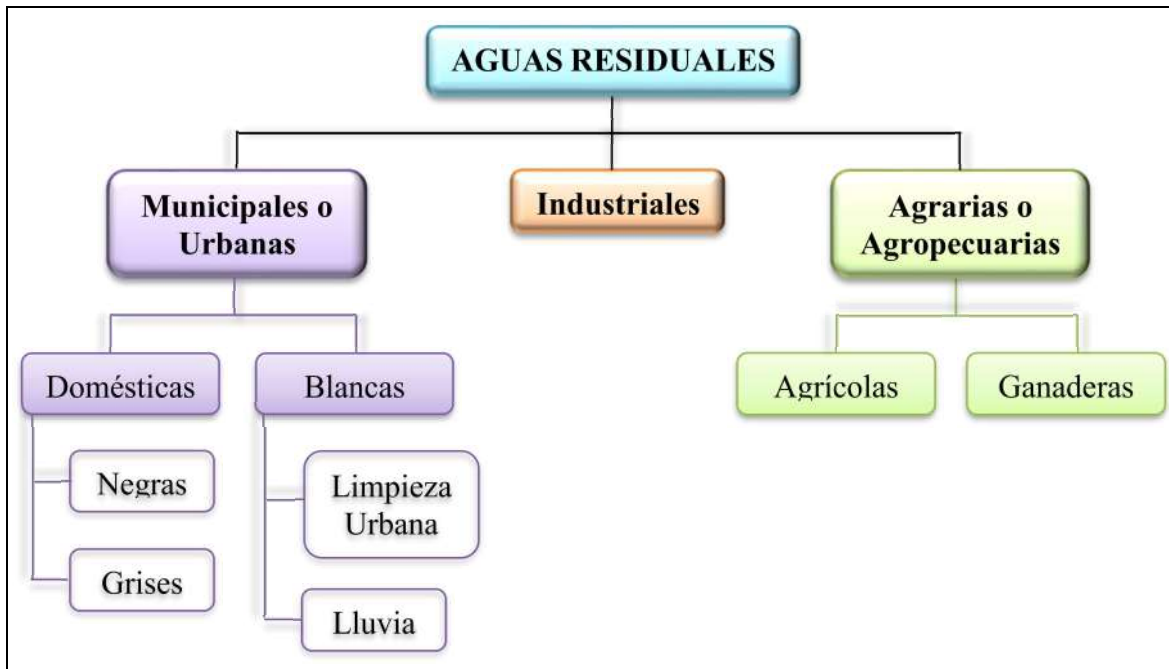


Figura 3. Clasificación de las aguas residuales.

a) Aguas Residuales Municipales o Urbanas (ARU)

Incluyen en general las aguas de uso doméstico (aguas domésticas), junto con las aguas procedentes de la lluvia y limpieza de calles, parques y lugares públicos (aguas blancas), y en algunas ocasiones con aguas procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en una aglomeración urbana.

Los aportes que generan esta agua son:

▪ Aguas residuales domésticas (ARD):

Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocinas, lavanderías) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con los residuos líquidos originados en establecimientos comerciales, públicos, turísticos e instalaciones sanitarias de las industrias. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes (nitrógeno y fósforo) y organismos patógenos. Su calidad uniforme, conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones. Las ARD, se pueden subdividir en:

- **Aguas negras:** Son aquellas provenientes de inodoros y transportan excrementos humanos y orina que contienen sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- **Aguas grises** Son las provenientes de tinajas, duchas, lavamanos, lavaplatos, lavaderos y lavadoras. Se caracterizan por ser aguas jabonosas las cuales pueden contener grasas. Pueden emplearse para usos que no requieren agua potable: el tanque del inodoro, el riego de jardines o la limpieza de recintos.

Las aguas residuales consisten básicamente en: agua y sólidos suspendidos, coloidales y disueltos (Figura 4). Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0,1 % en peso), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos.

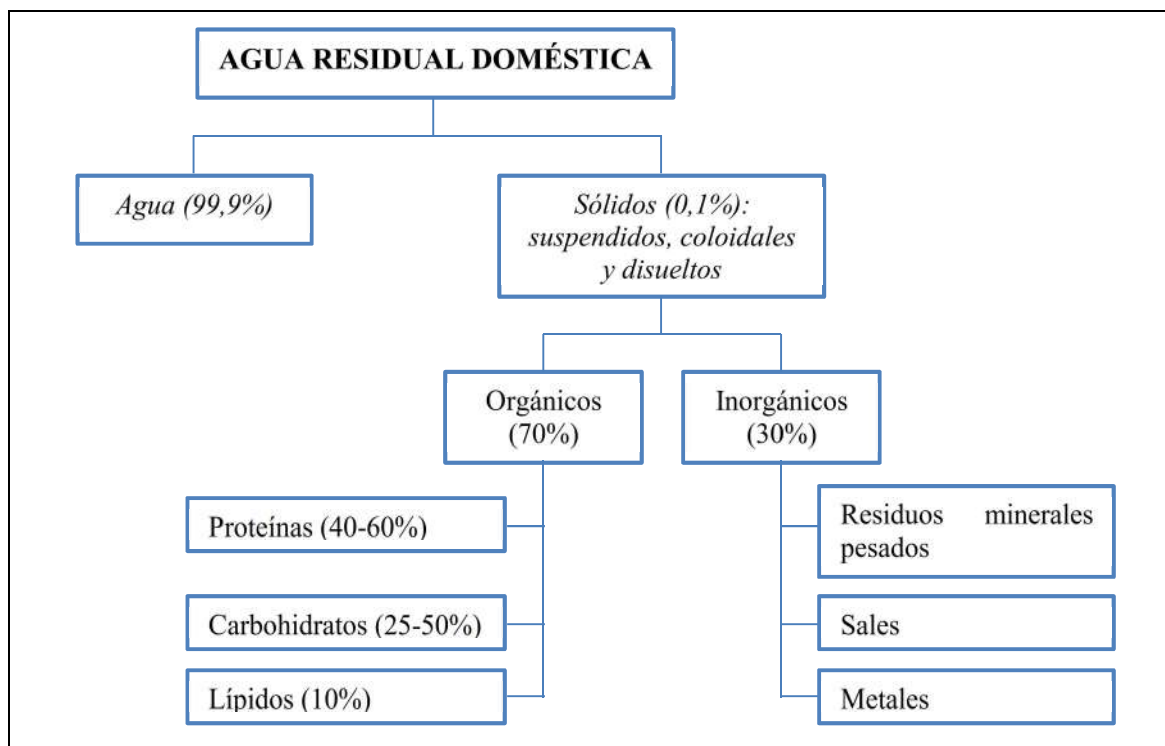


Figura 4. Composición de las aguas residuales domésticas, % en peso.

Fuente: Metcalf y Eddy (1985).

El agua residual está conformada de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos de alimentos, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

Las proteínas son el principal componente del organismo animal, pero también están presentes en los vegetales. El gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del azufre de las proteínas.

Los carbohidratos son las primeras sustancias degradadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos (por esta razón, las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez). Entre los principales ejemplos se pueden citar los azúcares, el almidón, la celulosa y la lignina (madera).

Los lípidos (aceites y grasas) incluyen gran número de sustancias que tienen, generalmente, como principal característica común la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes también bajo la forma de aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas (de estaciones de servicio, por ejemplo), y son altamente indeseables, porque se adhieren a las tuberías, provocando su obstrucción.

Las grasas no son deseables, ya que provocan mal olor, forman espuma, inhiben la vida de los microorganismos, provocan problemas de mantenimiento, etc.

La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos. Entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. Además, del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como dióxido de carbono, resultante de la descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del azufre. Estos gases, aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes del agua residual.

Debido a la gran diversidad de constituyentes del agua residual y a la variación que presenta su concentración, según factores ambientales, culturales y de infraestructura de la red de alcantarillado, es posible clasificar el ARD según la concentración de parámetros que han sido establecidos para cuantificar la contaminación, tales como DBO₅, DQO, y Sólidos. Cabe mencionar que entre mayor sea la concentración de materia orgánica mayor será la concentración del agua residual. En la Tabla 2, se presentan los parámetros y rangos establecidos para realizar la clasificación del ARD (Leyva, 1998).

Tabla 2. Criterios para clasificar el ARD según su composición.

Fuente: Metcalf y Eddy (2003); Jordão y Pessoa (2011).

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Baja	Moderada	Alta
Sólidos Totales (ST)	mg/l	370 - 730	730 - 1160	> 1160
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	250 - 500	500 - 800	> 800
Sólidos Disueltos Fijos (SDF)	mg/l	145 - 300	300 - 500	> 500
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	mg/l	105 - 200	200 - 300	> 300
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	120 - 230	230 - 360	> 360
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	mg/l	30 - 55	55 - 80	> 80
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	mg/l	90 - 175	175 - 280	> 280
Sólidos Sedimentables (SD)	mg/l	5 - 10	10 - 20	> 20
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l	110 - 200	200 - 400	> 400
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	200 - 400	400 - 800	> 800
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	50 - 500	500 - 290	> 290
Nitrógeno Total (N)	mg/l	20 - 40	40 - 290	> 85
Nitrógeno Orgánico	mg/l	10 - 20	20 - 35	> 35
Nitrógeno Amoniacal libre N-NH ₄	mg/l	10 - 20	20 - 50	> 50
Nitratos N-NO ₃	mg/l	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Nitritos N-NO ₂	mg/l	0 - 0,05	0,05 - 0,1	> 0,1
Fósforo Total (Total como P)	mg/l	5 - 10	10 - 20	> 20
Fósforo Orgánico	mg/l	2 - 4	4 - 7	> 7
Fósforo Inorgánico	mg/l	3 - 6	6 - 13	> 13
Cloruros	mg/l	30 - 50	50 - 100	> 100
Sulfatos	mg/l	20 - 30	30 - 50	> 50
Alcalinidad (como CO ₃ Ca)	mg/l	50 - 100	100 - 200	> 200
Grasa	mg/l	50 - 100	100 - 150	> 150
Coliformes Totales	(UFC/100ml)	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles	µg/l	<100	100-400	>400

- **Aguas blancas:**

Pueden ser provenientes de la precipitación pluvial (agua lluvia) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. Debido a que estas aguas fluyen por los techos, pavimentos, y otras superficies naturales del terreno pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos; en zonas de alta contaminación atmosférica, pueden contener algunos metales pesados y otros elementos químicos. Estas aguas son menos contaminadas que las aguas domésticas e industriales, razón por la cual recibe poco o ningún tratamiento antes de su descarga. En aquellos lugares en que las precipitaciones pluviales son muy intensas, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- b) Aguas Residuales Industriales (ARI)**

Estas aguas se caracterizan por ser provenientes de los diferentes procesos industriales (textil, láctea, química, azucarera, papelería, entre otras). Presentan características muy distintas de las aguas residuales urbanas. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Son mucho más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de remover. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

- c) Aguas Residuales Agrarias o Agropecuarias**

Este tipo de aguas residuales son las generadas por los regadíos de las plantaciones. En el caso de la ganadería, las aguas residuales se generan en la cría de animales y pastoreo. Cabe resaltar que, estas aguas tienen gran cantidad de contaminantes, como los pesticidas usados por veterinarios y los criadores de animales, y los fertilizantes que usan los agricultores en las diferentes plantaciones para cuidar y mejorar los diferentes cultivos. Esto tiene grandes repercusiones en el medio ambiente y, además, los métodos de tratamiento para las aguas residuales agrícolas y ganaderas son de mayor complejidad.

1.1.3. Características de las Aguas Residuales

Existen parámetros comunes de aguas residuales, las cuales son de gran interés y sirven como referencia para el estudio de sus características particulares; pero hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que en lo posible los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica. (Stafford, 1992). Las características encontradas en las aguas residuales son físicas, químicas y biológicas, como se muestra en la Figura 5. Entre las características físicas más importantes se tiene: el olor, la temperatura, la densidad, la turbiedad, el color y los sólidos. Las características químicas son principalmente el contenido de materia orgánica, inorgánica y los gases presentes en el agua residual. Las características biológicas se relacionan con los microorganismos causantes de enfermedades, en particular bacterias y virus. Las características que presentan las aguas residuales en su composición son importantes para identificar el tipo de tratamiento, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental.

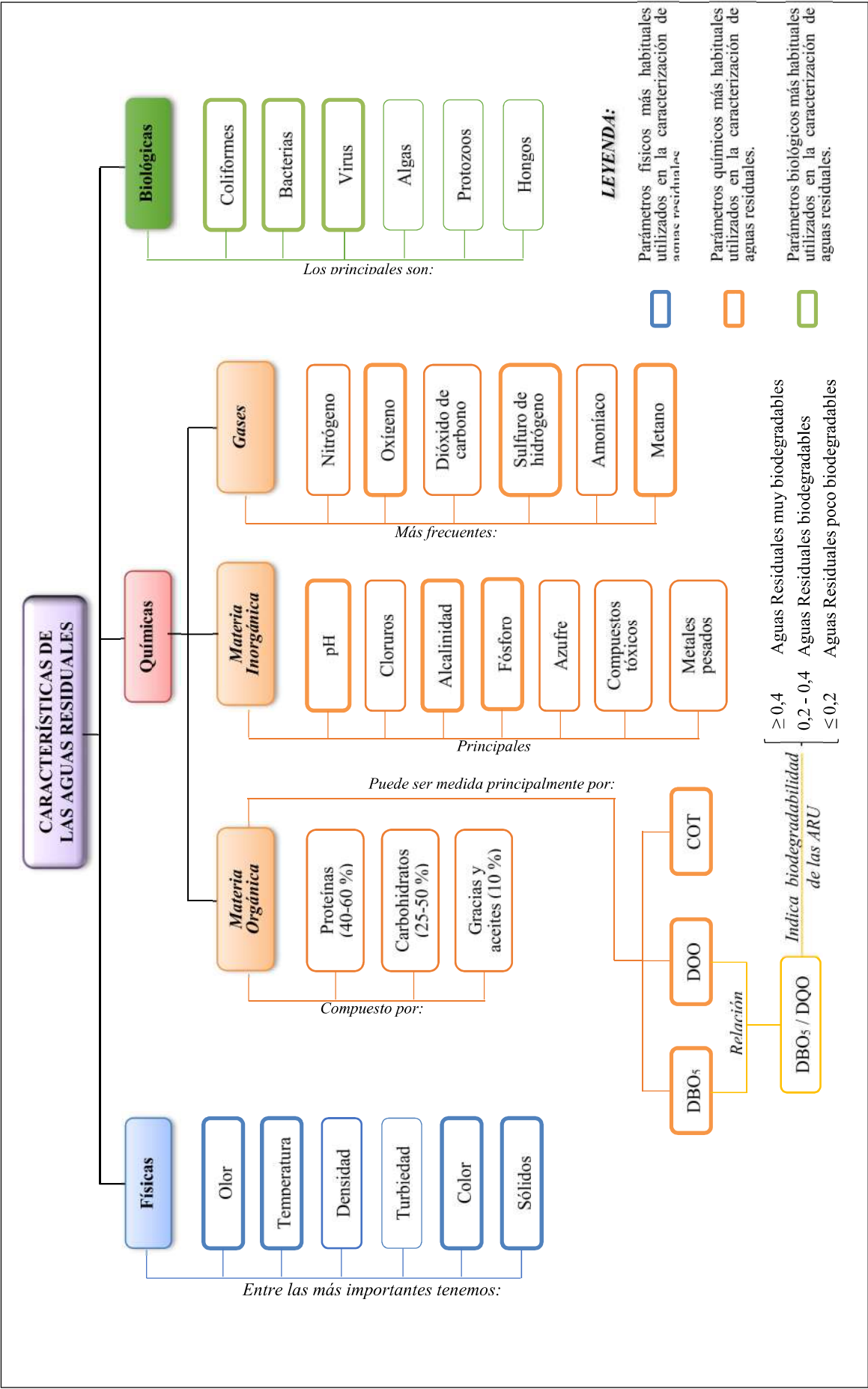


Figura 5. Características de las aguas residuales.

Características físicas

La característica física más importante del agua residual (Figura 6) 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.

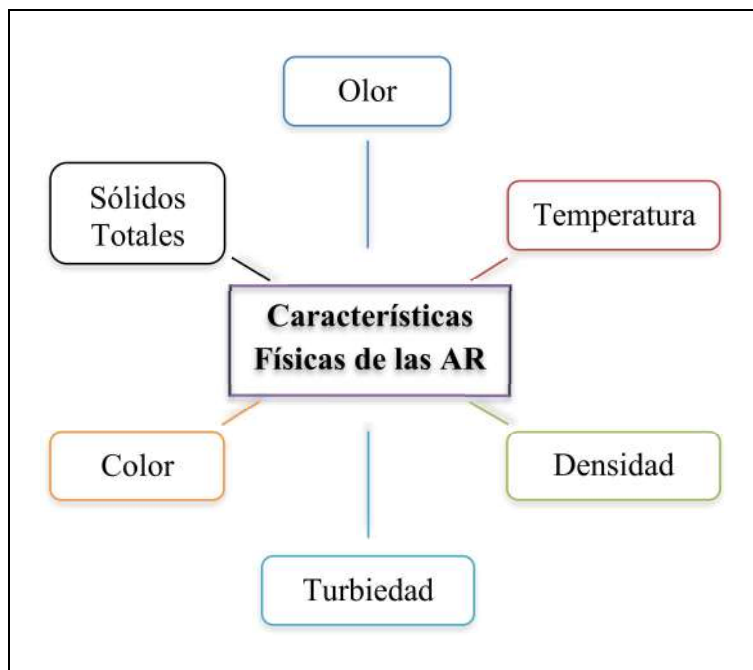


Figura 6. Características físicas de las aguas residuales.

a) Sólidos

La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado. Debido a que el agua residual doméstica contiene una mezcla de contaminantes orgánicos y minerales, la distribución del tamaño de estos es muy amplia.

Los sólidos contenidos en el AR se encuentran conformados por microorganismos y por materia orgánica e inorgánica presente en forma suspendida, disuelta y coloidal (Tsukamoto, 2002). Según Ødegaard (1998) los contaminantes presentes en el agua residual pueden clasificarse según su tamaño en sólidos suspendidos y sólidos disueltos, una clasificación más rigurosa incluye los sólidos solubles ($<0,001 \mu\text{m}$), coloidales ($0,001 - 1 \mu\text{m}$), supracoloidales ($1 - 100 \mu\text{m}$) y sedimentables ($>100 \mu\text{m}$) (Balmat, 1957). Ødegaard (1998) y Metcalf y Eddy (2003) reportan que no hay un acuerdo claro sobre el rango de tamaño que comprenden los coloides; sin embargo, en la Figura 7 se presenta una aproximación de la clasificación de los sólidos y sus tamaños.

Los *sólidos orgánicos* son sustancias que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, pudiendo alguno de estos elementos combinarse con nitrógeno, azufre o fósforo. Los principales grupos lo conforman las proteínas, los carbohidratos y las grasas, susceptibles todos de ser degradados por medio de bacterias y de organismos vivos que son combustibles, es decir,

pueden ser quemados. Los *sólidos inorgánicos* son sustancias inertes y no susceptibles de ser degradados, designándoseles comúnmente como minerales. Dentro de estos se incluyen arenas, aceites y sales minerales disueltas en el agua potable y sin propiedades combustibles.

Aquellas partículas orgánicas, inorgánicas o líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. Algunos sólidos inorgánicos pueden ser arcillas, limos u otros componentes del suelo. De la misma forma, pueden ser encontrados sólidos orgánicos como restos de plantas y microorganismos.

Los sólidos comúnmente se clasifican en: totales, suspendidos, y filtrantes:

- **Sólidos Totales (ST):** se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales- los sólidos orgánicos sujetos a degradación constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Sólidos suspendidos (SS):** son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre la superficie y el fondo, como trozos de vegetales, animales, basuras. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.
- **Sólidos filtrantes (SF):** esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10^{-3} y 1 micra (Figura 7). Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas y iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

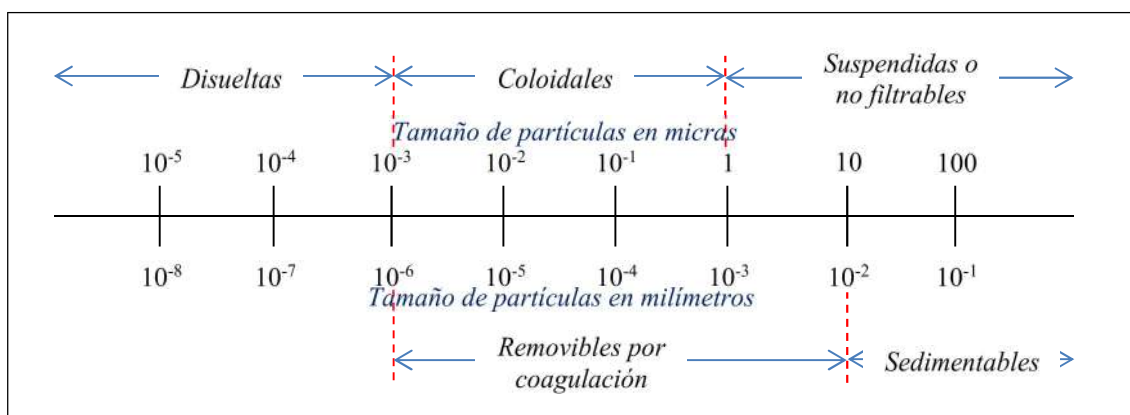


Figura 7. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro.
Fuente: Figueiredo (2009).

La variación de la distribución del tamaño de partícula que se puede obtener en las diferentes unidades que conforman un sistema de tratamiento de AR, puede depender de la naturaleza de los sólidos contenidos en el AR afluente, de la distribución del tamaño de partícula que se tiene en el afluente y del tipo de tratamiento aplicado.

Los sólidos es un parámetro de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales. La materia orgánica a menudo está en forma de partículas en suspensión, por lo que es necesario diferenciar entre los Sólidos Suspendedos (SS) y los Sólidos Disueltos (SD). Además, los Sólidos pueden ser Volátiles (SV) que indican procedencia orgánica, o Fijos (SF) que se presumen como sólidos inorgánicos. El contenido de sólidos de un agua residual de puede clasificarse como se muestra en la Figura 8.

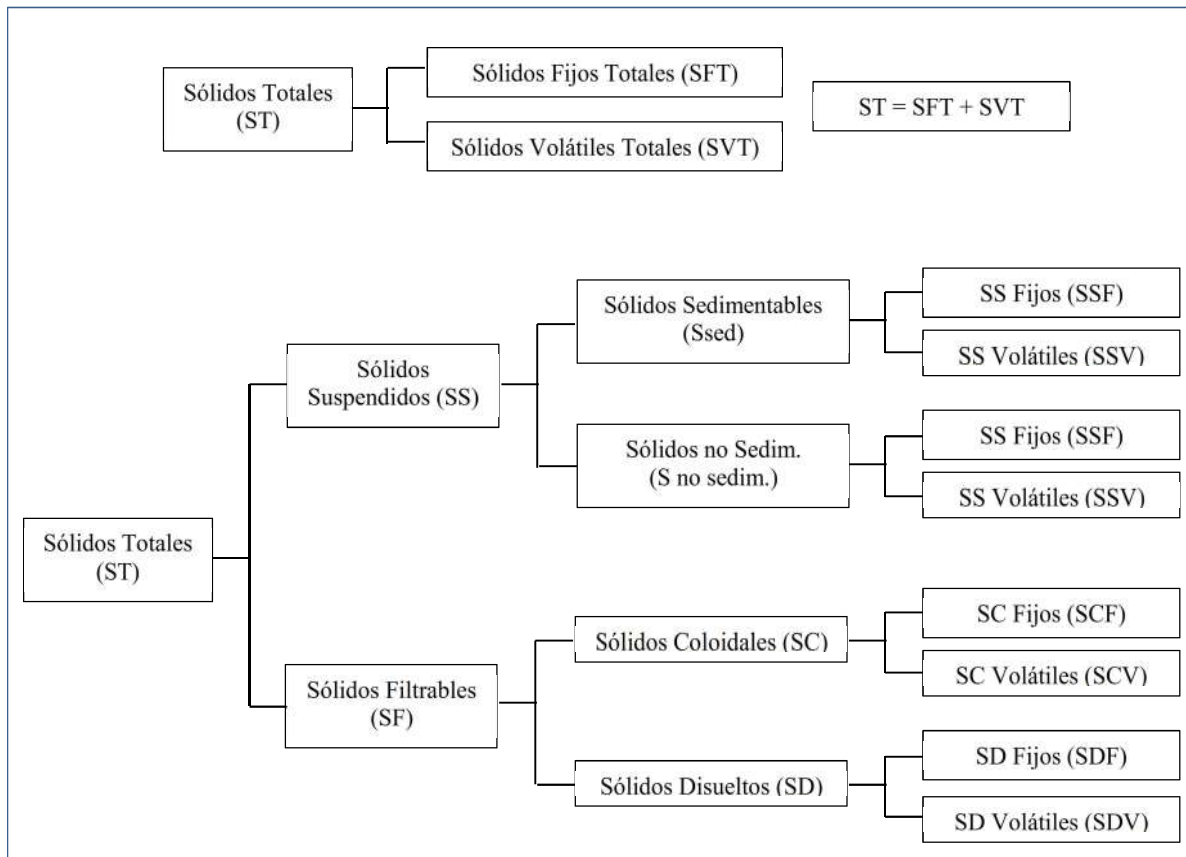


Figura 8. Clasificación de los sólidos en las aguas residuales.

Fuente: Orozco (2005).

En la Tabla 3, se presenta las definiciones para los diferentes tipos de sólidos identificados:

Tabla 3. Definiciones para sólidos encontrados en el agua residual.

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000).

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C).
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólido que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50 °C).
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50 °C).
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C).
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50 °C).
Sólidos disueltos totales o sólidos filtrables (SF = ST-SST)	Sólidos que pasaron a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SF comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0,001 a 1 µm. No pueden ser eliminados fácilmente por procesos físicos o mecánicos, sino mediante cambios de temperatura, pH, efectos quelantes, etc. O por sistema de membranas, ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración.
Sólidos disueltos volátiles (SDV = SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C).
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SF.
Sólidos sedimentables (Ssed)	Son capaces de flotar o decantar con el agua en reposo, son eliminados fácilmente mediante procesos físicos o mecánicos.
Sólidos coloidales (SC)	No sedimentan ni flotan cuando el agua está en reposo, o por lo menos en un tiempo computable. Tampoco son eliminados por métodos físicos o mecánicos, siendo necesario un proceso de coagulación y floculación.

b) Olor

El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

Hasta el momento no existe una técnica adecuada para medir el olor en las aguas, pues las existentes están sujetas a las facultades olfativas del analista.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

c) Temperatura

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento (agua potable) como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es de suma importancia debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. Es un parámetro muy importante ya que afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Cuando la temperatura del agua es baja, el crecimiento y la reproducción de los microorganismos es también baja.

d) Densidad

La densidad es un parámetro definido por la relación entre la masa y el volumen, se puede expresar en diversas unidades, teniendo como los más usuales kg/m^3 y g/cm^3 . De acuerdo a la densidad del agua residual se puede determinar la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y demás instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

e) Color

El color en las aguas residuales es causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por los sólidos suspendidos se denomina *color aparente*, mientras que el causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina *color verdadero*. El color verdadero se obtiene al filtrar la muestra. El color de una muestra de agua residual, se determina comparando el color de la muestra y el color producido por soluciones de diferentes concentraciones de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6) (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La unidad de color corresponde al color generado por 1 mg/l de platino. El color de las aguas residuales se debe a la infiltración en sistemas de recolección, descargas industriales y la descomposición de compuestos orgánicos. La infiltración en sistemas de recolección contendrá una concentración variada de sustancias húmicas¹ (taninos, ácidos húmicos y humatos). Las sustancias húmicas generalmente imparten un color amarillo al agua. Por su parte, las descargas industriales pueden contener tintes orgánicos y compuestos metálicos, lo que puede dar una variedad de colores al agua residual. Existen valores cualitativos para estimar la condición general del agua residual, en la Tabla 4 se muestran dichos valores.

Tabla 4. *Condición General del agua residual.*

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000).

COLOR	DESCRIPCIÓN
Café claro	El agua lleva 6 horas después de la descarga.
Gris Claro	Aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.
Gris oscuro o negro	Aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias.

f) Turbiedad

Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas. Sirve principalmente para conocer la cantidad de luz que es absorbida o disipada por el material suspendido en el agua.

La turbiedad en el agua se da debido a la desintegración y la erosión de materiales arcillosos, limos o rocas, pero también de residuos industriales, productos de la corrosión, así como también por los restos de plantas y microorganismos. La presencia de detergentes y jabones en las aguas residuales domesticas e industriales causan, de igual forma, un aumento en la turbiedad del agua.

La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de la luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones. Suspensiones de formacina se emplean como patrones primarios de referencia.

Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad del agua.

Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

¹ Las sustancias húmicas proceden de la descomposición de la lignina, encontrada en las hojas y otros materiales orgánicos de las plantas.

a) Materia orgánica

Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales. Según datos obtenidos, la materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasa y aceites (8 a 12%), proveniente de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente.

El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas como agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables que son descompuestas más lentamente por las bacterias, pero pueden actuar sobre ellas los ácidos minerales, dando como resultado la formación de glicerina y ácidos grasos; éstos, a su vez, pueden reaccionar con los álcalis, dando glicerina y jabones (sales alcalinas de ácidos grasos). Debido a que son menos densas que el agua, flotan, y esto interfiere en los procesos de tratamiento y la vida biológica, favoreciendo el ambiente anaerobio, en cuyas condiciones la degradación es más lenta y se desprenden gases que causan malos olores.

La diferencia que existe entre un agua residual tratada y otra no tratada, es la cantidad de compuestos orgánicos agregados presentes en las muestras. Este parámetro es de mucha ayuda cuando se trata de analizar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras. Hoy en día existen distintos métodos para el cálculo de dicho parámetro.

Hay una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, puesto que, nos permiten conocer el contenido en materia orgánica de éstas. Los más importantes son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5);
 - Demanda Química de oxígeno (DQO);
 - Carbono Orgánico Total (COT).
- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):*** Es el parámetro más utilizado para medir la concentración de contaminantes orgánicos, y es aplicable tanto para aguas residuales como para aguas superficiales. La prueba de la DBO mide el oxígeno consumido por los microorganismos (bacterias) mientras oxidan la materia orgánica presente en el agua, esta prueba se realiza durante 5 o 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO_5 o DBO_3 , respectivamente. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:
 1. Determinar la cantidad aproximada de oxígeno requerida para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en el agua residual.

2. Dimensionar las instalaciones de plantas de tratamiento para aguas residuales.
3. Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración en teoría es infinita. En un período de 20 días se completa la oxidación del 95% al 99% de la materia carbonosa y en los cinco días que demora el ensayo de la DBO₅ se llega a oxidar entre el 60% y el 70%. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de la temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas no agresivos. Y es fácilmente duplicada en un incubador. Los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos, debido a que las velocidades de las reacciones bioquímicas son función de la temperatura (*Stafford, 1992*).

- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO):*** Debido a los problemas para determinar el DBO por su relación con la temperatura y el tiempo, se hace necesario adoptar otros métodos que, si bien no reflejan la realidad del hecho en la naturaleza, permiten usarse, por su rapidez de determinación, para el control de vertidos y de los procesos de depuración. El DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de aguas subterráneas como de aguas residuales y representa la cantidad equivalente de oxígeno necesario para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes, su determinación es más rápida que la DBO, precisando su ensayo una o dos horas si la oxidación se efectúa en frío o, bien 30 minutos si la oxidación se efectúa con dicromato en caliente, frente a los cinco días de la DBO.

El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅, porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse por vía química, que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO.

En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de DBO y la DQO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

La relación DBO/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas (ver Figura 9).

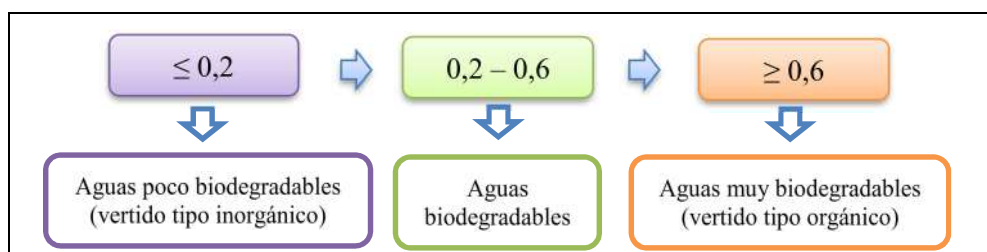


Figura 9. Biodegradabilidad de las AR urbanas en función de la relación DBO/DQO.
Fuente: Adaptado de CENTA (2006).

- **Carbono Orgánico Total (COT):** Esta prueba es usada para la medición del carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, el cual es medido con un analizador infrarrojo o por otros medios. El COT del agua residual puede ser utilizado para medir el nivel de polución en el agua y, además, ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. Por otro lado, este ensayo toma de 5 a 10 minutos para ser completado, lo que le da una ventaja a su favor.

Relaciones entre DBO, DQO y COT: Dependiendo de la relación existente entre estos tres parámetros se puede hacer un análisis del tipo de tratamiento que se ha llevado a cabo en el agua residual. Así, por ejemplo, tenemos que, si la relación DBO/DQO para aguas no tratadas es mayor que 0,5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO/DQO es menor de 0,3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.

La Tabla 5 muestra las relaciones entre los parámetros más utilizados para caracterizar las aguas residuales.

*Tabla 5. Comparación de varios parámetros utilizados para caracterizar aguas residuales.
Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000).*

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DBO/DQO	DBO/COT
No tratada	0,3 – 0,8	1,2 – 2,0
Después de Sedimentación Primaria	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2
Efluente final	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5

b) Materia inorgánica

Incluyen entre otros Cloruros, Fosfatos, Nitratos, gases, algunos metales pesados y compuestos tóxicos. Estas sustancias son incorporadas al agua durante el ciclo de uso, como también por el aporte de aguas lluvias (*Leonard y Dasgupta, 1998*). Las concentraciones de estos constituyentes inciden en el uso del agua residual, por tal razón es necesario determinar el tipo y concentración de los materiales inorgánicos, a fin de establecer la calidad del agua residual.

Las pruebas como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización de las aguas residuales tratadas y como pruebas para el control de distintos procesos de tratamiento. En la Tabla 6 se presenta la relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.

Tabla 6. Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.
Fuente: Luv y Lipták (1999); Jaramillo y Arias (2001); Metcalf y Eddy (2003).

ELEMENTO	RELACIÓN CON EL AGUA RESIDUAL
Potencial Hidrógeno (pH)	Es la expresión utilizada para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución. Este se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno $pH = -\log_{10}(H^+)$. El pH es un indicativo de la acidez o basicidad del AR y determina el tipo de procedimiento que se debe aplicar para su tratamiento. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro.
Cloruros	Proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua, intrusión del agua salada (zonas costeras), agua residual doméstica, agrícola e industrial. Suministra información sobre el grado de concentración del agua residual.
Alcalinidad	Se define como la capacidad del agua residual para neutralizar ácidos. En las AR la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. Estos componentes son el resultado de la disolución de sustancias minerales en el suelo y la atmósfera. Es un parámetro de suma importancia, ya que regula los cambios de pH causados por adición o generación de ácidos durante algunos procesos de tratamiento.
Nitrógeno	Nutriente esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas; la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. Pero, también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones. Básico para síntesis de proteínas.
Fósforo	También es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. Al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización.
Azufre	Requerido en la síntesis de las proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis.
Compuestos tóxicos	Algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimentaria y pudiendo llegar al hombre. Su efecto sobre las plantas de tratamiento biológico puede ser drástico, al morir por contaminación los microorganismos que lo realizan, y paralizarse, por tanto, los procesos.
Metales pesados	Se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso, incluso en muy bajas concentraciones. Algunos metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho et al., 2005a). Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica (Abollino et al., 2002). Se encuentran en el agua residual industrial y ocasionalmente, en menor concentración en el ARD. Su presencia puede afectar el reúso del AR (Metcalf y Eddy, 2003; Diaz et al., 2004; von Sperling y Chernicharo, 2005).

c) Gases

Los gases que se encuentran con mayor frecuencia en la composición de las aguas residuales son nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4). Los tres primeros se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, ya que son gases comunes en la atmósfera. El resto son resultado de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

Para una buena operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es de suma importancia la determinación de los gases disueltos en el agua residual. Las mediciones del oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para el control y monitoreo de los procesos de tratamiento biológico aerobio.

Por otro lado, la presencia de sulfuro de hidrógeno se determina no solo por ser tóxico y tener mal olor, sino porque su formación causa corrosión en los alcantarillados de concreto.

Las aguas residuales contienen diversos gases con diferente concentración, dentro de estos gases, los de mayor interés son:

- ***Oxígeno disuelto (OD):*** Es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. La cantidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc.
- ***Sulfuro de hidrógeno:*** Se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica que contiene azufre o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual.

Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina un color negro en el agua.

- ***Dióxido de carbono u anhídrido carbónico:*** se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras.
- ***Metano:*** Es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad. En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse, es necesaria una ventilación adecuada.
- ***Otros gases:*** Se producen además gases malolientes, como ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno.

Características Biológicas

Estas características se relacionan con los organismos causantes de enfermedades, en particular bacterias y virus. Para poder clasificar el AR de acuerdo con sus características biológicas, se cuenta con valores establecidos que dependen del tipo de reúso estimado para el AR y de los requisitos sanitarios. A partir de 1958, la gran mayoría de los países han determinado los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1989) y las demás publicaciones que se han venido desarrollando adaptándolo a sus circunstancias (Cardona y García, 2008).

En la Tabla 7 se presentan algunos de los organismos empleados para determinar la calidad biológica del agua residual.

Tabla 7. Tipo y concentración de organismos patógenos encontrados típicamente en un agua residual Doméstica sin tratamiento.
Fuente: Metcalf y Eddy (2003).

ORGANISMO	UFC/mL
Coliformes Totales	$10^5 - 10^7$
Coliformes Fecales	$10^4 - 10^5$
Streptococos Fecales	$10^3 - 10^4$
Enterococos	$10^2 - 10^3$
Shigella	Presente
Salmonella	$10^0 - 10^2$
Pseudomonas Aeruginosa	$10^1 - 10^2$
Clostridium Perfringens	$10^1 - 10^3$
Mycobacterium Tuberculosis	Presentes
Quistes de Protozoos	Numero de quistes $10^1 - 10^3$
Quistes de Giardia	Numero de quistes $10^{-1} - 10^2$
Quistes de Cryptosporidium	Numero de quistes $10^{-1} - 10^1$
Huevos de Helmitos	$10^{-2} - 10^1$
Virus Entéricos	$10^1 - 10^2$

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

- **Bacterias:** Pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.

En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, *estreptococos fecales*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc.

Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100 000 a 400 000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias.

- **Virus:** Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.

Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, Virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus.

La gran supervivencia de los virus origina la resistencia a algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras. Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flóculos y de esta forma son separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos quedan en el efluente, siendo un peligro para la salud, aunque el mayor riesgo lo constituyen aquellos que quedan en el fango, en mayores cantidades, sobre todo si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo.

- **Algas:** Su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de *eutrofización*. Este fenómeno esta producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*² *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc.
- **Protozoos:** Los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez.
- **Hongos:** La mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*.

En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como *bulking*, debido a que su presencia dificulta la sedimentación de los fangos.

1.2. Niveles de tratamiento

Los métodos de evacuación de ARD más comunes en la mayoría de ciudades de los países en desarrollo han sido el vertimiento directo a los suelos y a los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos y mares) y el riego; sin embargo, estas prácticas no respetan las regulaciones municipales para descarga ni los estándares de calidad para el agua de riego, representando problemas ambientales y riesgos para la salud (*Von Sperling y Chernicharo, 2005*). Sobre la primera técnica de manejo de ARD, Mara (2004) menciona que solo si se presenta una relación mayor de 500 entre el caudal del cuerpo receptor y el de las aguas residuales para ser descargadas (factor de dilución), esta puede considerarse una forma adecuada de disposición de aguas residuales no tratadas.

Existen diversas clasificaciones para el tratamiento de las aguas residuales: por niveles, por operaciones y procesos, por grado de complejidad y tratamiento. En todos los casos, una adecuada selección y combinación permitirá dar cumplimiento a los requisitos del tratamiento (*Noyola, 1998*). La Tabla 8 describe para cada nivel de tratamiento el tipo de contaminante removido, las eficiencias de reducción alcanzadas y el tipo de mecanismo predominante.

Tabla 8. Características de los principales niveles de tratamiento.

Fuente: Adaptado de Von Sperling (1996); Torres (2000); Metcalf y Eddy (2003); Jordão y Pessoa (2005); Bratby (2006) y Van Haandel (2008).

Nivel de tratamiento	Mecanismos predominantes	Unidad de tratamiento	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Cribado o canal de rejas. Desarenador. Trampa de grasas,	Sólidos gruesos (basuras, arenas). Grasas. Acondicionamiento químico (pH).	SS: <10 % DBO: <10% Coliformes: $\approx$ 0 % Nutrientes: $\approx$ 0 %
Primario	Físico	Fosa séptica ² . Tanque Imhoff. Sedimentador primario	Sólidos suspendidos sedimentables. Materia orgánica suspendida (parcialmente).	SS: 40-50% DBO: 25-35% Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %
Primario avanzado	Físico y químico	Coagulación-floculación. Precipitación química.	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables. Materia orgánica suspendida (parcialmente). Fósforo.	SS: 70-85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60-90 % Nutrientes: 20% N; 50-95% P
Secundario	Biológico	Lodo activado convencional. Filtro percolador. Filtro anaerobio. Zanja de oxidación. Biodiscos. Reactor de lecho de lodos anaeróbico de flujo ascendente (UASB o RAFA) ³ .	Sólidos no sedimentables. Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente). Nutrientes (parcialmente). Patógenos (parcialmente).	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %
Terciario	Biológico o químico	Sistemas lagunares. Humedales. Filtros rápidos. Intercambio iónico. Nitrificación – desnitrificación. Precipitación con cal. Desinfección: <i>físicos</i> : Filtración, ebullición, rayos ultravioletas; <i>químicos</i> : Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc.	Contaminantes específicos. Materia orgánica fina y soluble (pulimento). Nutrientes. Patógenos (principalmente).	SS: > 99 % DBO: > 90 % Coliformes: > 99,9 % Nutrientes: > 90 %
Tratamiento de lodos	Digestión anaerobia Digestión anaerobia Tratamiento térmico Tratamiento con cal Compostaje Lechos de secado		Patógenos y componentes orgánicos que puedan producir los malos olores.	

² El Tanque Séptico y el Tanque Imhoff pueden ser utilizados también como tratamiento secundario en función de la calidad de agua residual a tratar.

³ El Reactor UASB o RAFA, también puede ser utilizado para realizar tratamiento primario.

1.3. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)

Una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), es también llamada Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR) o comúnmente Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Una PTAR tiene la función de eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna, de manera que se pueda devolver el agua al medio ambiente en condiciones adecuadas. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella.

Se distinguen dos tipos de PTAR principales: las urbanas y las industriales. Las PTAR urbanas reciben aguas residuales mayoritariamente de una aglomeración humana. Mientras que las industriales reciben las aguas residuales de una o varias industrias.

Los objetivos principales de las PTAR son:

- Eliminación de residuos, aceites, grasas, arenas y sólidos sedimentables;
- Eliminación de compuestos con amoníaco y fósforo;
- Transformar los residuos retenidos en lodos estables y velar porque sean utilizados correctamente.

La necesidad de una PTAR es de gran importancia ya que cuando un vertido de agua residual sin tratar llega a un cauce produce varios efectos sobre él:

- Tapiza la vegetación de las riberas con residuos sólidos gruesos que lleva el agua residual, tales como plásticos, utensilios, restos de alimentos, entre otros.
- Acumulación de sólidos en suspensión sedimentables en fondo y orillas del cauce, tales como arenas y materia orgánica.
- Consumo del oxígeno disuelto que tiene el cauce por descomposición de la materia orgánica y compuestos amoniacales del agua residual.
- Formación de malos olores por agotamiento del oxígeno disuelto del cauce que no es capaz de recuperarse.
- Entrada en el cauce de grandes cantidades de microorganismos entre los que pueden haber elevado número de patógenos.
- Contaminación por compuestos químicos tóxicos o inhibidores de otros seres vivos (dependiendo de los vertidos industriales).
- Aumenta la eutrofización al portar grandes cantidades de fósforo y nitrógeno.

Las PTAR habitualmente se clasifican de varias formas. Una de las clasificaciones es según el grado de complejidad y tecnología empleada:

- **Tratamientos Convencionales.** Se emplean en núcleos de población importantes y que producen un efecto notable sobre el receptor. Utiliza tecnologías que consumen energía eléctrica de forma considerable y precisan mano de obra especializada.
- **Tratamientos para pequeñas poblaciones (tratamientos blandos y convencionales adaptados).** Se emplean en núcleos de población pequeños, edificaciones aisladas de redes de saneamiento. Su principal premisa es la de tener unos costos de mantenimiento bajos y precisar de mano de obra no calificada. Su grado de tecnificación es muy bajo necesitando poca o nula energía eléctrica.

Por lo general, en una estación depuradora de aguas residuales se distinguen 2 líneas específicas: la **línea de agua** y la **línea de lodos**. En la línea de agua se tratan las aguas procedentes de una población o industria y consta de 3 etapas: *Tratamiento Primario*⁴, *Tratamiento secundario*⁵ y *Tratamiento terciario*⁶. En la línea de lodos se tratan los fangos que se generan durante las etapas del tratamiento definidos en la línea de agua, cuyo propósito es eliminar gran cantidad de agua contenida en los lodos y reducir su volumen, así como estabilizar el material orgánico y destruir los organismos patógenos presentes y hacer que la disposición final sea menos perjudicial para el medio ambiente. Son parte de esta fase: densificación, digestión o estabilización biológica, acondicionamiento y secado. En la Figura 10, se incluye un esquema con las principales partes de una PTAR.

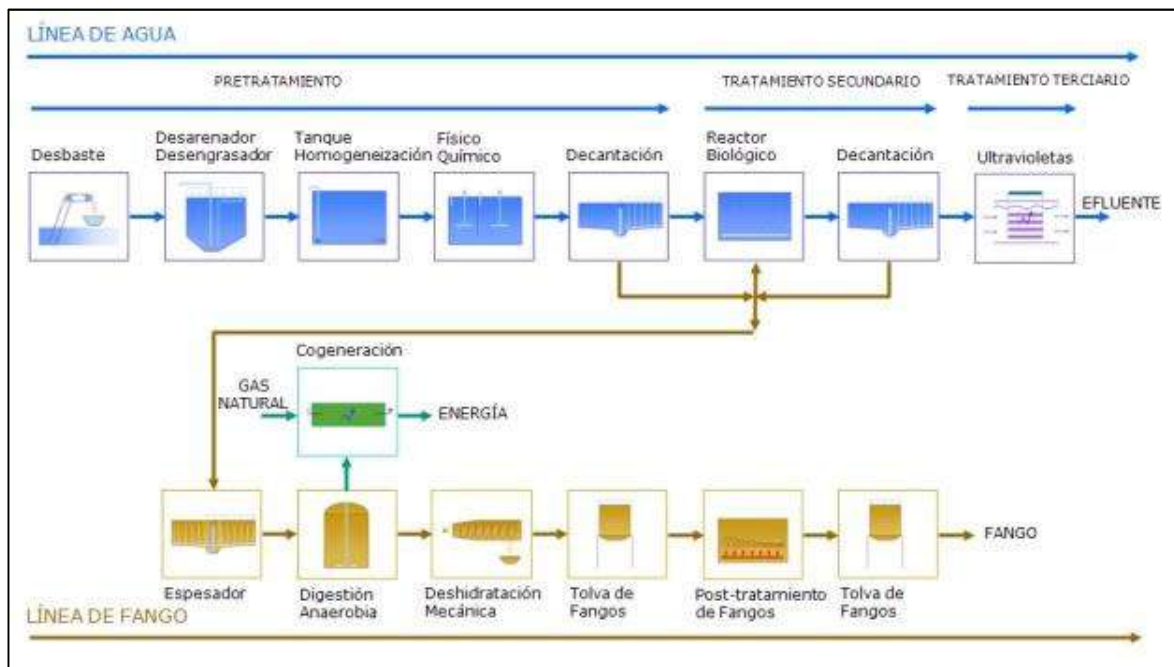


Figura 10. Esquema de una PTAR.

Fuente: <https://bit.ly/2oFTvFg> (accedido el 07 de marzo de 2018).

⁴ Asentamiento de sólidos.

⁵ Tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan más fácilmente.

⁶ Pasos adicionales como lagunas, microfiltración o desinfección.

1.4. Operación y mantenimiento de una Planta de Tratamiento de Agua Residual

Operar es hacer funcionar en forma correcta el sistema de tratamiento a través de un trabajo permanente y responsable en las instalaciones, para tener un servicio constante, evitar la contaminación del ambiente y, sobre todo, asegurar la satisfacción de los beneficiarios.

1.4.1. Responsabilidad de la población y mantenimiento de una PTAR

Los usuarios de un sistema de alcantarillado tienen una gran parte de la responsabilidad en su operación y mantenimiento. Los responsables de mantener el sistema deben comunicar permanentemente a los usuarios que no debe utilizarse el alcantarillado sanitario para evacuar aguas de lluvia estas arrastran partículas de arena que sedimentan en las tuberías y con el tiempo pueden bloquearlas; no arrojar residuos plásticos, pael u objetos similares en los inodoros y tratar en lo posible verter cada cuatro meses agua hervida en su inodoro para disolver y eliminar residuos de grasa.

Para evitar que un determinado sistema de tratamiento de aguas residuales que está diseñado para funcionar de manera continua, se detenga por falta de control ocasionando problemas ambientales y riesgos para la población aledaña a la planta, es necesario tener adicional al diseño un manual de mantenimiento, el cual detalla los por menores de las actividades y medidas, a tener en cuenta para una adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento y definir los procedimientos para el mantenimiento de todas las operaciones del sistema. El mantenimiento de un sistema de tratamiento requiere de la capacitación de un operario calificado que conozca el funcionamiento del sistema y las posibles eventualidades que son necesarias controlar (*Mayorga, 2012*).

Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. Usualmente en la localidad se conforma un ente para administrar el sistema de abastecimiento de agua, sin embargo, es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema. Las funciones principales del operador de una planta de tratamiento consideran entre otras, el control del flujo, el monitoreo de la calidad del agua, la limpieza de los filtros y la ejecución de actividades generales de mantenimiento. Una herramienta importante para el operador y que contribuye a alcanzar un mejor control sobre el funcionamiento del sistema, es la ficha de control, la cual debe ser llevada según el programa de seguimiento acordado con el ente de soporte en control y vigilancia de la calidad del agua. Los registros obtenidos para los parámetros de interés deben ser comparados con los valores deseables, a fin de establecer la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento y tomar las acciones en caso de ser necesarias (*Asfahl & Rieske, 2010*).

1.5. Eficiencia y Optimización de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

El análisis de la eficiencia técnica en las plantas de tratamiento de aguas residuales se muestra de una creciente actualidad. Son muchas las razones que justifican la necesidad de conocer en detalle las posibles ineficiencias existentes en los procesos de tratamiento. Desde un punto de vista económico el término eficiencia se asocia con un uso racional de los recursos disponibles, es decir, se utiliza para describir aquel proceso productivo que emplea de manera óptima todos sus factores de producción, según la tecnología existente (*Hernández, Saz, & Sala, 2014*).

Los sistemas de tratamiento, tienden a perder eficiencia con el tiempo debido al desconocimiento de parámetros de control requeridos y la forma de hacerlo, así como también por la deficiencia en la concepción de su diseño, principalmente en la consideración de constantes fundamentales como el tiempo de retención hidráulico, la relación alimento/microorganismo y tiempo de retención celular, por lo que el manejo eficiente del tratamiento en escala real se ve dificultado (*Moncayo & Ayala, 2011*).

La determinación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales rurales o urbanas tienen una relativa complejidad, debido a las oscilaciones que se producen en los flujos de las aguas residuales de ingreso y salida, como también el tiempo de retención del líquido en las instalaciones de la planta. El grado de eficiencia de una planta de tratamiento de agua residual, se define como la reducción porcentual de los indicadores de contaminación apropiados para tal proceso. Para la determinación de tal reducción, se establece a la vez un indicador específico, para el cual se determina una relación entre la carga que ingresa a la planta y la correspondiente carga en el flujo de salida de la planta. En este contexto, debe considerarse también la importancia de las particularidades de la planta y las diferencias en las condiciones específicas del agua, desde el punto de vista técnico (*Mayorga, 2012*).

La evaluación de una planta de tratamiento puede efectuarse en base a los objetivos por los cuales fue diseñada en principio ya sea para eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, materias orgánicas o inorgánicas, nutrientes, entre otros, y que éstos sean correctamente dispuestos.

1.6. Tratamiento de Aguas Residuales en Ecuador

En el Ecuador antes del año 2008 no se contaba con una política ambiental que regule el tratamiento de aguas residuales por lo que las quebradas y ríos tuvieron grandes impactos ambientales al punto de haberse convertido estos cuerpos naturales en canales de aguas residuales con pocas formas de vida y muy pocos usos benéficos, es por ello que en la Constitución de la República del Ecuador del año 2008 se crean normas y políticas públicas direccionadas a la protección de los derechos del recurso agua.

En abril 2014, mediante Decreto Ejecutivo es creada la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), la cual ejerce la regulación y control en la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de descarga, la calidad de los servicios públicos relacionados al sector del agua y en todos los usos, aprovechamiento y destinos del agua.

El desarrollo de los sistemas de depuración de las aguas residuales y de su reutilización se ha visto favorecido en los últimos años debido, entre otros muchos factores, a la escasez de recursos hídricos naturales, así como a la mayor concienciación social frente los daños al medio ambiente.

1.6.1. Ecuador: Algunos datos importantes

En Ecuador, solo el 12% de las aguas que se emplean en el consumo humano recibe un tratamiento adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas, de acuerdo con la Secretaría Nacional del Agua (*SENAGUA*⁷, 2016). Véase la Figura 11, % de Tratamiento del agua empleada en el consumo, en Ecuador.

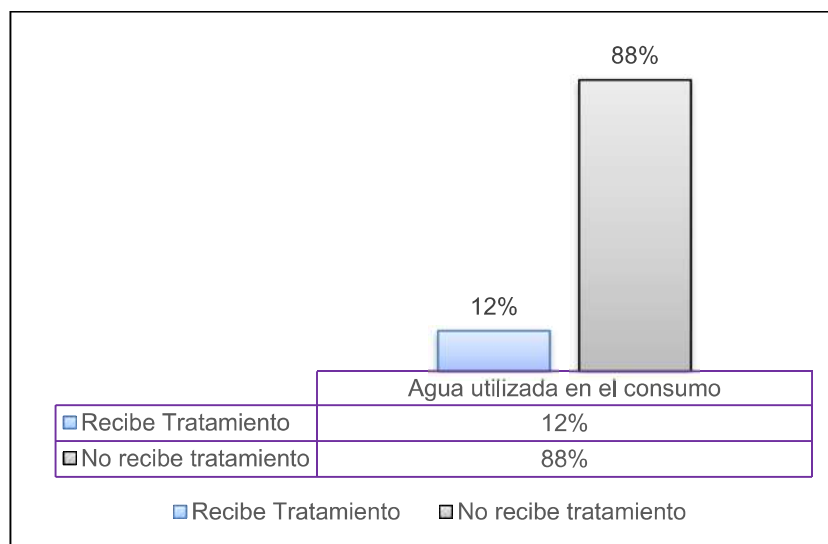


Figura 11. % de Tratamiento del agua empleada en el consumo, en Ecuador.
Fuente: SENAGUA (2016).

⁷ Secretaría Nacional del Agua, Ecuador.

La mayor parte de los efluentes provenientes de la agricultura, población, granjas y camales, industrias, actividades pecuarias, actividades mineras, lixiviados y efluentes productos de la disposición a campo abierto conjuntamente con las escorrentías y efluentes de letrinas sobre acequias, se disponen a cuerpos o cursos de agua superficiales como ríos, lagos, lagunas que alimentan la gran masa de agua marina (Figura 12).

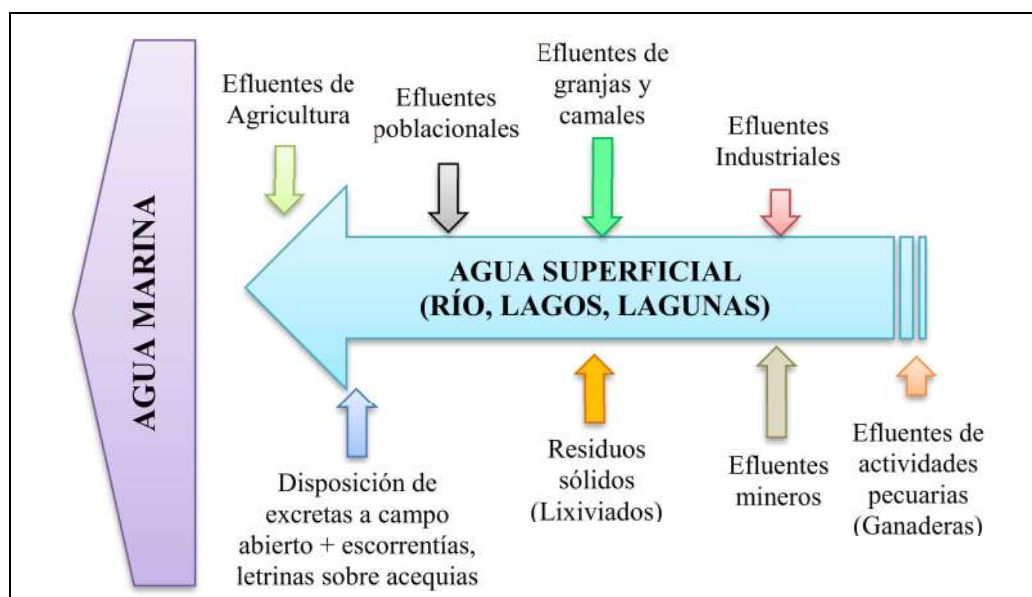


Figura 12. Principales medios de descarga de efluentes (tratados y no tratados), en Ecuador.
Fuente: SENAGUA⁸ (2016).

El Ecuador cuenta con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales (ver Tabla 9). De las cuales el 50% se encuentran en la Región Sierra, en la Región Costa el 30%, el 19% está en la Región Amazónica y el 1% restante se localiza en la Región Insular (INEC⁹, 2016).

Tabla 9. Plantas de Tratamiento existentes en el Ecuador hasta el 2016.
Fuente: INEC (2016).

REGIÓN	NÚMERO DE PLANTAS
Región Sierra	210
Región Costa	129
Región Amazónica	80
Región Insular	2
Total	421

Según el INEC, 2016 el agua residual tratada en las estaciones depuradoras de las regiones costa, sierra y amazónica el 56% son vertidas en ríos, el 26% en quebradas y el restante 19% en otros sitios. En la Región Insular el 100% del agua residual tratada es vertida en otros sitios: mar y pantano artificial, como se puede ver en la Figura 13.

⁸ Secretaría Nacional del Agua, Ecuador.

⁹ Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ecuador.

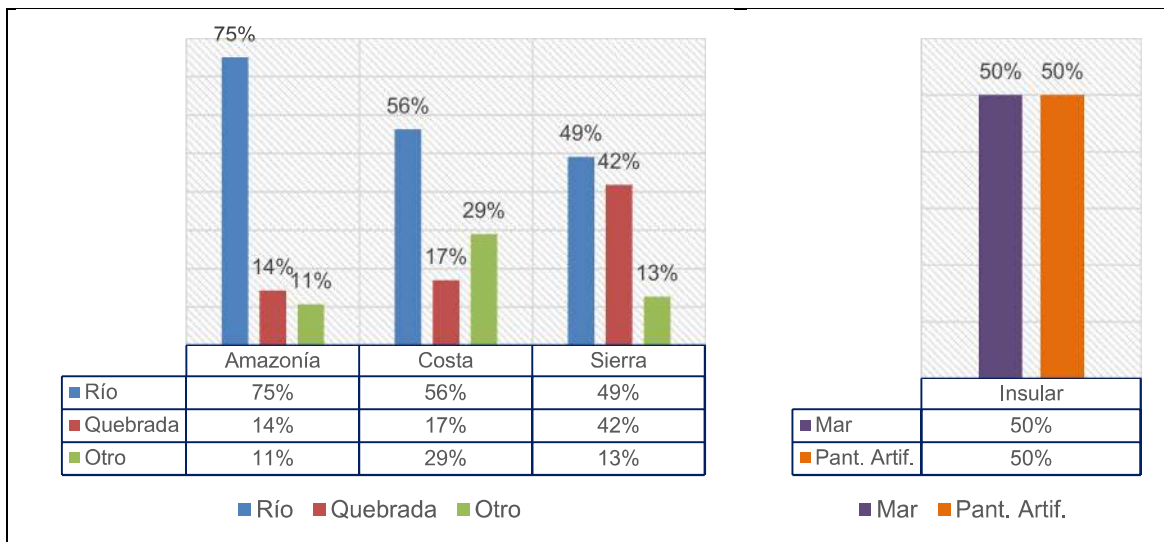


Figura 13. Medios receptores del agua residual tratada (%).

Fuente: SENAGUA (2016).

Por otra parte, el agua residual que no recibe ningún tipo de tratamiento previo a su descarga, el 59% se vierten los ríos, el 25% en quebradas y el restante 16% se disponen en otros sitios. En la Región Insular el 100% del agua residual no tratada se dispone al mar. Estos datos están representados en la Figura 14.

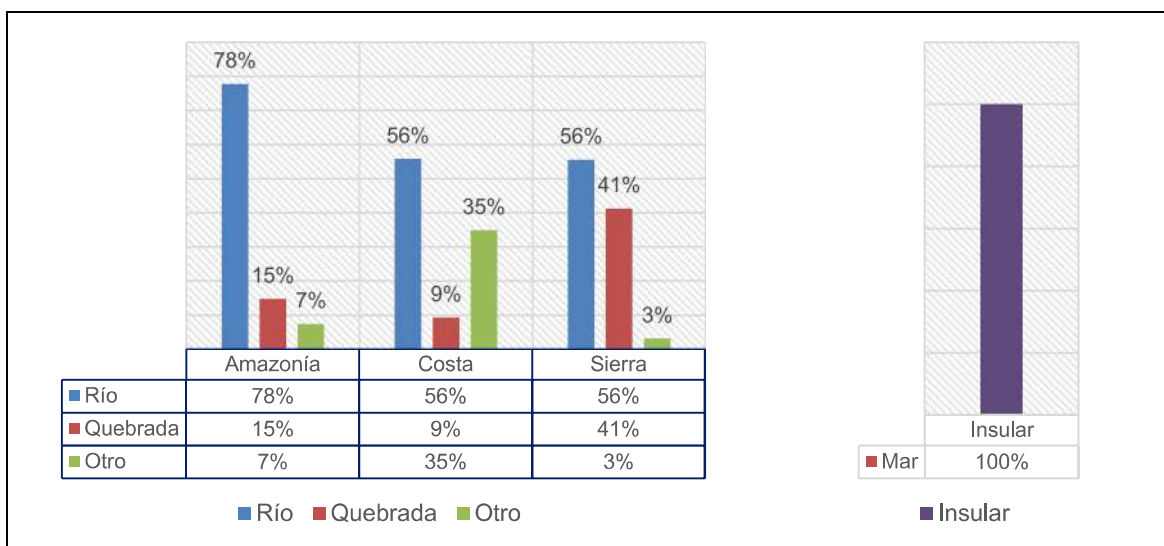


Figura 14. Medios receptores del agua residual no tratada (%).

Fuente: SENAGUA (2016).

1.6.2. Tipos de tratamiento

Las plantas de depuración emplean operaciones y procesos unitarios, los cuales, se agrupan en los llamados (*Metcalf & Eddy, 2003*) tratamientos primario, secundario y terciario o avanzado. El tratamiento primario se basa en operaciones físicas como pueden ser el desbaste y la sedimentación de sólidos. El tratamiento secundario recurre a procesos biológicos y químicos con el objeto de eliminar gran cantidad de materia orgánica. Finalmente, el tratamiento terciario o avanzado emplea combinaciones de procesos unitarios y operaciones unitarias con el objetivo de reducir y eliminar más componentes.

Otros autores (*Ramalho, 1991*) incluyen un tratamiento antes del primario denominándolo tratamiento previo o pretratamiento.

En la depuración de aguas residuales, existen varias alternativas para el tratamiento del afluente en el sistema. La elección de la alternativa apropiada dependerá:

- Caudal y características del agua residual
- Normativa o legislación ambiental
- Características topográficas
- Área del sistema de tratamiento (disponible vs. necesaria)
- Eficiencia requerida (calidad del efluente): uso o disposición final del AR
- Costo de inversión
- Requerimientos de operación y mantenimiento
- Costos de operación y mantenimiento
- Personal capacitado
- Consumo de energía
- Adaptabilidad del sistema a las condiciones físicas del lugar implantación
- Factores ambientales
- Producción y estabilización de lodos

En la Figura 15 se resume las tecnologías utilizadas en el Ecuador en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

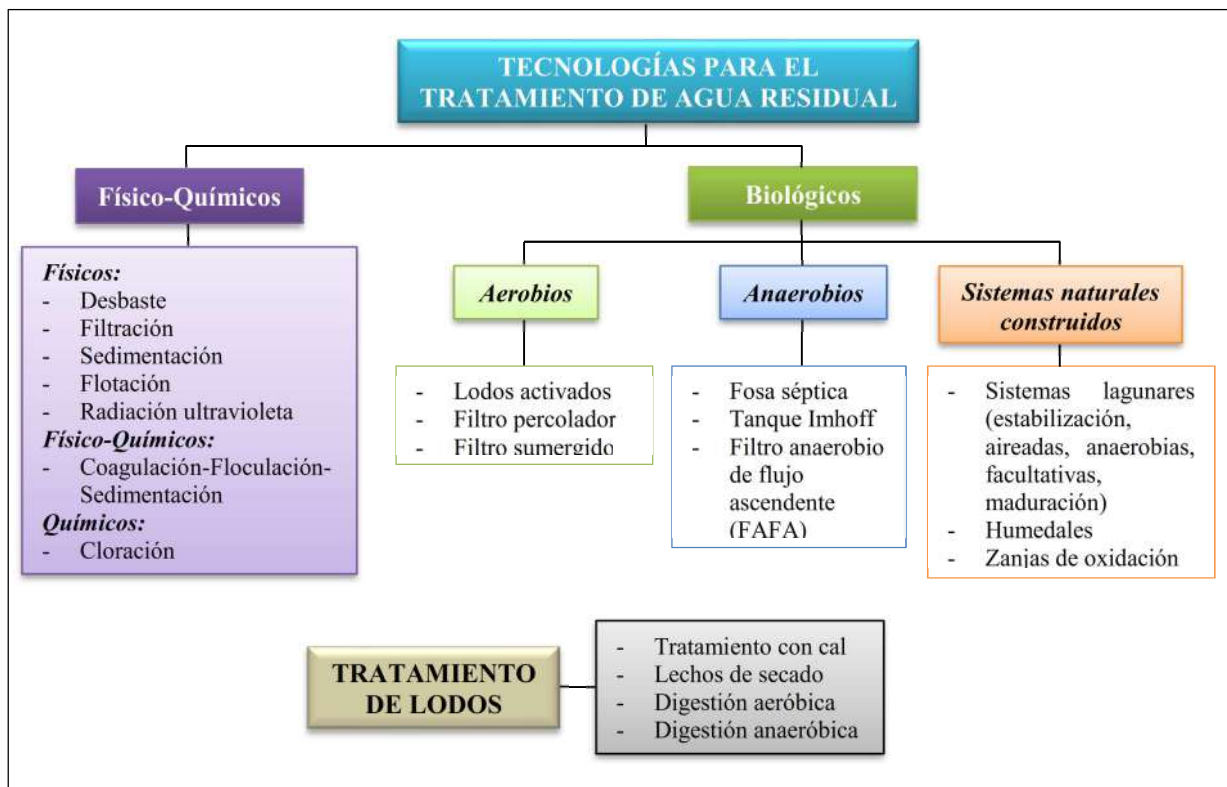


Figura 15. Tecnologías aplicadas en Ecuador en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
Fuente: Adaptado de Noyola, Morgan y Guereca (2013).

▪ Tratamiento Preliminar

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia dentro de la PTAR podrá provocar problemas en el mantenimiento y funcionamiento en los procesos y operaciones, además en sus sistemas auxiliares (Metcalf & Eddy, 1995).

Las principales unidades en esta etapa son:

- **Cribado o canal de Rejas (ver Figura 16):** Se emplean para remover el material grueso, flotante, que contiene las aguas residuales crudas, que pueden obstruir y dañar a las bombas, tuberías y equipos componentes de las PTAR.



*Figura 16. Rejas de cribado, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.
Fuente: Chiriboga (2016).*

- **Desarenador (Figura 17):** Se emplean para remover materiales inorgánicos como arenas, cenizas de menores tamaños presentes en las aguas residuales que puedan causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de la PTAR.



*Figura 17. Desarenador, PTAR Tarqui Centro, Victoria del Portete-Ecuador.
Fuente: <https://bit.ly/2oEKA8> (accedido el 04 de abril de 2018).*

- **Trampa o interceptor de grasa (véase Figura 18):** En este proceso se realiza la separación, en forma de espumas, las grasas y aceites acarreados por el agua residual.

Es comúnmente considerado en las aguas residuales urbanas que las grasas constituyen hasta un 30% de los sólidos suspendidos (Rojas, 2005).

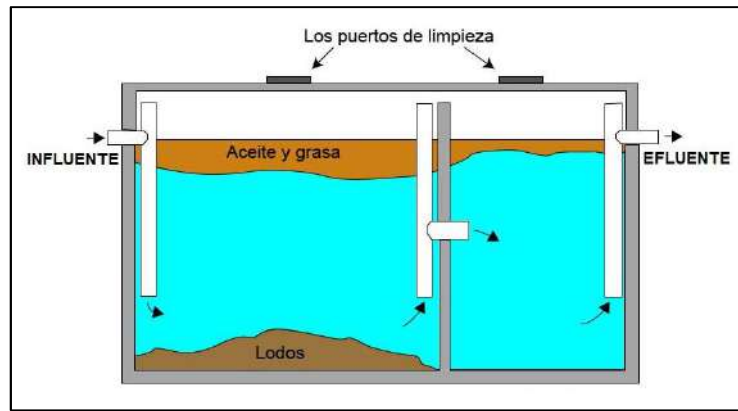


Figura 18. Trampa o interceptor de grasa.

Fuente: <https://bit.ly/2N9QH1h> (accedido el 04 de abril de 2018).

- **Separador de caudales (Figura 19):** Esta unidad es necesaria primordialmente para asegurar que el caudal sanitario ingrese a la PTAR. Su función es evacuar el caudal excedente ocurridas en épocas de lluvia derivándolo hacia el cauce o a un depósito intermedio.



Figura 19. Rejas de cribado, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.

Fuente: Chiriboga (2016).

▪ Tratamiento Primario

En esta etapa se desarrollan los procesos físicos cuyo objetivo es la remoción de los sólidos suspendidos que generalmente son por flotación y sedimentación. La sedimentación es el proceso que se ajusta más adecuadamente a aguas residuales para pequeñas poblaciones. (Rojas, 2005).

En estas unidades se disminuye la cantidad de materia orgánica de las aguas residuales, principalmente a la porción en suspensión y no a la disuelta, característica primordial a la cual se adjudica el nombre de tratamiento primario. Las unidades de tratamiento primario están destinadas a disminuir la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua residual, además de grasas, aceites. Las opciones que se utilizan en este proceso son:

Tanque o fosa séptica (véase Figura 20 y 21): Las conocidas fosas sépticas son unidades en los que se combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaeróbica de lodos; usualmente se diseñan con dos o mas cámaras que operan en serie. En la primera

cámara, se efectúa la sedimentación, digestión de lodos y su almacenamiento. Debido a que, en la descomposición anaeróbica, se producen gases que suspenden a los sólidos sedimentados en la primera cámara, se requiere de una segunda cámara para mejorar el proceso, en donde se vuelva a sedimentar y almacenar, evitando que sean arrastrados con el efluente. Este efluente se encuentra en condiciones sépticas, llevando consigo un alto contenido de materia orgánica disuelta y suspendida, por lo que requiere de un tratamiento posterior (Gálvez, 2007).

Comúnmente los diseños de los tanques sépticos están equipados con pantallas y/o deflectores colgantes en la entrada del tanque logrando así, conseguir una distribución adecuada del afluente y evitar el resalto hidráulico. Se utilizan los deflectores a la salida del tanque para evitar que la espuma y nata que se produce se escape durante el funcionamiento del tanque (Duncan, 1998).

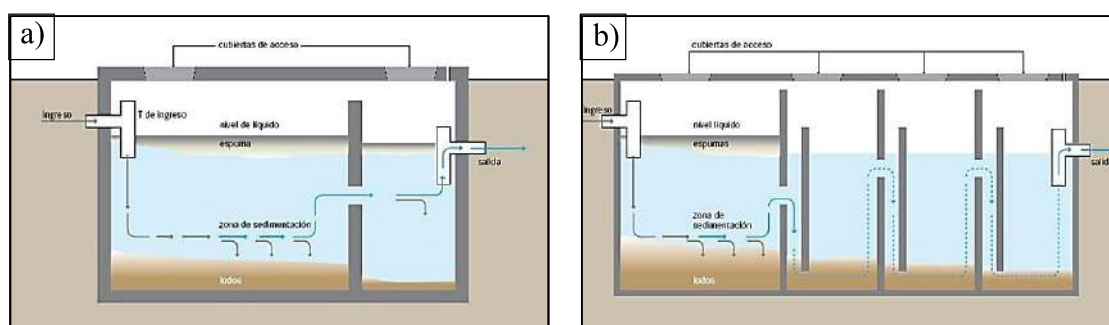


Figura 20. a) Fosa séptica con un deflector; b) Fosa séptica con varios deflectores en serie.
Fuente: <https://bit.ly/2LWU8DC> (accedido el 04 de abril de 2018).



Figura 21. Tanque séptico, PTAR Churuguzo, Victoria del Portete-Ecuador.
Fuente: <https://bit.ly/2oEKA8> (accedido el 04 de abril de 2018).

- **Tanque Imhoff (Figura 22):** Para comunidades de 5,000 habitantes o menos los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos, sedimentados en la misma unidad, necesita una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso correcto se requiere que las aguas negras pasen por el proceso de cribado y remoción de arena. Son convenientes en climas calurosos pues esto facilita la digestión de los lodos. En la selección de esta unidad de tratamiento se debe considerar que los tanques Imhoff pueden producir olores desagradables (Gálvez, 2007). Los

tanques Imhoff son comúnmente contruidos de secciones cuadradas y circulares (Rojas, 2005).

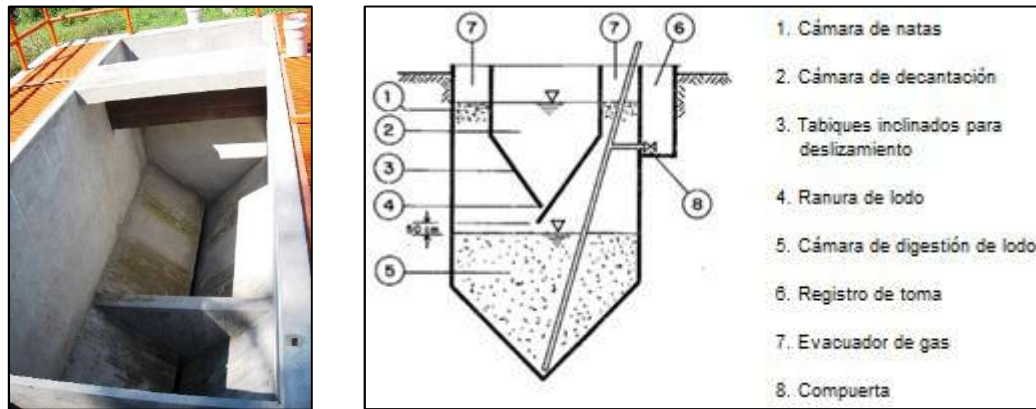


Figura 22. Tanque Imhoff vacío y en proceso de construcción en Perú.

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/gtzecosan/5547295318/> (accedido el 04 de abril de 2018).

- **Sedimentador primario (Figura 23):** A diferencia de la fosa séptica y los tanques Imhoff en estas unidades no se tratan los lodos, por lo que generalmente se utilizan como una primera etapa de un tratamiento primario. Estas unidades tienen como función la reducción de los sólidos suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales, las eficiencias esperadas son del 55% de los sólidos y se obtienen concentraciones de grasas y aceites menores a los 30 mg/l (Gálvez, 2007). Las medidas que se establecen de eficiencia se basan en la remoción de los sólidos suspendidos, altura útil, tiempo de retención y tipo de sección transversal del tanque (Niño, Pérez, & Llobregat, 2004).

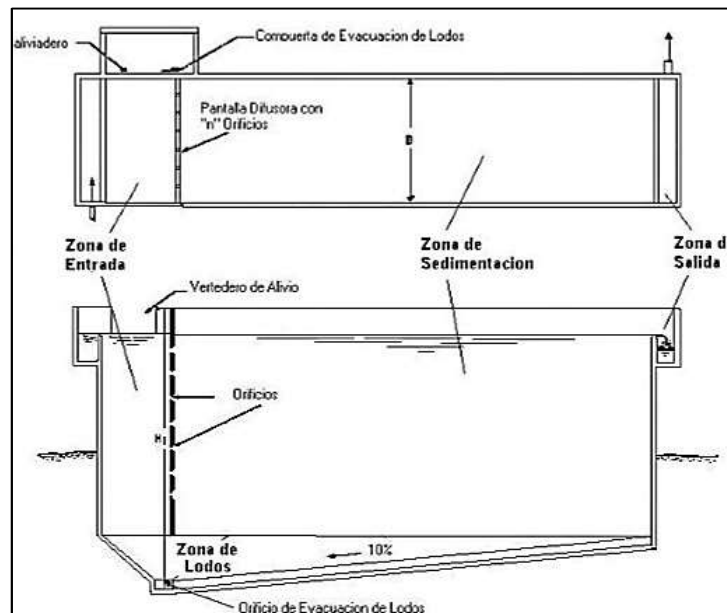


Figura 23. Sedimentador convencional.

Fuente: <https://bit.ly/1FlrDG0> (accedido el 04 de abril de 2018).

Un tratamiento de este tipo debería remover la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada, la biooxidación se considera despreciable. La ventaja que es de fácil operación y de bajo costo, aunque sus niveles de eficiencia normalmente no alcanzan para cumplir con las normas de calidad de agua (Campos, 2003).

▪ Tratamiento Secundario

Se designa este término para los sistemas de tratamiento tipo biológico, el cual tiene la ventaja de hacer uso de la acción de los microorganismos presentes en el agua residual, éstos en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica, transformándola en material celular, productos inorgánicos o material inerte (Rojas, 2005).

De acuerdo a la presencia de oxígeno disuelto en el agua residual, se puede definir dos grupos de actividad biológica: los aerobios (con presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno), de acuerdo a como estén presentes en el agua residual estos elementos existen procesos de tratamiento:

Con microorganismos en suspensión

- *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente:* Son también conocidos como filtros sumergidos, este tipo de sistema está diseñado para que se lleve a cabo un tratamiento anaerobio por medio de un crecimiento de biomasa por adherencia. La principal diferencia ante un filtro percolador es que la alimentación del agua residual se da por el fondo del sistema y el producto final abandona por la parte superficial o superior. El material se encuentra completamente sumergido en el agua residual entrante y por ello no hay presencia de aire en absoluto, de esta manera crea las condiciones anaerobias necesarias para su funcionamiento. La única problemática significativa que presenta cuando se tienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión puede obstruir el filtro lo cual dañaría el sistema (Ramalho, 1993).
- *Lagunas de estabilización:* Las lagunas son balsas con una profundidad entre 1 a 4 metros dependiendo del tipo de laguna, en la cual se lleva a cabo un tratamiento biológico (Ramalho, 1993).

Existen diferentes tipos de lagunas en base a sus características y sus niveles de depuración tanto para tratamiento primario, secundario e inclusive terciario, pueden ser: lagunas facultativas, lagunas aerobias y lagunas de maduración.

- *Lodos activados:* El lodo activado es una película biológica producida en las aguas residuales previamente decantadas por el crecimiento de las bacterias zoogeas u otros organismos, en la presencia de oxígeno disuelto en el agua y acumulado en concentración suficiente gracias a la recirculación de la película biológica previamente formada. Las aguas residuales crudas, después de una sedimentación primaria, se mezclan con los lodos en recirculación y se introducen al tanque de aireación, en donde permanecen por espacio de 3 a 6 horas. A la mezcla de las aguas residuales y lodos en recirculación, dentro del tanque de aireación, se le conoce como licor mezclado (Gálvez, 2007).
- *Zanjas de oxidación:* Es un proceso de lodos activados en su variante de aireación extendida. La diferencia esta en la configuración, que fue diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir los costos de inversión y de operación y mantenimiento. Este elemento consiste en zanjas ovaladas y cerradas, con sección transversal trapezoidal, tirante de agua entre 1 y 1,8 metros. Estas zanjas se implementan

con equipo mecánico, rotores o cepillos que imprimen movimiento al agua para mantener los sólidos en suspensión mezclados, aumentando el oxígeno necesario para mantener condiciones básicas anaeróbicas. El proceso tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 y 24 horas y una retención de lodos superior a los 30 días. Las eficiencias obtenidas en remoción de DBO son superiores al 90% y los sólidos en exceso pueden ser manejados sin problemas de olor o de contaminación (Gálvez, 2007).

Con microorganismos fijos

- *Filtro Anaerobio de flujo Ascendente (FAFA)*: Son también conocidos como filtros sumergidos, este tipo de sistema está diseñado para que se lleve a cabo un tratamiento anaerobio por medio de un crecimiento de biomasa por adherencia. La principal diferencia ante un filtro percolador es que la alimentación del agua residual se da por el fondo del sistema y el producto final abandona por la parte superficial o superior. El material se encuentra completamente sumergido en el agua residual entrante y por ello no hay presencia de aire en absoluto, de esta manera crea las condiciones anaerobias necesarias para su funcionamiento. La única problemática significativa que presenta cuando se tienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión puede obstruir el filtro lo cual dañaría el sistema (Ramalho, 1993).
- *Filtros percoladores (rociadores)*: El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica de este sistema no es la filtración, sino la absorción y asimilación biológica que se crea en el medio de soporte. Generalmente no requiere recirculación a diferencia de los lodos activados, donde esta es determinante para mantener los microorganismos en el licor mezclado (Gálvez, 2007).

▪ Tratamiento Terciario

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales tiene relación con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua. El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios (nutrientes; nitrógeno, fósforo, metales pesados y patógenos). Las tecnologías empleadas pueden ser de tipos físicas, químicas y/o biológicas. Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización, entre otros (Metcalf y Eddy 1996, citado por Morato y Peñuela, 2004).

Las opciones de tratamiento terciario son:

- *Humedal artificial (Figura 24)*: Son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (Espinosa, 2014).

Gracias a la interacción de diversas especies existente en este ecosistema, permite mantener el equilibrio del mismo; es por ello que tiene gran eficiencia removiendo

contaminantes de aguas residuales por medio de un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos depurando un agua de una mejor calidad que puede ser reutilizada en otros procesos dependiendo de sus contenidos.



Figura 24. Humedales artificiales, PTAR Flor y Selva, Molleturo-Ecuador.

Fuente: <https://bit.ly/2oEKAe8> (accedido el 04 de abril de 2018).

- **Lagunas de estabilización (véase Figura 25):** Son balsas con una profundidad entre 1 a 4 metros dependiendo del tipo de laguna, en la cual se realiza una oxigenación del agua residual mediante aireadores superficiales, turbinas o difusores (Ramalho, 1993).

Existen diferentes tipos de lagunas en base a sus características y sus niveles de depuración tanto para tratamiento primario, secundario e inclusive terciario, pueden ser: lagunas facultativas, aerobias o de maduración.



Figura 25. Lagunas de estabilización, PTAR Ucubamba, Ucubamba-Ecuador.

Fuente: <https://bit.ly/2oEKAe8> (accedido el 04 de abril de 2018).

- **Desinfección (ver Figura 26):** Cuando las aguas residuales tratadas (efluentes) son descargadas a cuerpos de agua (dulce), o van a ser destinados a usos recreativos, éstas requieren un tratamiento suplementario destinado a destruir las bacterias, minimizando los riesgos para la salud humana (Metcalf & Eddy, 1995). Entre los principales procesos de desinfección se tiene:

Cloración: Para la elección de la mejor alternativa del tratamiento se tendrá además de las características físicas, microbiológicas también las eficiencias en la remoción de los contaminantes.



Figura 26. Unidad de desinfección con hipoclorito de sodio, PTAR Quitumbe, Quito-Ecuador.

Radiación ultravioleta: Se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

▪ Tratamiento de Lodos

Los sistemas de tratamiento de agua residual generan lodos que hay que tratar para disponer de ellos adecuadamente. La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena elección del proceso de tratamiento. En el caso de las plantas de tratamiento, los contaminantes se transforman, en parte, en lodo. Algunos procesos para el tratamiento del lodo son:

- Digestión anaerobia;
- Digestión aerobia;
- Estabilización con cal;
- Lechos de secado (Figura 27).

Como destino final podrán ser desechados en lugares especialmente acondicionados para ello (mono-relleno sanitario) o si la normativa ambiental lo permite (*TULSMA, 2015*) en rellenos sanitarios municipales. Una opción atractiva para su disposición final es aprovecharlos como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas, siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos, nombre con el que se les conoce a los lodos tratados y acondicionados para su aprovechamiento en tierras.



*Figura 27. Lecho de secado de lodos, PTAR Ubillus, Pintag-Ecuador.
Fuente: Velasco (2017).*

1.7. Marco legal en el Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador fue publicada en el R. O. No. 449 del 20 de octubre de 2008. En materia ambiental y de desarrollo, define los lineamientos y principios ambientales generales que forman el marco principal de referencia para el desarrollo de cualquier proyecto, así como las políticas que deben seguirse a nivel nacional, tomando en cuenta incluso puntos de vista de gestión, conservación y participación social; dichas definiciones se dan en diferentes articulados de su contenido, las más relevantes, se detallan a continuación:

El Art. 66, Numeral 27 reconoce: “El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”.

El Art. 326, Numeral 5 señala que: “Toda persona tendrá derecho a realizar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar”.

El Art. 397. Numeral 2 establece: “La prevención de la contaminación ambiental, la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos naturales y los requisitos que para estos fines deberán cumplir las actividades públicas y privadas.”

En este ámbito existen leyes, normas, reglamentos y ordenanzas que considerando los convenios, acuerdos internacionales y la nueva Constitución del 2008 son capaces de garantizar la preservación del medio ambiente y de la Salud pública. A continuación, un detalle del Marco Normativo Ambiental vigente en Ecuador.

1.7.1. Leyes ambientales

Establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia. Bajo este contexto, esta ley es aplicable a este tipo de proyectos ya que en esta se establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; criterios de calidad de aguas y métodos procedimientos para determinar presencia de contaminantes.

▪ **Ley de la calidad Ambiental.**

Publicado en el Código Orgánico del Ambiente (COA) Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017, Libro tercero:

Título II Sistema Único de Manejo Ambiental, Capítulo V Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos.

Art. 191.- “Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Art. 193.- “Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Art. 196.- “Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes

receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Título III Control y Seguimiento Ambiental, Capítulo IV Monitoreo y Seguimiento.

Art. 208.- “Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo”. La información generada, procesada y sistematizada de monitoreo será de carácter público y se deberá incorporar al Sistema Único de Información Ambiental y al sistema de información que administre la Autoridad Única del Agua en lo que corresponda” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Art. 209.- “Muestreo. La Autoridad Ambiental Nacional expedirá las normas técnicas y procedimientos que regularán el muestreo y los métodos de análisis para la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos. Los análisis se realizarán en laboratorios públicos o privados de las universidades o institutos de educación superior acreditados por la entidad nacional de acreditación. En el caso que en el país no existan laboratorios acreditados, la entidad nacional podrá reconocer o designar laboratorios, y en última instancia, se podrá realizar con los que estén acreditados a nivel internacional” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Art. 210.- “Información de resultados del muestreo. Cuando la Autoridad Ambiental Competente realice muestreos para el control de una emisión, descarga o vertido deberá informar sobre los resultados obtenidos al operador, en conjunto con las observaciones técnicas que correspondan. Las tomas de muestras se realizarán con un representante del operador o fedatario designado para este fin, los funcionarios de la autoridad competente de control y un representante del laboratorio acreditado. Cuando se realicen de oficio o por denuncia la toma de muestras, no será necesaria la presencia del representante del operador. El protocolo de custodia de las muestras se expedirá mediante la norma técnica pertinente” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Título V Gestión Integral de Residuos y Desechos, Capítulo I Disposiciones Generales.

Art. 224.- “Objeto. La gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, a través de un conjunto de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de gestión, de conformidad con los principios y disposiciones del Sistema Único de Manejo Ambiental” (*Código Orgánico del Ambiente, 2017*).

Art. 225.- “Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

- 1) El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;
- 2) La responsabilidad extendida del productor o importador;
- 3) La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosarios;
- 4) El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación al manejo de los residuos y desechos;
- 5) El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;
- 6) El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;
- 7) El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;
- 8) La aplicación del principio de responsabilidad compartida, que incluye la internalización de costos, derecho a la información e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique;
- 9) El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;
- 10) La sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y desechos entre todos los sectores;
- 11) La jerarquización en la gestión de residuos y desechos; y,
- 12) Otras que determine la Autoridad Ambiental Nacional”

▪ **ley de prevención y control de la contaminación ambiental.**

Publicada en el en el Registro Oficial No. 418, del 10 de septiembre de 2004.

Capítulo II De la prevención y control de la contaminación de las aguas.

Art. 6.- “Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades” (*Ley de Gestión Ambiental, 2004*).

Art. 7.- “El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las

regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor” (*Ley de Gestión Ambiental, 2004*).

Art. 8.- “Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen” (*Ley de Gestión Ambiental, 2004*).

Art. 9.- “Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley” (*Ley de Gestión Ambiental, 2004*).

▪ **Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS o TULSMA).**

Acuerdo Ministerial 097, expide Anexos del TULSMA, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua.

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Auditoría Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la Tabla 9: Límites descarga a un cuerpo de agua dulce dispuesto en el Anexo 1, Libro VI del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, con el aval de la Auditoría Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

1.7.2. Ley de aguas

Regula el aprovechamiento de las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas dentro de la cual se encuentran las disposiciones legales de prohibición y control de vertidos y la autorización administrativa de vertidos. Esta ley complementa con otros cuerpos legales de gran relevancia citados en este proyecto, a continuación, presenta un detalle de las políticas más relevantes a ser consideradas contexto del desarrollo del presente trabajo:

Art. 22.- Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicara la política que permita el cumplimiento de esta disposición” (*Ley de Aguas, 2004*).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, Segundo Suplemento del Registro oficial No. 305 de 06 de agosto de 2014, indica en los siguientes artículos, leyes relacionadas con el presente trabajo de investigación.

Art. 79. Objetivos de prevención y conservación del agua. - “La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

- a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o *sumak kawsay*, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
- b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad;
- c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;
- d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;
- e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida;
- f) Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y,
- g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico”.

Art. 80. Vertidos: prohibiciones y control. - “Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público. La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley” (*Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014*).

Art. 81. Autorización administrativa de vertidos. - “La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional” (*Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014*).

1.7.3. Ley orgánica de la salud

La presente ley tiene como finalidad regular las acciones que permitan efectivizar el derecho universal a la salud consagrado en la Constitución Política de la República y la ley. Se rige por los principios de equidad, integralidad, solidaridad, universalidad, irrenunciabilidad, indivisibilidad, participación, pluralidad, calidad y eficiencia; con enfoque de derechos, intercultural, de género, generacional y bioético. Publicada en el Registro Oficial de Ecuador No. 423 de 22 de diciembre de 2006.

Art. 7.- “Toda persona, sin discriminación por motivo alguno, tiene en relación a la salud, los siguientes derechos:

..... c) Vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación”

Art. 102.- “Es responsabilidad del Estado, a través de los municipios del país y en coordinación con las respectivas instituciones públicas, dotar a la población de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y otros de disposición de excretas y aguas servidas que no afecten a la salud individual, colectiva y al ambiente; así como de sistemas de tratamiento de aguas servidas” (*Ley Orgánica de la Salud, 2006*).

Art. 103.- “Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias. Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país. Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto por la Autoridad Ambiental Nacional. Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones” (*Ley Orgánica de la Salud, 2006*).

1.7.4. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda una Vida

El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento por medio del que se concreta la garantía de derechos en un marco de política pública; por tanto, su vinculación y la ejecución de su cumplimiento son importantes frente a los diferentes niveles de gobierno, otras funciones del Estado, e incluso el propio sector privado en su papel como corresponsable de los procesos de desarrollo.

El objetivo número tres del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda una Vida busca: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2017-2021); y dentro de sus políticas hace referencia el “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la

conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” (*Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2017-2021*).

1.7.5. Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización. En este mismo contexto esta norma establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestro.

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur” de la Parroquia San Rafael de la Laguna,
Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador**

**Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur” –
Ecuador**

Capítulo 2

2. Caracterización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur” – Ecuador

En este capítulo se hace una breve referencia a la información geográfica del caso de estudio, detallando principalmente la ubicación de la PTAR y aspectos relevantes de la parroquia en la cual se encuentra ubicada. También se presentan una breve explicación de la empresa responsable de su operación y mantenimiento de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para su efecto; además se describen de forma detallada los procesos u operaciones unitarias que conforma la planta de tratamiento objeto en este estudio.

2.1. Localización Geográfica

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur” está ubicada en la región interandina del Ecuador, Provincia de Imbabura, Cantón Otavalo, Parroquia San Rafael de la Laguna, en la comunidad rural de Huaycopungo, aproximadamente a 1,2 km de la Panamericana Norte a una altitud de 2665 msnm. De acuerdo al PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019, las precipitaciones en la zona oscilan de 900 mm a 1000 mm anualmente; mientras que la temperatura varía entre los 7 °C y los 13 °C. La información general de la localización del proyecto, se puede apreciar en la Tabla 10.

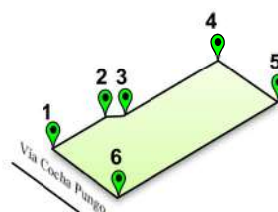
Tabla 10. Información general de la ubicación del proyecto.

DESCRIPCIÓN		LOCALIZACIÓN	
Proyecto:	Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		
País:	Ecuador		
Región:	Sierra		
Provincia:	Imbabura		
Cantón:	Otavalo		
Parroquia:	San Rafael de la Laguna		
Sector:	Huaycopungo		

En la Figura 28 y 29 se muestra la localización del proyecto de acuerdo a la zona territorial, mapa físico del Ecuador, mapa de la provincia de Imbabura y la división política de la Parroquia San Rafael de la Laguna.

Las coordenadas UTM de referencia de ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua residual “Huaycopungo Sur” se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Coordenadas WGS84¹⁰ de refencia de ubicación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

PUNTO	COORDENADAS		ALTIDUD	REFERENCIA
	E	N	msnm	
1	810298	21305	2665	
2	810324	21280	2663	
3	810350	21319	2662	
4	810271	21381	2662	
5	810249	21355	2665	
6	810296	21317	2664	

La parroquia San Rafael de la Laguna es una parroquia rural de las 11 parroquias (dos urbanas y nueve rurales) que conforman el cantón Otavalo, situado en la zona norte del Ecuador y al sur oriente de la provincia de Imbabura. Posee una extensión de 18,13 km² según los límites que consta en el Consejo Nacional de Limites (CONALIS). La población de acuerdo al último censo del año 2010 es de 5421 habitantes y representa el 5,17% de la población total del cantón de Otavalo (*PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019*).

Por su ubicación, está dentro de la cuenca hidrográfica del lago San Pablo, rodeada de tres volcanes como son el Imbabura, Mojanda y Cusín, así como por montañas y lomas pequeñas como el Cubilche y Reyloma que son los que encierran y limitan a la cuenca hidrográfica

La parroquia está ubicada cerca al núcleo urbano de la ciudad de Otavalo y colinda con la quebrada Guajindro con la parroquia rural Eugenio Espejo al oeste y el Río Itambi junto a la quebrada Santo Domingo al este. Posee zonas de vida correspondientes a bosque húmedo montano (correspondiente a la parte alta de la parroquia), bosque húmedo montano bajo, con temperaturas que oscilan los 7° y 13°C, mientras que las precipitaciones varían de 900 a 1000 mm anuales (*PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019*).

Las principales actividades económicas que se dedica la población son: La agricultura, artesanías de totora, comercio, crianza de animales menores. Posee una trama vial que conecta a las comunidades y barrios como, San Miguel Alto, San Miguel Bajo, *Tocagón*, *Cachiviro*, *Capilla Pamba*, Cuatro Esquinas, MushukÑan, Cachimuel, *Huaycopungo*, San Rafael como cabecera parroquial y sus alrededores; la principal arteria que conecta a la parroquia con la ciudad de Otavalo y el cantón es la panamericana (*PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019*).

¹⁰ Coordenadas World Geodetic System 84 en inglés; Sistema Geodésico Mundial 1984.

La parroquia cuenta con bellezas escénicas y recursos naturales, como el Lago San Pablo, la laguna de Mojanda, paramos, bosques nativos, biodiversidad, que constituyen atractivos turísticos, además posee recursos culturales como tradiciones, identidad, gastronomía, etc. (PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019).

Información relevante a la parroquia San Rafeael, se reporta en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos generales de la parroquia San Rafael de Laguna.
Fuente: Diagnóstico Participativo (2015).

DATO	DESCRIPCIÓN
Fecha de creación	7 de junio de 1884
Población Total	5421 habitantes
Extensión	1812,68 ha
Límites	<i>Norte:</i> Lago San Pablo, y la Cabecera cantonal Otavalo <i>Sur:</i> Parroquia Gonzales Suárez y la provincia de Pichicha <i>Este:</i> Parroquias Rurales San Pablo del Lago y Gonzales Suárez por la quebrada Santo Domingo. <i>Oeste:</i> Parroquia Rural Eugenio Espejo por la quebrada Guajindro
Altitud media ¹¹	2790 msnm
Rango altitudinal ¹²	2680 – 4080 msnm

¹¹ Altitud aproximada de ubicación de la cabecera parroquial.

¹² Rango altitudinal de ubicación del territorio parroquial desde 2680 msnm (orillas del lago San Pablo) hasta los 4080 msnm (páramos del volcán Mojanda).

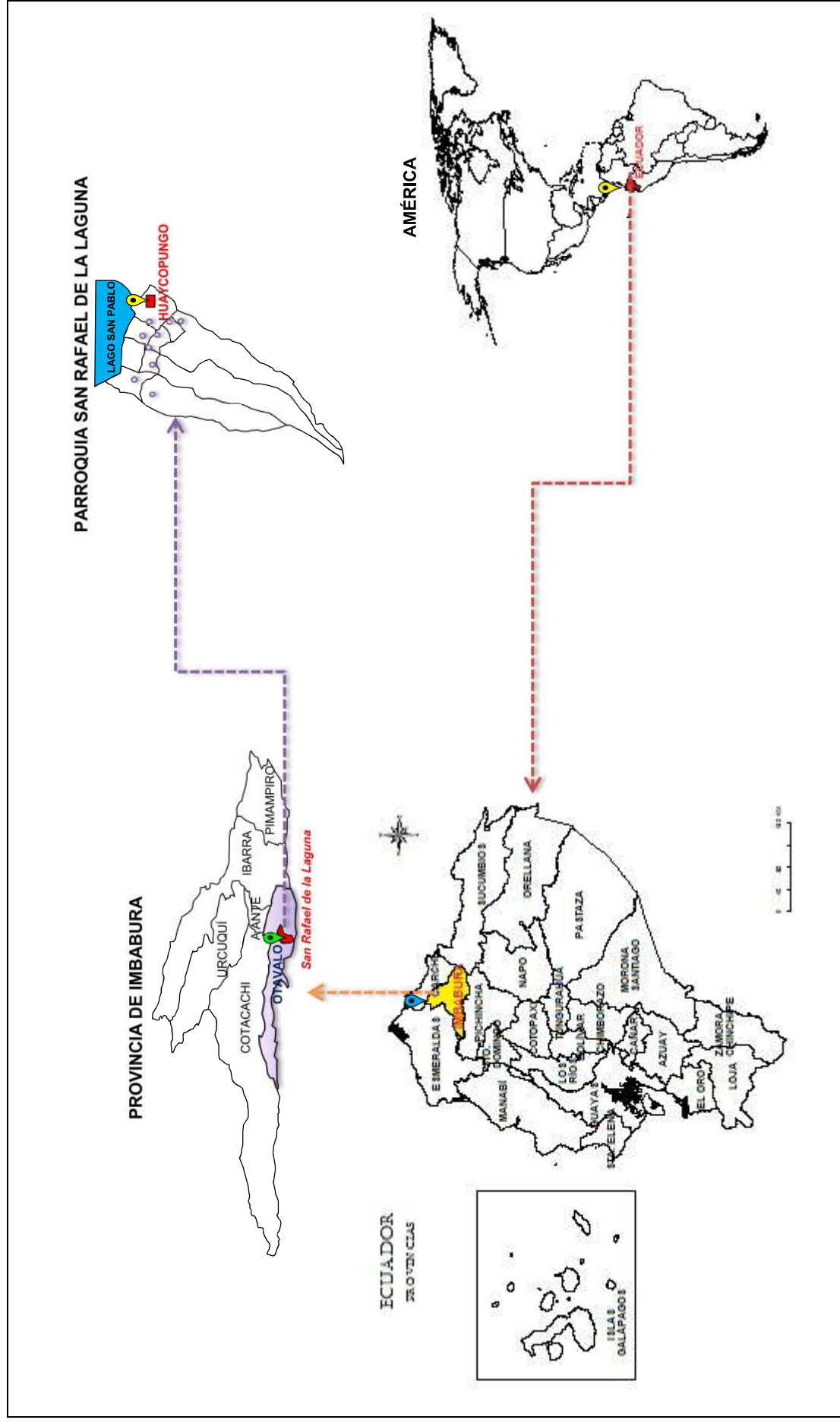


Figura 28. Localización del proyecto en el Ecuador.
Fuente: Adaptado del PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019.

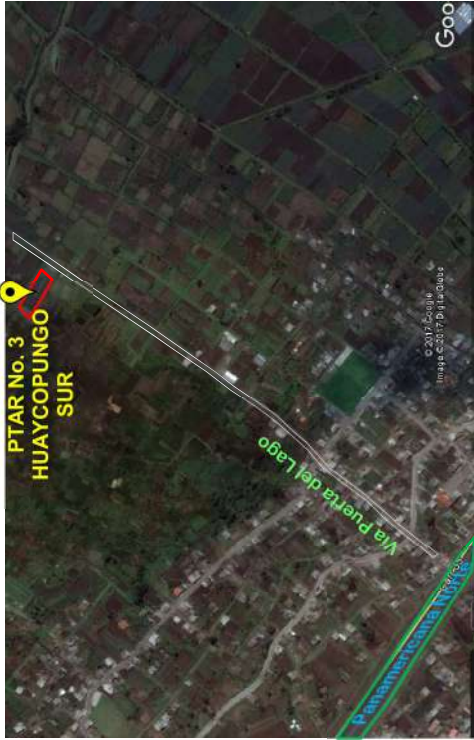
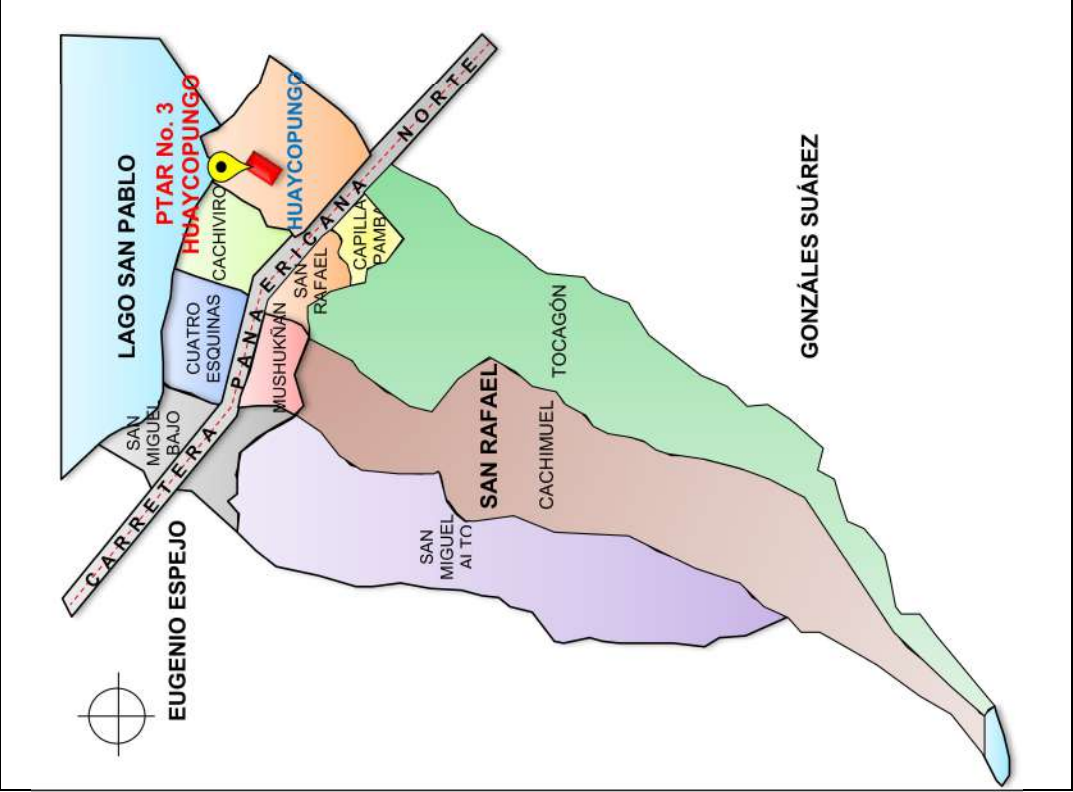


Figura 29. Ubicación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.
Fuente: PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019.

2.2. Descripción de la PTAR

La planta de tratamiento de agua residual “Huaycopungo Sur” (Figura 30) fue diseñada con un horizonte de 20 años (hasta el año 2026) para dar servicio a las comunidades de la zona sur de Huaycopungo y Tocagón de la parroquia San Rafael. Sin embargo, actualmente la PTAR brinda servicio únicamente a la comunidad de Huaycopungo.

La PTAR fue diseñada y construida para depurar un vertido de origen doméstico y con esto garantizar el cumplimiento con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce regulados y definidos en la legislación ambiental (Libro VI del TULSMA¹³: Calidad ambiental, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), para mejorar la calidad de vida de los habitantes y aportar a la descontaminación del Lago San Pablo que es el cuerpo hídrico al cual llega el efluente por medio de río Itambi.

Los niveles de tratamiento que define la PTAR “Huaycopungo Sur” dentro de su sistema de tratamiento de agua residual es: *Tratamiento Primario* basado en operaciones físicas como el desbaste y la sedimentación de sólidos; sus unidades y dispositivos están diseñadas para remover los sólidos gruesos, aceites y grasas, así como los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables contenidos en el agua residual. *Tratamiento secundario* recurrido en un proceso biológico anaerobio para degradar de materia orgánica y un *Tratamiento terciario* para remover nutrientes; nitrógeno, fósforo, metales pesados y coliformes, con la utilización de macrófita acuáticas flotantes (Jacintos de agua).

Las unidades que conforman el tren de tratamiento de la PTAR están en una cota superior a la de la tubería que conduce el afluente a la PTAR, por lo que el sistema dispone de una estación de bombeo para elevar y conducir el caudal hasta una caja repartidora de caudal. Luego de esta caja se ha previsto las unidades propiamente dichas para el tratamiento de las aguas residuales que consiste de un sedimentador para efectuar las operaciones y procesos del tratamiento primario, un filtro percolador para el tratamiento secundario y estanques con plantas acuáticas para el tratamiento terciario. Finalmente, la descarga del efluente depurado, se realiza en un canal a cielo abierto con totorales que lo conduce hasta el lago San Pablo.

Por otra parte, los lodos generados en los diferentes niveles del sistema de tratamiento de aguas, son conducidos y acumulados en los lechos de secado para reducir su contenido de humedad en forma natural por acción del viento y el sol. Como destino final son desechados en lugares especialmente acondicionados para ello (mono-relleno sanitario) o su vez son aprovechados como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas, siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos.

¹³ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.



Figura 30. PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

En la Figura 31, se incluye un esquema con los principales procesos de las aguas residuales de la PTAR:

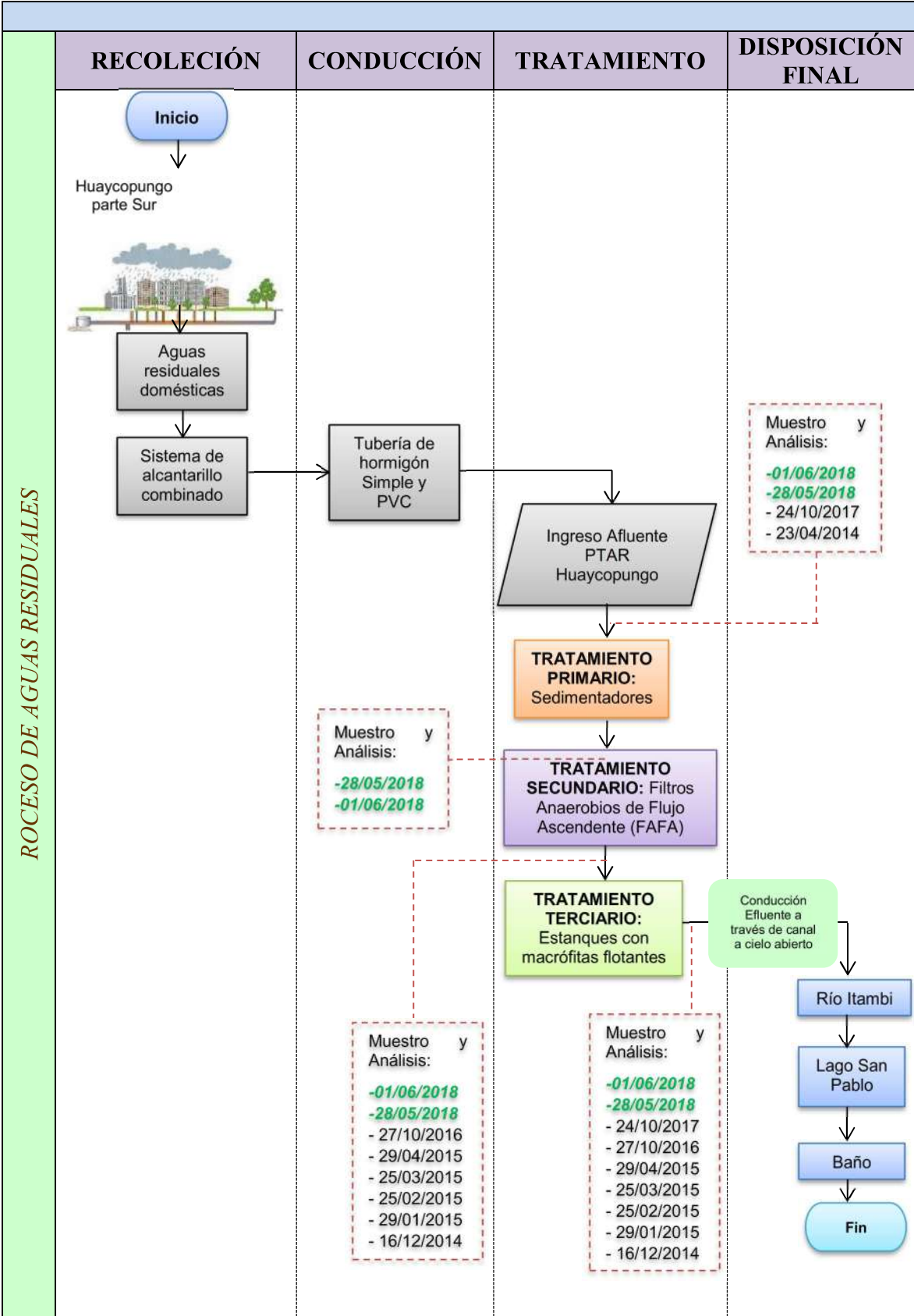


Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de las aguas residuales de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

El proceso de tratamiento adoptado para la PTAR “Huaycopungo Sur”, considera dos fases de tratamiento, en particular, tratamiento de la fase líquida y tratamiento de la fase sólida. La Figura 32 presenta de forma simplificada, los procesos de tratamiento que integran cada una de estas fases.

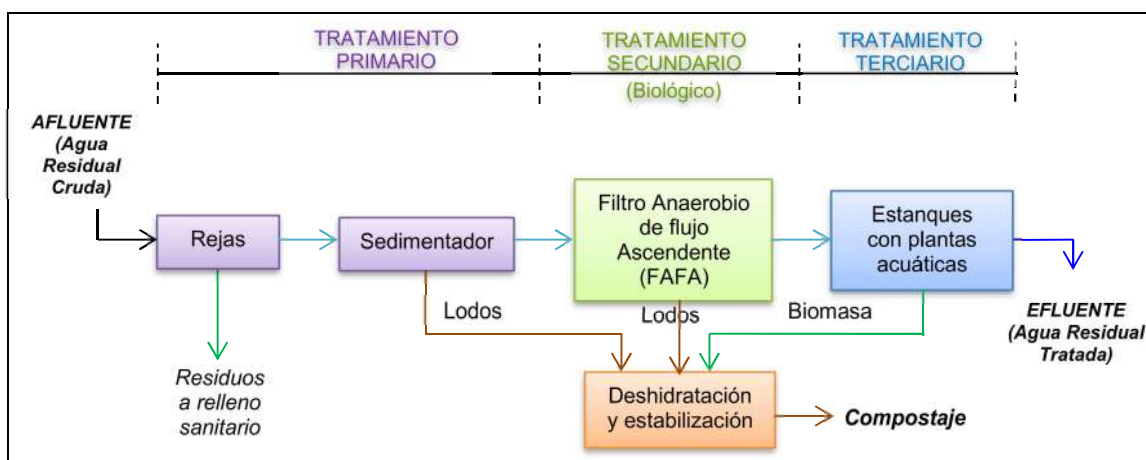


Figura 32. Esquema general de tratamiento, PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

2.2.1. Información general de la PTAR

La PTAR “Haycopungo Sur” está ubicada en una de las partes bajas del proceso de manejo de aguas servidas, en una zona cercana al Lago San Pablo, cuenta aproximadamente con área de 3239 m². La PTAR tratará, en el año 2026, cerca de 2,72 l/s (235 m³/día), correspondiente a 1728 habitantes equivalentes de una zona que extiende a unos 22,15 ha al sur de Haycopungo y 38,50 ha hacia la comunidad Tocagón. La estación receipta aguas residuales de origen doméstico dado a que está influenciada por una zona rural. La PTAR, cuenta con un sistema de tratamiento a base de sedimentador, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua). El efluente final de la PTAR es vertido al río Itambi que desemboca en el lago San Pablo. La Tabla 13 reúne toda la información relevante de la planta de tratamiento.

Tabla 13. Información general de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

CARACTERÍSTICA		DESCRIPCIÓN
PTAR:		N° 3 “Huaycopungo Sur”
Localización:		País: Ecuador Provincia: Imbabura Cantón: Otavalo Parroquia: San Rafael de la Laguna Sector: Huaycopungo
Coordenadas UTM		N: 10021218,37 E: 810259,89
Altitud:		2665 msnm
Operación y Administración:		EMAPAO – EP
Funcionamiento del sistema:		Gravedad – Bombeo
Localidad actual beneficiada (2018):		Huaycopungo (Parte Sur)
Localidades beneficiadas, según diseño:		Huaycopungo (Parte Sur) y Tocagón
Área total de la PTAR:		3239 m ²
Población servida	2006:	1236 habitantes
	Actual (2018):	2135 habitantes
	Servida (2026):	1728 habitantes
Área de aporte tratamiento, según diseño:		60,65 ha
		Huaycopungo Sur: 22,15 ha Tocagón: 38,50 ha
Entorno:		Rural (agrícola y de vivienda)
Tipo de vertido:		Doméstico
Caudal	Actual (2018):	2,64 l/s (228 m ³ /día)
	Diseño (2026):	2,72 l/s (235 m ³ /día)
Tiempo de operación y funcionamiento:		9 años (aproximadamente)
Periodo de diseño:		2006 – 2026 (20 años)
Sistema de tratamiento:		Biológico: Sedimentador + filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) + estanques con Macrófitas flotantes
Cuerpo receptor:		Río Itambi – Laguna San Pablo
Uso del efluente:		Descontaminación

2.2.2. Descripción del Tratamiento

La PTAR “Huaycopungo Sur” posee dos líneas de trabajo, estas son la línea líquida, donde se trabaja con el agua y la línea sólida donde se trabaja con los fangos o lodos, a continuación, se incluye un esquema con las principales partes de la PTAR. La Figura 33 muestra el diagrama de flujo del tratamiento del agua y de los lodos, conjuntamente con las unidades que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales. Las primeras unidades, son una combinación de operaciones físicas y procesos biológicos, que operan en la siguiente secuencia: desbaste, cárcamo de bombeo, caja distribuidora de caudales, sedimentador, filtro percolador y estanques con plantas acuáticas. Las unidades para el manejo de lodos, incluyen lechos de secados para lodos. A continuación, se describe resumidamente cada una de las líneas del sistema de tratamiento de aguas residuales:

▪ Línea de agua

Las aguas residuales que llegan a la PTAR por un colector de 450 mm de diámetro nominal, son recibidas en una obra de toma denominada también como obra de llegada o de desvío de los excedentes. Esta cuenta con un vertedor de demasías que deriva el flujo en alguna eventualidad directamente a la descarga, una reja para la retención de los residuos de gran tamaño que puedan ingresar a la PTAR y una válvula de compuerta.

El proceso de tratamiento de las aguas residuales se inicia con el ingreso del afluente proveniente de la línea de alcantarillado al **Tratamiento Primario** correspondiente al primer paso que da el afluente en el proceso de tratamiento. El agua pasa por una rejilla que actúan como elemento filtrante que retiene los sólidos más grandes, su instalación se ha previsto previo al cárcamo de bombeo de aguas residuales buscando acondicionar el afluente para facilitar los tratamientos propiamente dichos y proteger las instalaciones de erosiones y taponamientos de las bombas, válvulas, tuberías y otras partes del sistema, los desechos y basuras extraídos de esta sección son almacenados y acumulados para trasladarlos al relleno sanitario. Luego, el agua residual es conducida al cárcamo de bombeo que corresponde a un tanque de bombeo de hormigón armado que cuenta con dos bombas sumergible de 7,50 l/s y 6,50 l/s (Caudal de bombeo) de 1 HP de potencia, para impulsar y elevar al agua hasta una caja receptora de caudal de bombeo proporcionándole carga hidráulica suficiente para que fluya con gravedad durante el resto del proceso de tratamiento. El agua continúa su curso a una caja distribuidora de caudal que se encarga de repartir flujos iguales a dos cámaras o módulos que trabajan en paralelo dispuestas para la sedimentación, en donde se eliminan las partículas sólidas gruesas. Los sólidos sedimentados son removidos y depositados en los lechos para su secado natural. Las natas cuyo proceso de estabilización es más lento, salen a la superficie de los módulos donde son extraídos mediante una paleta manual y depositados en los lechos de secado para su estabilización.

El agua proveniente de los sedimentadores pasa al **tratamiento secundario** (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual) para remover su contaminación orgánica disuelta. Su proceso se lleva a cabo en dos filtros percoladores convencionales anaerobios de flujo ascendente (FAFA) que trabajan en paralelo, los cuales consisten en tanques de hormigón armado de sección rectangular previstos con dos capas de materia granular y un sistema de tuberías distribución y recolección de caudal. Este proceso de tratamiento biológico se desarrolla mediante microorganismos que se ubican en la película que se forma alrededor del material granular (grava y piedra). El lodo removido de los filtros es depositado en los lechos para su secado y estabilización.

El agua que sale de los sedimentadores es conducida y distribuida a 5 cajas de revisión que éstas a su vez alimentan a cinco lagunas con plantas acuáticas donde finalmente se lleva a cabo el **tratamiento terciario**. Los estanques son estructuras de hormigón armado que al igual que los sedimentadores trabajan en paralelo. Las plantas acuáticas actúan creando un ambiente apropiado para que las bacterias y otros microorganismos actúen sobre los desechos degradando la materia orgánica en elementos asimilables por las plantas

(Polprasert, 1989), con esta técnica se prevé la remoción ciertas sustancias químicas y la disminución de patógenos.

El agua residual tratada en cada uno de los estanques es conducida hasta sus respectivas cajas de descarga dispuestas al final de los mismos, para luego ser recolectada y descargada por gravedad hasta un canal a cielo abierto con totoras que lo conduce hasta el río Itambi que es la principal fuente que alimenta al lago San Pablo.

▪ **Línea de fangos o lodos**

La línea de fango tiene su origen en los módulos sedimentadores, que como se señaló, anteriormente, corresponde al proceso de sedimentación del tratamiento primario de la línea de agua. También, se produce fango en los filtros anaerobios de flujo ascendente y biomasa en los estanques con macrófitas flotantes de la línea de agua. Todos estos fangos y biomasa son enviados a unos lechos simples, para su secado al aire por evaporación, otra parte del agua contenida en estos lodos es filtrada, por efecto de la gravedad hacia el fondo de los lechos, para ser recogida por ductos y conducirla nuevamente al sistema para su tratamiento.

De igual forma, la materia orgánica de origen vegetal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos (biomasa), obtenida de las lagunas con plantas acuáticas son colocados y acumulados en los lechos para su disposición final.

Para el control de olores molestos, se adiciona cal hidratada que es un acondicionamiento inorgánico más usado, para que los compuestos de sulfuro que producen olor se conviertan en formas no volátiles.

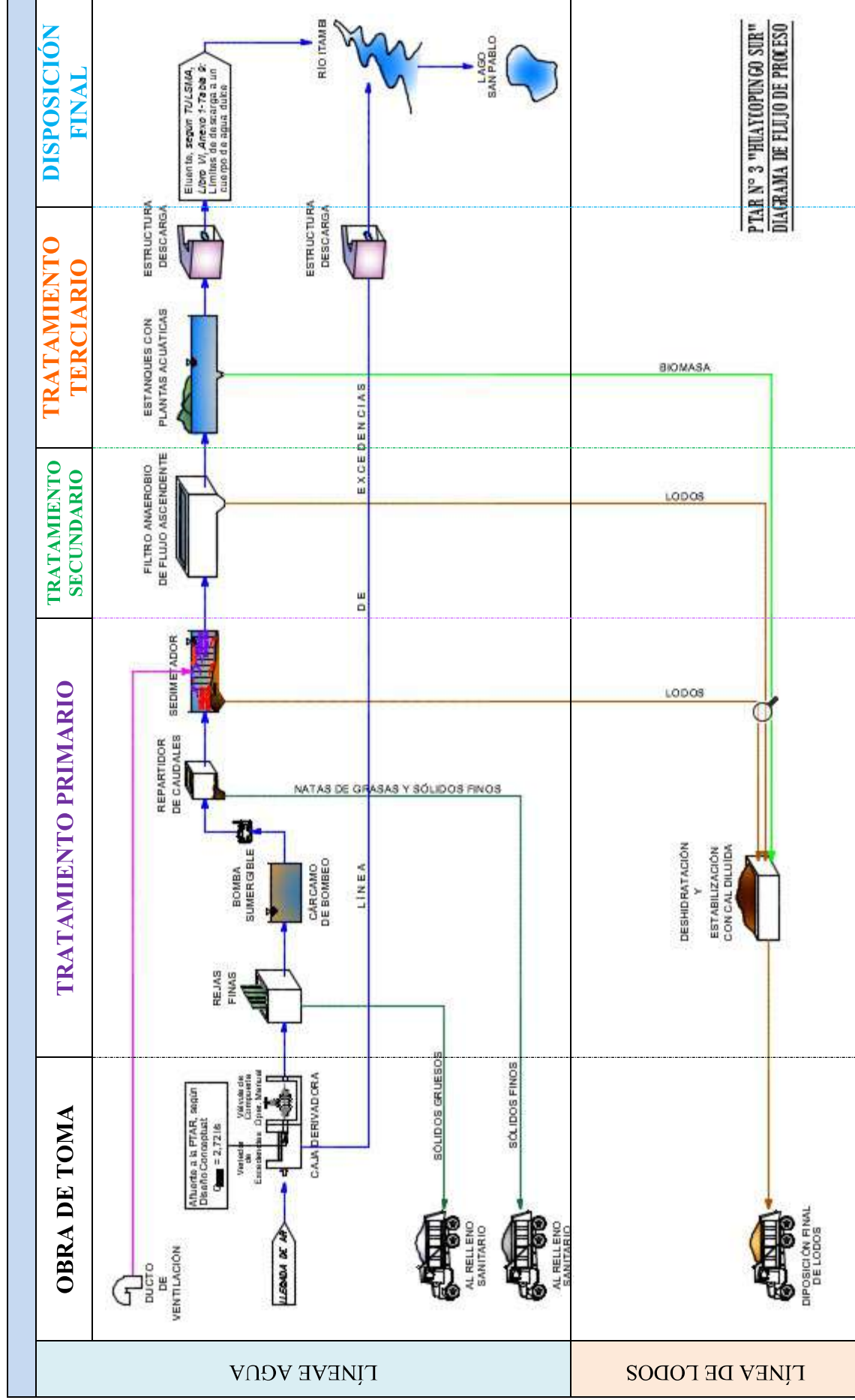


Figura 33. Diagrama de flujo de Proceso PTAR “Huaycopungo Sur”.

2.2.3. Reconocimiento “in situ” y descripción de las unidades y componentes que conforman la PTAR

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Huaycopungo Sur”, cuenta actualmente con las siguientes operaciones unitarias: unidad de control y distribución de caudales de ingreso, compuesto por separadores o derivadores de caudal, válvulas de compuerta, cribado, cárcamo de bombeo, caja receptora de caudal de bombeo, caja repartidora de caudal, sedimentadores, filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), estanques con plantas acuáticas flotantes (Jacintos de agua), cajas de descarga. Para los lodos acumulados en las cámaras de ingreso y descarga, sedimentadores, filtros, así como para la biomasa producida en los estanques con jacintos de agua, se cuenta con unidades de secado o lechos de secado.

El agua residual llega del sistema de alcantarillado con una tubería de 450 mm de diámetro hacia la unidad de control y distribución de caudales, cuyo objetivo es derivar y conducir el caudal de ingreso a la PTAR y desviar el excedente de agua (producto de precipitaciones o en alguna eventualidad) mediante un bypass directamente hacia el canal natural punto de descarga final, esta se encuentra a 9 metros de la PTAR.

El afluente (agua residual cruda) que ingresa a la PTAR atraviesa una rejilla y fluye hacia el cárcamo de bombeo para elevarla hasta la caja receptora de caudal de bombeo, proporcionándole carga hidráulica suficiente para que fluya por gravedad durante el resto del proceso de tratamiento. Luego, el agua es conducida a una caja que reparte el caudal hacia 2 cámaras de sedimentación conectadas en paralelo, donde se inicia el tratamiento propiamente dicho con la remoción de sólidos suspendidos, grasas y aceites así; como el almacenamiento y la formación de lodos.

El vertido pasa posteriormente a los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) de carga media (sin recirculación), para complementar el tratamiento biológico con la degradación de la materia orgánica en el lecho bacteriano.

Del FAFA, a través de tuberías perforadas de 200 mm de diámetro, el agua residual es recolectada y conducida a dos cajas que funcionan en serie, para posteriormente distribuirla a cinco cajas que estas a su vez alimentan a cinco estanques con plantas acuáticas flotantes. El transporte del agua residual desde las cajas de distribución hacia los estanques es a través de tubos PVC. En los estanques con plantas acuáticas se garantiza una mayor remoción de elementos químicos y remoción de coliformes.

Luego, el agua que sale de los estanques con plantas acuáticas es conducida a cinco cajas conectadas en serie y recolecta a través de una tubería PVC de 200 mm de diámetro para su para su descarga final.

Finalmente, dentro del sistema de tratamiento para la gestión de los lodos, se cuenta con varios lechos para su secado en forma natural, donde el agua contenida en los lodos es depositada por efecto de la gravedad en el fondo de los lechos, y es recolectada por tuberías

para nuevamente conducirla al sistema para su tratamiento. Otra parte del agua contenida en los lodos se evapora por la acción del viento y el sol.

Los componentes de la planta de tratamiento “Huaycopungo Sur” se resume en la Tabla 14.

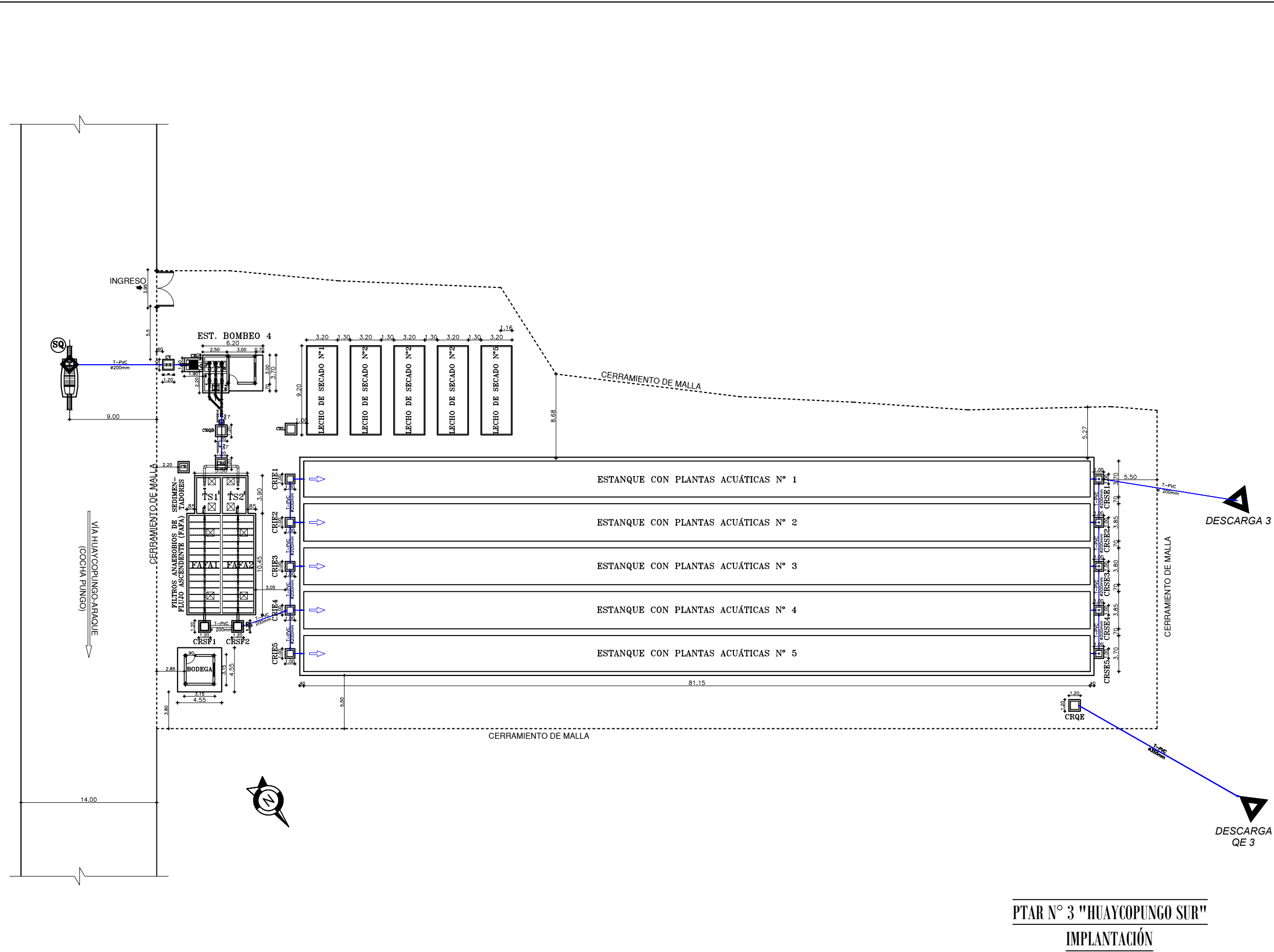
Tabla 14. Resumen de los elementos principales que conforman “Huaycopungo Sur”.

Unidad	N° de unidades	Dimensiones			Q _{diseño} l/s	Tiempo de Retención horas
		Largo m	Ancho m	Altura m		
Separador de caudal	1	3,90	1,47	1,10	88,9	
Cribado fino	2	0,45	30,00			
		0,85	1,00			
Cámara de válvulas	2	0,90	0,80	1,10		
		2,70	2,00	2,20		
Cárcamo de bombeo	1	2,70	1,90	3,22	8,65	
Caja receptora de caudal de bombeo	1	1,20	1,20	1,30		
Repartidor de caudal	1	1,20	1,20	0,85		
Sedimentador primario	2	4,10	2,85	2,75	8,65	1,3
Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	2	10,45	3,65	2,95	2,72	8
Caja receptora efluente FAFA	2	1,20	1,20	1,00		
Caja distribuidora de caudal a estanques	5	1,00	1,00	1,00		
Estanques	5	81,15	3,70	0,70 ¹⁴	2,72	35,52
			3,85			
			3,80			
			3,85			
			3,70			
Cajas de descarga	5	1,00	1,00	1,45		
Lechos de secado	5	9,00	3,20	0,44 ¹⁵	2,72	
Descargas	2	1,10	1,42			

En la Figura 34 se presenta la implantación general de la planta de tratamiento N° 3 “Huaycopungo Sur”.

¹⁴ Altura aproximada en la mitad de los estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua).

¹⁵ Altura aproximada en la mitad de los lechos de secado.



PTAR N° 3 "HUAYCOPUNGO SUR"
IMPLANTACIÓN

NOTAS:

ESTE PLANO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL. PROPIEDAD DEL AUTOR DEL PLANO PARA FINES ACADÉMICOS. QUEDA EXPRESAMENTE PROHIBIDA SU DIBUJO, COPIA O USO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA.

REVISIONES:					
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
			ING. WILSON ULCO		

REGISTRO DE INSPECCIÓN:	
LEVANTAMIENTO CON CINTA DE LAS ESTRUCTURAS DE LA PTAR POR:	
ING. WILSON ULCO	
ING. JOSÉ LUIS BURGA	
LUIS ULCO	
FRANKLIN BURGA	

FECHA:
08-05-2018

FORMATO:
A3
ESCALA:
SIN ESCALA



NOMENCLATURA GENERAL:

ITEM	DESCRIPCIÓN
SQ	Separador de caudal
T-PVC	Tubería PVC
CV	Cámara de Válvula
CR	Cámara de rejilla
CRQB	Caja receptora de Caudal de bombeo
CRQB	Caja receptora de Caudal de bombeo
CRQ	Caja repartidora de caudal
TS1	Tanque sedimentador N° 1
TS2	Tanque sedimentador N° 2
FAFA1	Filtro anaerobio de flujo ascendente N° 1
FAFA2	Filtro anaerobio de flujo ascendente N° 2
CRSF1	Caja de revisión de salida del FAFA1
CRSF2	Caja de revisión de salida del FAFA2
CRIE1	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 1
CRIE2	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 2
CRIE3	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 3
CRIE4	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 4
CRIE5	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 5
CRSE1	Caja de revisión, salida del estanque N° 1
CRSE2	Caja de revisión, salida del estanque N° 2
CRSE3	Caja de revisión, salida del estanque N° 3
CRSE4	Caja de revisión, salida del estanque N° 4
CRSE5	Caja de revisión, salida del estanque N° 5
CRSE1	Caja de revisión, salida del estanque N° 1
CRLS	Caja de revisión, lecho de secado

EVIDENCIA DE INSPECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA		POLITÉCNICO DE LEIRIA	
ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN			
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES			
PROYECTO:		EVALUACIÓN DE LA PTAR N° 3 "HUAYCOPUNGO SUR"	
CONTIENE:		IMPLANTACIÓN DE ESTRUCTURAS	
UBICACIÓN:		LÁMINA: 1/1	
PAÍS:	PROVINCIA:	CANTÓN:	PARROQUIA:
ECUADOR	IMBABURA	OTAVALO	SAN FAYO

Figura 34. Implantación PTAR N° 3 "Huaycopungo Sur".
Fuente: Adaptado de EMAPAO - EP.

▪ ESTRUCTURA DE INGRESO

Las aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado, llegan a través de un colector de 450 mm de diámetro a una “obra de toma” también considerada como obra de desvío de los excedentes. Esta cuenta con un pozo de inspección, derivador de caudales, reja de protección y un vertedero frontal de exceso o de demasías (véase Figura 35 y 36).

Es una estructura de hormigón armado de sección rectangular proyectada para derivar y controlar los caudales a la PTAR, así como para desviar el caudal excedente producto de las crecidas máximas o en alguna eventualidad a la descarga; ya que, por ser combinados los sistemas de alcantarillado, en época lluviosa ingresa una gran cantidad de caudal que podría afectar el funcionamiento de las unidades de tratamiento, sobre todo por los sedimentos que arrastra lo cual colapsaría los tratamientos primarios y secundarios.

La separación de caudales permite mantener los caudales sanitarios fuera de los cauces en tiempos de estiaje y conducir caudales controlados hacia el tratamiento en época lluviosa. La separación de caudales se realiza por lo general en un 10% del caudal combinado. Bajo esta consideración, se garantiza que se conduzca el caudal sanitario (en época seca), para conducir al tratamiento.

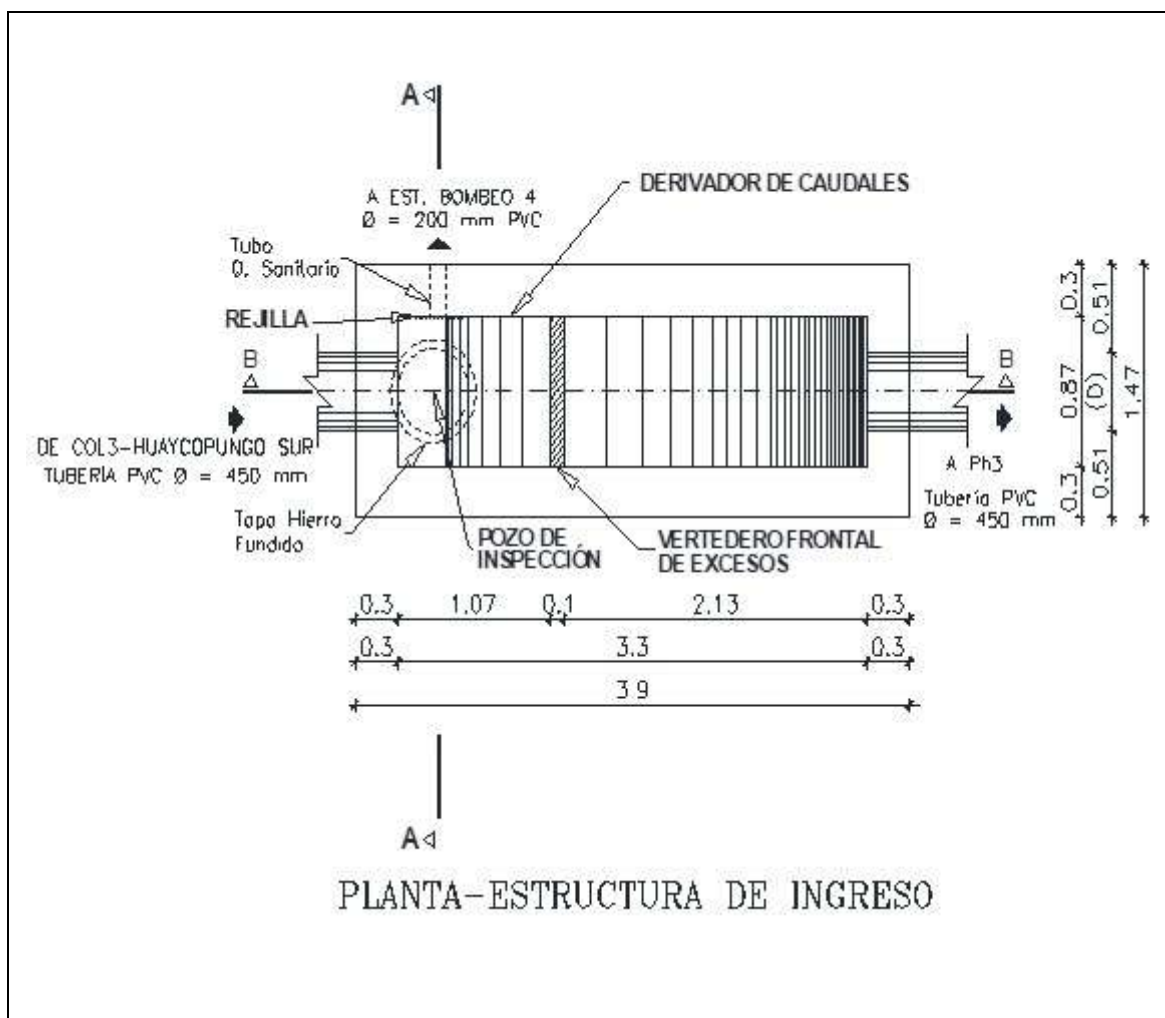


Figura 35. Vista en planta – Estructura de ingreso.
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.



Figura 37. Unidad de control y distribución de caudales de ingreso.

- Separador o derivador de caudales

El separador de caudales recibe directamente el agua residual proveniente del sistema de alcantarillado y está conformada por una tubería de ingreso a la PTAR, un vertedero frontal de demasías que deriva el flujo en alguna eventualidad a un aliviadero que a su vez desaloja el excedente de caudal directamente hacia el punto de descarga a través de una tubería de 450 mm de diámetro (Figura 38). La Tabla 15 indica las principales características del separador de caudales.

Tabla 15. Características del separador de caudales.

<i>Número de unidades</i>	1
<i>Sección*</i>	Rectangular
<i>Largo*</i>	3,90 m
<i>Ancho*</i>	1,47 m
<i>Profundidad*</i>	1,10 m
<i>Área*</i>	5,73 m
<i>Volumen*</i>	6,31 m
<i>Espesor de pared</i>	0,30 m

* Dimensiones totales, incluido espesor de pared, contrapiso y losa.



Figura 38. Separador de caudales de ingreso.

- Reja

En la tubería de ingreso a la PTAR se ha previsto la instalación de una rejilla fina¹⁶ fija (ver Figura 39), construida con barras circulares $\varnothing$ 12 mm, paralelas e igualmente espaciadas y colocada en posición inclinada. Las barras tienen una separación de 15 mm para retener partículas mayores a esta dimensión. En esta primera reja se retienen o se filtran los residuos en suspensión o flotantes presentes en el agua residual que puedan ingresar y provocar obstrucciones en las distintas unidades de la PTAR o dificultar los restantes tratamientos. Su limpieza es de modo manual¹⁷. En la Tabla 16, se puede observar las características que posee la reja de ingreso.

Tabla 16. Características de la reja de desbaste de la obra de toma.

Número de unidades	1
Largo	0,45 m
Ancho	0,30 m
Número de espaciamentos	20
Numero de barras	21
Sección de las barras	Circular
Diámetro de las barras	12 mm
Distancia de separación entre los barrotes	15 mm
Inclinación	70°

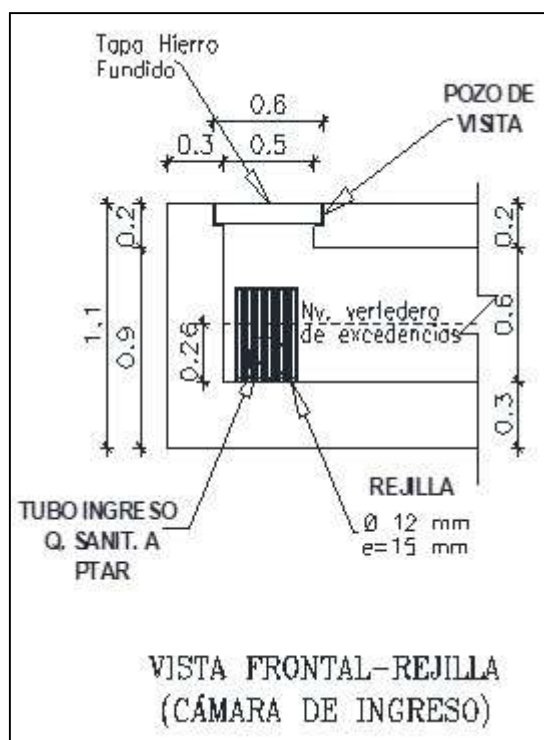


Figura 39. Reja de desbaste de la obra de toma.

¹⁶ Reja fina: Distancia de separación de barrotes entre 5 y 15 mm. Reja media: Distancia de separación de barrotes entre 15 y 50 mm. Reja gruesa: Distancia de separación de los barrotes mayor a 50 mm.

¹⁷ Las rejillas de limpieza manual presentan una inclinación de 30 – 45°, mientras que las de limpieza automática pueden colocarse totalmente verticales, o con inclinaciones de hasta 30°.

Las ventajas y desventajas del uso de rejillas de desbaste son presentadas en la Tabla 17.

Tabla 17. Ventajas y desventajas del uso de rejillas de cribado.

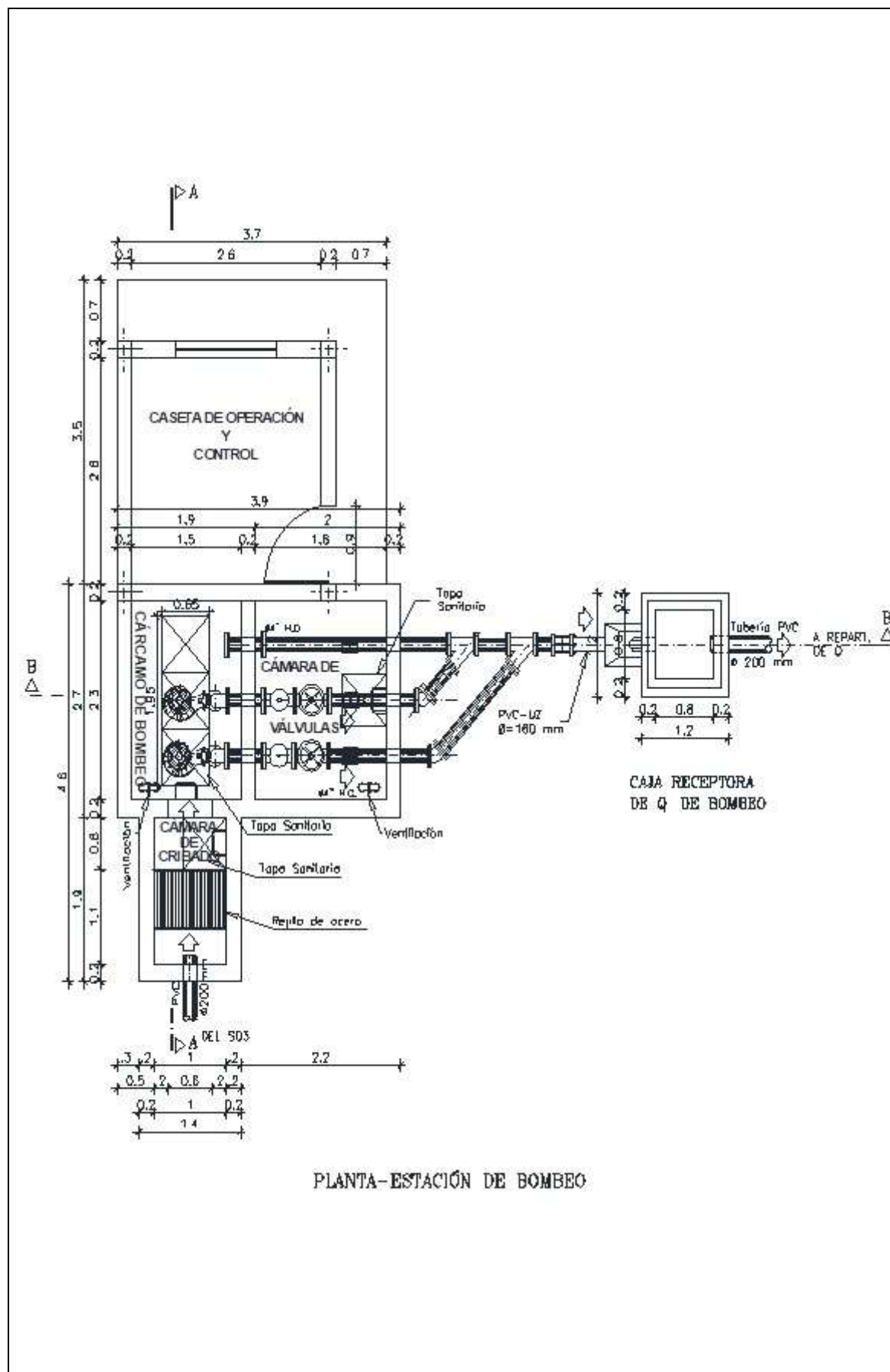
VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua residual. - La limpieza se hace manual y mecánicamente. - La evacuación de los residuos se realiza por procedimientos manuales o automáticos. - Evita obstrucciones en las distintas unidades de la instalación. - Su uso permite acondicionar el agua para que los tratamientos propiamente dichos se efectúen sin dificultades y complicaciones.	- Limpieza frecuente. - Puede presentar obstrucción o dificultad del agua residual en atravesar este dispositivo (especialmente en las rejillas finas), si no se realiza su limpieza. - Los trabajadores deben adoptar medidas de seguridad e higiene al manipular los residuos recogidos de los enrejados ya son perjudiciales, e incluso peligrosos.

▪ ESTACIÓN DE BOMBEO

Debido a que las unidades del tren de tratamiento de aguas servidas están ubicadas en una cota superior a la de la tubería de la vía Puerta del Lago (Cocha Pungo), se ha dispuesto de una estación de bombeo, para elevar el caudal a la caja receptora de caudal de bombeo. Luego de la caja receptora de caudal de bombeo, se ha previsto las unidades de tratamiento de aguas servidas que consiste de un sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y estanques con macrófitas acuáticas flotantes (Jacintos de agua). La vista en planta y elevación de los detalles constructivos de la estación de bombeo se puede observar en las Figuras 40 y 41.

La estación de bombeo consta de las siguientes partes:

- Reja;
- Cámara de succión o cárcamo de bombeo;
- Las bombas propiamente dichas;
- Línea de impulsión;
- Servicios auxiliares.



*Figura 40. Vista en planta – Estación de bombeo.
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.*

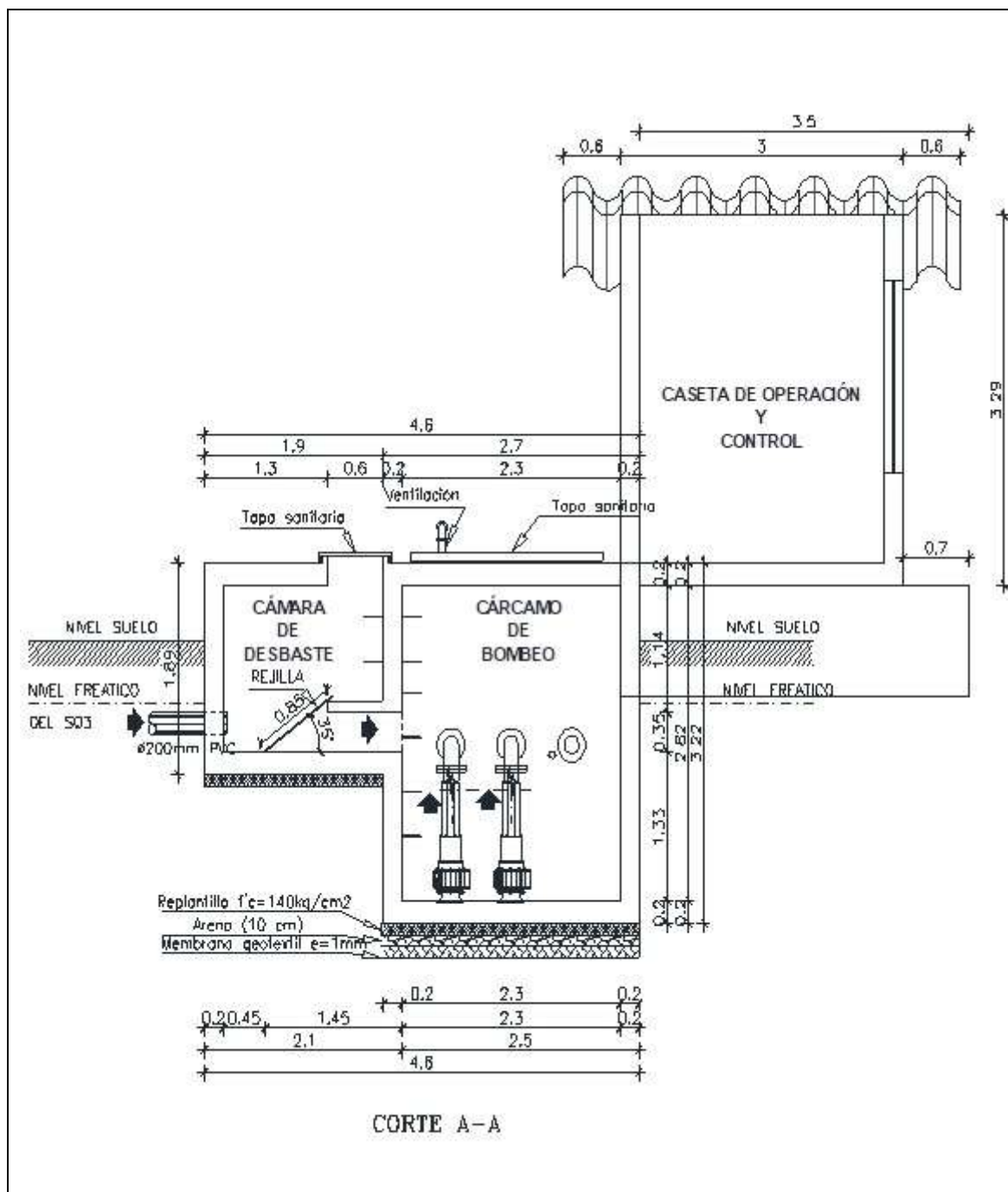


Figura 41. Vista en elevación – Estación de bombeo.
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.

- Reja

El proceso de extracción de sólidos arrastrados por el afluente (agua residual bruta) continua a través de rejas finas¹¹ (Figura 42), construidas con barras de acero inoxidable de sección circular de 12 mm de diámetro, con un espaciamiento entre barras de 15 mm. Su instalación se ha previsto eliminar componentes sólidos del agua residual que puedan interferir con el buen funcionamiento de las bombas del cárcamo de bombeo y que a su vez puedan provocar obstrucciones en las bombas, válvulas, tuberías y otras partes del sistema o disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes o complicar la realización de los mismos. Su operación es de forma manual.

La rejilla está instalada previo al cárcamo de bombeo en una cámara de dimensiones 2,1x1,4x1,9 m. En la Tabla 18, se presenta las características de la reja prevista en la estación de bombeo).

Tabla 18. Características de la reja de desbaste de la estación de bombeo.

Número de unidades	1
Largo	0,85 m
Ancho	1,00 m
Número de espaciamientos	38
Numero de barras	39
Sección de las barras	Circular
Diámetro de las barras	12 mm
Distancia de separación entre los barrotes	15 mm
Inclinación	35°

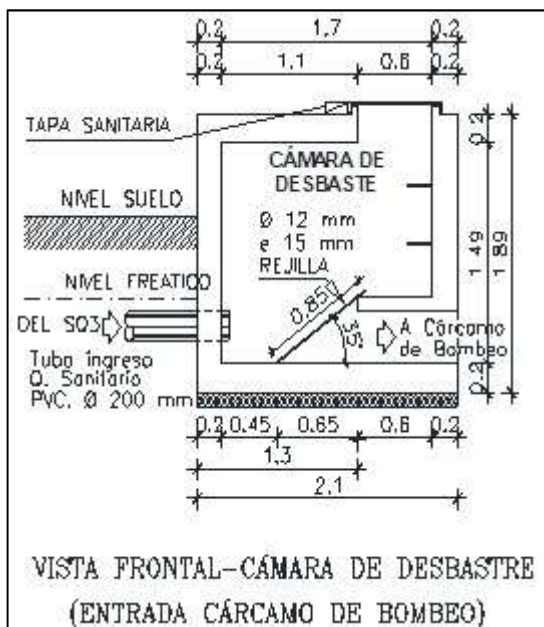


Figura 42. Desbaste – Estación de bombeo.

- Cámara de succión o cárcamo de bombeo

Es una estructura de hormigón armado de sección rectangular, cuya función es elevar el agua de una cota inferior a otra superior, con el propósito de hacer que el agua residual posteriormente fluya por gravedad durante el resto del proceso de tratamiento. Sus características se presentan en la Tabla 19.

El cárcamo de bombeo (Figura 43) consiste básicamente de dos componentes: una estructura para interceptar y contener el agua donde se homogeniza la carga de bombeo y a demás se encuentra las bombas sumergibles y la otra donde se encuentra su equipo complementario que sirve controlar el flujo (válvulas de compuerta).

Tabla 19. Características del cárcamo de bombeo.

<i>Número de unidades</i>	1
<i>Sección</i>	Rectangular
<i>Largo*</i>	2,70 m
<i>Ancho*</i>	1,90 m
<i>Profundidad*</i>	3,22 m
<i>Área*</i>	5,13 m ²
<i>Volumen*</i>	16,51 m ³
<i>Espesor de pared</i>	0,20 m

* Dimensiones totales, incluido espesor de pared, contrapiso y losa.



Figura 43. Cárcamo de bombeo.

- Bombas

Para el bombeo de las aguas residuales se utiliza bombas sumergibles instaladas en el fondo del cárcamo de bombeo. Las bombas cuentan con un sistema de sellos mecánicos para prevenir que el agua que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito. Su operación y funcionamiento es automático por lo que cuentan con un sensor de nivel flotante para que la bomba pare automáticamente cuando el nivel del agua baje hasta cierto nivel.

Para el sistema de bombeo se tiene operando dos bombas de 1 HP de potencia que trabajan en paralelo, una de ellas trabaja mayormente, sin embargo, se van intercalando el tiempo de

operación, de tal forma que su desgaste final sea igual para los dos equipos. Su ciclo de funcionamiento inicia cuando el afluente ingresa al cárcamo de bombeo hasta el nivel de arranque de la bomba 1, entonces el sensor de nivel pone en marcha automáticamente la bomba 1, el equipo trabaja únicamente hasta el nivel máximo de bombeo y arranque de la bomba 2. En el nivel máximo de bombeo y arranque de la bomba 2 otro sensor inicia el arranque de la bomba 2. Las dos bombas trabajan en paralelo hasta que el nivel baje al mínimo de bombeo y nivel de apagado de las dos bombas, donde estas se apagan e inician un nuevo ciclo.

Las unidades funcionan alternadamente, cada dos días, una de ellas como bomba principal y la otra de reserva a fin de que el desgaste sea similar en los dos equipos.

Los equipos de bombeo han sido definidos en dos etapas, la primera para los 10 años (hasta el año 2016) y la segunda hasta el final del período de diseño (año 2026).

- Línea de impulsión

La impulsión del agua residual del cárcamo de bombeo hacia su tanque receptor, se lo realiza a través dos tuberías de hierro galvanizado de 110 mm conectadas cada una de éstas a las bombas sumergidas en el fondo del cárcamo de bombeo. Estas dos tuberías son conectadas a su vez a una tubería de salida al tanque receptor (PVC de 160 mm).

- Válvulas

Par abrir, cerrar o regular el caudal de bombeo en alguna eventualidad, se ha dispuesto de válvulas de compuerta de acero inoxidable que son operadas a través de un volante (véase Figura 44). Su instalación se ha previsto posterior al cárcamo de bombeo en una cámara de 2,20x2,70x2,20 m.



Figura 44. Válvulas de compuerta – Estación de bombeo.

Las principales ventajas y desventajas del uso de la válvula de compuerta son presentadas en la Tabla 20.

Tabla 20. Ventajas y desventajas del uso de la válvula de compuerta.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Alta capacidad. - Cierre hermético. - Bajo costo. - Diseño y funcionamiento sencillos. - Poca resistencia a la circulación.	- Control deficiente de la circulación. - Se requiere mucha fuerza para accionarla. - Produce cavitación con baja caída de presión. - Debe estar abierta o cerrada por completo. - La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

- **Servicios auxiliares**

Está compuesto por una línea de alimentación de energía eléctrica y un tablero de control, operación y monitoreo (Figura 45).

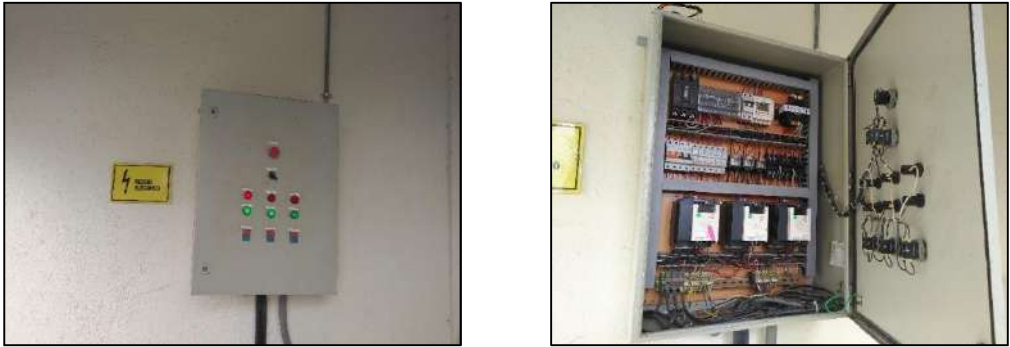


Figura 45. Tablero de control operación y monitoreo de la estación de bombeo.

▪ **SEDIMENTADOR**

Es una unidad construida para llevar a cabo un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Su objetivo fundamental es retener los sólidos suspendidos (excepto material coloidal o sustancias disueltas), así como retener los sólidos sedimentables presente en el agua residual, mediante una sedimentación simple. Así, su diseño fue concebido para conseguir eficiencias de remoción de contaminantes según lo dispuesto en la Tabla 21. Sus características generales se describen en la Tabla 22.

Tabla 21. Eficiencias de remoción promedio esperadas para el sedimentador, según concepción de diseño.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN PROMEDIO ESPERADA
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días a 20°C	DBO ₅	30,0 %
Sólidos Suspendidos Totales	SST	50,0 %
Coliformes Fecales	NMP	50,0 %

El sedimentador constituye una estructura de hormigón armado, conformado por dos tanques de sección rectangular construidos bajo el suelo e instaladas en paralelo para efectos de mantenimiento, dichos tanques permiten llevar a cabo el *tratamiento primario*. El fondo de estas unidades tiene una pendiente del 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento. Cada tanque posee dos tapas metálicas de 0,75x0,75 m para su registro y realizar las tareas de remoción de los sólidos flotantes (espumas, natas compuestas de aceite y grasa, etc.) y dos tubos de hierro galvanizado para la ventilación del biogás (ver Figuras 46, 47 y 48).

Tabla 22. Características del sedimentador.

<i>Número de unidades</i>	2
<i>Sección</i>	Rectangular
<i>Largo</i> *	4,10 m
<i>Ancho</i> *	5,50 m
<i>Profundidad</i> *	2,95 m
<i>Área</i> *	22.50 m ³
<i>Volumen</i> *	66,52 m ³
<i>Espesor de pared</i>	0,20 m
<i>Espesor de losa de cubierta</i>	0,15 m
<i>Espesor de losa de contrapiso</i>	0,20 m
<i>Pendiente de fondo</i>	10 %

* Dimensiones totales, incluido espesor de pared, contrapiso y losa.

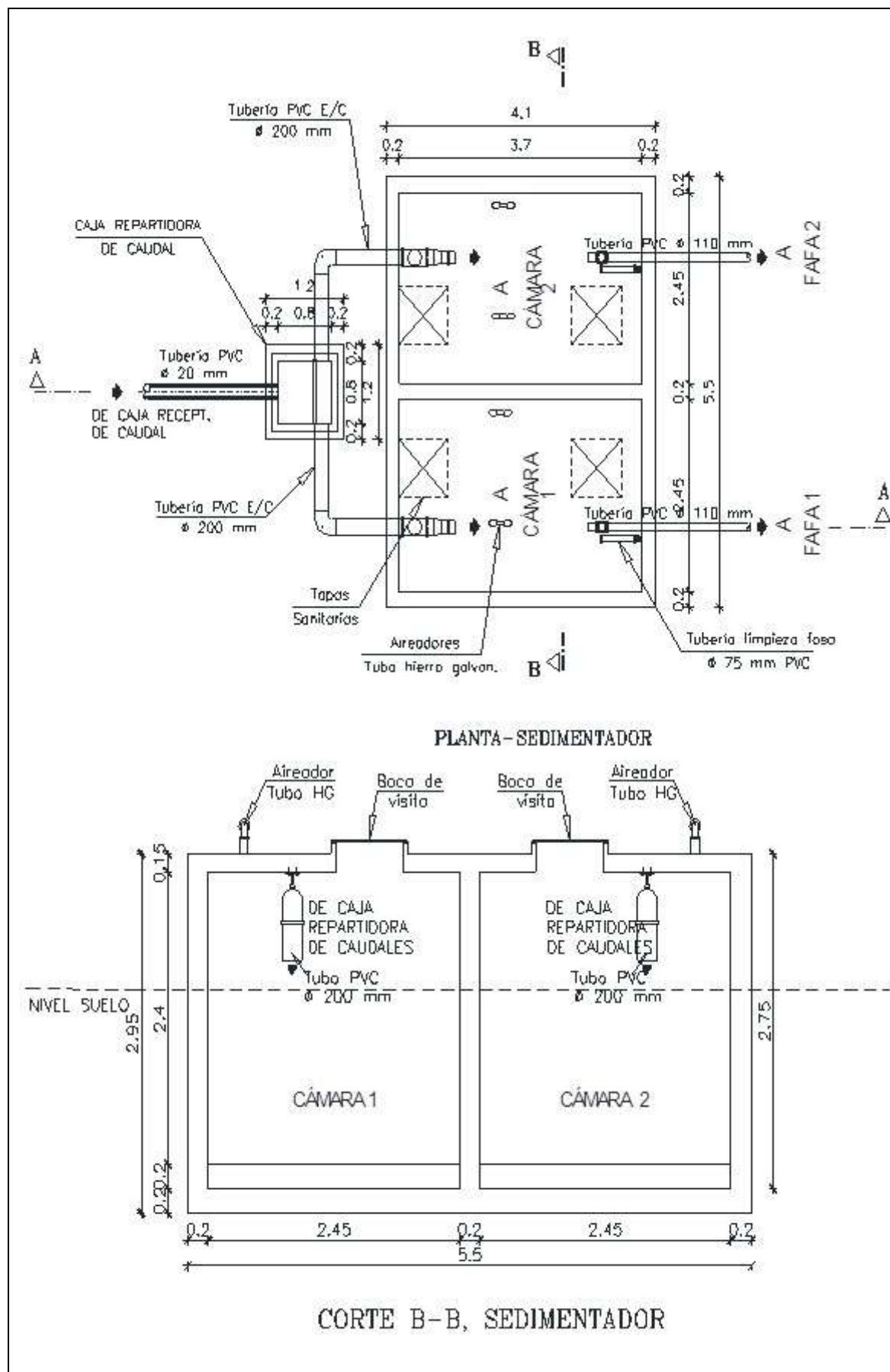


Figura 46. Vista en planta y elevación – Sedimentador.
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.

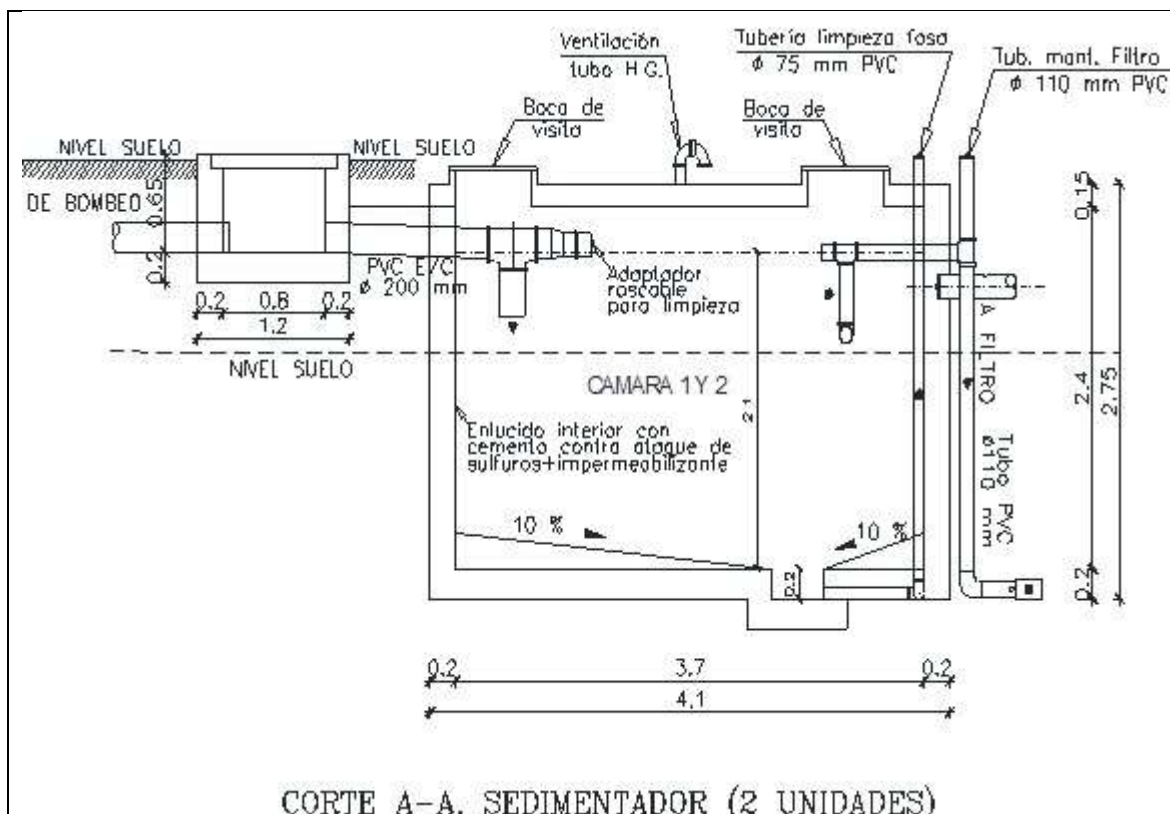


Figura 47. Vista en elevación – Sedimentador.

Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.

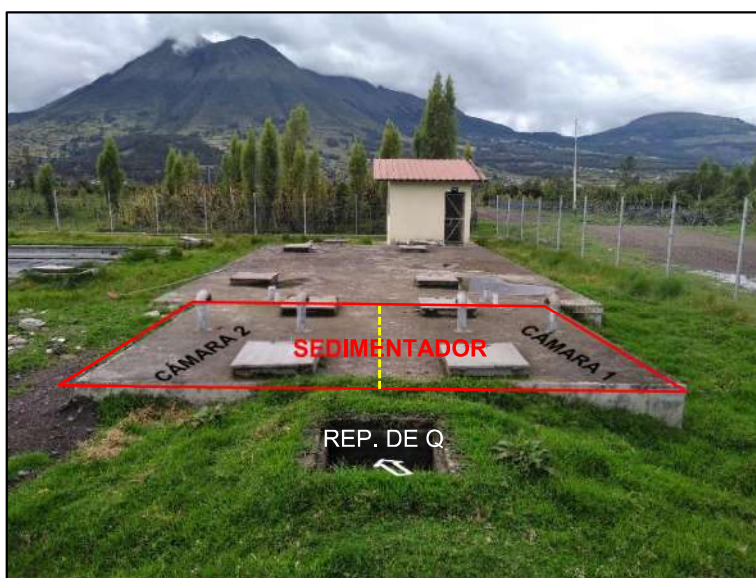


Figura 48. Sedimentador.

En las unidades sedimentadoras se puede identificar cuatro zonas o partes, tal como se indica en la Figura 49.

1. Zona de entrada;
2. Zona de sedimentación;
3. Zona de salida;
4. Zona de lodos.

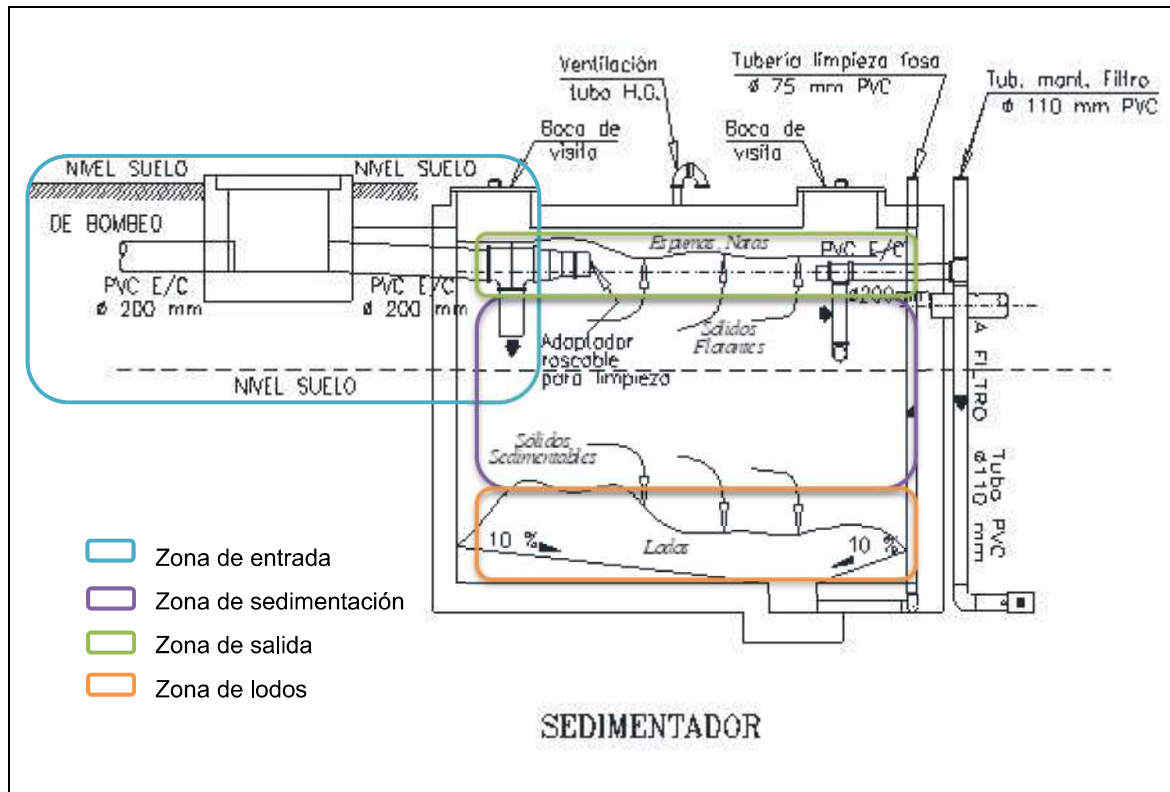


Figura 49. Zonas del sedimentador.
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.

a) Zona de entrada

Conformada por una caja repartidora de caudal que constituye un implemento del sedimentador y tiene como objetivo distribuir el caudal de aguas servidas procedentes del tanque receptor de bombeo proporcionalmente a cada una de las unidades sedimentadoras, a través de tuberías PVC de 200 mm.

b) Zona de sedimentación

Está constituido por un tanque de forma rectangular, construido de hormigón armado que tiene como fin separar las arenas, grasas, aceites, materia en suspensión o cualquier otro sólido suspendido del afluente de entrada, por un proceso de sedimentación simple. En este sistema el biogás producido (principalmente metano y dióxido de carbono), el líquido tratado, y los sólidos flotantes (partículas menos densas que el agua: espumas, natas y aceites) ascienden a la parte superior, mientras que los sólidos (partícula más densa que el agua) descienden para depositarse en el fondo del sedimentador. El biogás sale por la parte superior a través de tubos de hierro galvanizado de 2”.

c) Zona de salida

Constituida por tubos PVC de 110 mm de diámetro que tienen la finalidad de recolectar el efluente y conducirlo hasta el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

d) Zona de lodos

Constituida por el fondo del tanque donde los sólidos sedimentables siguen una trayectoria descendente, hasta su depósito. El fondo del tanque tiene una rampa que facilita la extracción de lodos mediante una tubería de 75 mm.

Las ventajas y desventajas que tiene el emplear el sedimentador para el tratamiento de las aguas residuales domésticas se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23. Ventajas y desventajas del sedimentador.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Apropriado para comunidades rurales, edificaciones, parques y moteles. - Es de fácil operación. - Limpieza no frecuente. - Tiene un bajo costo de construcción y operación. - Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos. - Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados de manera eficiente pueden eliminar entre el 50 y 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25 y 40% de la DBO₅.	- Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío). - Sus niveles de eficiencia normalmente no alcanzan para cumplir con las normas de calidad de agua (Campos, 2003).

▪ FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

El FAFA también llamado reactor anaerobio, es utilizado como sistema de *tratamiento secundario* complementario a los producidos por el sedimentador. El tratamiento anaerobio consiste en una serie de procesos microbiológicos, dentro de un tanque (cámara de filtración anaerobia), dirigidos a la digestión de materia orgánica.

Consiste en dos tanques o cámaras cerradas de hormigón armado, compuesto por un lecho o medio filtrante de 1,70 m de altura, conformado por una camada de piedra bola de Ø 20 cm aproximadamente (altura de la camada 0,50 m) y otra de grava de Ø 5 a 7,5 cm (altura de la camada 1,20 m) en donde el efluente proveniente del tanque sedimentador a través de un sistema de tuberías perforadas de 110 mm y 50 mm instaladas de tal forma que permita distribuir el flujo en forma uniforme en toda la sección del filtro, alimenta de manera ascendente (de abajo hacia arriba), a través de la capa filtrante (piedra y grava) y una fina película biológica o manto de lodos (microorganismos anaerobios) adherida a la superficie del medio filtrante, con lo que se lleva a cabo el tratamiento; el agua tratada en estas unidades

es recolectada superficialmente por tuberías perforadas de 200 mm y conducidas a cajas dispuesta al final de éstas para continuar con su tratamiento en las unidades posteriores. Esta tecnología de tratamiento realiza un trabajo de biodegradación anaerobia (sin presencia de oxígeno). El material se encuentra completamente sumergido en el agua residual entrante y por ello no hay presencia de aire en absoluto, de esta manera crea las condiciones anaerobias necesarias para su funcionamiento.

El propósito del medio lecho o medio filtrante (piedra bola y grava), es retener los sólidos dentro del reactor y ser depositario de cualquier película formada en su superficie o retener sólidos en sus intersticios o debajo de éste. Los principales propósitos de la capa de soporte son los siguientes:

- Actuar como dispositivo para separar los sólidos de los gases.
- Promover el flujo uniforme en el reactor.
- Mejorar el contacto entre los componentes del agua residual y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Permitir la acumulación de biomasa, con el consecuente incremento de tiempo de retención de sólidos.
- Actuar como una barrera física para prevenir el lavado de sólidos en el sistema de tratamiento.

Para la instalación de este tipo de tecnología, se ha requerido de una etapa de pretratamiento y tratamiento primario que incluyeron la separación de sólidos gruesos y finos, así como la separación de grasas y aceites, para evitar que los filtros se obstruyan o presenten problemas de taponamiento con sólidos presentes en el agua residual y a su vez garantizar un adecuado funcionamiento de las unidades siguientes.

La principal diferencia ante un filtro percolador es que la alimentación del agua residual se da por el fondo del sistema y el producto final abandona por la parte superficial o superior.

Estas unidades están unidas a manera de última cámara del sedimentador (lo que disminuye costos de construcción). En las Figuras 50, 51, 52 y 53 se presenta este caso.

En la Tabla 24, se indican las eficiencias de remoción peradas para el FAFA, según su diseño sobre la remoción lograda previamente en el sedimentador, así como también sus características geométricas:

Tabla 24. *Eficiencias de remoción promedio esperadas para el FAFA, según concepción de diseño.*

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN PROMEDIO ESPERADA
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días a 20°C	DBO ₅	50,0 %
Sólidos Suspendidos Totales	SST	70,0 %
Coliformes Fecales	NMP	90,0 %

Las características generales que presenta el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), se detallan en la Tabla 25.

Tabla 25. Características del FAFA.

<i>Número de unidades</i>		2
<i>Sección</i>		Rectangular
<i>Largo*</i>		10,45 m
<i>Ancho*</i>		3,65 m
<i>Profundidad*</i>		2,95 m
<i>Área*</i>		38,14 m ³
<i>Volumen*</i>		112,52 m ³
<i>Espesor de pared</i>		0,20 m
<i>Espesor de losa de cubierta</i>		0,15 m
<i>Espesor de losa de contrapiso</i>		0,20 m
<i>Medio filtrante</i>	<i>Material</i>	Piedra y grava
	<i>Nº Camadas</i>	2
	<i>Altura</i>	0,50 m (Camada de piedra) 1,20 m (Camada de grava)
	<i>Diámetro</i>	20 cm (Piedra) 5 – 7,5 cm (Grava)

* Dimensiones totales, incluido espesor de pared, contrapiso y losa.

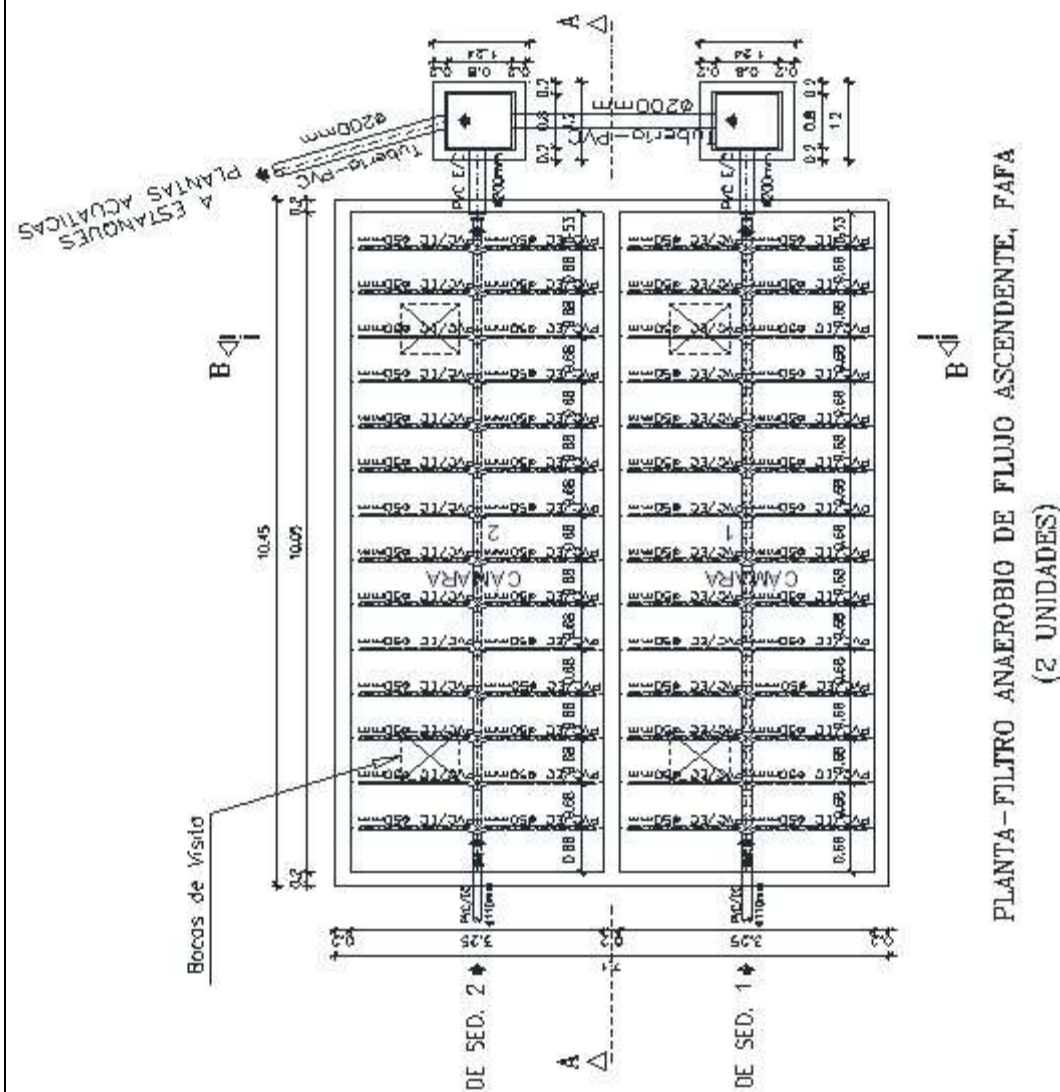


Figura 50. Vista en planta – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).
Fuente: EMAPAO – EP.

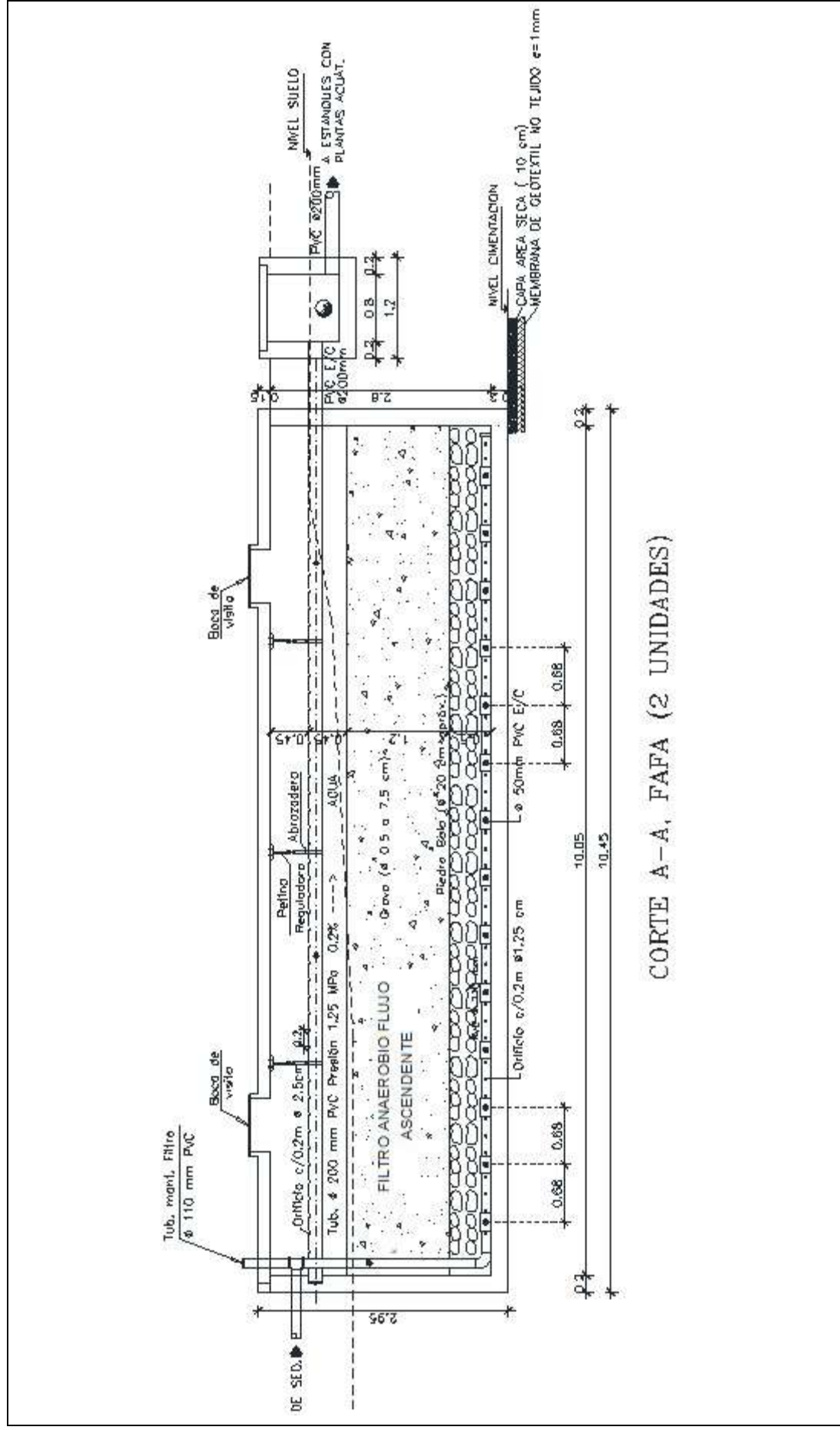
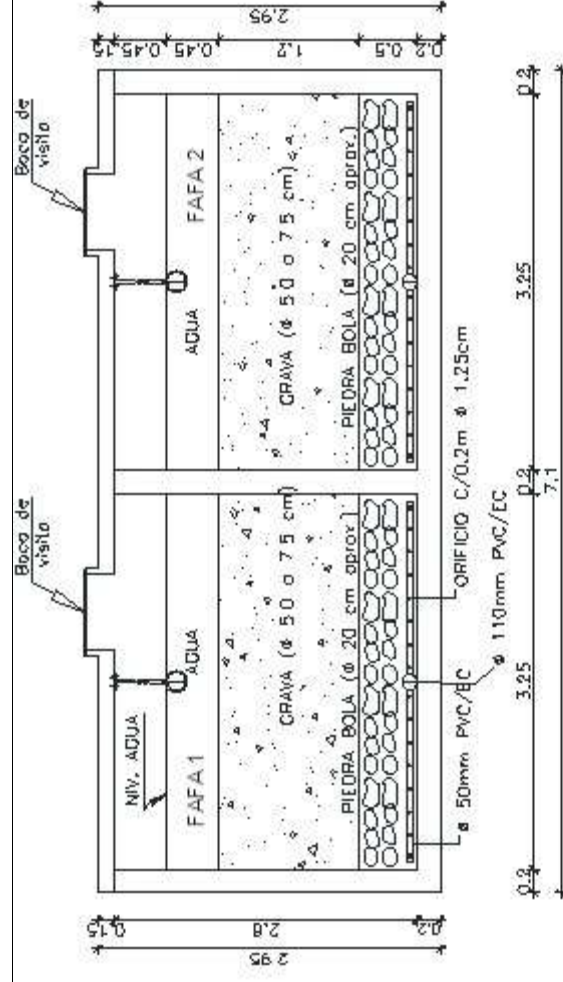


Figura 51. Vista en elevación – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

Fuente: EMAPAO – EP.



CORTE B-B, FAFa (2 UNIDADES)

DETALLES DRENES INFERIORES

CORTE 1-1

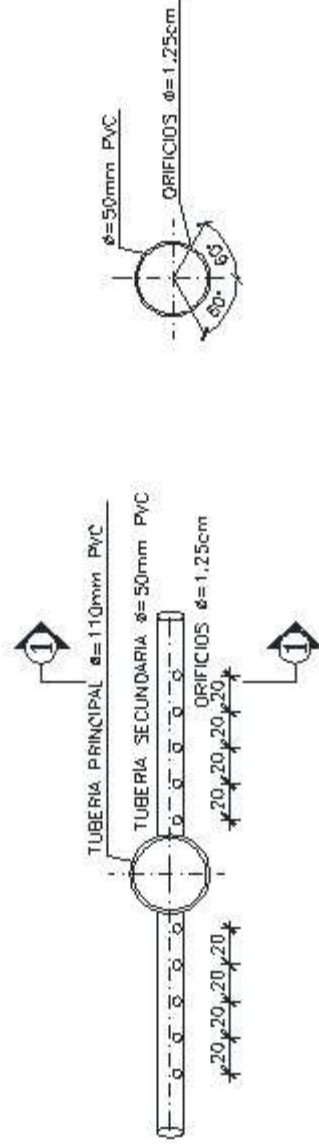


Figura 52. Vista en elevación – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFa).

Fuente: EMAPAO – EP.

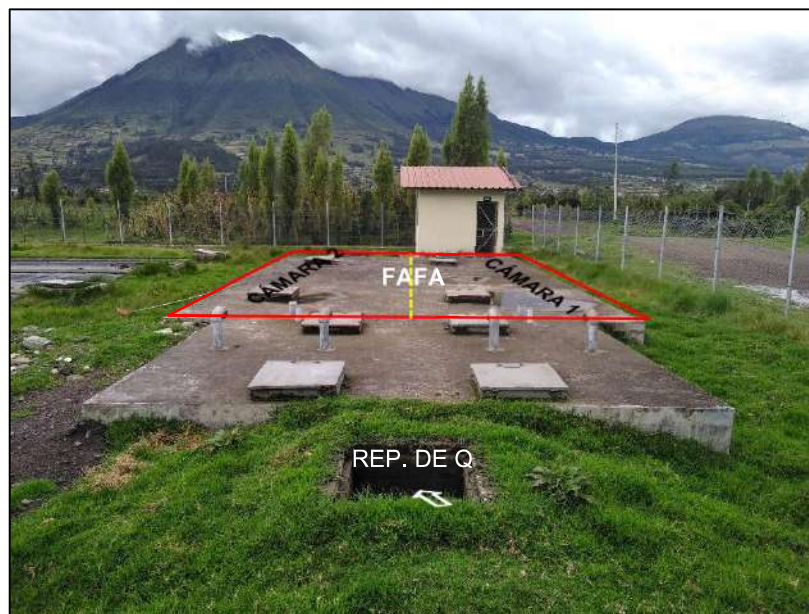


Figura 53. Filtro anaerobio de flujo ascendente, FAFA.

En la Tabla 26, se presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de los sistemas de tratamientos anaerobios respecto a los sistemas aerobios.

Tabla 26. Ventajas y desventajas del FAFA.

Fuente: Adaptado de Arias (2004), Chernicharo (1997), Vindas 2001 y Tilley (2010).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Son un sistema compacto con bajos requerimientos de terreno. - Costos de construcción. - Bajo consumo de energía, lo ue conlleva a bajos costos de operación. - Menor producción de lodo biológico, cerca de 5 a 10 veces inferior a los producidos en los sistemas anaerobios. - Posibilidad de tratar desechos con alto contenido de materia orgánica. Pueden recibir cargas que fluctúan entre los 10 y 20 kg DQO/m³d. - Se pueden alcanzar eficiencias de remoción de DQO y DBO de entre 65 y 75 %.	- El arranque es más lento (seis a nueve meses para trabajar con los rendimientos esperados según diseño). - Exige intervalos de operación del pH bastantes restringidos. - Requiere un seguimiento estricto del programa de mantenimiento ya que la identificación de inconvenientes se dificulta al ser un sistema cerrado. - Las bacterias anaerobias, son susceptibles a inhibición por un gran número de compuestos. - Baja tolerancia del sistema a la carga de tóxicos.

Tabla 26 (Continuación). Ventajas y desventajas del FAFA.
Fuente: Adaptado de Arias (2004), Chernicharo (1997), Vindas 2001 y Tilley (2010).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Aplicación en pequeña y gran escala. - Larga vida útil. - Bajo consumo de nutrientes. - Posibilidad de preservar la biomasa, sin alimentar la biomasa, sin alimentar el reactor por varios mese. - Se produce metano, un gas que tiene alto valor como combustible. Puede ser utilizado como energía calorífica directamente o transformada a mecánica y eléctrica. - Buenas características de desaguado del lodo.	- Productos reducidos en el efluent, por lo que usualmente requieren de algún pos-tratamiento. - Baja reducción de patógenos y nutrientes. - Posibilidad de generación de malos olores por la presencia de H₂S.

En la Figura 54 se puede visualizar, de una forma más clara, algunas desventajas de la digestión anaerobia en relación al tratamiento aerobio, específicamente a la producción de metano y a la baja producción de solidos.

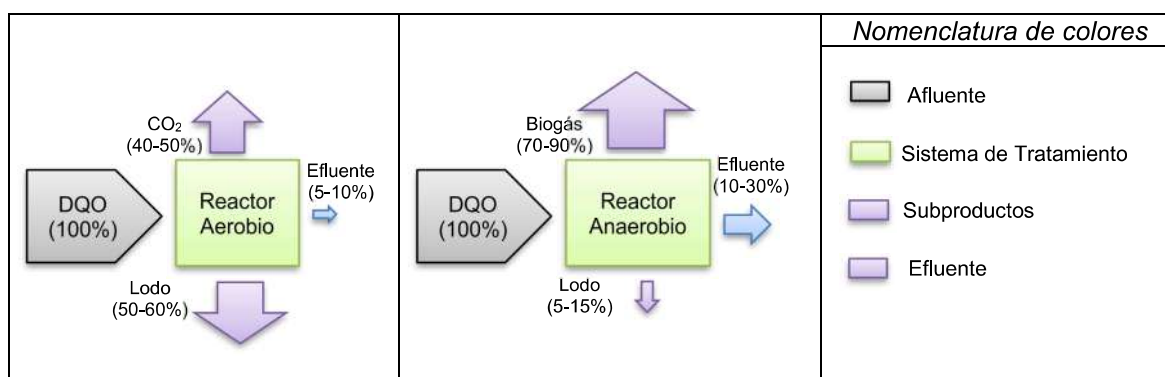


Figura 54. Conversión biológica en los sistemas aerobios y anaerobios.
Fuente: Adaptado de Chernicharo (1997).

Aparttir de la Figura 54, se tiene que en los sitemas anaerobios existe cerca de 40 a 50% de degradación biológica, con una consecuente producción de CO₂. Se presenta una incorporación de la materia orgánica microbiana, alrededor de 50 a 60%, la cual constituye el lodo del sistema. Finalmente, de 5 a 10% restante abandona el sistema como material no degradado.

Mientras que, en los sistemas anaerobios, la mayor parte del material orgánico biodegradado se convierte en biogás, alrededor de 70 a 90%, y apenas una pequeña parte de material organico, entre el 5 y 15%, es convertido en lodo. Sin embargo, laeficiencia del sistema es menor, esto porque el material no es convertido en biogás o lodo es de 10 a 30%.

▪ **ESTANQUES CON PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES (TRATAMIENTO CON MÁCROFITAS ACUÁTICAS FLOTANTES)**

Se utilizan para un nivel de depuración del tratamiento terciario que incluye la remoción de sólidos suspendidos, heces fecales, metales pesados¹⁸, materia orgánica, nitrógeno¹⁹, microorganismos²⁰ y fósforo. Este tratamiento terciario proporciona la etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado.

La especie flotante utilizada principalmente en la depuración del agua residual es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), conocido comúnmente en nuestro medio como lechuguín, es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los pecíolos de las plantas son elongados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta (*EPA, 1988*). La Tabla 27 ilustra las características del jacinto de agua.

Tabla 27. Características de la especie *Eichhornia crassipes*.
Fuente: Jaramillo y Flores (2012).

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<i>Nombre científico o latino:</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
<i>Nombre común o vulgar:</i>	Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, lechuga de agua, lechuguín
<i>Reino:</i>	Plantae
<i>División:</i>	Magnoliophyta
<i>Clase:</i>	Liliopsida
<i>Orden:</i>	Pontederiales
<i>Familia:</i>	Pontederiaceae (Pontederiáceas)
<i>Género:</i>	<i>Eichornia</i>
<i>Origen:</i>	Cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América de Sur

La Figura 55, se presenta la morfología de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*):

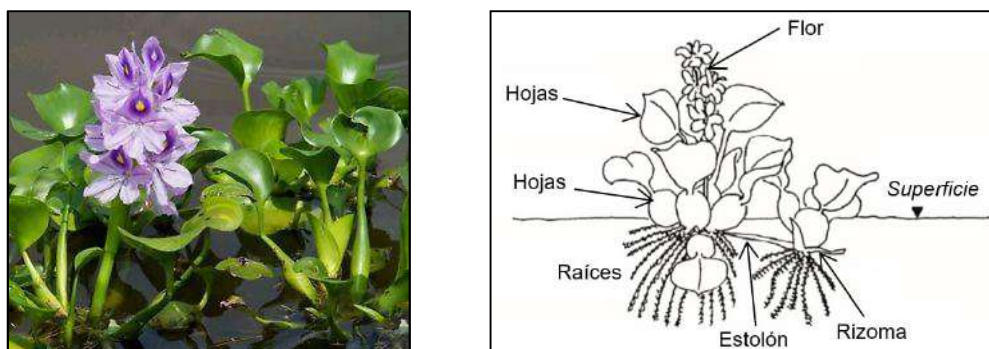


Figura 55. Jacinto de agua, *eichhornia crassipes*.
Fuente: <https://ebay.to/2oFBuXQ> (accedido el 12 de abril de 2018).

¹⁸ Mercurio, cadmio, arsénico, cromo, zinc, cobre, talio y plomo.

¹⁹ Presente en distintas formas: Nitrógeno orgánico, Nitrógeno amoniacal (NH₃ Amoniac libre o no Ionizado y NH₄ Amonio ionizado).

²⁰ Bacterias y parásitos.

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácidos fórmicos, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO, DQO, y sólidos suspendidos (*García, 2012*).

- **Condiciones del Hábitat:** Para que esta especie se desarrolle de manera favorable necesita de las siguientes condiciones (*Jaramillo y Flores, 2012*):
 - *Iluminación:* Intensa o estar en semi sombra.
 - *Temperatura:* El jacinto de agua puede tolerar temperaturas entre 16 y 30 °C, con el óptimo comprendido entre 20 y 26 °C, hay que protegerla de las heladas.
 - *pH:* necesita un pH que se sitúe entre 6,5 y 7,5.
 - Es una planta de flotación libre que habita en ríos, estanques, lagunas y presas, no resiste el medio salino (*Ávila et al., 2000*).
- **Usos:** Entre los principales usos tenemos (*Ávila et al., 2000*):
 - El jacinto de agua es eficaz extrayendo nutrientes del agua y al multiplicarse absorbe los nutrientes sobrantes no deseados, y emite oxígeno que restaura la pureza del agua.
 - El jacinto de agua se lo usa como un excelente indicador biológico cuando se seca (debido a la falta de fotosíntesis al no captar el oxígeno del agua cuando está demasiado contaminada) o presenta una coloración amarillenta por exceso de elementos como el Hidrógeno “Clorosis”.
 - El jacinto de agua actúa como purificador de agua al absorber metales pesados como plomo, mercurio y cadmio.
- **Función:** Principalmente radica en:
 - Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
 - Toman el carbono, nutrientes y los incorporan a los tejidos de planta.
 - Reducen significativamente el paso de la luz solar y restringen la transferencia de gases entre la atmósfera y el agua.
 - El escape de oxígeno, desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.
 - El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

El sistema de depuración que utiliza la PTAR “Haycopungo Sur” en el tratamiento terciario, se basa en el mantenimiento de una cobertura vegetal de macrófitas flotantes (lechuguines) sobre la lámina de agua contenidas en estanques de concreto tipo canal poco profundos (0,90 m aproximadamente) y dispuestos en paralelo debidamente aislados, en lo que el efluente proveniente del FAFA ingresa a éstos estanques de flujo horizontal, a través de tuberías PVC

de 110 mm de diámetro y atraviesa una zona de entrada o distribución constituida por un lecho filtrante de piedra bola ($\varnothing$ 40 – 80 mm) hasta llegar a la zona de tratamiento dispuesta con material granular (grava media ($\varnothing$ 25 mm)), el efluente final atraviesa una zona de salida o de recolección conformada por material filtrante ($\varnothing$ 40 – 80 mm) y conducido por medio de tuberías PVC de $\varnothing$ 110 mm hasta cajas de revisión para su descarga final. Los estanques poseen paredes inclinadas (1:1), con anchos entre 3,70 – 3,85 m. Su diseño contempla la remoción periódica de las plantas. La Tabla 28, resume las principales características de los estanques o humedales artificiales.

Tabla 28. Características de los estanques.

<i>Número de unidades</i>	5				
<i>Sección</i>	Trapezoidal				
<i>Largo</i>	81,15 m				
<i>Ancho (base mayor)</i>	3,70 m	3,85	3,80	3,85	3,75
<i>Profundidad</i>	0,90 m	0,90 m	0,90 m	0,90 m	0,90 m
<i>Pendiente de fondo</i>	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
<i>Pendiente de las paredes</i>	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1

Las eficiencias de remoción esperadas para el tratamiento con macrófitas flotantes (Jacinto de agua), sobre la remoción lograda previamente en el sedimentador y FAFA son mostradas en la Tabla 29.

Tabla 29. Eficiencias de remoción promedio esperadas para los estanques con macrófitas flotantes, según concepción de diseño.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN PROMEDIO ESPERADA
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días a 20°C	DBO ₅	70,0 %
Demanda Química de Oxígeno	DBO ₅	---
Sólidos Suspendidos Totales	SST	50,0 %
Coliformes Fecales	NMP	99,0 %
Fósforo (fosfatos)	P	30,0%

La Figura 56, ilustra un esquema representativo de las zonas identificadas en los estanques con jacinto de agua, mientras las Figuras 57, 58 y 59 presentan las vistas en planta y elevación de los detalles constructivos de los estanques de la PTAR “Huaycopungo Sur”.

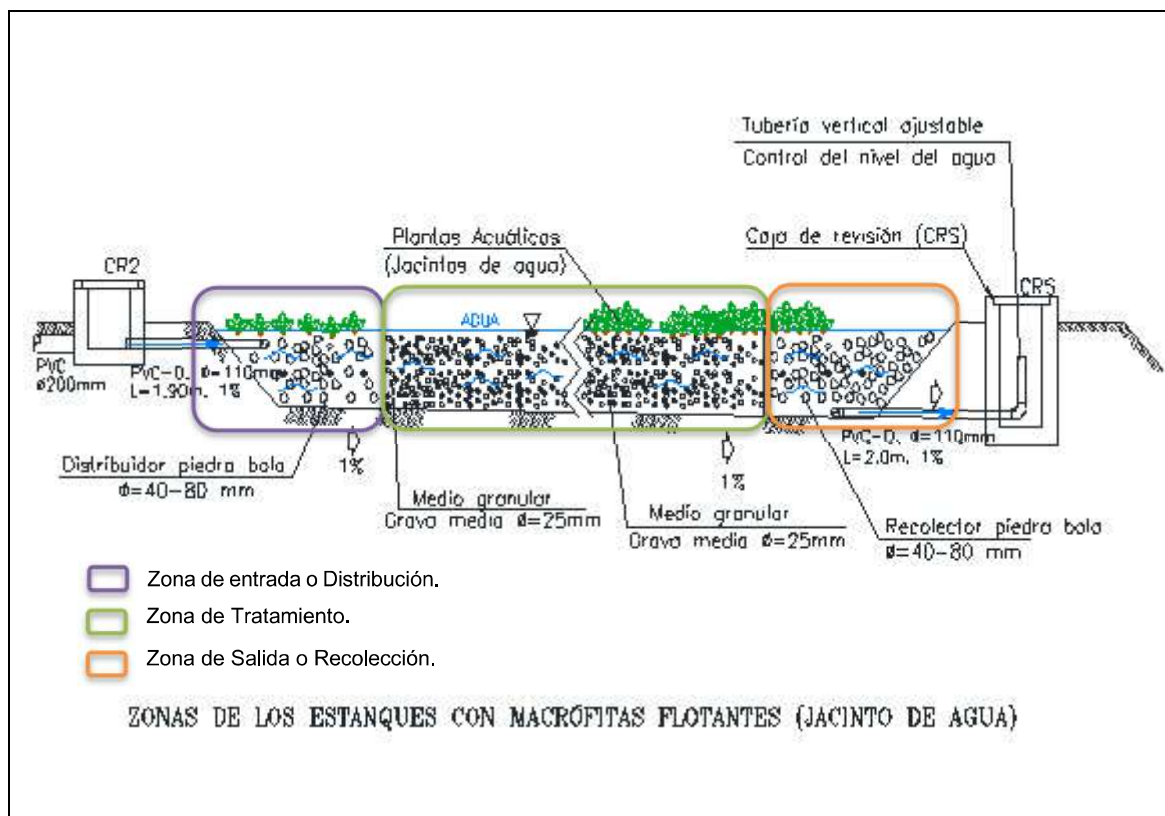


Figura 56. Zonas de los estanques con macrófitas flotantes, *Eichhomia crassipes* (Jacinto de agua).
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.

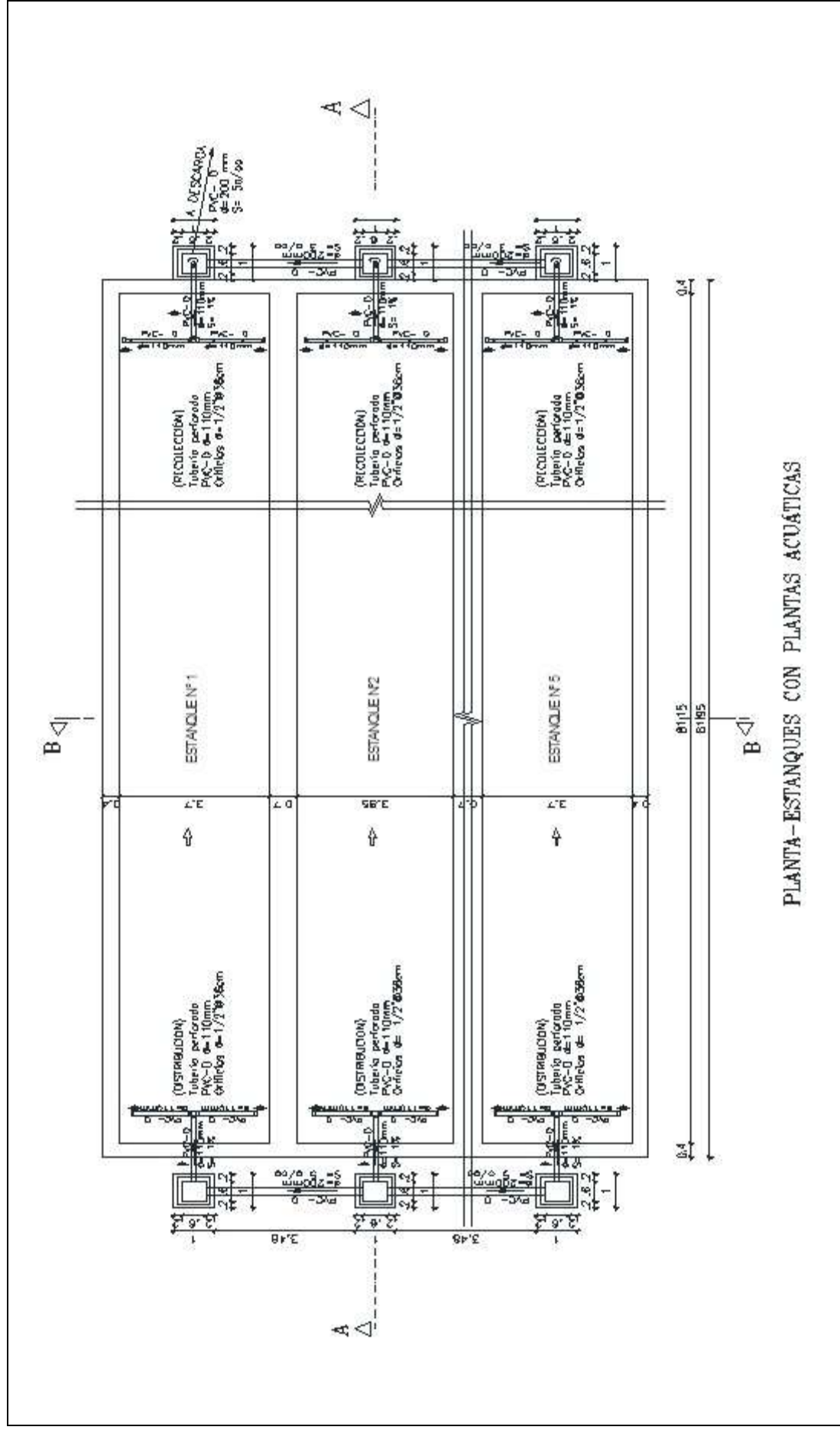


Figura 57. Vista en planta – Estanques con macrofitas flotantes, *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).
Fuente: Adaptado de EMAPAO – EP.



Figura 59. Estanques con macrófitas flotantes (Jacinto de agua).

Las principales ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas de depuración que utilizan estanques con jacintos de agua, se resumen en la Tabla 30.

*Tabla 30. Ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas de estanques con jacinto de agua.
Fuente: Adaptado de Obando (2006).*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Son ecológicos. - Son menos costosos que otras opciones de tratamiento. - Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros). - La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación. - Los estanques soportan bien las variaciones de caudal. - Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua. - Proporcionan un hábitat para muchos organismos.	- Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con estanques de jacinto de agua puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible. - Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos. - El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional porque depende de los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.

Tabla 30 (Continuación). Ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas de estanques con jacinto de agua.

Fuente: Adaptado de Obando (2006).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Pueden construirse en armonía con el paisaje. - Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos. - Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.	- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos. - Además, el uso de estanques de jacinto de agua para el tratamiento de efluentes industriales es de reciente desarrollo y no existe aún un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y no se cuenta con suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo. - Proliferación de mosquitos como vectores transmisores de enfermedades (<i>Nahlik, 2006</i>), lo que condiciona la ubicación de los sistemas lejos de centros poblados. Si no se controla la expansión del jacinto de agua sobre la superficie del estanque, pueden sobrevenir una serie de eventos perjudiciales tanto para la dinámica del estanque como para el medio ambiente, tales como: - Obstruir los canales de flujo de corrientes de agua. - Exceder la cantidad máxima de nutrientes requeridos, dejando a las demás especies cohabitantes sin posibilidades de subsistencia. - Convertirse en refugio optativo para plagas, roedores, depredadores y especies dañinas que pueden generar un desequilibrio en el ecosistema. - Invadir otros ecosistemas, si los desechos de esta planta no se eliminan correctamente o no se le da un destino más productivo como por ej. producción de biogás, producción de biomasa para alimento de animales, etc. - Pérdida de agua a la atmósfera por excesiva evapotranspiración.

▪ LECHOS DE SECADO DE LODOS

Es el último componente de la PTAR “Haycopungo Sur”. Los lechos de secado (Figuras 60, 61 y 62) son utilizados para la deshidratación natural (secado al aire) de lodos digeridos provenientes del sedimentador y FAFA, así como para el manejo de la biomasa resultante de los estanques con macrófitas flotantes (cosecha de jacintos de agua). Una vez seco, el lodo se retira y se evacúa para utilizarlo como acondicionador de suelos.

La deshidratación natural de lodos es un método utilizado en la PTAR “Haycopungo Sur” para la reducción del contenido de agua de los lodos (fangos) y para facilitar su manejo en su disposición final. La deshidratación natural, incluye el uso de lechos simples abierto conformados por módulos o cámaras de hormigón de sección trapezoidal donde se carga o depositan los lodos y permanecen allí hasta que se secan al grado deseado; el agua contenida en éstos es recolectado y drenado por efecto de la gravedad por ductos instalados en el fondo de la cámara, para luego ser recirculado nuevamente al sistema para su tratamiento. Otra parte del agua contenida en los lodos se evapora. Luego son retirados manual o mecánicamente para su disposición seguido por distintos usos productivos.

Las paredes del lecho tienen una inclinación 1:1 y su fondo tiene una pendiente del 1%.

- **Factores climáticos**

Los siguientes factores climáticos influyen sobre la operación de los lechos de secado.

- Humedad, ya que valores altos reducen la evaporación;
- Temperatura, ya que valores altos (en especial en combinación con viento y baja humedad) incrementan la evaporación;
- Pluviosidad, ya que valores altos pueden impedir la factibilidad de esta tecnología. En lugares con una época lluviosa marcada, se podría abstener de operar los lechos en esa época o se podría colocar un techo. La lluvia mojaría nuevamente a los lodos y la intensidad de esto depende de la fase del secado.

- **Estabilización de lodos**

Antes de aprovechar o disponer los lodos, éstos son estabilizados para reducir la atracción de vectores, los olores y los riesgos a la salud. Además, los lodos son desaguados para reducir su volumen.

La estabilización de lodos es un proceso que tiene las ventajas de reducir la masa y volumen de éstos, facilitar el desaguado y reducir los organismos patógenos, olores y atracción de vectores. Los cuatro métodos más comunes para estabilizar los lodos son: Digestión anaerobia, Digestión aerobia, Composteo y Adición de cal. En la PTAR “Haycopungo Sur”, los fangos son estabilizados con cal.

La estabilización alcalina con adición de cal presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos. Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer.

Las características que presentan los lechos de secado, se pueden apreciar en la Tabla 31.

Tabla 31. Características de los lechos de secado.

Número de unidades	5
Sección	Trapezoidal
Largo*	9.20 m
Ancho* (base mayor)	3.20 m
Profundidad	Variable
Pendiente de fondo	1 %
Pendiente de las paredes	1:1

* Dimensiones totales, incluido espesor de pared.

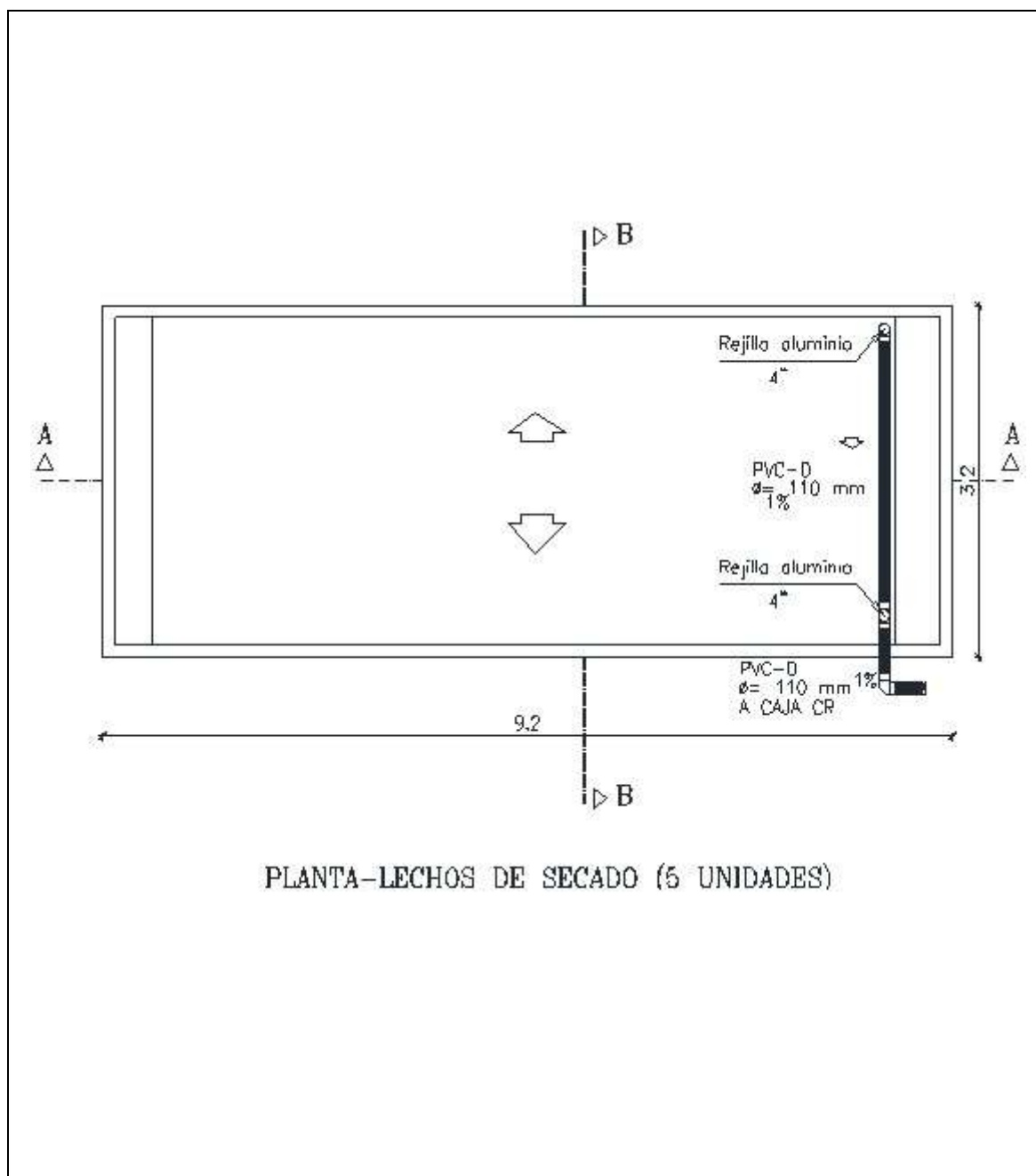


Figura 60. Vista en planta – Lechos de secados de lodos.

Fuente: EMAPAO – EP.

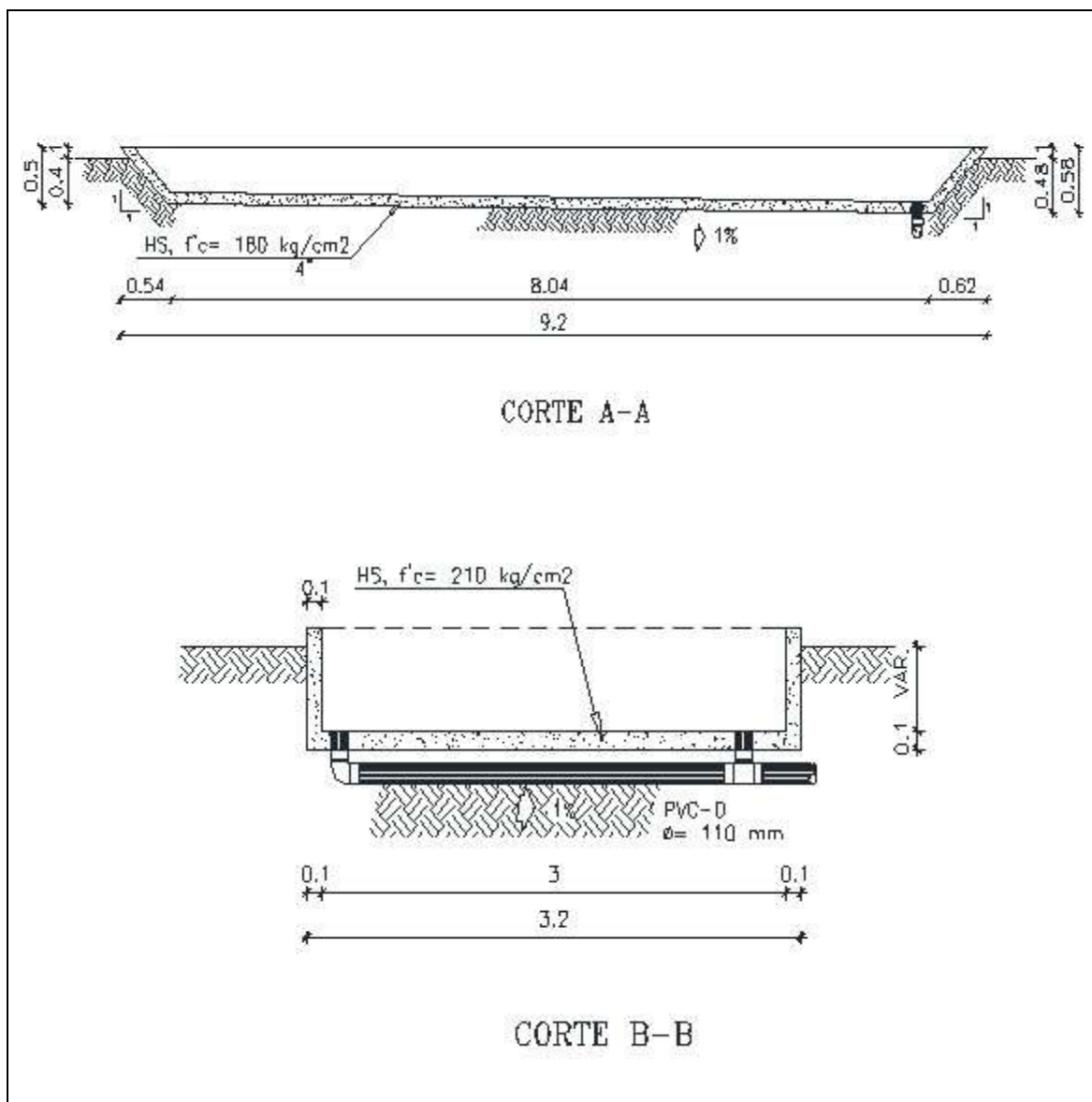


Figura 61. Vista en elevación – Lechos de secados de lodos.
Fuente: EMAPAO – EP.



Figura 62. Lechos de secado de lodos.

Las principales ventajas y desventajas de la aplicación de lechos de secado, se exponen en la Tabla 32.

Tabla 32. *Ventajas y desventajas de lechos de secado de lodos.*

Fuente: Adaptado de Rojas (2005).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- El costo inicial es bajo para plantas pequeñas, donde no es necesario un control estricto de lixiviados con recubrimientos y hay terreno disponible. - Requerimientos mínimos de operación y capacitación. - Bajo consumo de energía eléctrica en relación a los sistemas alternativos. - Poco sensible a cambios de las características del lodo. - Bajo consumo de químicos. - Alto contenido de sólidos en la torta seca de lodos.	- Su diseño es empírico que no permite un análisis económico certero. - Requiere grandes superficies de terreno. - Requiere lodo estable. - Visible al público en general. - Impacto de los efectos del clima sobre el diseño. Requerimiento de lodo estabilizado. - Molestia por olores e impacto visual. - Extensa mano de obra requerida para la remoción del lodo seco, obstaculiza el uso de procesos naturales en muchas plantas grandes. - Costos de combustibles y equipo para la limpieza del sistema de lechos. - El estanque puede ser una molestia para los residentes cercanos debido a los malos olores y la presencia de moscas. Por lo tanto, el estanque debe estar suficientemente lejos de los centros urbanos. - Se utilizan generalmente en las ciudades de hasta 20000 habitantes. Para localidades mayores deben utilizarse dispositivos más eficientes, ya que los lechos de secado tendrían dimensiones que los hacen poco convenientes a causa de las grandes áreas requeridas.

2.3. Operación y Administración de la PTAR

Actualmente la administración, operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual N° 3 “Huaycopungo Sur”, está a cargo de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Otavalo (EMAPAO – EP). Su objetivo principal, es procurar recuperar los niveles cualitativos y cuantitativos del agua residual tratada, previo a su descarga final en cumplimiento a la normativa ambiental vigente, controlando y minimizando los impactos generados en todo su proceso de tratamiento.

Por su parte, el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) es la entidad gestora competente y responsable en velar el cumplimiento de los parámetros definidos en la normativa ambiental del efluente de la PTAR N° 3, previo a su descarga final.

El propósito establecido por estas entidades es recuperar y minimizar la contaminación de la Laguna San Pablo, que es el cuerpo hídrico receptor de la descarga de las 14 plantas de tratamiento de aguas residuales que existen y operan actualmente en sus alrededores, así como el mejorar la calidad de vida de los pobladores que habitan en zonas aledañas a este lago.

El monitoreo de los parámetros sujetos al control de calidad de agua residual tratada en la PTAR “Huaycopungo Sur” se lo realiza en cumplimiento a la legislación nacional vigente, dispuesta en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Este reglamento define los límites máximos permisibles de una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los que deben basarse para la evaluación de la calidad del efluente, previo a su descarga. Los estándares de calidad para cada uno de los parámetros establecidos en esta norma, se proporcionan en la Tabla 33.

Tabla 33. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
Fuente: TULSMA (2015).

No.	PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
1	Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
2	Alkil Mercurio		mg/l	No detectable
3	Aluminio	Al	mg/l	5,0
4	Arsénico Total	As	mg/l	0,1
5	Bario	Ba	mg/l	2,0
6	Boro Total	B	mg/l	2,0
7	Cadmio	Cd	mg/l	0,02
8	Cianuro Total	CN ⁻	mg/l	0,1
9	Cinc	Zn	mg/l	5,0
10	Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
11	Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
12	Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
13	Cobre	Cu	mg/l	1,0
14	Cobalto	Co	mg/l	0,5
16	Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
17	Color real ²¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
18	Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
19	Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5
20	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
21	Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
22	Estaño	Sn	mg/l	5,0
23	Fluoruros	F	mg/l	5,0
24	Fósforo Total	P	mg/l	10,0
25	Hierro Total	Fe	mg/l	10,0
26	Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
27	Manganeso Total	Mn	mg/l	2,0
28	Materia Flotante	Visibles		Ausencia
29	Mercurio Total	Hg	mg/l	0,005
30	Níquel	Ni	mg/l	2,0
31	Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
32	Nitrógeno Kjeldahl Total	N	mg/l	50,0
33	Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
34	Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
35	Plata	Ag	mg/l	0,1
36	Plomo	Pb	mg/l	0,2
37	Potencial de Hidrógeno	pH		6 – 9
38	Selenio	Se	mg/l	0,1
39	Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
40	Sólidos Totales	ST	mg/l	1 600
41	Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
42	Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
43	Temperatura	°C		Condición natural ± 3
44	Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
45	Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

²¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur” de la Parroquia San Rafael de la Laguna,
Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador**

Levantamiento de información

Capítulo 3

3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Previo al estudio en mención y con el fin de disponer de información que contribuyera a evaluar el desempeño de la PTAR, se realizaron una serie de trabajos de campo para recopilar datos. Bajo este contexto, en esta sección se pormenoriza la estructura metódica empleada para determinar los parámetros cualitativos y cuantitativos a emplearse en la evaluación de la planta de tratamiento “Huaycopungo Sur”. Este capítulo se divide en cinco partes. En la primera parte, se detalla el estudio socio-económico realizado para contribuir con información hasta ahora inexistente sobre el colectivo; y, a su vez, para disponer de información específica que tiene relación directa con el proyecto. En esta sección se presenta los resultados obtenidos en el estudio socio-económico. En la segunda parte, se presenta un reporte de la verificación de las dimensiones de las unidades que conforman el sistema de tratamiento de la PTAR, de acuerdo a los planos de diseño. En la tercera parte, se hace un énfasis del monitoreo de los caudales que ingresa a la PTAR; y, se presentan sus resultados. Por último, se hace un enfoque en el monitoreo de los parámetros de calidad de agua residual, realizado con el propósito de evaluar las condiciones generadas en cada uno de los procesos unitarios, verificar el cumplimiento con la normativa ambiental vigente; y; determinar las eficiencias de remoción de contaminantes.

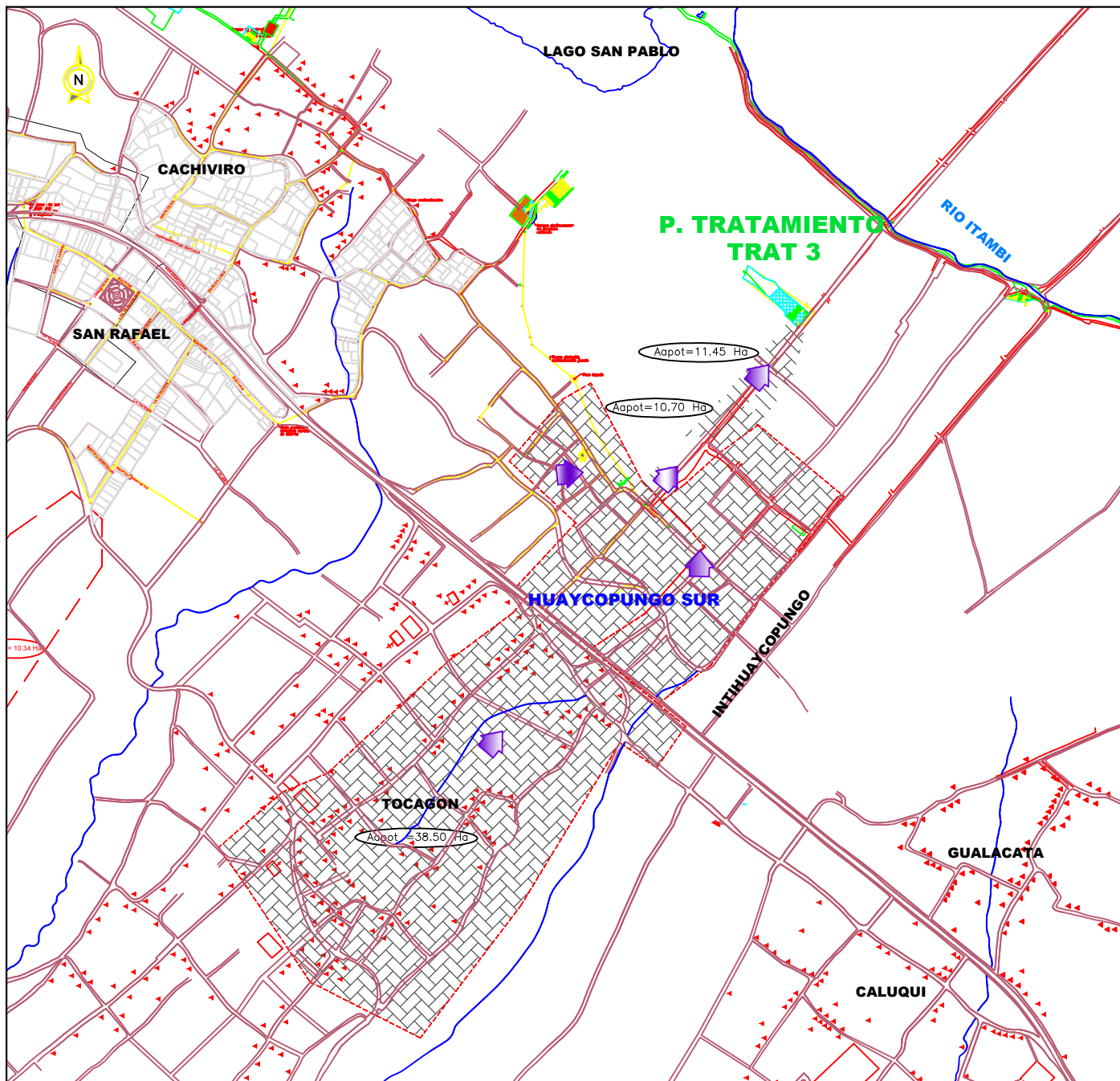
3.1. Encuesta socio-económica y poblacional

El estudio socio-económico se realizó con el fin de aportar información hasta ahora inexistente, proveer información específica actualizada sobre el colectivo que tiene relación directa con el proyecto y de poder establecer los cambios y tendencias de su situación con relación a principales variables como características de la vivienda, de los hogares, de los miembros del hogar y estructura poblacional, nivel de educación, actividad económica así como los servicios básicos y actitudes sociales que posee el poblado.

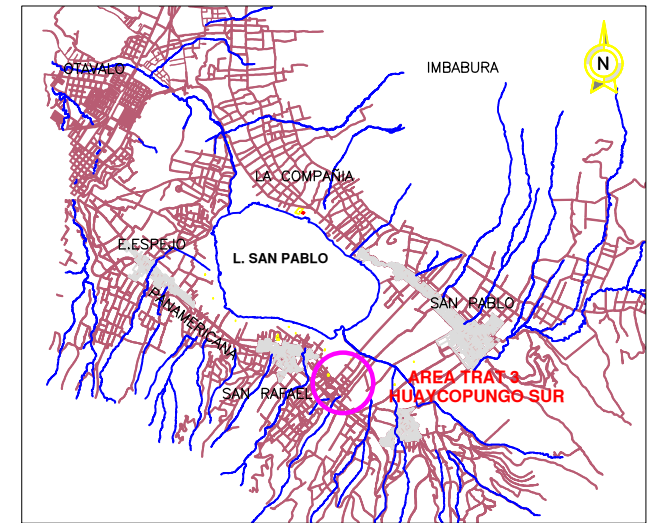
3.1.1. Aspectos Metodológicos

▪ POBLACIÓN ESTUDIADA

Las poblaciones objetivo del levantamiento de información han sido *Tocagón*, considerada en esta la comunidad de Capillapamba y *Huaycopungo* (Parte Sur). El reconocimiento y delimitación “in situ” del área de influencia de la PTAR, se realizó de acuerdo a la información contenida en los estudios y diseños facilitados por el EMAPAO – EP (Figuras 63 y 64).



AREA DE INFLUENCIA P. TRATAMIENTO 3 - HUAYCOPUNGO SUR



UBICACION PROYECTO EN LA CUENCA DEL LAGO

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Área Aporte
	Sentido del Flujo
	Vivienda Rural
ÁREA DE APORTE (ha)	
ÁREA	LOCALIDAD
22,15	Huaycopungo
38,50	Tocagón
60,65	TOTAL

EVALUACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "HUAYCOPUNGO SUR"

OBSERVACIONES:			INSTITUTO POLITÉCNICO DE LERÍA		CONTENIDO:	FECHA:
	ESTUDIO:	REVISADO POR:	APROBADO POR:		TRATAMIENTO 3 "HUAYCOPUNGO SUR"	MAYO/2018
						ESCALA:
	ING. WILSON ULCO				ÁREA DE APORTE TRATAMIENTO UBICACION RESPECTO AL LAGO	SIN ESCALA
						LÁMINA N°
						01
						DE
						01

*Figura 52. Área de influencia PTAR N° 3 "Huaycopungo sur".
Fuente: Adaptado de EMAPAO-EP.*



Figura 64. Reconocimiento in situ del área de influencia PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

El desarrollo del estudio socio-económico, se procedió de acuerdo al siguiente detalle:

1. Se socializó y coordinó con los dirigentes para que informen a su colectivo de la entrevista, con el fin de que haya apertura y demanda de las familias a ser entrevistadas (Figura 65).



Figura 65. Socialización de la entrevista con los dirigentes.

2. Planificación y elaboración de un cronograma para el equipo de trabajo.
3. Se levantó la información socio-económica mediante una encuesta cuyo formato se indica en el Anexo 1. La encuesta se aplicó a todas y cada una las viviendas habitadas con personas presentes durante los días en el que se llevó a cabo la entrevista (Figura 66).



Figura 66. Levantamiento de información socio-económica y de población en las localidades de Tocagón y Huaycopungo.

4. Se procesó y analizó la información obtenida, para sistematizar el estudio.

▪ FICHA Y ASPECTOS INVESTIGADOS

Se ha preparado y aplicado un cuestionario (Anexo 1) a cada una de las viviendas de las dos zonas o localidades diferenciadas en este proyecto, procurando que su presentación permita una disposición total de los encuestados para responder las preguntas identificados como relevantes y necesarios en el presente estudio. En el cuestionario, se incluyó variables específicas basadas en factores de tipo social, económica, de características de las viviendas y percepción de la población frente a sus necesidades y problemas.

3.1.2. Aspectos operativos de la encuesta

▪ PERSONAL ENCUESTADOR

La recolección de la información estuvo a cargo de 6 encuestadores que fueron cuidadosamente seleccionados y capacitados, teórica y prácticamente, para el desempeño de sus labores en la recolección apropiada de los datos. Los candidatos se seleccionaron teniendo en cuenta algunos datos de interés como: formación académica (almenos educación secundaria), referencias laborales y personales; y, habla de su lengua nativa para asegurar la cobertura, calidad, cumplimiento y precisión de la información levantada.

▪ RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realizó en el mes de mayo del 2018 a través de entrevistas personales y tuvo una duración de 3 días, trabajándose en forma simultánea en las dos zonas de Relave. Hubo algunas deficiencias en la captación de información de algunas viviendas, debido a que las familias salen a trabajar en los campos durante todo el día y retornan en la noche, esto condujo a retornar a ciertas viviendas en más de una oportunidad y en varios días para procurar completar las encuestas.

▪ PROCESAMIENTO DE DATOS

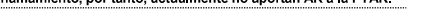
Se inicio la codificación como una actividad de campo, in situ se revisaban las encuestas intercambiando fichas entre los entrevistadores, para asegurar un mejor trabajo. Posteriormente ya en gabinete se procedió a digitalizar, procesar y organizar toda la información obtenida. Para el análisis se elaboró tablas y gráficos.

3.1.3. Resultados

Tocagón y Huaycopungo pertenecen a la Parroquia San Rafael de Laguna del Cantón Otavalo, provincia de Imbabura. El sector de Tocagón, se alza sobre dos quebradas Tocagón Huayco y Tupisig, y puede diferenciarse dos zonas: la zona alta y la zona baja en la que se ha incluido recientemente el sector de Capillapamba. El poblado de Huaycopungo, se limita al norte con la parroquia de Cachiviro, al este con la parroquia de San Pablo, al sur con la parroquia de Gonzáles Suárez y al Oeste con la vía Panamericana Norte. Se pudo identificar que son zonas agrícolas.

El estudio socioeconómico permitió elaborar el perfil social, demográfico y económico de las localidades, sobre todo permitió identificar algunos aspectos relevantes ligados directamente con la PTAR, como son la población actual servida y el nivel de satisfacción del servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales con las que cuentan estos poblados. La información y resultados obtenidos del estudio socio-económico, se resume en la Tabla 34.

Tabla 34. Resumen de los resultados de la encuesta socio-económica de las localidades de Tocagón y Huaycopungo.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES					
RESULTADOS DE LA ENCUESTA SOCIO-ECONÓMICA 2018					
INFORMACIÓN DE LAS LOCALIDADES					
Provincia: Imbabura		Comunidades: Tocagón y Huaycopugo (Parte Sur)			
Cantón: Otavalo		Zona: Rural			
Parroquia: San Rafael de la Laguna		Fecha entrevista: Del 02 al 04 de mayo de 2018			
INFORMACIÓN SOBRE FAMILIA, VIVIENDA, NIVEL CULTURAL, ECONOMÍA DEL HOGAR Y SERVICIOS					
RESULTADOS	LOCALIDAD		TOTAL	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	
	Tocagón	Huaycopungo			
1. DEMOGRAFÍA					
Hombres	359	407	766		
Mujeres	385	459	844		
Total	744	866	1610		
2. ETNIA					
Indígena	169	189	358		
Mestizo	1	1	2		
Blanco	0	0	0		
Afroecuatoriano	0	0	0		
3. VIVIENDA					
- Tenencia					
Propia	161	186	347		
Alquilada	2	2	4		
Prestada	7	2	9		
- Condición de uso					
Ocupada con personas presentes	170	190	360		
Ocupada con personas ausentes	57	48	105		
Abandonada	12	26	38		
En construcción o reparación	4	10	14		
- Via de acceso principal					
Pavimentada	2%	4%	3%		
Adoquinada	32%	46%	39%		
Empedrada	11%	6%	8%		
Tierra	55%	45%	50%		
- Tiempo aprox. de constr. (años)					
< 1 año	2	0	1%		
[1 a 5[años	19	12	9%		
[5 a 10[años	24	31	17%		
[10 a 20[años	41	44	26%		
> 20 años	81	76	48%		
4. NIVEL CULTURAL					
- Menores a 6 años					
- Mayores a 6 años					
Alfabetos	563	622	1185		
Analfabetos	96	148	244		
5. ACTIVIDAD ECONÓMICA					
Agrícola – Ganadero	22%	26%	24%		
Comerciante	56%	44%	50%		
Obrero	3%	6%	4%		
Jornalero	6%	7%	6%		
Empleado	13%	17%	15%		
- Ingreso mensual					
Menos del sueldo básico (386 USD)	48%	64%	57%		
Sueldo Básico Unificado 386 USD	30%	22%	26%		
Más del sueldo básico (386 USD)	21%	13%	17%		
6. SERVICIOS BÁSICOS					
- Energía eléctrica	Si	94%	95%		
	No	6%	5%		
- Abastecimiento de agua					
Red pública	Si	93%	97%		
	No	7%	3%		
Conexión domiciliaria	Si	75%	86%		
	No	25%	14%		
Rio, asqueña, estero		44%	0%		
Llave pública		12%	8%		
Pozo		35%	0%		
Vertiente		9%	92%		
- Eliminación de excretas					
Red de alcantarillado	Si	75%	94%		
	No	25%	6%		
Conexión domiciliaria	No	12%	71%		
	Si	88%	29%		
Letrina		4%	0%		
Pozo séptico		84%	93%		
Otro		12%	7%		
- Línea telefónica		2%	5%		
- Internet		6%	12%		
7. ACTITUDES					
Cree que la com. req. de obras para mejorar sus cond. Soc. y ec.	Si	99%	87%		
	No	1%	13%		
Disposición para trabajo comunitario	Si	96%	78%		
	No	4%	22%		
OBSERVACIONES GENERALES: Durante el levantamiento de información, en campo se pudo constatar y verificar que las localidades de Tocagón y Capillapamba poseen red de alcantarillado construido en su mayoría en el año 2014. Actualmente esta red se encuentra sin funcionamiento, por tanto, actualmente no aportan AR a la PTAR.					

Se contabilizaron que actualmente existen un total de 465 viviendas habitadas en las comunidades de Tocagón y Huaycopungo, de las cuales 360 fueron entrevistadas y 105 no fueron entrevistadas debido a que ninguno de los integrantes que la habitaban se encontraban presentes durante la realización de la encuesta. En términos de porcentaje, se estable que el 77% del total de viviendas existentes en las dos comunidades fueron encuestadas y sólo un 23% de éstas no lo fueron (Figura 67), por lo que se puede considerar un estudio con información confiable para el análisis de varias variables que incluyen factores económicos y sociales de las poblaciones.

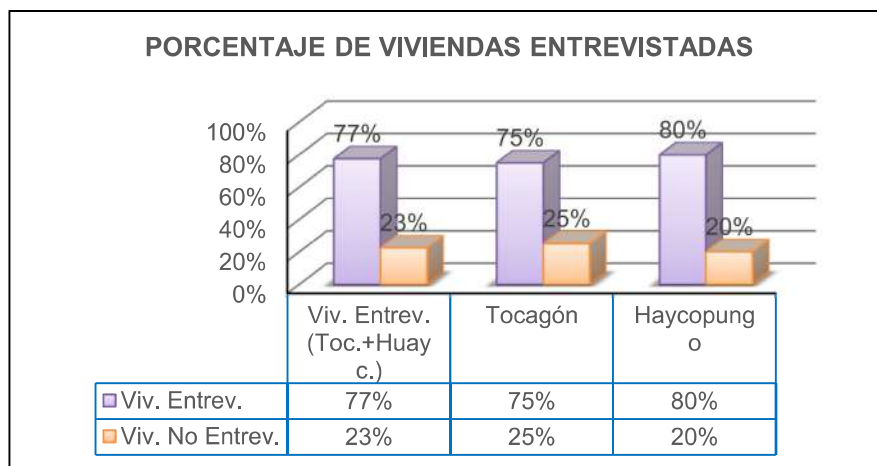


Figura 67. Porcentajes de viviendas entrevistadas de las localidades de Tocagón y Huaycopungo.

La determinación aproximada del número total de habitantes, se realizó considerando el total de integrantes de las familias entrevistadas más los integrantes de las familias no entrevistadas. Para estimar el número de integrantes de las familias no entrevistadas, se consideró un número de integrantes para cada una de éstas, de acuerdo con el análisis de información obtenida en las encuestas. De acuerdo a esto se estimó que actualmente (2018), existen 2135 habitantes en las dos localidades que conforman el área de influencia de la PTAR (Tabla 35).

Tabla 35. Población total del área de influencia PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

Localidad	Familia		Frec. del n° de integrantes de las familias entrevistadas				Total de habitantes		Total de habitantes
	Entre.	No entrev.	3	4	5 ²²	6	entrev.	No entrev.	
Tocagón (T)	170	57	29	33	43	21	744	285	1029
Huaycopungo (H)	190	48	31	33	39	25	866	240	1106
Total (T+H)	360	105	60	66	82	46	1610	525	2135

²² 5 Es un promedio de integrantes por familia (mayor frecuencia absoluta), que multiplicado por el número de familias no entrevistadas, nos da el total habitantes no entrevistados para ambas localidades, respectivamente.

▪ CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

De acuerdo con las encuestas aplicadas a las viviendas con personas presentes al momento de su realización (Figura 68), se tiene que un 48% de la población está representada por varones y un 52% por mujeres.

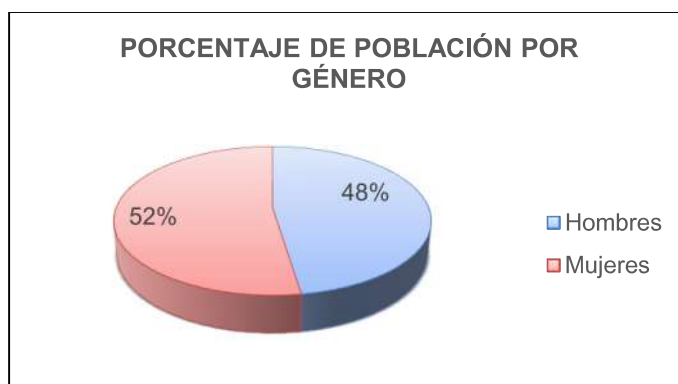


Figura 68. Porcentaje de población según género.

Idioma: El 99,9% de la población encuestada tiene como idioma nativo el quechua y el 0,1% el castellano.

Alfabetismo y analfabetismo: Se ha encontrado que el 83% de pobladores mayores de 6 años aprendieron a leer y escribir, y el 17% no (Tabla 36).

Tabla 36. Alfabetismo y analfabetismo en las localidades Tocagón y Huaycopungo.

CONDICIÓN	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Alfabeto	1185	83%
Analfabeto	244	17%
Total	1429	100%

Actividad económica de la población general: Destaca la actividad de comerciante con un 50% del total. En segundo lugar, se ubican la agrícola – ganadera con 24%, los empleados (públicos y privados) constituyen el 15%; y existe un 10% que incluye las actividades específicas como obrero y jornalero (Tabla 37).

Tabla 37. Actividad económica de las poblaciones.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Agrícola – Ganadero	155	24%
Comerciante	317	50%
Obrero	28	4%
Jornalero	41	6%
Empleado	97	15%
Total	638	100%

Percepción de la población acerca de las obras y sus necesidades: Esta percepción es de gran importancia porque proporciona información cualitativa sobre la receptividad de la población acerca de las obras y sus necesidades. Esta receptividad es la que motivará a realizar el presente trabajo como contribución a una de estas necesidades.

Referente a la pregunta: ¿Cree que la comunidad requiere obras de infraestructura para mejorar sus condiciones sociales y económicas?, la respuesta fue afirmativa en la mayoría de los casos (93%), demostrando que aproximadamente el total de la población analizada es consciente de las necesidades de la comunidad en torno al mejoramiento de obras de infraestructura.

Tabla 38. *Percepción sobre necesidad de obras de infraestructura.*

COMUNIDAD	PREGUNTA MEJORAMIENTO		TOTAL (T+H)	OBSERVACIONES
	SI	NO		
Tocagón (T)	99%	1%	93%	- <i>Mejoramiento de la PTAR, para que pueda funcionar el sistema de alcantarillado.</i> - Mejoramiento y acondicionamiento de las vías. - Falta de alumbrado en las vías.
Haycopungo (H)	87%	13%	7%	- <i>Mejoramiento del operación y funcionamiento de la PTAR, para que se produzcan interrupciones debidas a fallas de cualquiera de los elementos.</i> - Mejoramiento y acondicionamiento de las vías. - Falta de alumbrado en las vías.

En lo que respecta a la disposición a contribuir (Tabla 39), la mayor parte de habitantes contribuyen y están dispuestos a contribuir en beneficio de las obras de mejora, destacándose una respuesta positiva en 87% de su totalidad respectivamente; a pesar de un evidente nivel económico limitado que poseen estas las zonas, desde su nivel estarían dispuestos a realizar su contribución con trabajo colectivo.

Tabla 39. *Disposición para benecicio de obras de mejora.*

COMUNIDAD	SI	NO	TOTAL (T+H)
Tocagón (T)	96%	4%	87%
Haycopungo (H)	78%	22%	13%

▪ CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR

Ingreso de las Familias (Figura 69): El 57% de los hogares encuestados perciben como ingreso mensual un valor menor al sueldo Básico Unificado (SBU) según la ley, producto de las actividades a las que se dedican: agrícola ganadero (actividad propia de esta zona), obrero y jornalero principalmente. En segundo lugar, destaca en menor proporción un ingreso igual al sueldo básico que resulta del trabajo como empleado público o privado o a su vez de actividad comercial. Un ingreso mayor al del sueldo básico se ha observado en el

17% de los hogares obtenido principalmente de la actividad comercial (ventas de variantes de tejidos con la totora, artesanías, negocios familiares, entre otros).

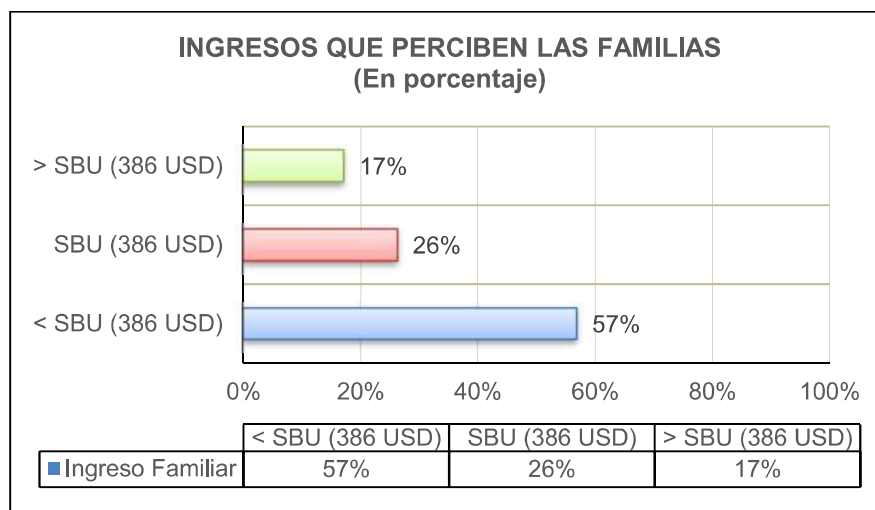


Figura 69. Ingresos que perciben las familias.

■ CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS

Tenencia: En su mayoría, las viviendas que poseen las familias son propias, éstas representan un 96%, el 1% alquiladas y un 3% manifiestan que la vivienda en la que habitan es prestada por algún familiar o pariente (ver Figura 70).



Figura 70. Tenencia de la vivienda.

Condición de uso: De acuerdo a los resultados obtenidos, el 90% del total de las viviendas contabilizadas se encuentra actualmente habitadas, el 7% están completamente abandonadas (en algunos casos en condiciones muy deterioradas) y tan solo un 3% están en su etapa de construcción (ver Tabla 40).

Tabla 40. Condición de uso de la vivienda.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Habitadas	465	90%
Abandonadas	38	7%
En construcción o reparación	14	3%
Total	517	100%

Vía de acceso principal: El 50% de las vías de acceso principal a las viviendas son de tierra, el 39% adoquinadas, un 8% empedradas y tan solo un 3% son asfaltadas (ver Figura 71).

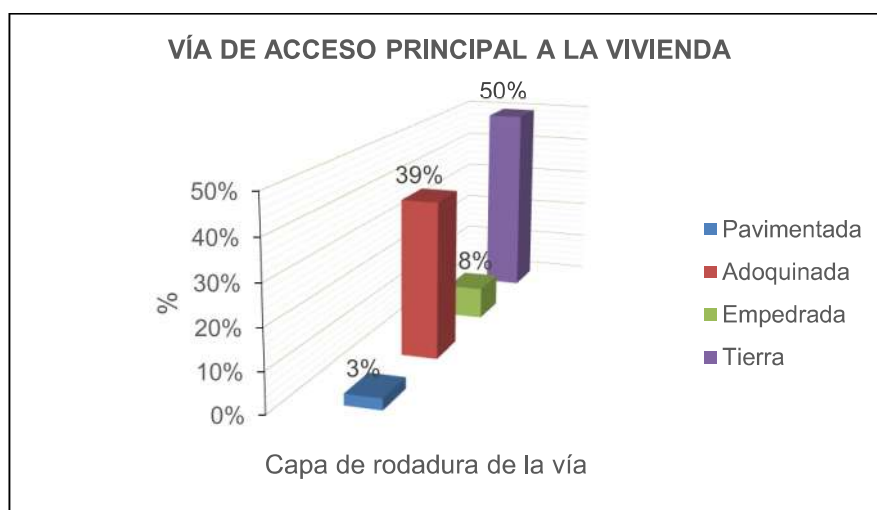


Figura 71. Vía de acceso principal a la vivienda.

Tiempo de construcción: De acuerdo a las versiones de los propietarios de las viviendas, se tiene que tan sólo el 1% de las viviendas son recientes, el 9% tienen entre 1 y 4 años, el 17% han sido construidos entre 5 y 10 años, el 26% entre 10 y 20 años, y en su mayoría el 48% de tiene mayor a 20 años de construcción (Figura 72).

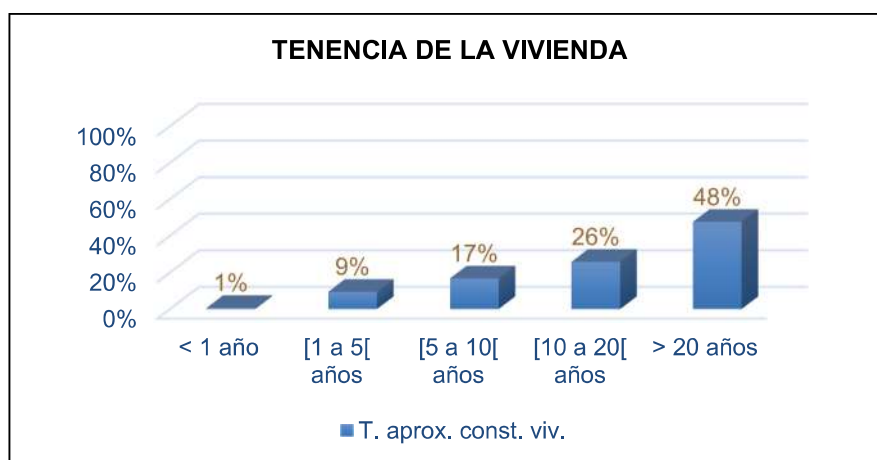


Figura 72. Tenencia de la vivienda.

Servicios Básicos: Con respecto a los servicios básicos con los que cuentan el poblado, se ha encontrado (ver Figura 73).

- El 94% cuenta energía eléctrica, mientras que el 6% restante no dispone de este servicio. En ciertas viviendas, especialmente en los que habitan personas de tercera edad usan con velas, lámparas, mecheros o lamparines para alumbrarse.
- Dispone de agua potable, del cual el 95% posee red pública, el 81% de las viviendas tiene conexión domiciliaria y el 5% no dispone de conexión a sus domicilios por lo que utilizan distintas fuentes para su abasto, encontrándose las de uso principal: vertiente 8%, río o acequia 5%, pozo 4% y Llave pública 2%.

- El 85% posee red de alcantarillado, el 43% de los hogares encuestados cuenta con acometidas a sus viviendas y el 57% no, por lo que evacúan sus aguas servidas a letrinas (2%), pozos sépticos (49%), quebradas o acequias (6%).

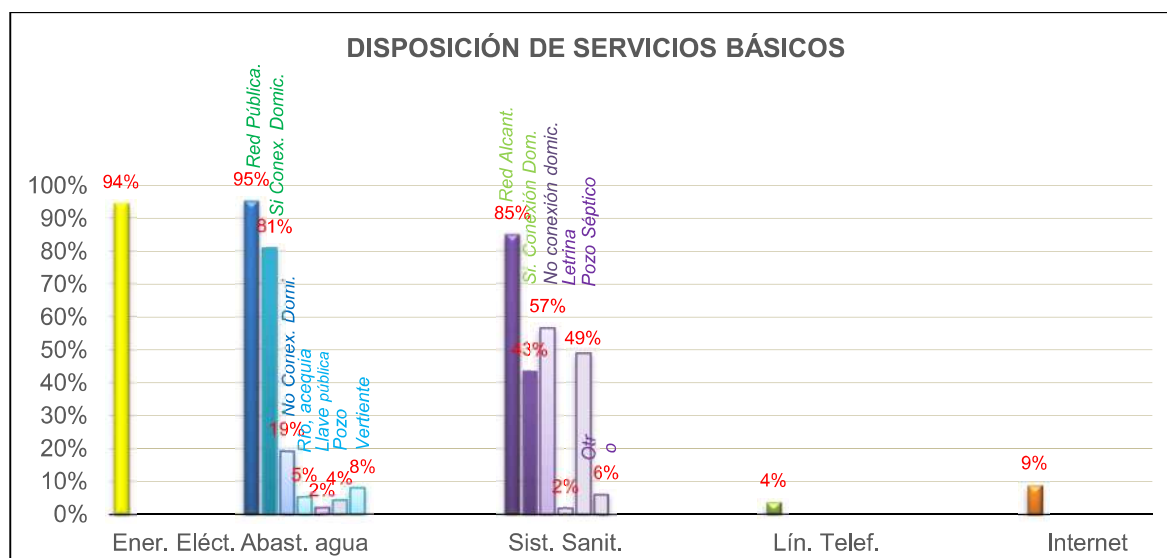


Figura 73. Disposición de servicios básicos.

3.2. Levantamiento a cinta y verificación del estado actual de las estructuras

El proceso de evaluación inicial de la PTAR, implicó la verificación de las dimensiones de cada una de las unidades de la PTAR de acuerdo a sus planos de diseño, de igual manera se constató el número de unidades existentes que están operando en cada uno de los niveles de tratamiento y el estado actual de la estructura. Los resultados del levantamiento realizado, se reportan en la tabla Tabla 41.

Tabla 41. Reporte del levantamiento a cinta.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES					 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
REPORTE DEL LEVANTAMIENTO A CINTA						
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”					HOJA N° RQ – 1 / 1
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador					
Coordenadas:	10021288,69 N		810328,91 E			
Altitud:	2665 msnm		Clima:	Frio		
INFORMACIÓN GENERAL						
PTAR:	N° 3 Huaycopungo Sur		Responsables:	Wilson Ulco		
Fecha:	03/03/2028			José Luis Burga		
Hora:	De 10h00 a 16h00			Jofre Ulco		
REGISTRO DE INFORMACIÓN						
TRATAMIENTO	UNIDAD	N° DE UNIDADES	TIPO DE ESTRUCTURA/MATERIAL	ESTADO ACTUAL	VERIF. DIMEN.	OBSERVACIONES
Obra de toma	Derivador de caudales de ingreso	1	Hormigón armado	Bueno	Si	La eometría difiere a la de los planos de diseño
Primario	Rejillas	2	Acero inoxidable	Bueno	Si	
	Cárcamo de bombeo	1	Hormigón armado	Bueno	Si	
	Bombas (Sumergibles)	2		Incierto		Problemas en el funcionamiento
	Caja receptora de caudal de bombeo	1	Hormigón armado	Regular	Regular	Filtración por la base de la estructura
	Caja repartidora de caudal	1	Hormigón armado	Regular	Si	No concuerda col el diseño, desborde por exceso de caudal
	Sedimentador	2	Hormigón armado	Bueno	Si	Falta de mantenimiento
Secundario	Filtro anaerobio de flujo ascendente	2	Hormigón armado	Bueno	Si	
	Cajas de salida FAFA	2	Hormigón armado	Bueno	Si	
Terciario	Caja revisión, entrada estanques	5	Hormigón armado	Bueno	Si	
	Estanques con jacintos de agua	5	Hormigón armado	Bueno	Si	Falta de mantenimiento, agua color verdosa, desborde por el exceso de caudal
	Caja revisión, salida estanques	5	Hormigón armado	Bueno	Si	
Descarga	Estructura de descarga	2	Hormigón armado	Bueno	Si	Falta de limpieza
TRATAMIENT O LODOS	Lechos de secado	5	Hormigón armado	Bueno	Si	Falta de limpieza, taponamiento de la tubería de recolección de aguas, la implantación no concuerda con los de los planos de diseño
OBSERVACIONES GENERALES						
En la PTAR no se encontró ningún personal a cargo en la supervisión de su operación y funcionamiento. Falta de limpieza de la cobertura vegetal de los caminos de acceso.						

3.3. Medición de Caudales

Con el propósito de establecer el caudal medio de aguas residuales que actualmente trata la PTAR y verificar con el caudal de diseño, se realizaron aforos volúmetricos en dos etapas. La primera etapa se realizó en el período de lluvias (abril); la segunda etapa en el período de sequía (junio). El programa de monitoreo de caudal, consistió en realizar aforos cada hora durante 7 días consecutivos (06h00 a 18h00). Los datos colectados se procesaron y se usaron para construir la curva de variación de caudales que permitió a su vez identificar los períodos con caudales relativamente mayores y establecer el día y horario de muestreo de los parámetros de calidad de agua. En el Anexo 2, se presenta la libreta de campo utilizada para el registro de las mediciones de los aforos de caudal.

3.3.1. Aforo volumétrico

Es aplicable en la medición de pequeños caudales y se lo realizó midiendo el tiempo de llenado (t) de un recipiente de volumen conocido (V), donde se colectó el afluente. Este procedimiento se realizó tres veces consecutivas y los valores de tiempo y volumen se registraron en ficha de campo para la medición de caudal y parámetros físicos-químicos “in situ” (Anexo 2). El punto de aforo de caudal fue al ingreso de la PTAR en la cámara de desbaste, véase la Figura 74.

El caudal se determinó con la Ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1. Caudal.

Donde:

Q : Caudal, expresado en L/s

V : Volumen expresado en L.

t : Tiempo expresado en s.



Figura 74. Aforo de caudal en la entrada de la PTAR (cámara de desbaste).

3.3.2. Resultados

El objetivo principal de los aforos, fue el de establecer un registro de datos del caudal que ingresa a la PTAR, tanto en la época lluviosa como en la época seca y construir su curva horaria para apreciar su variación y evidenciar los picos de caudal y las horas en las que se presentan. Con estos valores, se puede establecer el caudal medio que ingresa a la PTAR y verificar su caudal de diseño que garantiza su eficiencia hidráulica en su operación y funcionamiento.

En la Tabla 42 y 43, se presenta en un reporte los valores de los caudales promedios horarios obtenidos para la época lluviosa y seca, gráficos que muestran las variaciones horarias medias de caudal de las aguas residuales que ingresa a la PTAR “Huaycopungo Sur”, así como también los resultados de los caudales máximos, mínimos y medios que ingresa a la PTAR en cada temporada de medición.

En los resultados se puede observar que a partir de las 06h00 (hora en que comienza las actividades diurnas) se nota un ligero incremento en el caudal de las aguas residuales. Este incremento resulta verdaderamente notable a partir de las 07h00 (debido al tiempo de retardo de las aguas residuales hasta el punto de medición) ocurriendo un valor pico alrededor de las 08h00. A partir de esta hora los caudales comienzan a disminuir llegando a presentar los valores mínimos a las 12h00. Posteriormente empieza su ascenso que resulta verdaderamente notable a partir de las 13h00 hasta alcanzar su pico a las 16h00 donde nuevamente empieza su descenso. El aumento notable del caudal de ingreso a la PTAR que se produce a partir de las 13h00, se justifica por la presencia de lluvias que se produjeron durante las mediciones de caudal.

Se puede observar en los gráficos, que el caudal que llega a la PTAR cambia mucho durante el día, lo cual refleja el comportamiento típico de un pueblo pequeño por el ritmo de vida que tienen sus habitantes.

Tabla 42. Caudales medios horarios que ingresan a la PTAR “Huaycopungo Sur” en época lluviosa.

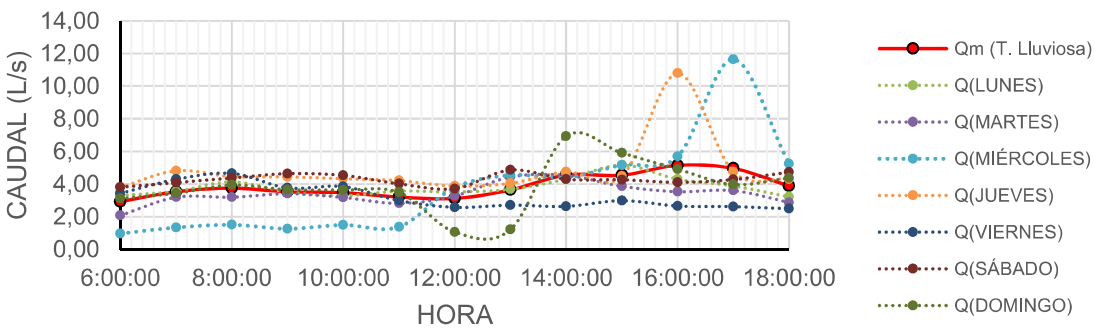
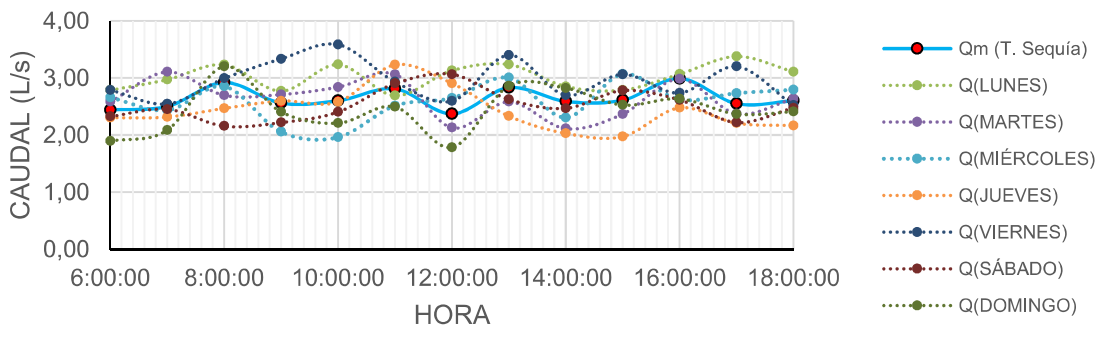
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA													
REPORTE DEL AFORO DE CAUDALES															
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur” Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador Coordenadas: 10021288,69 N 810328,91 E Altitud: 2665 msnm Clima: Frio		HOJA N° RQ – 1 / 1													
INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN															
Lugar de aforo: PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur” Tipo de vertido: Agua Residual Doméstica Temporada: Lluviosa Fecha de aforo: 09/04/2018 al 15/04/2018		Hora: De 06h00 a 18h00 Método: Volumétrico Punto de aforo: Entrada PTAR (Cám. Desba) Operador(s): Wilson Ulco / Manuel Burga													
RESULTADOS DEL AFORO															
HORA	CAUDAL (Q) (l/s)	INDICACIONES	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA												
6:00	2,92	Mínimo													
7:00	3,52														
8:00	3,75														
9:00	3,52														
10:00	3,47														
11:00	3,20														
12:00	3,11														
13:00	3,64														
14:00	4,54														
15:00	4,54														
16:00	5,14	Máximo													
17:00	4,96														
18:00	3,88														
VARACIÓN HORARIA DE CAUDALES															
VARACIÓN HORARIA DE CAUDAL QUE INGRESA A LA PTAR EN ÉPOCA DE LLUVIAS															
															
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Caudal Máximo y Mínimo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$Q_{\min.}$ =</td> <td>2,92</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>$Q_{\text{med.}}$ =</td> <td>3,86</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>$Q_{\max.}$ =</td> <td>5,14</td> <td>l/s</td> </tr> </tbody> </table>				Caudal Máximo y Mínimo			$Q_{\min.}$ =	2,92	l/s	$Q_{\text{med.}}$ =	3,86	l/s	$Q_{\max.}$ =	5,14	l/s
Caudal Máximo y Mínimo															
$Q_{\min.}$ =	2,92	l/s													
$Q_{\text{med.}}$ =	3,86	l/s													
$Q_{\max.}$ =	5,14	l/s													
OBSERVACIONES:															

Tabla 43. Caudales medios horarios que ingresan a la PTAR “Huaycopungo Sur” en época seca.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES															
REPORTE DEL AFORO DE CAUDALES															
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°3 “Huaycopungo Sur” Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador Coordenadas: 10021288,69 N 810328,91 E Altitud: 2665 msnm Clima: Frio		HOJA N° RQ – 1 / 1													
INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN															
Lugar de aforo: PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur” Tipo de vertido: Agua Residual Doméstica Temporada: Sequía Fecha de aforo: 18/06/2018 al 24/06/2018		Hora: De 06h00 a 18h00 Método: Volumétrico Punto de aforo: Entrada PTAR (Cám. cribado) Operador(s): Wilson Ulco / Mirian Burga													
RESULTADOS DEL AFORO															
HORA	CAUDAL (Q) (l/s)	INDICACIONES													
6:00	2,44														
7:00	2,50														
8:00	2,92														
9:00	2,56														
10:00	2,60														
11:00	2,81														
12:00	2,37	Mínimo													
13:00	2,83														
14:00	2,59														
15:00	2,61														
16:00	2,99	Máximo													
17:00	2,55														
18:00	2,60														
VARACIÓN HORARIA DE CAUDALES															
VARACIÓN HORARIA DE CAUDAL QUE INGRESA A LA PTAR EN ÉPOCA SECA															
															
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Caudal Máximo y Mínimo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$Q_{min.}$ =</td> <td>2,37</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>$Q_{med.}$ =</td> <td>2,64</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>$Q_{máx.}$ =</td> <td>2,99</td> <td>l/s</td> </tr> </tbody> </table>				Caudal Máximo y Mínimo			$Q_{min.}$ =	2,37	l/s	$Q_{med.}$ =	2,64	l/s	$Q_{máx.}$ =	2,99	l/s
Caudal Máximo y Mínimo															
$Q_{min.}$ =	2,37	l/s													
$Q_{med.}$ =	2,64	l/s													
$Q_{máx.}$ =	2,99	l/s													
OBSERVACIONES:															

3.4. Monitoreo de parámetros de calidad de agua residual

El objetivo principal del monitoreo de los parámetros de calidad de agua residual, es evaluar las condiciones operativas de los procesos de tratamiento, verificar el cumplimiento del efluente final de la PTAR con los límites máximos admisibles establecidos en la norma ambiental vigente del país y el evaluar el desempeño y eficiencia de remoción de contaminantes de cada proceso de tratamiento y del sistema en su conjunto.

3.4.1. Monitoreo de parámetros operacionales de control “in situ”

Con el fin de verificar las condiciones operativas de los procesos de tratamiento de la PTAR, en campo se realizaron mediciones de temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) utilizando equipos portátiles digitales. Estos parámetros fueron monitoreados en el período de lluvias (abril) y sequía (junio), en cada una de las unidades que conforman el tren de tratamiento de la PTAR (véase Figura 75), durante 7 días consecutivos (06h00-18h00). El período de estos monitoreos fue realizado conjuntamente con las mediciones de los caudales. En el Anexo 3 se presenta un ejemplar de la planilla utilizada para el registro de los parámetros de campo.

La Tabla 44 resume los rangos en los que variaron (valores máximos y mínimos) cada uno de los parámetros en las unidades de tratamiento.

Tabla 44. Rangos de variabilidad de los parámetros medidos “in situ”.

TRAT.	UNIDAD		RANGO DE OSCILACIÓN DE LOS PARÁMETROS							
			T (°C)		CE (μS/cm)		pH		SDT (mg/l)	
			DE	A	DE	A	DE	A	DE	A
Primario	Sedimentador	Cámara 1	15,07	18,68	581,64	664,00	7,00	7,21	292,71	344,14
		Cámara 2	15,51	18,29	572,58	691,57	6,93	7,16	349,86	290,57
Secundario	FAFA	Cámara 1	14,81	18,49	641,43	667,64	6,97	7,22	322,43	346,29
		Cámara 2	15,46	17,88	620,64	682,57	6,97	7,23	313,14	340,57
Terciario	Estanques con macrófitas flotantes	Estanque 1	15,04	19,72	576,00	621,07	7,49	7,84	292,43	314,71
		Estanque 2	15,12	20,36	583,07	630,14	7,37	8,39	296,00	323,14
		Estanque 3	15,17	19,91	560,36	631,00	7,31	8,44	284,29	322,43
		Estanque 4	15,85	19,31	559,00	666,36	7,00	8,29	283,71	337,86
		Estanque 5	15,54	18,46	599,07	669,79	7,01	7,70	294,29	342,43

Los valores medios de los parámetros monitoreados “in situ” temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (SDT) en temporada lluviosa y seca de cada proceso unitario que conforma el sistema de tratamiento, así como sus gráficas de variación a lo largo del tiempo, se exponen en las Tablas 45 y 46.

Al realizar un análisis global sobre el comportamiento de las gráficas de los parámetros evaluados (Tabla 45 y 46), se puede apreciar que presentan un comportamiento regular, es decir, constante con variaciones poco significativas durante todo el proceso operacional del sistema de tratamiento de agua residual.

Tabla 45. Valores promedios de Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Hidrógeno (pH) y Sólidos Disueltos Totales (SDT), en el sistema tratamiento “Huaycopungo Sur” período de lluvia.

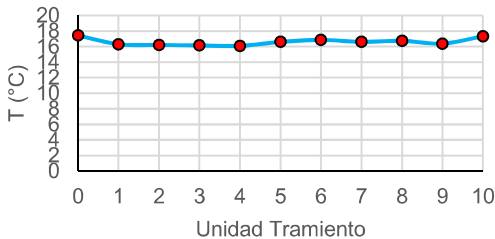
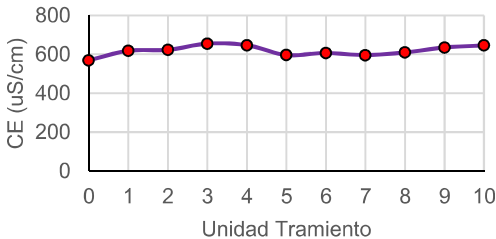
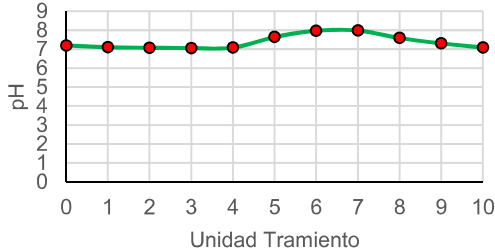
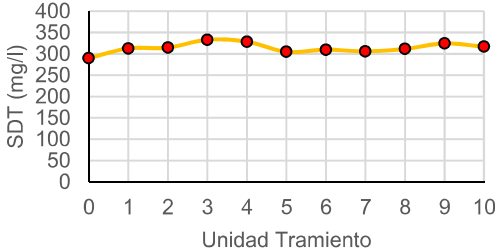
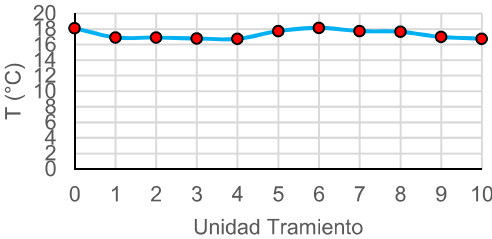
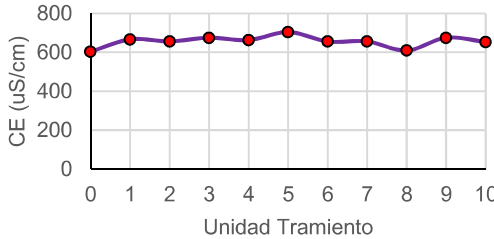
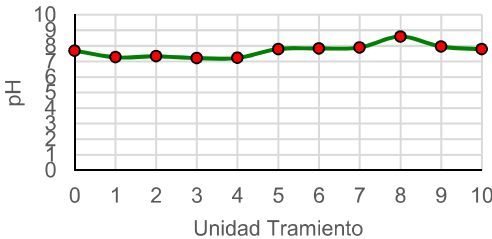
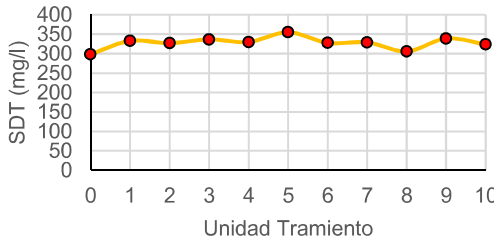
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES					 POLITÉCNICO DE LEIRIA		
REPORTE DE PARÁMETROS OPERACIONALES DE CONTROL "IN SITU"							
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”					HOJA N° RPFQ – 1 / 1	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.						
Coordenadas:	10021288,69 N		810328,91 E				
Altitud:	2665 msnm		Clima:	Frio			
INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN							
PTAR:	N° 3 Huaycopungo Sur		Hora:	De 06h00 a 18h00			
Tipo de vertido:	Agua Residual Doméstica		Proceso:	Tren de tratamiento			
Temporada:	Lluviosa		Punto:	Unidades tratamiento			
Fecha:	09/04/2018 al 15/04/2018		Operador(s):	Wilson Ulco / Manuel Burga			
RESULTADOS							
				A	B	C	D
	Nivel Tratamien.	Unidad		Temperatura (T)	Conductividad Eléctrica (CE)	pH	Sólidos Disueltos Totales (SDT)
				°C	µS/cm		mg/l
0		Afluente PTAR		17,45	569,51	7,19	290,12
1	Primario	Sedimentador	Cámara 1	16,31	618,64	7,10	312,74
2			Cámara 2	16,22	623,24	7,07	314,60
3	Secundario	FAFA	Cámara 1	16,15	655,26	7,06	332,99
4			Cámara 2	16,09	647,42	7,08	328,65
5	Terciario	Humedales artificiales	Estanque 1	16,61	596,77	7,64	304,77
6			Estanque 2	16,86	607,27	7,97	309,81
7			Estanque 3	16,62	596,58	7,98	305,95
8			Estanque 4	16,74	609,90	7,59	311,74
9			Estanque 5	16,39	635,53	7,30	324,58
10		Efluente PTAR		17,31	646,29	7,08	317,01
Mínimo				16,09	569,51	7,06	290,12
Medio				16,61	618,76	7,37	313,90
Máximo				17,45	655,26	7,98	332,99
A. VARIACIÓN DE T				B. VARIACIÓN DE CE			
							
C. VARIACIÓN DE pH				D. SDT			
							
OBSERVACIONES: _____							

Tabla 46. Valores promedios de Temperatura (T), Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Hidrógeno (pH) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el sistema tratamiento “Huaycopungo Sur” período de sequía.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA				POLITÉCNICO DE LEIRIA			
ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN							
PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES							
REPORTES DE PARÁMETROS OPERACIONALES DE CONTROL "IN SITU"							
Proyecto:		Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”					
Localización:		Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.					
Coordenadas:		10021288,69 N		810328,91 E			
Altitud:		2665 msnm		Clima: Frio			
				HOJA N°			
				RPFQ – 1 / 1			
INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN							
PTAR:		N° 3 Huaycopungo Sur		Hora: De 06h00 a 18h00			
Tipo de vertido:		Agua Residual Doméstica		Proceso: Tren de tratamiento			
Temporada:		Seca		Punto: Unidades tratamiento			
Fecha:		18/06/2018 al 24/06/2018		Operador(s): Wilson Ulco / Mirian Burga			
RESULTADOS							
				A	B	C	D
	Nivel Tratamien.	Unidad		Temperatura (T)	Conductividad Eléctrica (CE)	pH	Sólidos Disueltos Totales (SDT)
				°C	µS/cm		mg/l
0		Afluente PTAR		18,10	603,64	7,68	298,41
1	Primario	Sedimentador	Cámara 1	16,93	666,80	7,27	332,84
2			Cámara 2	16,91	656,68	7,33	327,03
3	Secundario	FAFA	Cámara 1	16,78	675,49	7,21	336,68
4			Cámara 2	16,74	663,62	7,23	330,07
5	Terciario	Humedales artificiales	Estanque 1	17,73	704,82	7,80	355,04
6			Estanque 2	18,16	656,08	7,83	327,78
7			Estanque 3	17,74	656,09	7,89	328,95
8			Estanque 4	17,65	609,90	8,60	305,81
9			Estanque 5	16,99	675,26	7,95	338,97
10		Efluente PTAR		16,76	654,09	7,78	323,70
Mínimo				16,74	603,64	7,21	298,41
Medio				17,32	656,59	7,69	327,75
Máximo				18,16	704,82	8,60	355,04
A. VARIACIÓN DE T				B. VARIACIÓN DE CE			
							
C. VARIACIÓN DE pH				D. SDT			
							
OBSERVACIONES:							

3.4.2. Caracterización de los parámetros de calidad de agua para análisis en laboratorio

3.4.2.1. Programa de muestreo

En esta etapa es necesario tener claro el objetivo del muestreo y tomar en cuenta la disponibilidad económica. Para el presente caso se optó el realizar un monitoreo de rutina en la planta de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

La toma de muestras de agua residual, se realizó considerando la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo y la NTE INEN 2169:2013, Calidad del agua, muestro, manejo y conservación de muestras, para cumplir con el protocolo de toma de muestras y asegurar que cumplan con las condiciones y validez hasta su entrega al laboratorio. Las técnicas de recolección y preservación tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

▪ Selección de los parámetros a analizar

La selección de parámetros depende del destino final de las aguas tratadas, de las exigencias de la normativa vigente expedida para el efecto (Libro VI del TULSMA²³: Calidad ambiental, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), del análisis de los resultados de los reportes del monitoreo y control de operación de la PTAR, así como el análisis de los resultados existentes de la caracterización del agua del cuerpo receptor. Teniendo en cuenta estas consideraciones en las Tablas 47 y 48, se indican los parámetros que consideraron en la caracterización de los afluentes y efluentes de la PTAR.

Por otra parte, para la determinación de los grados de eficiencia de las unidades operativas que conforman los procesos unitarios de la PTAR sólo se consideró aquellos parámetros que las unidades está en capacidad de remover en cada proceso.

²³ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Tabla 47. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos considerados en la caracterización del afluente y efluente de la PTAR “Huaycopungo Sur”.*

N°	PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD
	Físicos		
1	Color Real	Color real	unidades de color
2	Conductividad Eléctrica	CE	μS/cm
3	Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l
4	Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l
5	Sólidos Totales	ST	mg/l
6	Temperatura	T	°C
	Químicos		
	- Orgánicos		
7	Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l
8	Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l
9	Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l
10	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l
11	Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l
12	Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l
	- Inorgánicos		
13	Arsénico Total	As	mg/l
14	Fósforo Total	P	mg/l
15	Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l
16	Nitratos	N-NO ₃	mg/L
17	Nitritos	N-NO ₂	mg/L
18	Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l
19	Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l
20	Potencial de Hidrógeno	pH	
21	Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l
22	Sulfuros	S ²⁻	mg/l
	* Metales Pesados		
23	Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l
24	Plomo	Pb	mg/l
	Microbiológicos		
25	Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml

Tabla 48. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos considerados en la caracterización de los afluentes y efluentes de las unidades operativas que conforman los procesos unitarios de la PTAR “Huaycopungo Sur”.*

N°	PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD
	Físicos		
1	Color Real	Color real	unidades de color
2	Conductividad Eléctrica	CE	μS/cm
3	Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l
4	Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l
5	Sólidos Totales	ST	mg/l
6	Temperatura	T	°C
	Químicos		
	- Orgánicos		
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l
8	Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l
9	Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l
	- Inorgánicos		
10	Fósforo Total	P	mg/l
11	Nitratos	N-NO ₃	mg/L
12	Nitritos	N-NO ₂	mg/L
13	Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l
14	Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l
15	Potencial de Hidrógeno	pH	
16	Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l
	Microbiológicos		
17	Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml

▪ Puntos de muestreo

Siendo el objetivo principal del muestreo, el evaluar el funcionamiento y eficiencia de remoción, entonces se identifican cuatro puntos de muestreo dentro del sistema de tratamiento de aguas de la PTAR “Huaycopungo Sur”, para su monitoreo mediante los parámetros citados en el apartado anterior. Los puntos de interés para el monitoreo son:

1. Entrada del afluente bruto = Afluente de la PTAR = Afluente sedimentador.
2. Efluente del sedimentador = Afluente FAFA.
3. Efluente FAFA = Afluente estanques con macrófitas flotantes.
4. Efluente Estanques con macrofitas flotantes = Efluente de la PTAR.

Para una mejor comprensión de este apartado, considérese el esquema de la PTAR representada en la Figura 75.

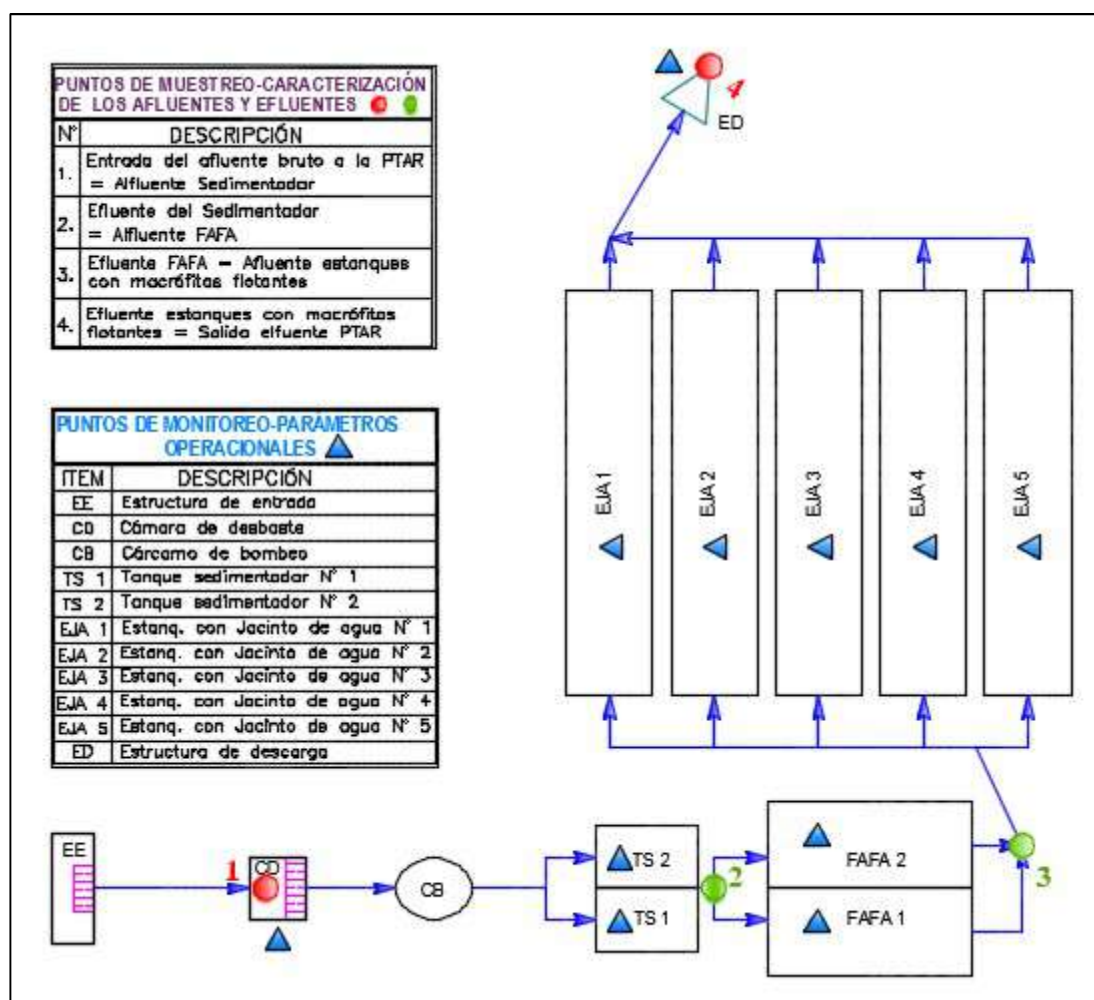


Figura 75. Puntos de muestreo, PTAR “Huaycopungo Sur”.

▪ Plan de muestreo

La caracterización de las aguas residuales en una PTAR, se lleva a cabo con un plan de muestreo, el cual tiene como objetivo determinar las características físico-químicas del agua residual.

Con base a los resultados obtenidos en las mediciones de los caudales (a mayor consumo de agua, mayor generación de caudal para el alcantarillado, mayor concentración de carga contaminante), se puede establecer el día y los horarios para los muestreos. En la Tabla 49 se detalla el plan de muestreo establecido de acuerdo a lo mencionado.

El plan de muestreo se desarrolló en base a dos muestreos de ocho horas continuas: el primero en un día de semana lunes 28 de mayo (08h00 – 16h00); y, el otro en un día viernes 01 de junio (08h00 – 16h00). En la planificación de los muestreos sólo se tomó en cuenta la época seca, debido a que en esta época la PTAR presenta un funcionamiento libre de fallas bajo carga “normal” de agua residual, contrariamente a lo que se tiene en época de lluvias, donde en las visitas de campo se evidenció que la PTAR presenta fallas operativas en el sistema, por la influencia del caudal de aguas lluvias, además de influir el efecto de diluyente de los contaminantes.

Tabla 49. Plan de muestreo.

PUNTO MUESTREO	LOCALIZACIÓN MUESTREO	CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	DÍA DE MUESTREO	HORARIO DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
1	810328 E 21292 N	A1	Cámara de desbaste	Lunes, viernes	8h00 a 16h00	4
2	810333 N 21307 N	A2	Tubería de conexión sedimentador FAFA	Lunes, viernes	8h00 a 16h00	4
3	810340 E 21318N	A3	Caja revisión salida de FAFA	Lunes, viernes	8h00 a 16h00	4
4	810247 E 21367 N	A4	Estructura de descarga	Lunes, viernes	8h00 a 16h00	4

3.4.2.2. Metodología para la recolección de muestras

El lugar donde se toman las muestras tiene mucha influencia en los resultados. Ya que si se toma una muestra en un lugar que no es adecuado, los resultados podrían variar e indicar que la PTAR no funciona (aunque sí lo haga). Para evitar un error de esta naturaleza, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Se optó por un lugar donde el agua corra más rápido o donde exista una caída. Así, las condiciones aseguran que exista una buena mezcla que represente el agua de la PTAR de manera correcta. Para establecer la eficiencia del tanque sedimentador, FAFA y lagunas con macrófitas flotantes, las muestras se recolectaron en las cajas de revisión o en la tubería de conexión al siguiente dispositivo y no directamente del tanque o de la laguna.
- Para conocer la eficiencia global de la PTAR en su conjunto, se tomó una muestra del efluente y del afluente, es decir de la salida y de la entrada del agua a la PTAR. Estas muestras se tomaron en el afluente, después de la rejilla de la estructura de descarga, para

evitar que cuerpos gruesos con los resultados de nuestra muestra. Respecto al efluente la muestra se recogió a la salida de su estructura de descarga.

- Para evaluar la eficiencia operativa de las unidades (sedimentador, FAFA y lagunas con macrófitas flotantes) que conforman los procesos unitarios o individuales de tratamiento, se recolectó las muestras en las tuberías o cajas de conexión entre dos dispositivos o unidades de tratamiento. En la Figura 75, estos puntos de muestreo están identificados de color rojo y verde.
- En los sitios de muestreo, se aseguró que sea un lugar donde no se toque el fondo o las paredes con el muestreador o el recipiente de la muestra; es decir, se procuró tener suficiente espacio para obtener el agua y evitar que los sedimentos entren al recipiente, ya que pueden generar una concentración muy alta en los resultados.

Existen diferentes técnicas de muestreo que tienen sus ventajas, desventajas y usos distintos. A continuación, se mencionan la técnica utilizada:

▪ **Muestra compuesta**

Se la empleó para conocer las condiciones promedio del agua residual, con el fin de controlar la eficiencia de la PTAR. Para estos propósitos se consideró una muestra compuesta que represente un período de 8 horas (08h00 a 16h00). En general, este tipo de muestras son aptas para indicar el promedio de las variaciones de la contaminación en el agua.

La muestra compuesta se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Este tipo de muestro es muy utilizado en aguas residuales debido a que su composición varía significativamente a lo largo del tiempo.

La toma de muestras compuestas se realizó de forma manual a la entrada de la PTAR y mediante muestreadores automáticos la entrada y salida de las unidades que conforman su tren de tratamiento.

- **Recolección manual (Figura 76):** Se tomaron porciones individuales del afluente en recipientes de vidrio de boca ancha y se las combinó en una sola botella al momento de tomarlas, manteniendo siempre ésta en condiciones de refrigeración a 4 °C y oscuridad. Las muestras individuales fueron tomadas cada 30 minutos.



Figura 76. Recolección manual de muestra de agua residual a la entrada de la PTAR (Cámara de desbaste).

- **Recolección mediante muestreador automático (Figura 77):** Se programaron intervalos de 15 para la recolección de la muestra. El equipo utilizado permitió mantener la muestra en condiciones de refrigeración durante todo el ciclo de su toma (8 horas).



Figura 77. Recolección de muestra de agua residual mediante muestreador automático a la salida del sedimentador = Entrada FAFA y salida de la PTAR (Estructura de descarga).

3.4.2.3. Control y vigilancia del muestreo, preservación y transporte: cadena de custodia

El proceso de control y vigilancia de muestreo, se realizó para asegurar la integridad de las muestras desde su recolección hasta el informe de resultados, así como para demostrar ante terceros su control y confiabilidad de las mismas. La cadena de custodia se refleja en los documentos en donde se registraron toda la información relevante para asegurar la integridad de la muestra desde la recolección hasta el reporte de resultados por parte del laboratorio (véase Anexo 4).

Los procedimientos que se llevaron a cabo como aseguramiento de la cadena de custodia fueron:

- **Precinto:** Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, se sellaron los recipientes con precintos autoadhesivos.
- **Libro de campo:** Para la toma de muestras, se llevó una ficha en la que se registró todos los datos necesarios para su identificación inequívoca y tener una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Dicha ficha se rellenó en el momento de la toma de muestras.
- **Volante de solicitud de análisis de agua residual:** Cada muestra llegó a laboratorio acompañada de una solicitud de análisis.
- **Transporte de las muestras de al laboratorio:** Para transportar las muestras, se usó una conservadora (cooler) con condiciones de oscuridad y 4 °C, en el que se procedió a colocar verticalmente los envases con las muestras verificando procurando que no se caigan o derramen.

3.4.2.4. Resultados de la caracterización del agua residual

En el Anexo 5A y 5B, se presentan los resultados de la caracterización del agua residual de la PTAR “Huaycopungo Sur”, realizadas por el Laboratorio de Ensayo de Microbiología y Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, Acreditado por el SAE²⁴ (Acreditación OAE N° LE 1C 04-002). Es importante mencionar que estos análisis se realizaron únicamente durante la época seca. Las Tablas 50, 51, 52 y 53 presentan los resultados promedios de los parámetros analizados en la PTAR.

²⁴ Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

Tabla 50. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR "Huaycopungo Sur".

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES			 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
REPORTE DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR				
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 "Huaycopungo Sur"			HOJA N° RPFQ – 1 / 4
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador			
Coordenadas:	10021288,69 N	810328,91 E		
Altitud:	2665 msnm	Clima:	Frio	
INFORMACIÓN DEL MUESTREO				
Lugar de aforo:	PTAR N° 3 Huaycopungo Sur	Hora:	08h00 – 16h00	
Tipo de vertido:	Agua Residual Doméstica	Tipo de muestra:	Compuesta	
Temporada:	Inicio Sequía	Mét. de recolección	Manual	
Estado del tiem:	17°, Parcialmente nublado	Punto de muestreo:	Entrada – Salida PTAR	
Fecha:	28/05/2018 y 01/06/2018	Operador(s):	Wilson Ulco / Darwin Taco	
RESULTADOS				
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR	
			Afluente	Efluente
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	1,2	1,8
Arsénico Total	As	mg/l	<0,0002	<0,0002
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1700000	1300,0
Color	Color aparente	Hazen	111,0	40,0
Conductividad Eléctrica	CE	µS/cm	560,0	580,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	<0,025	<0,025
Demando Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	67,0	82,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	139,0	141,0
Fósforo Total	P	mg/l	4,0	4,2
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,8	0,8
Nitratos	N-NO ₃	mg/l	2,5	2,2
Nitritos	N-NO ₂	mg/l	<0,010	<0,010
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l	6,00	10,30
Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	15,0	12,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	<1,0	<1,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	<0,02	<0,02
Plomo	Pb	mg/l	<0,09	<0,09
Potencial Hidrógeno	pH		7,10	7,30
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	291,0	286,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	103,0	32,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	463,0	409,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	53,0	37,0
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	<0,5	<0,5
Temperatura	T	°C	19,1	19,9
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,078	0,052
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA				
				
OBSERVACIONES:				

Tabla 51. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente del Sedimentador, PTAR “Huaycopungo Sur”.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES			 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
REPORTE DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR				
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”			HOJA N° RPFQ – 2 / 4
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador			
Coordenadas:	10021288,69 N	810328,91 E		
Altitud:	2665 msnm	Clima:	Frio	
INFORMACIÓN DEL MUESTREO				
Lugar de aforo:	PTAR N° 3 Huaycopungo Sur	Hora:	08h00 – 16h00	
Tipo de vertido:	Agua Residual Doméstica	Tipo de muestra:	Compuesta	
Temporada:	Inicio Sequía	Mét. de recolección	Muestreador automático	
Estado del tiem:	17, Parcialmente nublado	Punto de muestreo:	Entrada – Salida Sediment.	
Fecha:	28/05/2018 y 01/06/2018	Operador(s):	Wilson Ulco / Darwin Taco	
RESULTADOS				
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR	
			Afluente	Efluente
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1700000	1100000
Color	Color aparente	Hazen	111,0	187,0
Conductividad Eléctrica	CE	µS/cm	560,0	970,0
Demando Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	67,0	112,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	139,0	260,0
Fósforo Total	P	mg/l	4,0	10,3
Nitratos	N-NO ₃	mg/l	2,5	5,0
Nitritos	N-NO ₂	mg/l	<0,010	0,013
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l	6,00	21,20
Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	15,0	30,0
Potencial Hidrógeno	pH		7,10	6,91
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	291,0	511,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	103,0	180,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	463,0	831,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	53,0	63,0
Temperatura	T	°C	19,1	19,5
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,078	<0,014
EVIDENCIA FOTROGRÁFICA				
				
OBSERVACIONES: 				

Tabla 52. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente del FAFA, PTAR "Huaycopungo Sur".

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES			 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
REPORTE DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR				
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 "Huaycopungo Sur"			
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador		HOJA N°	
Coordenadas:	10021288,69 N	810328,91 E	RPFQ – 3 / 4	
Altitud:	2665 msnm	Clima:	Frio	
INFORMACIÓN DEL MUESTREO				
Lugar de aforo:	PTAR N° 3 Huaycopungo Sur	Hora:	08h00 – 16h00	
Tipo de vertido:	Agua Residual Doméstica	Tipo de muestra:	Compuesta	
Temporada:	Inicio Sequía	Mét. de recolección	Muestreador automático	
Estado del tiem:	17°, Parcialmente nublado	Punto de muestreo:	Entrada – Salida FAFA	
Fecha:	28/05/2018 y 01/06/2018	Operador(s):	Wilson Ulco / Darwin Taco	
RESULTADOS				
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR	
			Afluente	Efluente
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1100000	230000
Color	Color aparente	Hazen	187,0	147,0
Conductividad Eléctrica	CE	µS/cm	970,0	920,0
Demando Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	112,0	71,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	260,0	194,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,3	8,1
Nitratos	N-NO ₃	mg/l	5,0	5,1
Nitritos	N-NO ₂	mg/l	0,013	0,010
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l	21,20	20,90
Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	30,0	36,0
Potencial Hidrógeno	pH		6,91	6,92
Solidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	511,0	481,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	180,0	128,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	831,0	659,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	63,0	57,0
Temperatura	T	°C	19,5	19,2
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	<0,014	0,057
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA				
				
OBSERVACIONES: 				

Tabla 53. Resultados promedios de la caracterización del afluente y efluente de los estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua), PTAR “Huaycopungo Sur”.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIONES CIVILES			 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
REPORTE DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR				
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”			HOJA N° RPFQ – 4 / 4
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador			
Coordenadas:	10021288,69 N	810328,91 E		
Altitud:	2665 msnm	Clima:	Frio	
INFORMACIÓN DEL MUESTREO				
Lugar de aforo:	PTAR N° 3 Huaycopungo Sur	Hora:	08h00 – 16h00	
Tipo de vertido:	Agua Residual Doméstica	Tipo de muestra:	Compuesta	
Temporada:	Inicio Sequía	Mét. de recolección	Muestreador automático	
Estado del tiem:	17°, Parcialmente nublado	Punto de muestreo:	Entrada – Salida Estanques	
Fecha:	28/05/2018 y 01/06/2018	Operador(s):	Wilson Ulco / Darwin Taco	
RESULTADOS				
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR	
			Afluente	Efluente
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	230000	1300,0
Color	Color aparente	Hazen	147,0	40,0
Conductividad Eléctrica	CE	µS/cm	920,0	580,0
Demando Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	71,0	82,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	194,0	141,0
Fósforo Total	P	mg/l	8,1	4,2
Nitratos	N-NO ₃	mg/l	5,1	2,2
Nitritos	N-NO ₂	mg/l	0,010	<0,010
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l	20,90	10,30
Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	36,0	12,0
Potencial Hidrógeno	pH		6,92	7,30
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	481,0	286,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	128,0	32,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	659,0	409,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	57,0	37,0
Temperatura	T	°C	19,2	19,9
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,057	0,052
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA				
				
OBSERVACIONES: 				

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur” de la Parroquia San Rafael de la Laguna,
Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador**

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur”**

Capítulo 4

4. Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual “Huaycopungo Sur”

En el presente capítulo se aborda la evaluación del estado actual de la PTAR, con un enfoque en los indicadores de desempeño establecidos en el marco de este estudio; se presenta y discute los resultados obtenidos, así como también las propuestas para la mejora del desempeño de la PTAR.

4.1. Situación actual de la PTAR “Huaycopungo Sur”

La valoración del desempeño actual de la PTAR, se realiza teniendo en cuenta los dominios y aspectos relevantes de la evaluación, en particular en el campo del desempeño global y operativo de la PTAR (Figura 78), donde el componente de evaluación de desempeño global evalúa el desempeño de la estación en su conjunto, a través de indicadores de desempeño que se destina, por una lado, a apoyar la toma de decisiones a un nivel superior de gestión y, por otro, a producir información útil para la explotación de la instalación (LNEC, 2008).

A diferencia de la evaluación de desempeño global, el componente de evaluación de desempeño operacional analiza en detalle el desempeño de cada operación, proceso unitario o etapa de tratamiento de la estación y se estructura en los componentes calidad del agua residual tratada y eficiencia de remoción (LNEC, 2008).

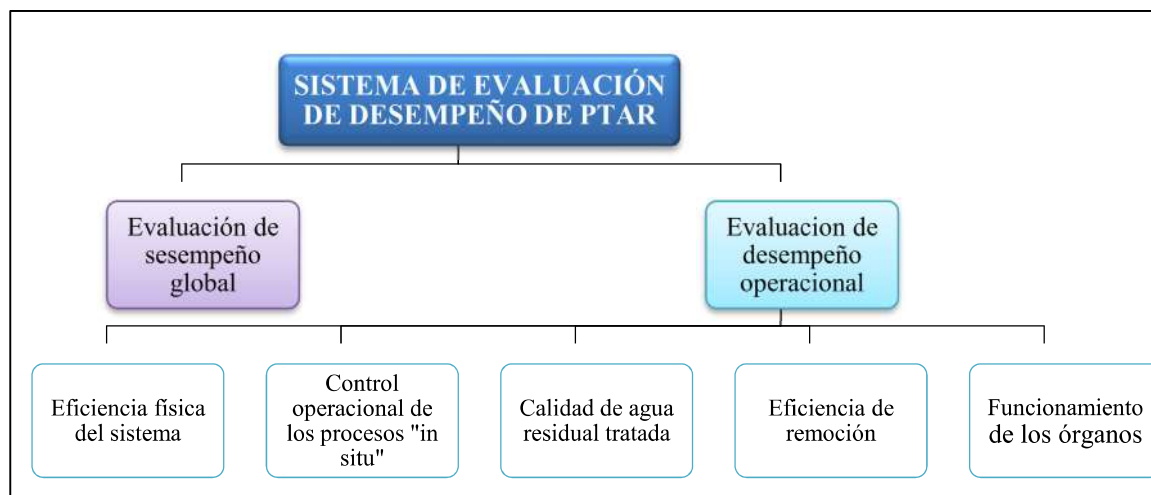


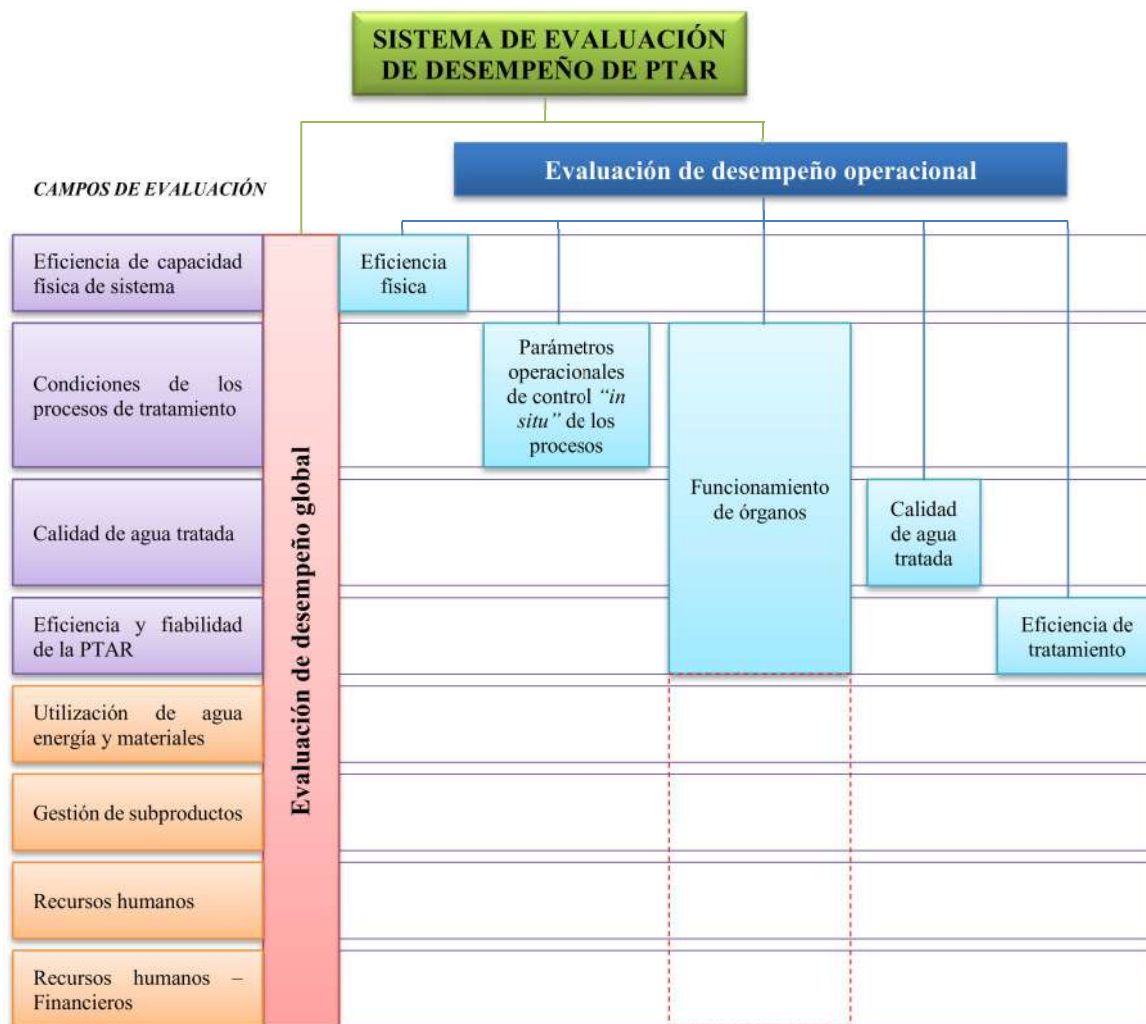
Figura 78. Sistema de evaluación de desempeño PTAR.
Fuente: Adaptado de Vieira (2009).

De acuerdo con Quadros (2008), el conjunto de indicadores utilizados debe garantizar la no superposición de aspectos a evaluar, restringirse a los aspectos relevantes de la estructura a evaluar, tener como referencia un período de tiempo bien definido (un año es el período recomendado) y permitir la aplicación a entidades gestoras con características y grados de desenvolvimiento distintos (*Alegre, 2007*). En este caso, en ausencia de información, se optó por hacer mediciones en 2 etapas de colecta de datos durante 7 días, la primera etapa en época de lluvias (abril) y la segunda etapa en época seca (junio); asumiendo que éstos serían representativos de los valores obtenidos en un año.

La situación asumida puede estar asociada a un mayor o menor error, dependiendo de la variación de valores a lo largo del año. Sin embargo, una evaluación más confiable del desempeño de la PTAR, sólo se podrá realizar cuando la entidad gestora ejecute un programa de monitorización rutinario que permita compilar datos de operación de al menos un año.

Los indicadores considerados relevantes para el presente estudio, fueron identificados de acuerdo a la información levantada en campo, ya que la entidad gestora contaba con muy poca información y esta no era actualizada. Este ámbito, la información levantada fue de población, caudales de ingreso a la PTAR, parámetros de control operacional de los procesos y caracterización de la calidad de agua residual. Con base a esto, se obtienen los datos necesarios para el cálculo los indicadores seleccionados.

La evaluación se realizó teniendo como base los indicadores propuestos en la Figura 79, identificándose particularmente indicadores relativos al campo de evaluación de *eficiencia física del sistema, parámetros operacionales de control “in situ” de los procesos, calidad del agua tratada y Eficiencia y fiabilidad de la PTAR*. En el presente estudio no se han contemplado indicadores en los campos de utilización de agua, energía y materiales, gestión de subproductos, recursos humanos, recursos económico-financieros y seguridad, por falta y disposición de información de la entidad gestora, por lo que se optó por un enfoque esencialmente operativo.



*Figura 79. Campos de evaluación de desempeño de PTAR.
Fuente: Adaptado de Vieira (2009).*

METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LOS INDICADORES DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

La metodología utilizada en la selección de los indicadores de desempeño, siguió la propuesta presentada en la Figura 80.

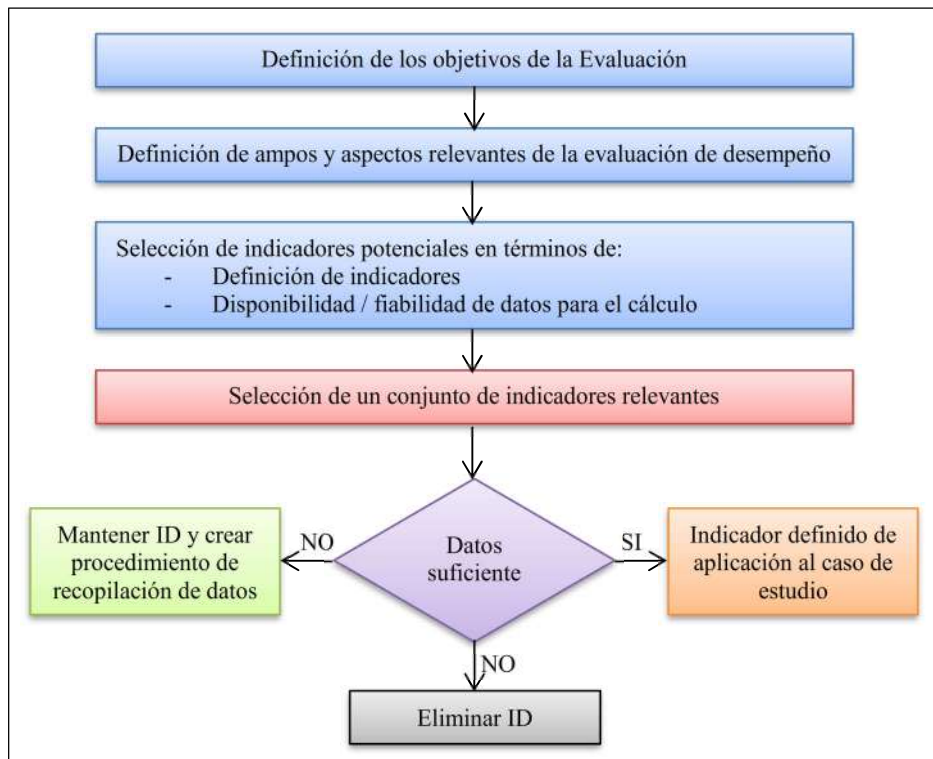


Figura 80. Metodología de desarrollo para el sistema de evaluación de desempeño de la PTAR.
Fuente: Adaptado de Vieira (2009).

En el marco de este estudio, se identificaron 4 cuatro indicadores de desempeño:

1. **Capacidad física del sistema:** Este indicador tiene por objeto "evaluar la eficiencia de física del sistema" en términos de oferta y demanda, en lo que se refiere a caudal de aguas servidas generadas por la población servidas en relación a su caudal horizonte de diseño.
2. **Control de los parámetros operacionales "in situ":** Este indicador tiene por objeto "evaluar los parámetros que influyen en los procesos unitarios del tratamiento de aguas residuales", teniendo en cuenta las condiciones adecuadas para cada proceso.
3. **Cumplimiento de los parámetros de descarga a un cuerpo de agua dulce:** Este indicador tiene por objeto "evaluar el nivel de sostenibilidad de la entidad gestora en términos de eficiencia en la prevención de la contaminación, en lo que se refiere al cumplimiento de los parámetros legales de descarga de aguas residuales".
4. **Eficiencia de remoción de contaminantes:** Se define por la relación entre la concentración contaminante en el afluente y la concentración contaminante en el efluente.

La Tabla 54 reúne los indicadores seleccionados de acuerdo con los campos y aspectos de evaluación de desempeño adoptados; y muestran las metas establecidas para cada uno de estos. Se asumieron como aspectos de la evaluación de desempeño: la *oferta y demanda de caudales de tratamiento* (en el campo de eficiencia de capacidad física de sistema); la *verificación de condiciones las adecuadas* (en el campo de condiciones de los procesos de tratamiento del agua residual), la *calidad de agua vertida al medio receptor* (en el campo de agua residual); y la *eficiencia de remoción de contaminantes* (en el campo de eficiencia y

fiabilidad). Por otra parte, para los indicadores seleccionados fue necesario identificar variables para su evaluación, en la Tabla 54 se puede apreciar estas variables.

Las metas definidas para los indicadores 1, 2 y 4 (véase Tabla 54), fueron establecidas de acuerdo a información de los diseños, manual de operación y mantenimiento de la PTAR “Huaycopungo”, así como también, en información basada en algunas referencias bibliográficas, teniendo en cuenta los aspectos de evaluación de desempeño para cada campo. Las metas definidas cumplimiento de los límites descarga a un cuerpo de agua dulce (indicador 3, Tabla 54) fueron establecidas teniendo como base las disposiciones del Acuerdo Ministerial 907 de calidad ambiental y de descarga de efluentes.

Así, en el enfoque de este proyecto, dependiendo del caso se pretende que el valor obtenido para el indicador sea menor, igual o superior a la meta, garantizando de esta forma optimización y cumplimiento de requisitos legales; o igual o inferior a la meta, garantizándose, por ejemplo, requerimientos necesarios para un buen desempeño de los procesos de tratamiento.

Tabla 54. Indicadores de desempeño de PTAR.

Campo de evaluación	Aspectos de la evaluación de desempeño	Indicador		Variable	Meta
		N°	Descripción		
<i>Eficiencia de capacidad física del sistema</i>	Oferta y demanda de caudales	1	Capacidad física del sistema	Caudal afluente PTAR (%)	≤90% E lluvia. ≤100% E. seca
<i>Condiciones de los procesos de tratamiento</i>	Verificación de condiciones adecuadas	2	Control de los parámetros “in situ”	Tratamiento Primario Temperatura TRH	≥ 10 °C* ≈1,5-6 horas*
				Tratamiento Secundario pH Temperatura DBO ₅ afluente DQO afluente DBO ₅ /N/P TRH	≈ 6,5 – 8,5* ≈ 12 – 18* ≥ 126 mg/l* ≥ 200 mg/l* ≈ 300/5/1* ≥ 8 horas
				Tratamiento Terciario Temperatura pH TRH	≥ 5 °C* ≈ 5,0 – 9,0* ≥ 1,5 días*
<i>Calidad de agua residual</i>	Calidad de agua vertida al medio receptor	3	Cumplimiento de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Parámetros físicoquímicos (%)	≥ 90 %~
<i>Eficiencia y fiabilidad de la PTAR</i>	Eficiencia de remoción de contaminantes	4	Eficiencia de remoción	Tratamiento Primario SST (%) DBO ₅ (%) CF (%) P (%) NKT (%)	≥ 50 %~ ≥ 30 %~ ≥ 50 %~ ≈ 10 – 20 %~ ≈ 10 – 20 %~
				Tratamiento Secundario SST (%) DBO ₅ (%) DQO (%) CF (%) P (%) NKT (%)	≥ 70 %~ ≥ 50 %~ ≥ 80 %~ ≥ 90 %~ ≈ 10 – 30 %~ ≈ 10 – 30 %~
				Tratamiento Terciario SST (%) DBO ₅ (%) DQO (%) CF (%) P (%) NKT (%)	≥ 50 %~ ≥ 70 %~ ≥ 70 %~ ≥ 99 %~ ≈ 20 – 50 %~ ≈ 30 – 50 %~
				Tren SST (%) DBO ₅ (%) DQO (%) CF (%) P (%) NKT (%)	≥ 85 %~ ≥ 90 %~ ≥ 90 %~ ≥ 99,9 %~ ≥ 90 %~ ≥ 90 %~

* Metas definidas para época seca y de lluvia

~ Meta definida para época seca

4.1.1. Eficiencia de capacidad física del sistema

Evaluar la eficiencia física, consiste en determinar que la capacidad actual del sistema es suficiente para receptor y tratar el agua residual generado por la población, según su diseño.

La eficiencia física ($E_{física}$), se refiere a que el sistema cuente con la capacidad suficiente para tratar las aguas servidas procedentes de su área de influencia y evitar excesos y desbordes en las unidades operativas que pueden ocasionar un mal funcionamiento y sobre todo grandes impactos ambientales y de salud. La eficiencia física del sistema, se calculará en porcentaje empleado la Ecuación 2.

$$E_{física}(\%) = \frac{Q_{generado}}{Q_{diseño}} \times 100$$

Ecuación 2. Eficiencia física.

El caudal generado ($Q_{generado}$) es la demanda actual de agua residual proveniente de las descargas domiciliarias al sistema de alcantarillado y conducida para su tratamiento. El Caudal de diseño ($Q_{diseño}$) es el proyectado para un buen funcionamiento del sistema en condiciones normales durante todo el período de su vida útil.

En la Tabla 55 se presentan el caudal medio que actualmente está ingresando a la PTAR durante la época seca y lluviosa, el caudal horizonte de diseño año 2026, así como su eficiencia de capacidad física calculada mediante la Ecuación 2.

La Tabla 55 y la Figura 81 indican que la PTAR está llegando a su capacidad límite, no cumpliéndose a sí, con el período de vida útil para el cual fue previsto su diseño (hasta el año 2006). Esto se muestra reflejado claramente, en que actualmente el caudal medio de aguas residuales domésticas procedentes de conexiones domiciliarias que ingresa a la PTAR en la temporada seca para su tratamiento es de 2,64 l/s, siendo próximo al caudal de diseño 2,72 l/s, alcanzándose con esto una eficiencia física de la PTAR en un 97% del 100% de su capacidad prevista para el final del período de diseño año 2026. Por otra parte, el caudal de entrada en temporada lluviosa es de 3,86 l/s siendo éste muy superior al caudal de diseño 2,72 l/s, por el cual se justifica, el desborde de caudal evidenciado durante las visitas, en algunas unidades que conforman del tren de tratamiento (Figura 82). La causa de esta problemática, se debe principalmente a la deficiencia actual que presenta la PTAR respecto al control y monitoreo en su etapa de operación y funcionamiento. Un mejor control de la PTAR permitiría impedir la entrada del caudal excedente en la estación, mejorando su funcionamiento (evitará el desborde en las unidades de tratamiento), pero no resolvería el problema existente ya que la PTAR no tiene capacidad para tratar el caudal que llega en época lluviosa. El exceso de caudal en época lluviosa está relacionado con el tipo de red de colecta de AR que posee el poblado (sistema de combinado).

Tabla 55. Eficiencia de capacidad física de la PTAR “Huaycopungo Sur”.

TEMPORADA	CAUDAL MEDIO AÑO 2018	CAUDAL DE DISEÑO AÑO 2026	EFICIENCIA
	Q_{generado} (l/s)	$Q_{\text{diseño}}$ (l/s)	$E_{\text{física}}$ (%)
Seca	2,64	2,72	97
Lluviosa	3,86		142

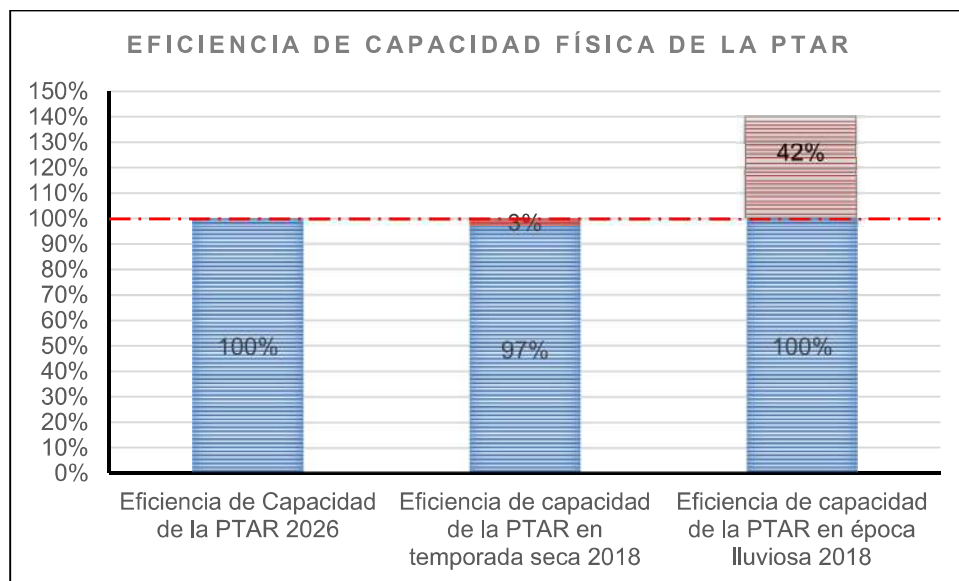


Figura 81. Eficiencia de capacidad física de la PTAR “Huaycopungo Sur”.



Figura 82. Desborde de caudal en estanques con macrófitas flotantes (imagen izquierda), distribuidor de caudal y sedimentador (imagen derecha), PTAR “Huaycopungo Sur”.

4.1.2. Parámetros operacionales de control “in situ”

La monitorización de parámetros “in situ” es especialmente importante porque la secuencia de tratamiento de la PTAR incluye procesos de tratamiento biológico cuyo control y optimización depende de esta evaluación.

El control eficaz de las condiciones adecuadas para el desarrollo de tratamiento biológico de las aguas residuales, se basa en el conocimiento de los principios básicos que gobiernan el crecimiento de los microorganismos. Por ello, es muy importante un control y monitoreo constante de las condiciones medioambientales que influyen en el crecimiento dichos de microorganismos que intervienen en un proceso de tratamiento. Los principales parámetros que se evaluaron y se tomaron en cuenta para determinar el desempeño del proceso operacional del sistema fueron:

▪ Temperatura

Este parámetro es de gran importancia, debido a que las bacterias necesitan rodearse de unas “condiciones de vida” que influirán en la segregación del complejo enzimático indispensable para su actividad asimiladora de la materia orgánica. La actividad microbiana se incrementa a medida que aumenta la temperatura del sistema, especialmente en el caso de las bacterias nitrificantes, que son las más sensibles a las posibles variaciones de este parámetro (Escaler, 1997).

La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. De acuerdo con la temperatura los ambientes anaeróbicos pueden dividirse en tres categorías: criófilicos o psicrófilicos, mesófilos y termófilos. Las bacterias que crecen en cada uno de estos intervalos de temperatura son organismos diferentes. Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. Una población bacteriana tiene que ser cultivada.

El rango más utilizado en FAFA es el mesófilico, en este rango, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye en un 50% por cada 10 °C de descenso por debajo de 35 °C. Cambios de temperatura en el intervalo mesófilico pueden ser normalmente tolerados, pero cuando la temperatura desciende la carga también debe ser disminuida de acuerdo con el descenso de la actividad esperada. No es aconsejable aumentar la temperatura de reactores mesófilicos por encima de 42 °C, ya que a temperaturas más altas ocurre un rápido deterioro de las bacterias (Zegers, 1987).

Los intervalos típicos de temperatura para las tres categorías de ambientes anaeróbicos señalados, pueden observarse en la Tabla 56.

Tabla 56. Intervalos típicos de temperatura para diversas bacterias para ambientes anaeróbicos.
Fuente: Adaptado de Caicedo (2006).

TIPO	TEMPERATURA (°C)	
	Intervalo	Óptima
Criófilas	0 a 20	12 a 18
Mesófilas	20 a 40	25 a 35
Termófilas	45 a 65	50 a 60

La Figura 83, muestra evolución temporal de la temperatura del agua residual durante todo su proceso de tratamiento. La gráfica de la temperatura, representa los valores promedios en los tres niveles de tratamiento de la PTAR (primario, secundario y terciario). La temperatura del sistema no varía significativamente en todo el proceso de tratamiento. Los valores

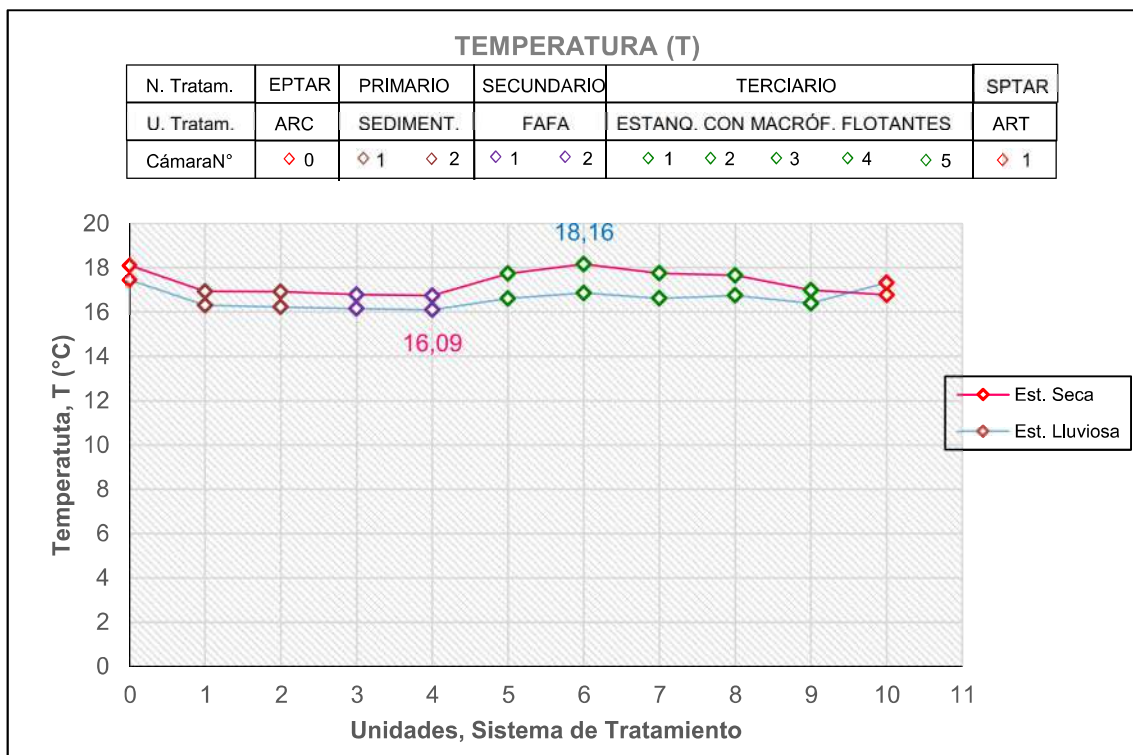
medios registrados variaron entre 16 y 19 °C para la temporada seca y 16 a 17 °C para la temporada de lluvia.

Los valores medios de temperatura al ingreso de la PTAR en el agua residual fueron alrededor de 18 °C para la estación seca y lluviosa. En el sedimentador, durante el período de monitoreo (7 días), se obtuvieron temperaturas medias del orden de 17 °C y 16 °C para la cámara 1 y 2 en las dos estaciones, lo cual indica que existe un comportamiento muy semejante en los dos casos. Los filtros anaerobios generalmente operan satisfactoriamente en el rango

Según con Young (1991), los filtros anaerobios generalmente operan satisfactoriamente (mejores tasas de reacción y proveen tratamientos más estables) en el rango mesofílico de temperaturas, es decir, entre 25 y 35 °C. Sin embargo, el tratamiento anaerobio puede aplicarse a temperaturas menores y son sostenibles y eficientes de entre 10 y 20 °C (rango psicofílico) en reactores de crecimiento suspendido y adherido (como es el caso), si se mantiene la temperatura lo más constante posible, es decir sin saltos bruscos de temperatura (>5 °C). Para el FAFA los valores de temperatura promedio registrados en los 7 días monitoreados, fue de 16 °C con variación entre 14 y 17 °C en época de lluvia; y, temperaturas promedio de 17 °C con variación entre 16 y 19 °C en época seca. Estos resultados indican que no existe saltos bruscos de temperatura; y, que estos a su vez pueden ser tolerados sin que influya en la eficiencia de remoción del proceso.

De acuerdo con Jaramillo y Flores (2012), el jacinto de agua puede tolerar temperaturas entre 16 y 30 °C. En los estanques con macrófitas flotantes, la temperatura media fue de 18 °C y 16 °C para la estación seca y húmeda, respectivamente. Por tanto, las temperaturas medias presentadas durante la operación de los estanques con macrófitas flotantes (Humedales artificiales), garantizan condiciones de hábitat para que la *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua), se desarrolle de manera favorable. En la gráfica de temperatura se puede observar una ligera variación con relación a los dos primeros niveles de tratamiento como consecuencia del calentamiento de la masa líquida de los estanques expuestos a la acción de la temperatura ambiental.

La temperatura del efluente experimentó la misma tendencia que la temperatura de los primeros niveles de tratamiento y sus valores fueron prácticamente similares (ver Figura 72).



ARC: Agua Residual Cruda ART: Agua Residual Tratada EPTAR: Entrada PTAR SPTAR: Salida PTAR

Figura 83. Evolución de la temperatura en el sistema de tratamiento "Huaycopungo Sur".

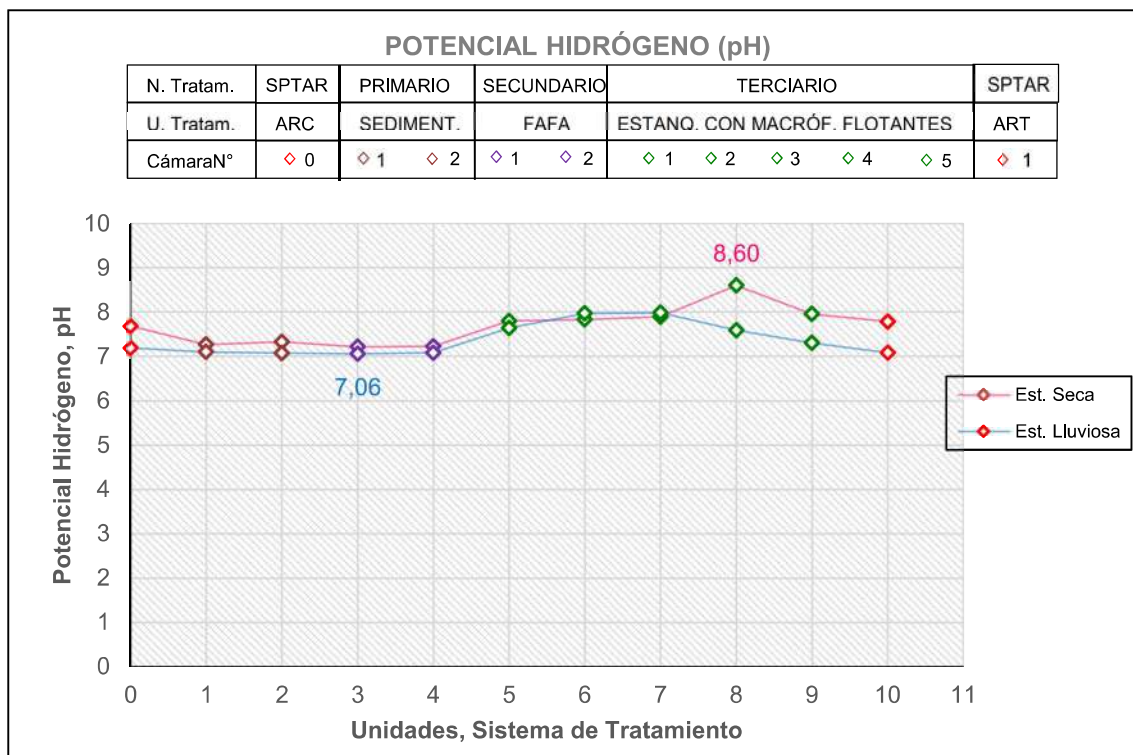
■ pH

En cuanto al pH, su efecto es igualmente importante, en el crecimiento de las bacterias anaerobias. La mayoría de estos no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9,5 o por debajo de 4. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento se encuentra entre 6,5 y 8,5.

La Figura 84, presenta las variaciones promedias de pH, medidos durante el periodo de monitoreo de la PTAR. En la zona de entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (EPTAR) el pH se mantuvo alrededor de 7,5. En la zona de sedimentación (tratamiento primario) y en la zona anaerobia (tratamiento secundario), el rango promedio de variación de pH fue de 6,5 a 7,5. El valor de pH adecuado para el proceso anaerobio, es un poco restrictivo y crítico, generalmente es de 6,5 a 8,5, este permite la existencia de vida de los microorganismos que participan en la digestión anaerobia, por tanto, el intervalo de pH presentado durante el monitoreo para condiciones de operación del filtro, se encuentra dentro de este rango.

En el tratamiento terciario, el pH alcanzo valores mínimos de 7,0 y máximos de 8,5. Estos valores máximos se debe a la actividad fotosintética de las macrófitas flotantes presentes en los estanques, que pueden incrementar el pH cuando requieren cantidades mayores de CO₂ que las disponibles por lo proceso de respiración y descomposición. Si embargo los rangos de pH presentados se encuentran dentro de lo valores recomendados para su desarrollo favorable que es de 6,5 a 8,0 (*Jaramillo y Flores, 2012*).

En la salida el pH se mantuvo alrededor de 7,5 siendo cercano a neutro.



ARC: Agua Residual Cruda ART: Agua Residual Tratada EPTAR: Entrada PTAR SPTAR: Salida PTAR

Figura 84. Evolución del pH en el sistema de tratamiento "Huaycopungo Sur".

▪ Conductividad eléctrica/salinidad

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua residual. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con los SDT. Las descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}), u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad. Los factores que influyen son: tipos de sales presentes, pH, temperatura, gases disueltos, etc.

La conductividad informa sobre la posibilidad de usar el agua residual tratada para riego, ya que muchas plantas son sensibles al contenido en sales disueltas, y la exposición del terreno a riegos prolongados con aguas muy conductoras puede dar lugar a su inutilización como terreno de cultivo (*Crites & Tchobanoglous, 2000*). También influyen en la biota acuática y cada organismo tolera una gama de valores de conductividad. La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados.

En el sistema, se presentaron valores medios de CE de 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época seca y 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época de lluvia. Nótese en la Figura 85, una evolución casi uniforme de la CE en el sistema de tratamiento, indicando que, para las condiciones actuales de operación de la PTAR, la remoción de sólidos disueltos y minerales es mínima, es decir, que la

concentración de sólidos disueltos y minerales del agua residual de entrada es aproximadamente similar a la concentración del agua tratada. Lógicamente estos valores de CE, se encuentran dentro del rango promedio adecuado (500 a 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para que se desarrolle de manera favorable el jacinto de agua, ya que valores superiores a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pueden causar fitotoxicidad como necrosis, clorosis en las macrófitas (*Manual de Operación y Mantenimiento PTAR, “huaycopungo Sur”*).

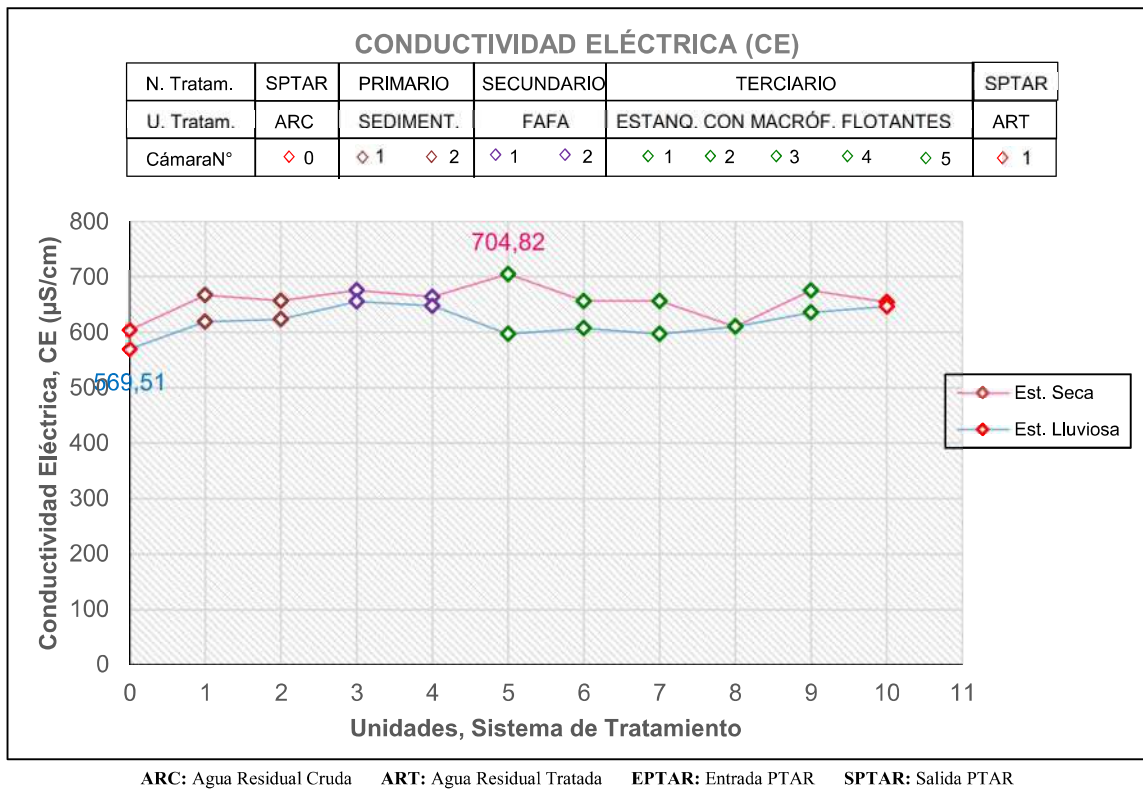


Figura 85. Evolución de la conductividad eléctrica en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.

■ Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración, etc. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos.

Los SDT están conformados por sólidos fijos y sólidos volátiles, comprenden coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0,001 a 1 μm . (*Crites & Tchobanoglous, 2000*).

Es posible cuantificar los sólidos disueltos midiendo la conductividad del agua: los sólidos disueltos se encuentran en forma de cationes y aniones, por lo que éstos como partículas con carga pueden conducir la corriente eléctrica, y así pueden ser cuantificados indirectamente, con cierta precisión, midiendo la conductividad del agua.

La Figura 86 muestra el monitoreo de la concentración de los sólidos disueltos en el tren de tratamiento, se observa un comportamiento con variaciones poco significativas y una evolución muy similar a la de CE en el sistema de tratamiento. El valor promedio obtenido a la entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (EPTAR) en

temporada seca fue de 300 mg/l y de 325 mg/l a la salida (SPTAR); para la temporada de lluvia la concentración de SDT en el afluente presentó valores medios de 290 mg/l y de 340 mg/l en el efluente. Esta situación ya se vio reflejado en el comportamiento de la CE, con concentraciones mínimas de remoción una vez que el agua es sometida a su proceso de tratamiento en la PTAR.

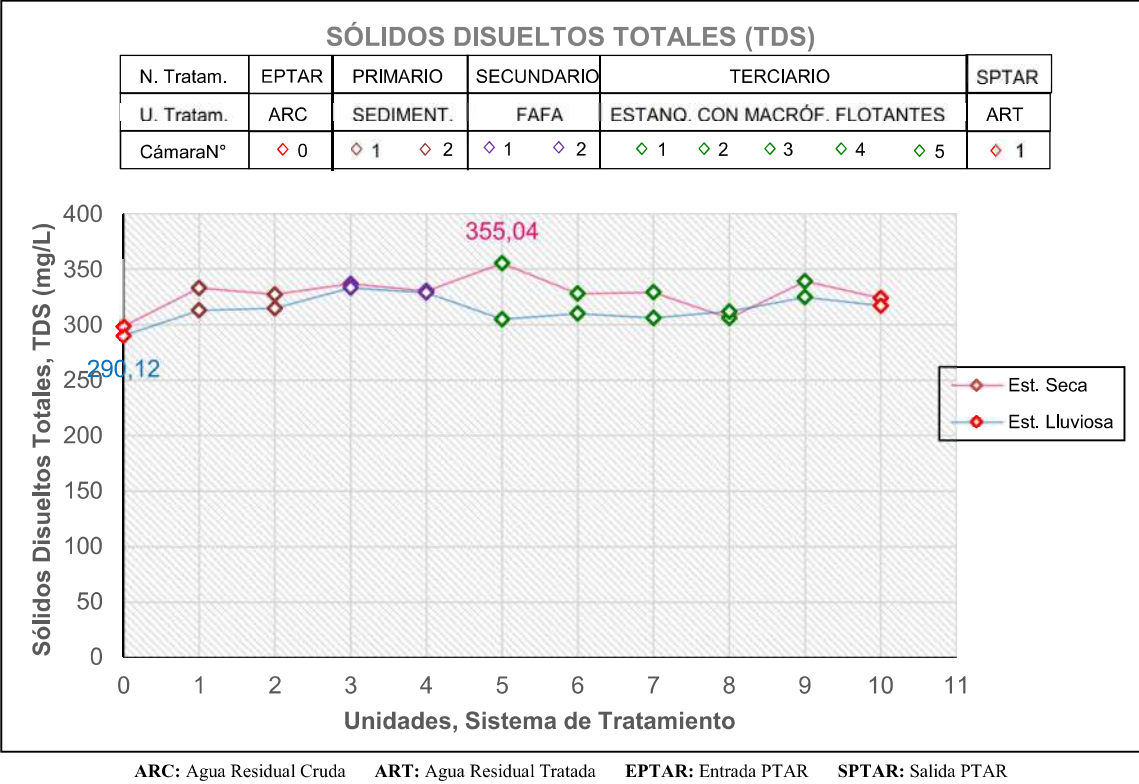


Figura 86. Evolución de los sólidos disueltos, en el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”.

4.1.3. Calidad de agua tratada

Se entiende por monitoreo a la medición y observaciones continuas y estandarizadas del agua residual, sirve para evaluar su funcionamiento y permite detectar posibles anomalías y verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua. Así, las principales herramientas para realizar un plan de monitoreo son el muestreo, análisis de las aguas, medición de caudales, y un registro donde se incluyan los resultados obtenidos (*Delgadillo, Camacho y Andrade, 2010*).

Las características del afluente, es una de las condiciones básicas para la selección del proceso y los requerimientos para su operación en una PTAR, se deberá considerar la disponibilidad de nutrientes en los procesos biológicos, así como los compuestos presentes, estos pueden ser inhibidores y bajo qué situaciones afectan al proceso.

En la Tabla 57, se indican los principales parámetros utilizados en la caracterización del agua residual asociados con el contaminante que miden y los efectos o impactos derivados de un deficiente tratamiento o una descarga directa o a un cuerpo receptor o a la salud humana.

Tabla 57. Principales grupos de los contaminantes del agua y sus efectos.

Fuente: Noyola, Morgan y Guereca (2013).

ÁNALISIS	CONTAMINANTE CONSIDERADO	EFEECTO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Materia orgánica biodegradable	Desfallecimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Desarrollo de microorganismos
Demanda Química de Oxígeno (DQO) o Carbón Orgánico Total (COT)	Materia orgánica total	Mismos que DBO. Acopio en cuerpo receptor. Peligros de Toxicidad.
Sólidos Suspendidos Totales (SST) Volátiles (SSV) y Fijos (SSF)	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal)	Precipitación y azolvamientos en cuerpos receptores. Asimilación y liberación de materia orgánica e inorgánica.
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK) Nitratos y Nitritos (NO_3 ; NO_2), Fósforo Total (Pt), Ortofosfatos (PO_4^{3-})	Nitrógeno y fósforo	Alimentos que provocan eutrofización en cuerpos de agua. Profanación de acuíferos.
Grasas y Aceites	Grasas y Aceites	Acopio en drenajes y cuerpos de agua. Reduce la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Navegación de lodos. Contaminación visual.
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sales inorgánicas	Limitan el uso de agua tratada.
Coliformes fecales y huevos de helmintos	Patógenos y Parásitos	Traspaso de enfermedades gastrointestinales.

Por lo expuesto, la determinación del estado actual de la PTAR “Huaycopungo Sur” implica el monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con los parámetros definidos en la normativa ambiental vigente. La verificación de este cumplimiento, se realiza mediante la comparación de los últimos resultados obtenidos de la caracterización del agua residual, con la normativa actual vigente “Acuerdo Ministerial 097 que expide Anexos del TULSMA²⁵, Anexo 1, “Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso Agua”. En este sentido, la Tabla 58 indica los resultados de la verificación del cumplimiento de la emisión de descarga de la PTAR “Huaycopungo Sur”, con la normativa ambiental vigente.

²⁵ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Tabla 58. Resultados de la verificación del cumplimiento de la emisión de descarga de la PTAR “Huaycopungo Sur” con la normativa ambiental vigente.

N°	PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	ENTRADA PTAR			DESCARGA PTAR		
				RESULTADO CARACTER. AFLUENTE	LÍM. MÁX. PERMISIBLE DE NORMA (Descarga al sistema de alcantar. Público)	CUMPLIMIENTO	RESULTADO CARACTER. EFLUENTE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE NORMA (descarga a un cuerpo de agua dulce)	CUMPLIMIENTO
FÍSICOS									
1	Color	Color aparente	Hazen	111	No Aplica	---	40	Inapreciable en dilución: 1/20	---
2	Conductividad Eléctrica	CE	µS/cm	560	No Aplica	---	580	No Aplica	---
3	Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	291	No Aplica	---	286	No Aplica	---
4	Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	103	220,00	CUMPLE	32	130,00	CUMPLE
5	Sólidos Totales	ST	mg/l	463	1600,00	CUMPLE	409	1600,00	CUMPLE
6	Temperatura	T	°C	19,1	< 40,00	CUMPLE	19,9	Condición natural ± 3,00	CUMPLE
QUÍMICOS									
- Orgánicos									
7	Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	1,2	70,00	CUMPLE	1,8	30,00	CUMPLE
8	Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	< 1,0	0,05	NO CUMPLE	< 1,0	0,05	NO CUMPLE
9	Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	< 1,0	0,10	NO CUMPLE	< 1,00	0,10	NO CUMPLE
10	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	67	250,00	CUMPLE	82	100,00	CUMPLE
11	Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	139	500,00	CUMPLE	141	200,00	CUMPLE
12	Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,078	2,00	CUMPLE	0,052	0,50	CUMPLE

Tabla 58 (Continuación). Resultados de la verificación del cumplimiento de la emisión de descarga de la PTAR “Huaycopungo Sur” con la normativa ambiental vigente.

N°	PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	ENTRADA PTAR			DESCARGA PTAR		
				RESULTADO CARACTER. AFLUENTE	LÍM. MÁX. PERMISIBLE (DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTAR. PÚBLICO	CUMPLIMIENTO	RESULTADO CARACTER. EFLUENTE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE NORMA (DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE	CUMPLIMIENTO
- Inorgánicos									
13	Arsénico Total	As	mg/l	< 0,0002	0,10	CUMPLE	< 0,0002	0,10	CUMPLE
14	Fósforo Total	P	mg/l	4	15,00	CUMPLE	4,2	10,00	CUMPLE
15	Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,8	20,00	CUMPLE	0,8	20,00	CUMPLE
16	Nitratos	N-NO ₃	mg/L	2,5	No Aplica	---	2,2	No Aplica	---
17	Nitritos	N-NO ₂	mg/L	< 0,010	No Aplica	---	< 0,010	No Aplica	---
18	Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/l	6	No Aplica	---	10,3	30,00	CUMPLE
19	Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	15	60,00	CUMPLE	12	50,00	CUMPLE
20	Potencial de Hidrógeno	pH		7,1	6,00-9,00	CUMPLE	7,3	6-9	CUMPLE
21	Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	53	400,00	CUMPLE	37	1000,00	CUMPLE
22	Sulfuros	S ²⁻	mg/l	< 0,5	1,000	CUMPLE	< 0,5	0,50	CUMPLE
* Metales Pesados									
23	Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	< 0,025	0,5	CUMPLE	< 0,025	0,50	CUMPLE
24	Plomo	Pb	mg/l	< 0,09	0,5	CUMPLE	< 0,09	0,20	CUMPLE
	MICROBIOLÓGICOS								
25	Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1700000	No Aplica	---	1300	2000,00	CUMPLE

En la Tabla 58, se observa que los compuestos organoclorados y organofosforados totales, presentan un valor superior al límite permisible de descarga al sistema de alcantarillado público, esto se atribuye principalmente a las actividades agrícolas y ganaderas (uso de herbicidas, fungicidas e insecticidas) que se practican en la zona. Su capacidad de degradación es lenta y persistente, esto se refleja en su remoción mínima en el sistema de tratamiento de la PTAR derivándose a un incumplimiento en sus límites para su descarga a un cuerpo de agua dulce.

Por otra parte, los resultados de la caracterización del afluente y el efluente de la PTAR (Tabla 58) evidencia que de los parámetros analizados: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Temperatura (T), Aceites y Grasas (A y G), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tensoactivos, Arsénico Total (As), Fósforo Total (P), Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Nitrógeno de Amonio (N-NH₃), Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT), Potencial de Hidrógeno (pH), Sulfatos (SO₄²⁻), Sulfuros (S²⁻), Cromo Hexavalente (Cr⁶⁺), Plomo (Pb) y Coliformes Fecales, cumplen con los límite de descarga, tanto en la red como, después, para su descarga al medio hídrico.

Para una valoración global del indicador de desempeño *cumplimiento de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*, determinaremos su porcentaje total equivalente, relacionando el número total de parámetros caracterizados que cumplen con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, respecto al número de parámetros analizados y contemplados en la normativa aplicable (Ecuación 3).

$$E_{CPD}(\%) = \frac{PCLMD}{PACNA} \times 100$$

Ecuación 3. Eficiencia de cumplimiento de los parámetros de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Siendo:

E_{CPD} : Eficiencia de cumplimiento de los parámetros de descarga, en %.

$PCLMD$: Parámetros que cumplen con los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce (n°).

$PACNA$: Parámetros analizados y contemplados en la normativa aplicable (n°).

Aplicando la Ecuación 3, se tiene que el valor obtenido para el indicador es igual a 90%, siendo igual a la meta definida para este indicador (90%), garantizando la sostenibilidad de la entidad gestora en términos de eficiencia en la prevención de la contaminación, en lo que se refiere al cumplimiento de los parámetros legales de descarga de aguas residuales (Acuerdo Ministerial 097).

En este ámbito, en la Figura 87 se observa que los parámetros físicos mayormente removidos en el proceso de depuración del agua residual de la PTAR, son el color de 111 a 40 unidades de color Hazzen y los sólidos suspendidos de 103 a 32 mg/l.

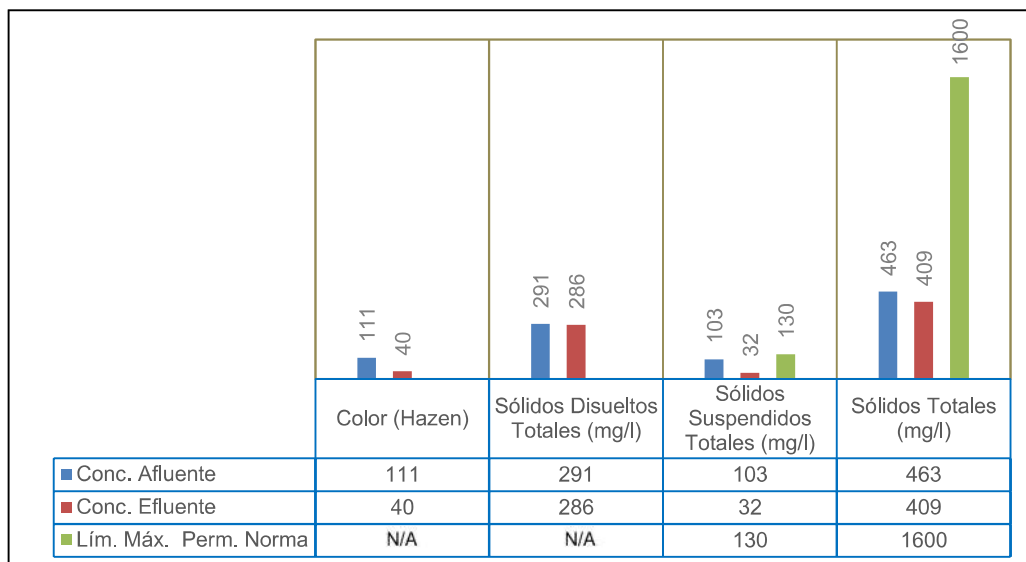


Figura 87. Variaciones de los parámetros físicos del agua residual, antes y después del tratamiento.

Las concentraciones de aceites y grasas, DBO₅ y DQO del afluente presentan un incremento poco significativo en relación a las concentraciones del efluente, sin embargo, están por debajo de los límites máximos permisibles por la norma. En lo que respecta a los compuestos o pesticidas organoclorados y órganos fosforados superan los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce. Por otra parte, la disminución de la concentración efluente de los tensoactivos es poco significativa con respecto a su concentración efluente. Lo expuesto se puede evidenciar en la Figura 88.

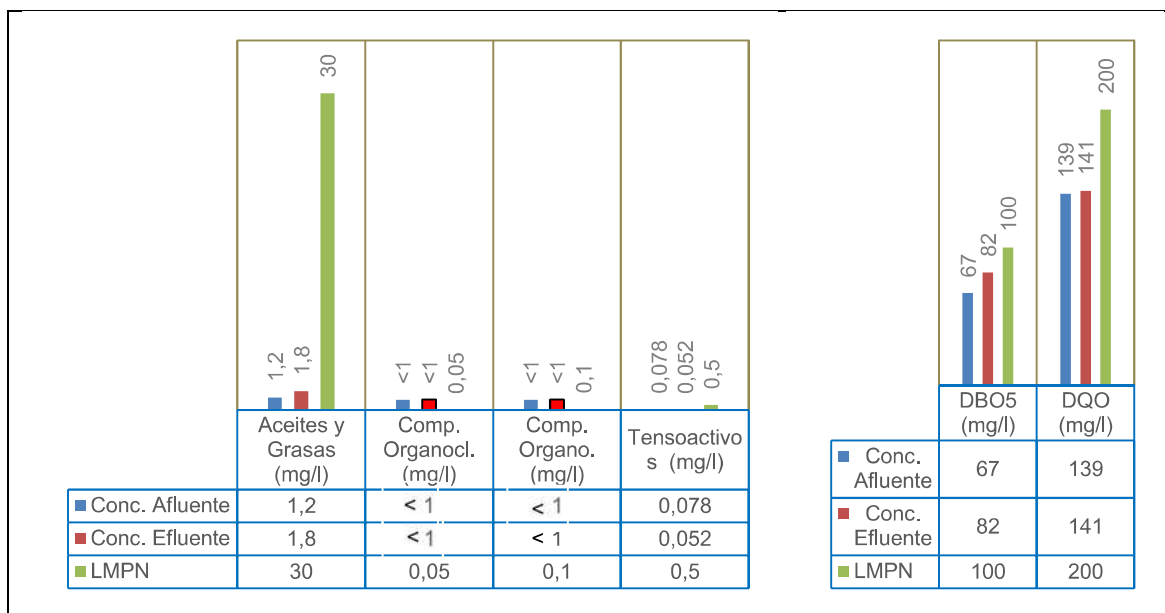
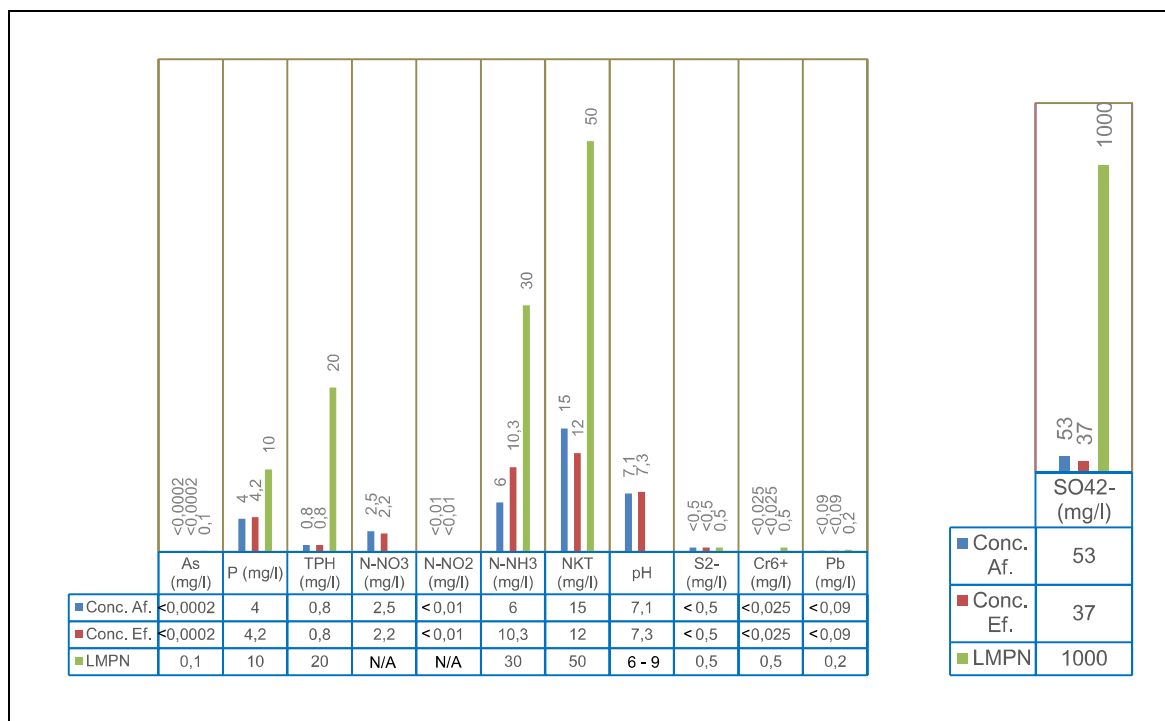


Figura 88. Variaciones de los parámetros químicos orgánicos del agua residual, antes y después del tratamiento.

En la Figura 89, se muestran las variaciones de las concentraciones de los químicos inorgánicos presentes en el agua residual antes y después de ser sometida a su tratamiento. En ella se puede evidenciar que el agua residual a tratar proveniente de las actividades locales de la zona contiene concentraciones muy bajas de Arsénico As (<0,0002 mg/l), Nitritos N-NO₂ (<0,010 mg/l), cromo hexavalente Cr⁶⁺ (<0,025 mg/l) y plomo Pb (<0,09 mg/l).



N/A = No aplica.

Figura 89. Variaciones de los parámetros químicos inorgánicos del agua residual, antes y después del tratamiento.

El NMP/100 ml de coliformes fecales disminuyó notablemente de $1,7 \times 10^6$ en el afluente a $1,3 \times 10^3$ en el efluente (99,2%). La Figura 90, presenta los valores de coliformes fecales, donde se evidencia la reducción de las concentraciones de los organismos coliformes, probablemente debido a la eficiencia depuradora de las plantas macrófitas flotantes (Jacintos de agua). Esto es corroborado por la investigación de Coronel (2016) donde indica que la remoción de microorganismos patógenos fue muy eficiente por parte de *Eichhornia crassipes*, ya que en su investigación obtuvo remociones coliformes fecales en un 99,99% y 95,62%. Sin embargo, esta afirmación también es corroborada por León y Lucero (2009) donde presentaron remociones de 99% de coliformes fecales con *Eichhornia crassipes* (Jacintos de agua).

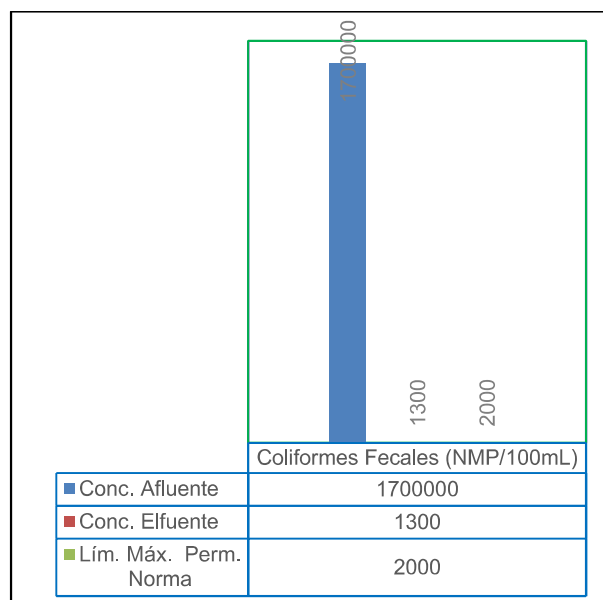


Figura 90. Variación de coliformes fecales del agua residual, antes y después del tratamiento.

▪ Índice de biodegradabilidad del agua (Relación DBO₅/DQO)

La posibilidad de establecer relaciones constantes entre los diferentes parámetros de medida de contenido de materia orgánica depende principalmente del tipo de agua residual y de su origen.

De todos ellos, el más complicado de interrelacionar resulta ser la DBO₅, debido a los diferentes problemas e inconvenientes que resulta de su análisis. No obstante, para aguas domésticas brutas típicas, el coeficiente DBO₅/DQO se halla en el intervalo 0,4 – 0,8.

En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que oxidan por vía biológica. La relación DBO₅/DQO puede resultar de gran utilidad, dado a que se puede tener una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad de un agua residual. De este índice se tiene una referencia acerca de la biodegradabilidad de un efluente determinado (*Hernández, 1992*). Una vez determinada la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento (*Metcalf y Eddy, 1996*).

Los valores de la relación de DBO₅/DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscilan entre 0,3 – 0,8. Si la relación DBO₅/DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0,4, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO₅/DQO es menor de 0,3; el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización (*Tchobanoglous, 2004*).

Con respecto a esto se concluye, que el agua residual procedente de las actividades locales de la zona, es biodegradable y que puede ser fácilmente tratable mediante procesos biológicos, ya que la relación DBO₅/DQO es de 0,48. Por otro lado, este indicador afirma que el proceso biológico seleccionado para el tratamiento del agua residual generado en esta localidad, es viable.

4.1.4. Eficiencia del tren de tratamiento

El rendimiento de una planta de tratamiento es la medida del éxito del diseño, tanto si se analiza por la cantidad del efluente como por porcentajes de eliminación de los contaminantes más importantes.

Por lo general, para realizar el análisis de cualquier proceso involucrado en un sistema de tratamiento de aguas residuales, es conveniente determinar la eficiencia del sistema.

La determinación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales rurales o urbanas tienen una relativa complejidad, debido a las oscilaciones que se producen en los

flujos de las aguas residuales de ingreso y salida, como también el tiempo de retención del líquido en las instalaciones de la planta. El grado de eficiencia de una planta de tratamiento de agua residual, se define como la reducción porcentual de los indicadores de contaminación apropiados para tal proceso. Para la determinación de tal reducción, se establece a la vez un indicador específico, para el cual se determina una relación entre la carga que ingresa a la planta y la correspondiente carga en el flujo de salida de la planta. En este contexto, debe considerarse también la importancia de las particularidades de la planta y las diferencias en las condiciones específicas del agua, desde el punto de vista técnico (Mayorga, 2012).

La evaluación de una planta de tratamiento puede efectuarse en base a los objetivos por los cuales fue diseñada en principio ya sea para eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, materias orgánicas o inorgánicas, nutrientes, entre otros, y que éstos sean correctamente dispuestos.

Por tanto, este análisis, se realizará evaluando el seguimiento de las eficiencias de los principales constituyentes del agua residual en cada unidad operativa de la PTAR. La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por la Ecuación 4.

$$E (\%) = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100$$

Ecuación 4. Eficiencia de remoción de contaminantes.

Donde:

E : Eficiencia de remoción del proceso, en %.

S_0 : Concentración del sustrato en el afluente (Carga contaminante de entrada).

S : Concentración del sustrato en el efluente (Carga contaminante de salida).

Las eficiencias serán estimadas en función de los resultados del monitoreo realizado en estación seca, durante condiciones normales de operación de la PTAR y comparadas con las eficiencias esperadas según la concepción de diseño o con las eficiencias teóricas basadas en datos bibliográficos para cada uno de los órganos que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO QUE CONFORMAN LA PLANTA

▪ Sedimentador

Los principales parámetros a ser valorados y que se tendrán en cuenta para medir la eficiencia de remoción de carga contaminante en el proceso de tratamiento primario, se muestra en la Tabla 59.

Tabla 59. Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes del sedimentador.

PARÁMETRO	EFICIENCIA (%)	REFERENCIA
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	50	<i>Diseño*</i>
	40 – 60	Romero Rojas, 2010**
	50 – 56	Metcalf & Eddy, 1995**
DBO ₅	30	<i>Diseño*</i>
	20 – 40	Romero Rojas, 2010**
	30 - 40	Metcalf & Eddy, 1995**
Coliformes Fecales (CF)	50	<i>Diseño*</i>
Fósforo Total (P)	Hasta un 15	Romero Rojas, 2010**
	10 – 20	Metcalf & Eddy, 1995**
Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT)	10 - 30	Campus Learning & Research Group Tar/EIA, 2011**
	10 - 20	Metcalf & Eddy, 1995**
* Eficiencia de remoción de la unidad de tratamiento, esperada según su diseño.		
** Eficiencia de remoción de la unidad, basadas en datos bibliográficos.		

En la Tabla 60, se presenta la concentración de contaminantes de entrada y salida del sedimentador; y sus eficiencias de remoción calculadas con la Ecuación 2.

Tabla 60. Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO₅, CF, P y NKT del sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA A SEDIMENTADOR	SALIDA DE SEDIMENTADOR	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	103	180	-75
DBO ₅	mg/l	67	112	-67
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml	1,7x10 ⁶	1,1x10 ⁶	35
Fósforo Total (P)	mg/l	4	10,3	-158
Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT)	mg/l	15	30	-100

En los resultados de la Tabla 60, se puede apreciar un gran aumento de los SST (75%), de la materia orgánica DBO₅ (67%), de nutrientes: P (158%) y NKT (100 %), contrariamente a lo esperado en su diseño. La acumulación significativa de sólidos en el sedimentador se debe principalmente a la falta de mantenimiento de las unidades. Estos sólidos van a degradarse en condiciones esencialmente anóxicas y anaerobias, reduciendo significativamente la

calidad del efluente que sale del sedimentador, además de producir un aumento en el arrastre de sólidos, lo que justifica el aumento de SST. Por otra parte, se observa una reducción esperada de CF (35%), misma que puede relacionarse con procesos propios de la sedimentación, debido al tamaño y peso específico comparado con el líquido que hacen que las partículas sedimenten más fácilmente. Sin embargo, las concentraciones efluentes de materia orgánica, SST, nutrientes y CF continúan siendo bajas, según los criterios de clasificación de ARD, presentadas por Metcalf & Eddy, 2003 (Tabla 2, Capítulo 1).

Es una acumulación significativa de sólidos en el sedimentador (que no tiene el debido mantenimiento). Estos sólidos se degradarán en condiciones esencialmente anóxicas y anaerobias, reduciendo significativamente la calidad del efluente que sale del sedimentador.

En la Tabla 61, se identifica los principales factores que influyen en la disminución del rendimiento operativo, reflejado en su eficiencia.

Tabla 61. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa sedimentadora del tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

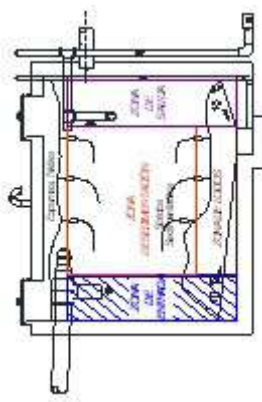
IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL SEDIMENTADOR					
Proyecto: <i>Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”</i>		Coordenadas: <i>10021288,69 N</i>		<i>8103228,91 E</i>	
Ubicación: <i>Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador</i>		Altitud: <i>2665 msnm</i>			
La sedimentación es un proceso utilizado en el tratamiento del agua residual para separar sólidos en suspensión. La separación de los sólidos por sedimentación ocurre debido a un fenómeno netamente físico que consiste en la separación de los sólidos por gravedad, basándose en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran (<i>Sastre, 2005</i>). Las unidades de sedimentación primaria contribuyen de manera importante al tratamiento de agua residual. Su objetivo principal es la eliminación de: 1.- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras; 2.- Aceite libre, grasa y otras materias flotantes, y 3.- Parte de la carga orgánica presente en el agua residual. Cuando las unidades se emplean como paso previo de tratamiento biológicos, el cual es el caso del proyecto, su función es la reducción de la carga afluente al FAFA.					
FACTOR		CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Calidad de agua	Concentraciones de los constituyentes del agua residual	Concentraciones muy altas de partículas en suspensión modifican y alteran el proceso de sedimentación de las partículas.	Mínima sedimentación de la materia suspendida contenida en el AR.	No identificado	Concentraciones afluentes (época seca): <i>Monit. Conc. Metcalf WEF,1992 y Eddy, 2003</i> SST (mg/L): 103 Baja 120-230 350 DBO ₅ (mg/L): 67 Baja 110-200 - CF(NMP/100mL): 1,7x10 ⁶ Media 10 ⁶ -10 ⁸ - P Total (mg/L): 4 Baja 5-10 - NKT (mg/L): 15 Baja 20-40 -
Ambientales	Temperatura	En zonas de climas fríos, las bajas temperaturas provocan un incremento de la viscosidad y densidad del agua lo cual hace que se retrase la sedimentación de partículas, requiriéndose mayores tiempos de retención hidráulico para sedimentar (<i>Wilson, 2005</i>).	Reduce la eficiencia del proceso de separación de sólidos (aumento significativo en la velocidad de sedimentación de las partículas) cuando las temperaturas bajan de los 10° C.	No identificado	En este caso, las temperaturas de Huaycopungo oscilan entre 12 °C y 18 °C (<i>PDOT de la Parroquia San Rafael 2015 - 2019</i>).
Hidráulicos	Zona de entrada	Distribución uniforme del flujo de agua hacia la zona de sedimentación. En una unidad de sedimentación convencional de flujo horizontal, esta distribución uniforme debe darse a todo lo ancho de la unidad y en profundidad.	Velocidad excesiva del flujo en la entrada del sediementador. Al no haber disipación adecuada de esta energía, las masas de agua entran con diferente gradiente de velocidad, creando turbulencias que pueden extenderse dentro de la zona de sedimentación (<i>Wilson, 2005</i>).	<i>Identificado</i>	De acuerdo a los planos de diseño, en la zona no existe una estructura que permita una distribución uniforme del flujo de agua hacia la zona de sedimentación. 

Tabla 61 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa sedimentadora del tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL SEDIMENTADOR				
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N		810328,91 E
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm		
FACTOR	CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Hidráulicos	Zona de salida	Recolección no uniforme del efluente.	<i>Identificado</i>	De acuerdo a los planos de diseño, en la zona de salida del sedimentador, no existe una estructura que permita una recolección uniforme del agua. 
	Tiempo de retención	Tiempo de retención menores.		Se determina el tiempo de retención <i>TRH</i> (horas), mediante la relación: $TRH = \frac{A_s \times H}{3600 \times Q}$ Siendo: <i>A_s</i> : Área superficial de la unidad (<i>m</i> ²). <i>H</i> : Altura del fondo al espejo de aguas (<i>m</i>). <i>Q</i> : Caudal que ingresa a la unidad (<i>m</i> ³ / <i>s</i>). Tiempo Retención Monit. Diseño. Recom. Observ. (Horas) TRH.E. Secar: 2,3 1,3 1,5 – 6 Verif. TRH.E. Lluvios: 1,5 1,3 1,5 – 6 Verif.

Tabla 61 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa sedimentadora del tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL SEDIMENTADOR				
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N		810328,91 E
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm		
FACTOR	CAUSA	EFFECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Mantenimiento				- Aumento de DBO, DQO, SST en el efluente. - Alto nivel de lodos (superior a la mitad de la profundidad). - Falta de frecuencia en extracción de lodos. - Proliferación de insectos (moscas y mosquitos) por falta de remoción de natas. - Malos olores. - Presencia de efluente turbio.
	Abultamiento de lodos.	Lodos o fangos livianos y esponjosos.	Carga orgánica inapropiada (muy altas o muy baja).	 Cámara 1  Cámara 2 <i>Identificado</i>

▪ **Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)**

Las cargas utilizadas para evaluar el FAFA son los obtenidos en el monitoreo físico-químico y microbiológico en términos de sólidos suspendidos totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (P), Nitrógeno total kjedahl (NKT) y coliformes fecales (CF), realizado al afluente y efluente de la unidad de tratamiento, con el fin de determinar su eficiencia. Los parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción del FAFA, se indican en la Tabla 62.

Tabla 62. *Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción del FAFA.*

PARÁMETRO	EFICIENCIA (%)	REFERENCIA
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	70	<i>Diseño*</i>
DBO ₅	50	<i>Diseño*</i>
	61 – 90	Romero Rojas, 2010**
DQO	80	Romero Rojas, 2010**
Coliformes Fecales (CF)	90	<i>Diseño*</i>
Fósforo Total (P)	10 – 30	Campus Learning & Research Group Tar/EIA, 2011**
Nitrógeno Kjedahl Total (NKT)	10 – 30	Campus Learning & Research Group Tar/EIA, 2011**
* Eficiencia de remoción de la unidad de tratamiento, esperada según su diseño.		
** Eficiencia de remoción de la unidad, basada en datos bibliográficos.		

Los resultados del análisis de los parámetros SST, DBO₅, CF, P y NKT, realizados en el laboratorio acreditado de microbiología y química ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, y las eficiencias de remoción de contaminantes del proceso anaerobio, están presentados en la Tabla 63. El cálculo del porcentaje de remoción se estimó de acuerdo con la Ecuación 2.

Tabla 63. *Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO₅, CF, P y NKT del FAFA.*

PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA A FAFA	SALIDA DE FAFA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	180	128	29
DBO ₅	mg/l	112	71	37
DQO		260	194	25
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml	1,1x10 ⁶	2,3x10 ⁵	79
Fósforo Total (P)	mg/l	10,3	8,1	21
Nitrógeno Kjedahl (NKT)	mg/l	21,2	20,9	1

Los resultados de la Tabla 63, indican que durante la operación del FAFA removió tan sólo 29% de SST (< a la esperada 50%); 37% de DBO₅ (<70%) y 25% de DQO (<80%). Los CF se redujo un 79%, siendo la remoción menor a la esperada en su diseño (90%), esto puede

atribuirse el operar con tiempos de retención (TRH) bajos (4,6 horas cada unidad), con lo cual la remoción de coliformes fecales no es la esperada. Con respecto a los nutrientes, se presentaron una remoción de P cerca al 21% y de NKT fue de tan sólo 1%, que a su vez son menores a las eficiencias basadas en datos bibliográficos que oscilan entre 10 – 30 % para ambos casos.

La degradación anaerobia, al igual que cualquier proceso, es susceptible a varios factores que pueden alterar la estabilidad y eficiencia de remoción de carga contaminante del mismo. Entre estos factores más importantes podemos encontrar (Young, 1991):

- Temperatura, Ph y de nutrientes.
- Carga orgánica del sustrato afluente: DBO₅ y DQO.
- El medio de soporte (área superficial, porosidad, altura del lecho).
- Configuración de los reactores: zona de entrada, zona empacada y zona de salida.
- El Tiempo de Residencia Hidráulico.

A continuación, en la Tabla 64 se presenta la evaluación de los principales factores que afectan la estabilidad y eficiencia del tratamiento anaerobio.

Tabla 64. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa FAFA del tratamiento secundario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL FAFA					
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N 810328,91 E			
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm			
El tratamiento anaerobio es un sistema cuyo metabolismo bacteriano, se realiza en ausencia de oxígeno libre capaz de transformar la materia orgánica presente en las aguas residuales, en lodo y biogás. En este proceso, participan bacterias estrictamente anaerobias (Chávez, 2010). La función del filtro también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir su carga contaminante de las aguas servidas. Los filtros anaeróbicos son sistemas denominados de alta tasa, que han encontrado aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.					
FACTOR	CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN	
Ambientales y de operación del Proceso	Temperatura	Influye en la tasa de crecimiento y el metabolismo de los microorganismos y, por lo tanto, en la dinámica de la población microbiana dentro del reactor anaeróbico.	No identificado	Temperaturas “in situ” para el control del proceso anaerobio: Temp. Monit. Rango de Operación Temp. Óptim. Comen. (°C) (°C) (°C) Esta. Seca: 14 -19 0 a 20 12 a 18 Verif. Verif. Esta. Lluviosa 12-17 0 a 20 12 a 18 Verif. Verif.	
	pH	El valor de pH adecuado para el proceso anaerobio, es un poco restrictivo y crítico, generalmente es de 6,5 a 8,5. De acuerdo con Rittmann (2011), el pH óptimo en el tratamiento anaerobio oscila entre 6,6 y 7,6; valores fuera de este intervalo pueden afectar el proceso.	Los efectos del pH se reflejan en la actividad enzimática de los microorganismos lo cual afecta de manera directa en la digestión anaerobia.	No identificado	pH “in situ” para el control del proceso anaerobio pH Monit. Rango de pH adecuado pH. Óptim. Comen. Esta. Seca: 7,0-8,0 6,5 a 8,5 6,6 a 7,6²⁶ Verif. Verif. Esta. Lluviosa 6,5 -7,5 7,0 a 7,5²⁷ Verif. Verif.
	Nutrientes	El exceso o limitación de nutrientes (principales nutrientes: carbono, nitrógeno, fósforo).	Gran afectación en el crecimiento y la actividad microbiana.	<i>Identificado</i>	Según Orozco (2005), la relación necesaria de nutrientes $DBO_5/N/P$ para que ocurra el crecimiento bacteriano en un sistema anaerobio debe ser igual a 300/5/1. La relación de nutrientes reportada por el afluente en época seca fue de 112/30/10 y de 100/20/10 en época de lluvia, indicando para los dos casos la existencia de un exceso de nitrógeno (baja relación DBO_5/N), entonces puede existir una inhibición del crecimiento de las bacterias, debido a la formación de amoniaco (Torres 1993).

²⁶ Rango de pH óptimo en el tratamiento anaerobio (cualquier estación), según Rittman, 2011.

²⁷ Rango de pH óptimo en operación normal del FAFA (cualquier estación), según Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”.

Tabla 64 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa FAFA del tratamiento secundario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

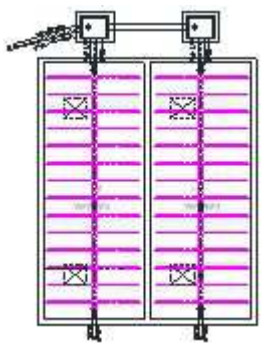
IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL FAFA																								
Proyecto: <i>Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”</i>		Coordenadas: <i>10021288,69 N</i>		<i>810328,91 E</i>																				
Ubicación: <i>Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador</i>		Altitud: <i>2665 msnm</i>																						
FACTOR		CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN																			
Ambientales y de operación del Proceso	Carga orgánica del sustrato afluente: DBO ₅ y DQO.	Variaciones significativas en la carga orgánica del afluente pueden proveer tratamientos inestables por lo que es muy importante verificar la carga que se esperaba para el funcionamiento del FAFA.	Actividad microbiana se reduce significativamente presentando bajas tasas de degradación de contaminantes	<i>Identificado</i>	DBO ₅ afluente esperado para rendimiento satisfactorio del FAFA, de acuerdo con el Manual de Operación y Mantenimiento es de 126 mg/l. El DBO ₅ afluente reportado en época seca fue 112 mg/l y en época de lluvia de 100 mg/l. Planos de diseño.																			
	Zona de entrada	Mala distribución del flujo de agua hacia la zona empacada.	Posibilidad de pasos directos del agua residual a través del reactor propiciando una mínima remoción de contaminantes.	No identificada																				
	Zona empacada (Medio Filtrante)	Incumplimiento de requisitos del material del medio de soporte.	Baja retención de la biomasa adherida o en suspensión en el lecho filtrante, generando bajos tiempos de retención celular, propiciando un menor contacto del residuo con la masa biológica.	No identificada	Medio de soporte del FAFA																			
	Zona de salida	Insuficiente recolección, evacuación y distribución del caudal de salida.	Inundaciones de la unidad.	No identificada	<table><tr><th>Parámetro</th><th>Valores Recomend.</th><th>Referencia</th><th>Valores Plano.</th><th>Coment.</th></tr><tr><td>Altura (m):</td><td>2 1,2</td><td>Young y Young (1989)</td><td>1,7</td><td>Verif.</td></tr><tr><td>Díam. (cm):</td><td>2-17 4-7</td><td>Droste (1997) RAS (2000)</td><td>20 5-7,5</td><td>Verif. Verif.</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2,5-6,5</td><td>Escobar</td></tr></table>  - Planos de diseño. - Monitoreos.	Parámetro	Valores Recomend.	Referencia	Valores Plano.	Coment.	Altura (m):	2 1,2	Young y Young (1989)	1,7	Verif.	Díam. (cm):	2-17 4-7	Droste (1997) RAS (2000)	20 5-7,5	Verif. Verif.				2,5-6,5
Parámetro	Valores Recomend.	Referencia	Valores Plano.	Coment.																				
Altura (m):	2 1,2	Young y Young (1989)	1,7	Verif.																				
Díam. (cm):	2-17 4-7	Droste (1997) RAS (2000)	20 5-7,5	Verif. Verif.																				
			2,5-6,5	Escobar																				

Tabla 64 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño de la unidad operativa FAFA del tratamiento secundario del sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO DEL FAFA				
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N 810328,91 E		
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm		
FACTOR	CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Hidráulicos	Tiempo de retención hidráulica	Tiempos de retención bajos desfavorecen el contacto íntimo del residuo en el lecho bacteriano.	<i>Identificado</i>	El tiempo de residencia hidráulica (TRH) se refiere al promedio del tiempo de residencia del líquido dentro del filtro, calculado por la siguiente ecuación: $TRH = \frac{V}{Q}$ Siendo: TRH: tiempo de residencia hidráulica (h). V: volumen del filtro anaerobio (m³). Q: gasto en el afluente (m³/h). <i>TRH Monit. Diseño Recom. Referencia (Horas)</i> TRHE. Secat: 4,6 8 2,5 – 12 RAS (2000) TRHE. Lluvia: 3,8 4 – 10 Cernicharo 20 – 96 Young y Yang (1989) 24 – 48 Matcalf y Eddy (1991)
		Menor eficiencia de remoción de contaminantes.		
Mantenimiento	Falta de remoción de natas y sobrenadantes	Gran acumulación de sólidos flotantes.	<i>Identificado</i>	De acuerdo al Manual de Operación y Mantenimiento, cuando DQO de salida es mayor a 100 mg/l, el funcionamiento es malo. Para este caso se obtuvo resultados de DQO de 194 mg/l en época seca y de 160 mg/l en época de lluvias, corroborándose así, un que el FAFA presenta un funcionamiento malo.
	Deficiencia en la purga de lodos	Abultamiento excesivo de lodos.	<i>Identificado</i>	Falta de frecuencia en la extracción de lodos y lavado del material del lecho filtrante.
	Falta de evacuación eventual y lavado del material	Problemas de colmatación del lecho que no se resuelve mediante purgado de fondo (Castaño 2002).	<i>Identificado</i>	Visitas PTAR.

▪ **Estanques con macrófitas flotantes (Humedales artificiales)**

Los principales parámetros a ser evaluados y que se tendrán en cuenta para medir la eficiencia del tratamiento biológico con macrófitas (Tratamiento Terciario), se indican en la Tabla 65.

Tabla 65. Parámetros utilizados para el control y evaluación de la eficiencia de remoción de los humedales artificiales.

PARÁMETRO	EFICIENCIA (%)	REFERENCIA
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	50	<i>Diseño*</i>
	21 – 92	Y. Zimmels, 2004**
	80 – 90	CENTA, 2006**
DBO ₅	70	<i>Diseño*</i>
	37 – 91	Y. Zimmels, 2004**
	80 – 90	CENTA, 2006**
DQO	70 – 90	Rahman y Hasegawa, 2011**
Coliformes Fecales (CF)	99	<i>Diseño*</i>
Fósforo Total (P)	30	<i>Diseño*</i>
	40 – 98	Zimmels, Kirzhner, y Malkovskaja, 2006**
	20 – 35	CENTA, 2006**
Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT)	70 – 90	Zimmels, Kirzhner, y Kadmon, 2009**
	35 – 50	CENTA, 2006**

* Eficiencia de remoción de la unidad de tratamiento, esperada según su diseño.
 ** Eficiencia de remoción de la unidad, basada en datos bibliográficos.

La Tabla 66, muestra las concentraciones de contaminantes afluentes – efluentes y sus eficiencias de remoción, obtenidos en los humedales artificiales de la PTAR “Huaycopungo Sur”. En esta se puede apreciar que, en los humedales, se retienen el 75% de los SST; 55% de la DBO₅; 27% de la DQO y 99,4% de CF, muy probablemente porque gran parte de estos contaminantes se encuentra en forma de residuos particulados que son retenidos a través de procesos que implican sedimentación, filtración/adsorción por raíces de plantas y actividad microbiológica. La actividad microbiológica incluye la degradación anaeróbica de los sedimentos del fondo y la degradación bacteriana de la materia orgánica en la columna de agua por los organismos unidos y suspendidos. (Zimmels, Kirzhner, & Roitman, 2004). Se observa también, una ligera reducción de nutrientes: 48% de P y 67% de NKT, misma que puede relacionarse con procesos fotosintéticos y reproductivos de extracción de nutrientes tomados de la columna de agua a través de las raíces de las macrófitas flotantes.

Al realizar un análisis global de las eficiencias de remoción de los contaminantes: SST, CF, P y NKT obtenidos en este nivel de tratamiento, se puede concluir que se está obteniendo eficiencias muy similares a las esperadas en la concepción de su diseño y a las eficiencias teóricas reportadas por algunas referencias bibliográficas. En la remoción de DBO₅, presentó una eficiencia muy por debajo de la eficiencia esperada en el proyecto. En el caso de la DQO se reportó bajos niveles de eficiencia de remoción de este parámetro, cuyo resultado se sustenta con la investigación realizada por Rahman y Hasegawa (2011).

Tabla 66. Concentraciones y eficiencias de remoción de SST, DBO₅, DQO, CF, P y NKT de los humedales artificiales.

PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA A HUMEDALES	SALIDA DE HUMEDALES	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	128	32	75
DBO ₅	mg/l	71	32	55
DQO	mg/l	194	141	27
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml	2,3x10 ⁵	1,3x10 ³	99,4
Fósforo Total (P)	mg/l	8,1	4,2	48
Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT)	mg/l	36	12	67

Por otra parte, en la Tabla 67, se identifica los principales factores que influyen en la eficiencia de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes (Jacintos de agua).

Tabla 67. Identificación de los factores principales que afectan el desempeño del tratamiento de agua residuales con macrofitas flotantes en el sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO ACTUAL DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES					
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N		810328,91 E	
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm			
El tratamiento con plantas acuáticas flotantes, consiste en estanques con profundidad variable de 0,4 a 1,5 m (Fernández, 2010), donde las macrofitas se desarrollan naturalmente. Entre las especies más empleadas se encuentran el jacinto de agua (Eichornia crassipes) y la lenteja de agua (Lemna minor), los mismos que juegan un papel fundamental para eliminar los contaminantes del agua residual por medio de sus raíces; además tienen una función importante de evitar el paso de la luz solar hacia el fondo del estanque y así impedir el crecimiento de algas. Estos sistemas son semejantes a las lagunas de estabilización, pero con la gran diferencia de la presencia de macrofitas en lugar de algas, además de las profundidades someras (EPA, 1988). En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (García, 2012).					
FACTOR		CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Calidad del agua		Agua contaminada.	Muerte rápida del jacinto de agua.	No identificado	Monitoreo de calidad de agua de la PTAR.
	Temperatura	Bajas temperaturas (< 4 °C).	Gran influencia en el hábitat, limitando el crecimiento y reproducción del Jacinto de agua.	No identificado	Las temperaturas de la zona oscilan entre 12 °C y 18 °C.
	pH	Variaciones significativas de pH.	Afecta la actividad fotosintética de la planta, influenciado directamente el proceso de extracción de contaminantes del agua residual.	No identificado	pH “in situ” para el control del proceso de tratamiento biológico con macrofitas. <i>pH Monit. de pH adecuado</i> <i>Refer. Observ.</i> Esta. Seca: 7,0 - 9,0 5,0 a 9,0 Manual Verif. Esta. Lluviosa: 7,0 - 8,5 6,5 a 8,5 Operac. Jaramillo y Flores, 2012
Ambientales y de operación del Proceso	Nutrientes	El exceso o limitación de nutrientes (principales nutrientes: carbono, nitrógeno, fósforo).	Limita al crecimiento favorable de las macrofitas.	No identificado	Caracterización del agua residual
	Hidráulicos	Profundidad de los estanques	Grandes profundidades.	No identificado	<i>Medida In situ</i> Prof. (m): 0,70 <i>Valores Recon.</i> 0,4 a 1,5 <i>Refer. Observ.</i> Fernández 2010 Salazar, 2003

Tabla 67 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño del tratamiento de agua residuales con macrofitas flotantes en el sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

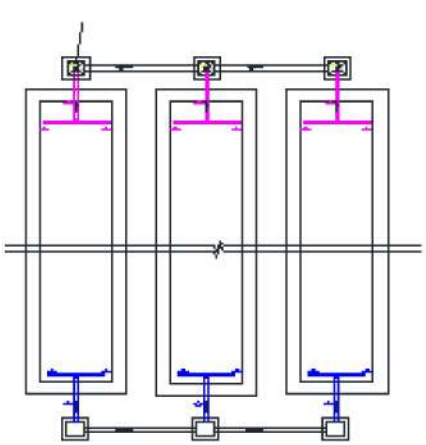
IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO ACTUAL DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES				
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N		810328,91 E
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm		
FACTOR	CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Hidráulicos	Estructura de entrada y salida	Mala distribución y recolección del flujo de agua residual en la sección del estanque.	No identificada	Planos de diseño. 
	Tiempo de retención hidráulica	Tiempos de retención bajos desfavorecen el contacto íntimo del residuo en el lecho bacteriano.		Inspecciones de campo. El tiempo de residencia hidráulica (TRH) se refiere al promedio del tiempo de residencia del líquido dentro del filtro, calculado por la siguiente ecuación: $TRH = \frac{V}{Q}$ Siendo: TRH: tiempo de residencia hidráulica (d). H: volumen del filtro anaerobio (m³). Q: gasto en el afluente (m³/d). TRH Monitoreo (d) Diseño Recom. Referencia TRH _E Seca: 2,2 1,5 6 – 7 EPA (1988) TRH _E Seca: 1,8 > 5 Vymazal (1998) 3 – 7 Riquelme & Gómez (2003)

Tabla 67 (Continuación). Identificación de los factores principales que afectan el desempeño del tratamiento de agua residuales con macrofitas flotantes en el sistema de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Sur”.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO OPERATIVO ACTUAL DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES				
Proyecto: Evaluación de la PTAR N° 3 “Huaycopungo Sur”		Coordenadas: 10021288,69 N		810328,91 E
Ubicación: Vía Puerta del Lago, Otavalo – Imbabura, Ecuador		Altitud: 2665 msnm		
FACTOR	CAUSA	EFEECTO	CRITERIO DE RESULTADO	JUSTIFICACIÓN
Mantenimiento	Manejo del cultivo de las macrofitas (jacintos de agua)	Densidades muy bajas o altas.	<i>Identificado</i>	De acuerdo al MOM, si las eficiencias de remoción de DQO y P son menores al 50% hay un exceso o falta de macrofitas. Al Respecto, los resultados muestran eficiencias de remoción de DQO y P de 27% y 48% respectivamente, lo que indica una falta de macrofitas en los estanques.
		Mínima remoción de contaminantes presentes en el agua residual debido a una redistribución no homogénea de la vegetación en cada estrato de agua a lo largo y profundidad del estanque.		
				 29 de julio de 2017  17 de febrero de 2018

▪ **EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (ENTRADA Y SALIDA DE LA PTAR)**

Para tener una idea del desempeño operativo del sistema de tratamiento de agua residual, se realiza un análisis de eficiencias de remoción de contaminantes, determinados con base a los únicos monitoreos con las que cuenta la PTAR al lo largo de su período de operación y funcionamiento.

En la Figura 91 se presentan las eficiencias de remoción de SST, DBO₅, DQO, P y CF obtenidas para los meses de abril de 2014, octubre de 2017, mayo y junio de 2018. En la gráfica se puede observar que el sistema no alcanzó las eficiencias esperadas en la remoción de SST, DBO₅, DQO y P para ninguno de los periodos evaluados. En cuanto a CF las eficiencias reportadas en el mes de abril de 2014, mayo y junio del 2018 muestran que se alcanzaron las eficiencias esperadas, mientras que para el mes octubre de 2017 para este parámetro se alcanzó una eficiencia nula. Al realizar un análisis global de estos resultados, se establece que la PTAR presenta deficiencias en su operación.

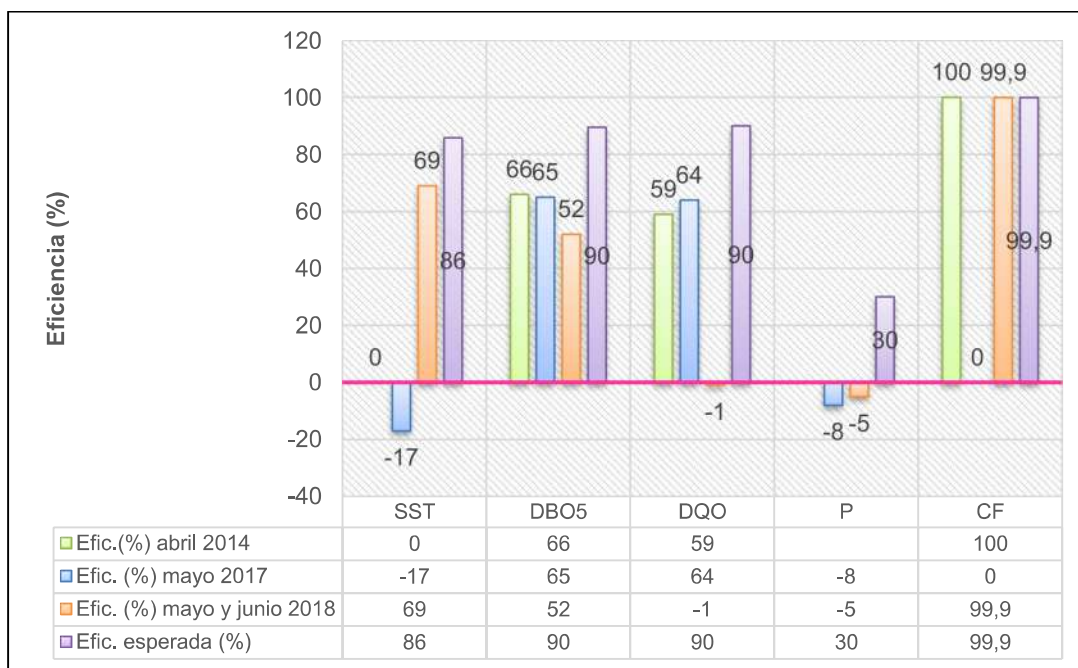


Figura 91. Evolución temporal de las eficiencias de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento de aguas Residuales “Huaycopungo Sur”.

4.2. Resultados y diagnóstico de la evaluación de la PTAR “Huaycopungo Sur”

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la PTAR, haciendo énfasis principalmente en los indicadores de desempeño y aspectos vinculados con la situación actual de la PTAR como: capacidad física del sistema, composición del agua residual, calidad de agua tratada, eficiencia de remoción de contaminantes, factores influyentes en el rendimiento y eficiencia del sistema de tratamiento, operativos y de mantenimiento y aspectos sociales.

4.2.1. Indicadores de desempeño

En la presente subsección, se presentan los resultados de los cuatro indicadores de desempeño adoptados para el presente estudio, haciendo una evaluación global (Tabla 68).

Tabla 68. Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).

Aspectos de la evaluación de desempeño		Indicador		Variable	Valor		Meta	Evaluación
Oferta y de demanda caudales	Capacidad física del sistema		Caudal afluente PTAR (%)	E. seca	97%	≤ 90%	●	
				Epoca lluvia	142%	≤ 100%	●	
Verificación de condiciones adecuadas	Control de los parámetros “in situ”	Tratamiento Primario	Temperatura	Epoca seca	12 – 18 °C	≥ 10 °C	●	
			TRH	2,3 horas	≈ 1,5- 6 horas	●		
			Temperatura	Época lluvia	12 – 18 °C	≥ 10 °C	●	
			TRH	1,5 horas	≈ 1,5- 6 horas	●		
		Tratamiento Secundario	pH	Época seca	7,0 – 8,0	≈ 6,5 – 8,5	●	
			Temperatura		14 – 19 °C	≈ 12 – 18	●	
			DBO ₅ afluente		112 mg/L	≥ 126 mg/l	●	
			DQO afluente		260 mg/L	≥ 200 mg/l	●	
			(DBO ₅ /N/P) aflu.		112/30/10	≈ 300/5/1	●	
			TRH	4,6 horas	≥ 8 horas	●		
			pH	Época lluvia	6,5 – 7,5	≈ 6,5 – 8,5	●	
			Temperatura		12 – 17 °C	≈ 12 – 18 °C	●	
			DBO ₅ afluente		100 mg/L	≥ 126 mg/l	●	
			DQO afluente		208 mg/L	≥ 200 mg/l	●	
			DBO ₅ /N/P aflu.		100/20/10	≈ 300/5/1	●	
			TRH	3,8 horas	≥ 8 horas	●		
		Tratamiento Terciario	Temperatura	Epoca seca	12 – 18 °C	≥ 5 °C	●	
			pH		7,0 – 9,0	≈ 5,0 – 9,0	●	
			TRH		2,2	≥ 1,5 días	●	
			Temperatura	Epoca lluvia	12 – 18 °C	≥ 5 °C	●	
			pH		7,0 – 8,5	≈ 5,0 – 9,0	●	
			TRH		1,8	≥ 1,5 días	●	
Calidad de agua vertida al medio receptor	Cumplimiento de los límites de descarga		Parámetros físicosquímicos (%)	Epoca seca	90 %	≥ 90 %	●	
Eficiencia de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción	Tratamiento Primario	SST (%)	Epoca seca	-75 %	≥ 50 %	●	
			DBO ₅ (%)		-67 %	≥ 30	●	
			CF (%)		35 %	≥ 50 %	●	
			P (%)		-158 %	≈ 10 – 20 %	●	
			NKT (%)		-100 %	≈ 10 – 20 %	●	
		Tratamiento Secundario	SST (%)		29 %	≥ 70 %	●	
			DBO ₅ (%)		37 %	≥ 50 %	●	
			DQO (%)		25 %	≥ 80 %	●	
			CF (%)		79 %	≥ 90 %	●	
			P (%)		21 %	≈ 10 – 30 %	●	
			NKT (%)		1 %	≈ 10 – 30 %	●	

* Simbología adoptada: meta alcanzada (verde); rojo (meta no alcanzada).

Tabla 68 (Continuación). Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).

Aspectos de la evaluación de desempeño	Indicador			Valor		Meta	Evaluación
Eficiencia de remoción de contaminantes	Eficiencia de remoción	Tratamiento Terciario	SST (%)	Epoca seca	75%	≥ 50 %	●
			DBO ₅ (%)		55 %	≥ 70 %	●
			DQO (%)		27 %	≥ 70 %	●
			CF (%)		99 %	≥ 99 %	●
			P (%)		48 %	≈ 20 – 50 %	●
			NKT (%)		67	≈ 30 – 50 %	●
		Tren de tratamiento	SST (%)	Epoca seca	59 %	85 %	●
			DBO ₅ (%)		52 %	90 %	●
			DQO (%)		-1 %	90 %	●
			CF (%)		99,9 %	99,9 %	●
			P (%)		-5 %	90 %	●
			NKT (%)		1 %	90 %	●

* Simbología adoptada: meta alcanzada (verde); rojo (meta no alcanzada).

En el análisis de la Tabla 68, se verifica:

El indicador comparación de caudales que ingresa a la PTAR en época seca con el caudal de diseño, es superior a la meta establecida, esto indica que el caudal actual generado en la zona y que es conducida a la PTAR para su tratamiento, es cercano al caudal de diseño, lo que significa que a corto plazo el sistema llegará a su capacidad física límite y no permitirá receptor los gastos futuros del horizonte de diseño (año 2026). Por otra parte, el caudal de entrada a la PTAR en época de lluvia, está muy por encima de la meta fijada de acuerdo a la capacidad máxima de la planta. Este resultado evidencia la falta de control del caudal de excesos en esta época presentándose desbordes de las unidades del sistema de tratamiento. El exceso de caudal en época lluviosa está relacionado con el tipo de red de colecta de AR que posee el poblado (sistema de combinado).

Para el indicador de control de los parámetros “in situ” se evidencia un cumplimiento integral de los parámetros de temperatura y TRH en el proceso de tratamiento primario tanto en época seca como en época de lluvias, lo que indica, que estos parámetros no afectan de forma directa en el rendimiento del proceso de sedimentación. Para el tratamiento secundario, se verifica que las metas fueron alcanzadas para pH, temperatura y DQO afluente para las dos estaciones, mientras que DBO₅ afluente, nutrientes DBO₅/N/P y TRH están por debajo de la metas establecidas, lo cual indica que la eficiencia del proceso anaerobio está siendo influenciado por la baja carga orgánica, baja relación de nutrientes, lo que se considera que se está inhibiendo la actividad bacteriana; respecto al tiempo de retención hidráulico (TRH) se verificó que son bajos, por lo que no está favoreciendo un gran contacto íntimo entre la carga contaminante presente en el agua residual con el lecho bacteriano lo que influye en el rendimiento del filtro anaerobio ascendente. En el tratamiento terciario, se tiene que los parámetros de temperatura, pH y tiempo de detención hidráulico (TRH), alcanzaron las metas definidas para la época seca y época de lluvias. Estos resultados permiten sustentar que se están generando condiciones adecuadas para el tratamiento con macrófitas.

Respecto al indicador de cumplimiento de los parámetros de descarga monitoreados en época seca, a pesar de no cumplir los compuestos organoclorados ni los organofosforados, este indicador alcanza la meta definida.

En lo que se refiere a los indicadores de eficiencia de remoción de contaminantes monitoreado en época seca, se evidencia que el tratamiento primario presenta eficiencias de remoción de SST, DBO₅, CF, P y NKT muy por debajo de las eficiencias esperadas y presentadas en algunas referencias bibliográficas, se identificó que esto se debe principalmente a las fallas en la operación y mantenimiento y carencias en los diseños de estructuras de entrada y salida. Para el tratamiento secundario, se encontró deficiencias en la eliminación de SST, DBO₅, DQO, CF y NKT por la presencia de altas cantidades de nitrógeno (baja relación de C/N) que puede ocasionar inhibición en el proceso anaerobio, debido a la formación de amoníaco; y al tiempo de retención hidráulico (TRH) bajo. Para el tratamiento terciario, las eficiencias obtenidas para DBO₅ y DQO son menores a las definidas en las metas, revelándose que actualmente presenta poca eficiencia este nivel de tratamiento. No en tanto, al realizar un análisis global de las eficiencias totales de remoción de SST, DBO₅, DQO y P, están siendo comprometidas por los rendimientos de los procesos.

Es importante señalar, aunque el efluente final de la PTAR cumplió con la normatividad ambiental en términos de calidad de agua residual tratada, actualmente se tiene bajas eficiencias de remoción de contaminantes, lo cual no se muestra afectado en gran medida porque el agua residual de la zona presenta concentraciones bajas de contaminantes, típicas de aguas residuales domésticas rurales.

4.2.2. Capacidad física del sistema

La planta de tratamiento de aguas residuales N° 3 “Huaycopungo Sur”, fue diseñada con un horizonte de 20 años (hata el año 2026), para dar servicio a las poblaciones de Huaycopungo (Parte Sur) y Tocagón, con un gasto influente de 2,72 l/s (235 m³/día); esta capacidad está llegando a su límite, ya que el gasto medio actual influente se estima en 2,64 l/s (228 m³/día), sin considerar el gasto de aportación de la localidad de Tocagón, debido a que sus sistema de alcantarillado se encuentra sin funcionamiento, para evitar problemas de operación y funcionamiento de la estación depuradora.

En varias visitas de campo, principalmente en época de lluvia, se evidenció desbordes de caudal en la caja repartidora de caudal y estanques con macrófitas flotantes, dado a que el caudal medio que ingresa a la PTAR en esta temporada es 3,86 l/s (333 l/día), y comparándolo con el caudal de diseño, se tiene que es muy superior, lo cual ocasiona reboses en las unidades. A esto contribuye, la falta de control del flujo que ingresa a la estación de tratamiento.

4.2.3. Composición del agua residual

El agua residual que llega a la planta de tratamiento, según los resultados obtenidos en las caracterizaciones del mes de abril de 2014, octubre de 2017; y, mayo y junio 2018, presenta una composición típica de un agua residual de concentración baja, lo cual contribuye a que la operación de la PTAR sea eficaz (Tabla 69). En los resultados de los análisis, se tiene que algunos parámetros presentan variaciones significativas para los tres años en los que fueron realizados su caracterización, esto se puede explicar, debido a que los resultados del mes de abril 2014 y octubre de 2017 corresponden a muestras puntuales y las del mes de mayo y junio de 2018, corresponden muestras compuesta de un lapso de 8 horas. No obstante, al establecer una relación cuantitativa entre los valores de la DBO₅ y la DQO (índice de biodegradabilidad) para el agua residual bruta, se tiene un valor medio aproximado de 0,5. De este índice, se tiene una referencia para establecer que es un agua residual biodegradable que puede ser tratable mediante procesos biológicos.

Tabla 69. Composición del agua residual que ingresa a la PTAR “Huaycopungo”.

PRARÁMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN AFLUENTE			RANGO TÍPICO	CONCENTRACIÓN
		Aril 2014	Octubre 2017	Mayo y junio 2018		
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	274,0	257,0	291	250-500	Baja
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	10,0	30,0	103	120-230	Baja
Sólidos Totales (ST)	mg/l	290,0	28,0	463	370-730	Baja
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO ₅)	mg/l	17,3	158,0	67	110-200	Baja
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	35,4	274,0	139	200-400	Baja
Fósforo Total (P)	mg/l	---	5,0	4	5-10	Baja
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	4,93	< 1,0	2,5	> 0,4	Alta
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	0,023	0,01	< 0,010	0-0,05	Baja
Nitrógeno de Amonio (N-NH ₃)	mg/l	524,0	---	6	10-20	Baja
Nitrógeno Total (N)	mg/l	---	24,0	15	20-40	Baja
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	---	10,0	53	20-30	Baja
<i>Índice de biodegradabilidad (DBO₅/DQO)</i>		<i>0,49</i>	<i>0,58</i>	<i>0,48</i>		

4.2.4. Calidad de agua tratada

El efluente de la PTAR que es vertido al río Itambi, posee características organolépticas aceptables ya presenta una apariencia clara y un olor bajo. Por otra parte, la mayoría de parámetros evaluados en época seca, cumplen con la norma de calidad requerida oficialmente para su descarga a un cuerpo de agua dulce, descritos en el Acuerdo Ministerial N° 097, Anexo 1 del Libro VI del TULSMA²⁸: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Los parámetros reportados que no están cumpliendo con los límites de descarga, son los compuestos organoclorados y organofosforados, esto se debe a que los usuarios están arrojando al sistema al sistema de alcantarillado residuos de fungicidas, insecticidas, etc. Esto se sustenta con los valores de estos dos parámetros

²⁸ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

investigados (Tabla 58) que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecidos por norma para vertidos a sistemas de alcantarillado público (afluente PTAR).

4.2.5. Eficiencia de remoción de contaminantes

El grado de eficiencia, permitió evaluar la capacidad de rendimiento en operación (tempora seca) de cada uno de los niveles o procesos que conforman el sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”, con forme a la capacidad de remoción de aquellas sustancias que cada proceso unitario está en la capacidad eliminar. Con base en los resultados de la caracterización del agua residual practicada en el período seco, en el que se considera que las concentraciones de las cargas contaminantes son extremas; se calcularon los grados de eficiencia individuales (Tabla 70).

Tabla 70. Desempeño del tren de tratamiento: sedimentador más filtro anaerobio (FAFA) mas estanques con macrófitas flotantes (Jacintos de agua).

PARÁMETRO	% Remoción Sedimentador (S)	% Remoción FAFA	% Remoción Estanques con macrófitas flotantes (EMF)	% Remoción Total Sistema: S+FAFA+EMF
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	-75	29	75	69
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días DBO ₅	-67	37	55	52
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	-87	25	27	-1
Coliformes Fecales (CF)	35	79	99,4	99,9
Fósforo Total (P)	-158	21	48	-5
Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT)	-100	1	67	34

En el proceso de tratamiento primario compuesto por el sedimentador, se tiene una gran ineficiencia de remoción de SST, DBO₅, DQO, P y NKT, además de una baja eficiencia de remoción de Coliformes Fecales (Tabla 70), ocasionado por la falta de control del proceso, mantenimiento de la unidad y un diseño insuficiente de la estructura hidráulica de transición (zona de entrada), que no permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

El filtro anaerobio de flujo ascendente (tratamiento secundario o biológico), presentó bajas reducciones porcentuales de los parámetros indicadores de calidad de agua, esto permite resaltar con la comparación de las eficiencias de remoción operativas de los parámetros de calidad del agua evaluados con las eficiencias esperadas (DBO₅ 50%; SST 70% y CF 90%). Al igual que el sedimentar esto se debe falta de control del proceso, mantenimiento de la unidad y a un bajo tiempo de retención hidráulica (TRH) bajos (4,6 horas).

Por otra parte, en el tratamiento terciario con macrófitas flotantes se obtuvieron altas eficiencias de SST, CF, P y NKT; una adecuada eficiencia de DBO₅ y una baja eficiencia de DQO. Esta eficiencia podría ser aumentada con un adecuada operación, mantenimiento y cultivo de las macrófitas de los estanques.

Si se observa los resultados de las eficiencias totales del sistema (Sedimentador + FAFA + estanques con macrófitas), se tiene que el sedimentador y el FAFA no están funcionando de manera adecuada, y es en los estanques con macrófitas flotantes (humedales artificiales) donde se remueven con gran eficiencia los contaminantes más representativos presentes en el agua residual.

4.2.6. Factores influyentes en el rendimiento y eficiencia del sistema de tratamiento

Muchos son los factores que afectan el rendimiento y las eficiencias de remoción de carga contaminante, en un sistema de tratamiento de aguas residuales. En este sentido, se evaluaron los factores más importantes que influyen en las operaciones específicas de cada uno de los componentes que conforman el tren de tratamiento. Los factores evaluados fueron: calidad de agua, de operación del proceso (pH, temperatura y nutrientes), hidráulicos y de mantenimiento.

En el sedimentador, se identificó que los factores que están afectando su rendimiento y eficiencia son hidráulicos y de mantenimiento. Hidráulicos, al no contar con diseño adecuado de la estructura de entrada y salida que permitan una distribución y recolección uniforme del flujo, lo cual altera el proceso de sedimentación. De mantenimiento, por falta periódica en la remoción de los lodos, lo cual provoca una gran acumulación ocasionando lodos livianos y esponjosos (partículas en suspensión).

Los factores que están interviniendo en el desempeño y eficiencia del FAFA son: operativos de control del proceso al tenerse una relación inadecuada de nutrientes en el afluente $DBO_5/N/P = 112/30/10$ en época seca y $DBO_5/N/P = 100/20/10$ en época de lluvia, ya que Torres (1993) indica que la relación requerida de nutrientes es $DBO_5/N/P = 300/5/1$, lo que indica que hay un exceso de nitrógeno (baja relación DBO_5/N) que está dificultando el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos debido a la formación de amoníaco; y de mantenimiento por falta periódica de extracción de lodos que ocasiona un gran abultamiento, causando altas cargas orgánicas en el efluente. En cuanto a la concentración de materia orgánica afluente, en términos de DBO_5 se registraron concentraciones alrededor de 112 mg/l en época seca y 100 mg/l en época de lluvia, presentando bajas concentraciones a la recomendada en el MOM de la PTAR para una operación satisfactoria del FAFA. Su influencia se hace notar en las bajas eficiencias de remoción obtenidas.

Por otro lado, a partir de la evaluación de los factores que intervienen en el rendimiento y eficiencia de los estanques con macrófitas flotantes, se determinó que la falta de un manejo adecuado del cultivo de las macrófitas, afecta su operación en el proceso de remoción de contaminantes.

4.2.7. Operativos y de mantenimiento

La planta de tratamiento de aguas residuales, no cuenta con un operario que contribuya al control y vigilancia diaria del funcionamiento del sistema, sobre todo en eventualidades necesarias como cuando se requiere controlar el flujo de entrada, puesta en marcha del funcionamiento de las bombas cuando éstas dejan de funcionar por causa de un sobrecalentamiento, monitoreo de calidad de agua, limpieza de rejillas, filtros y sedimentadores, causando que el sistema no funcione de forma continua por falta de control y las aguas residuales son desviadas por la línea de excesos directamente a la estructura de descarga para luego conducirla y al río Itambi, generando una afectación grave a la fuente hídrica. A esto se suma, la poca frecuencia con se realiza su mantenimiento por falta y disponibilidad de recursos.

Por otra parte, la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con un manual de operación y mantenimiento que contiene información e instrucciones sobre la frecuencia, actividades, procedimientos y recursos humanos a considerarse en las labores de operación y mantenimiento de cada uno de componentes del sistema, sin embargo, durante las visitas realizadas a la PTAR, se pudo evidenciar que no se da un estricto cumplimiento a éste. Esto se puede sustentar con el detalle que se presenta en la Tabla 71.

En cuanto a información y registros de los monitores del sistema operacional de la planta de tratamiento, es mínima. La información disponible hasta la fecha en la que se realizó la evaluación preliminar de la PTAR fue únicamente los reportes de la caracterización del agua residual a la entrada y salida del sistema de tratamiento de los años 2014 y 2017. Esto muestra la insuficiencia operativa que se tiene en la PTAR.

Tabla 71. Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).

POR MENOR		DESCRIPCIÓN	CUMPLIMIENTO	EVIDENCIA	
Limpieza de los componentes del sistema	Separadores de caudal y reja	Limpieza una vez por día, los sedimentos y basuras para luego depositarlos en los lechos de secado.	Parcial		
	Sistema de bombeo	Succión del agua que se acumula en las cámaras de válvulas y tuberías para evitar su corrosión.	(La limpieza se realiza dos o tres veces por semana)		
	Sedimentador	Remoción una vez por semana de natas, grasa y otros residuos flotantes.	Parcial		
	FAFA	Succión de lodos o fangos del interior de los módulos cada 15 ó 30 días como mantenimiento preventivo para la para garantizar el flujo continuo a los estanques para el tratamiento terciario.	(La succión del agua, se realiza con muy poca frecuencia)		

Tabla 71 (Continuación). Resultados obtenidos para los indicadores evaluado (Evaluación de la PTAR).

POR MENOR		DESCRIPCIÓN	CUMPLIMIENTO	EVIDENCIA	
Limpieza de los componentes del sistema	Estanques con macrófitas flotantes (Humedales artificiales)	Cosechar el 50 % de la totalidad de la superficie del estanque y dejar distribuido de manera uniforme el lechuguin en toda el área del estanque para dar espacio cuando emergen los nuevos estolones.	Parcial (No se realiza un adecuado manejo de la cosecha)		
	Descargas	Limpiar la maleza del área de la descarga por lo menos cada 6 meses.	Total		
	Lechos secado de	Remover la biomasa acumulada dos o tres veces por semana o como mínimo una vez por semana.	Ninguno		
Actividades de control en la operación y mantenimiento	Caudales	Medición volumétrica mensual del caudal de entrada y salida.	Parcial	Falta de registros o datos de las mediciones.	
	pH	Medición y control semanal del pH a la entrada de las cámaras de distribución, a la salida de los filtros y a la salida en el efluente de descarga.	Ninguno	Inexistencia de registros. Visitas e inspecciones de campo.	
	Temperatura	Monitoreo de la temperatura en cada una de las unidades	Ninguno	Inexistencia de registros. Visitas e inspecciones de campo.	
	DBO ₅ , DQO, Nitratos y Nitritos	Monitoreo, al menos una vez por semana a la entrada y salida de cada nivel de tratamiento.	Parcial	Falta de registros o datos de las mediciones.	

La falta de una operación eficiente de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, así como la poca frecuencia con la que se realiza su mantenimiento, ha conllevado principalmente al deterioro de algunos de los componentes del sistema: Válvulas de compuerta, tuberías de la línea de impulsión del sistema de bombeo y unidades de lechos de secado (Figura 92). Por otra parte, se ha identificado que estos indicadores desempeño constituyen una de las principales fuentes causantes de la deficiencia actual que presenta los niveles de tratamiento primario y secundario.

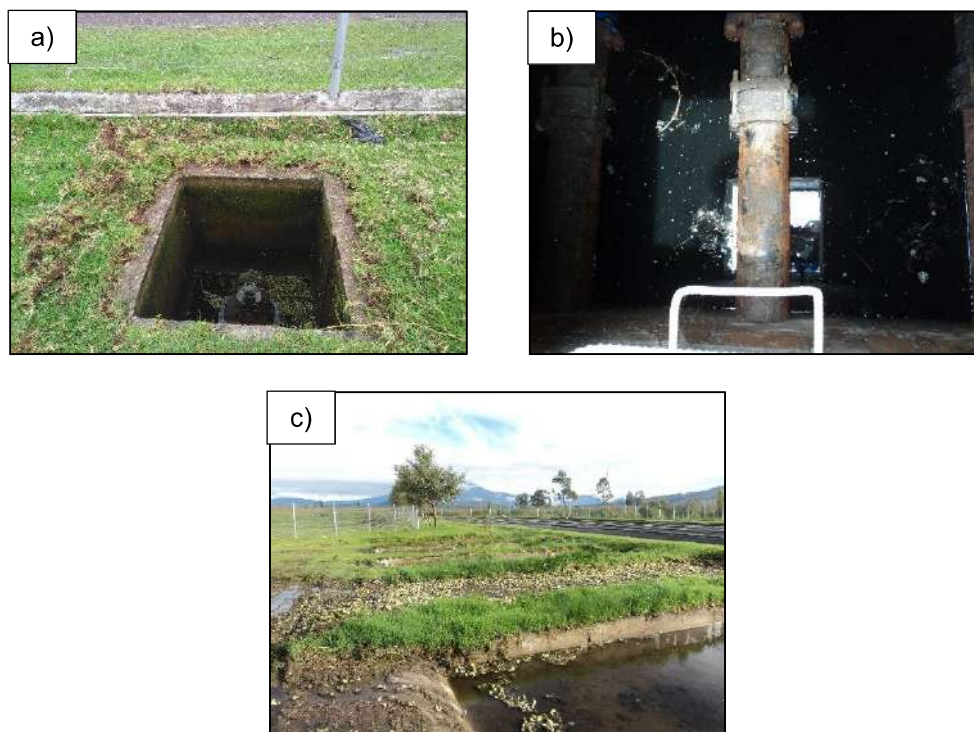


Figura 92. Deterioro de algunos componentes del sistema: a) Válvula de compuerta, b) tuberías de la línea de impulsión, c) lechos de secado.

4.2.8. Aspectos sociales relacionados a la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur” originalmente fue diseñado para dar servicio a un 40% de la población Huaycopungo (Parte Sur) en una primera etapa (2006 – 2016) y al 50% de la población de Tocagón en una segunda etapa (2016 – 2026). De acuerdo a esto, actualmente la estación de tratamiento de aguas residuales debería estar brindando cobertura a estas dos localidades, sin embargo, en esta evaluación preliminar, se confirmó que la planta de tratamiento está receptando únicamente las aguas residuales provenientes de la zona de Huaycopungo Sur, debido a que el sistema está llegando a su capacidad límite de operación contemplada para el final del período del año 2026, lo cual ha generado, que la localidad de Tocagón cuente con un sistema de alcantarillado totalmente inerte, es decir, sin

funcionamiento al no poder cumplir con su propósito fundamental de recolectar y conducir sus aguas servidas hasta el sistema de tratamiento, ocasionando un gran malestar social de esta colectividad al no contar con un servicio que funciona en forma adecuada y sobre todo que satisfaga sus necesidades.

Para cubrir las grandes necesidades de saneamiento que actualmente aqueja a la población de Tocagón, es necesario un rediseño total del sistema de tratamiento existente, caso contrario, presentará un colapso total causando considerables daños ambientales y problemas de salud de la población aledaña. Para sustentar y fundamentar lo expuesto, en la Tabla 72, se presenta la información de la población total proyectada a servirse en el año 2018, según los diseños y la población actual obtenida del conteo poblacional ejecutado en este estudio, de acuerdo al área de influencia limitada en los diseños.

Tabla 72. Información poblacional.

AÑO	POBLACIÓN: HUAYCOPUNGO + TOCAGÓN	
	PROYECTADA EN EL DISEÑO	OBTENIDA EN CONTEO
2018	1494 habitantes	2135 habitantes
2026	1728 habitantes	---

La Tabla 72, indica que la población actual obtenida con el conteo de viviendas y densidad (2135 habitantes), superó a la población de diseño (1728 habitantes, año 2026), teniendo en cuenta que el caudal de aguas servidas es función directa a la población a servir, se puede expresar en una primera instancia que la planta de tratamiento está por alcanzar el límite máximo de la capacidad física para su operación, esto se ratifica con los resultados del diagnóstico de la evaluación de caudales que ingresa a la PTAR.

4.3. Propuestas de mejora para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales

Dentro de las propuestas de mejora realizadas en este proyecto para la optimización del sistema de tratamiento “Huaycopungo Sur”, se hace una clasificación entre propuestas de corto, mediano y largo plazo. Se debe interpretar que las propuestas se manejan de esta manera pues no se quiere ofrecer soluciones de alto costo, sin antes solucionar los pequeños detalles que están afectando al sistema. La mejoría en estos pormenores podría disminuir los problemas operativos del sistema y las necesidades de construir infraestructuras de ampliación de las unidades existentes, sin embargo, no se descarta que en un futuro puedan ser necesarias.

4.3.1. Propuestas a corto plazo

▪ MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO

El sistema de tratamiento primario dispuesto por un sedimentador, presentó muy bajas eficiencias de remoción de sólidos suspendidos, siendo una de las causas principales la falta de disipación de energía de velocidad que trae el agua del bombeo y facilitar luego una distribución uniforme del fluido hacia la zona de sedimentación, permitiendo mantener velocidades relativamente bajas en toda la sección transversal. Por esto es necesario solucionar esta situación, para evitar perjudicar la eficiencia del proceso de separación de los sólidos.

El sedimentador actual puede mejorar su eficiencia, acondicionándole pantallas difusoras para disminuir la energía con que vienen las partículas de sólidos, pues el agua que llega al sedimentador es transportada por medio de una bomba. Este transporte del agua es necesario debido a los desniveles que hay entre el colector y las unidades que conforman el sistema de tratamiento, sin embargo, esto aumenta la energía cinética creando una mezcla de agua con partículas y coloides que tardan más en sedimentar. Con la incorporación de pantallas se pretende reducir la energía que acarrean las partículas y conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad en todos los puntos, para acelerar el proceso de sedimentación y evitar la alteración de las partículas sedimentadas. En la zona de salida, se incorporará una tubería perforada que permita recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas (Figura 93).

En la Tabla 73 se muestra el costo aproximado de la propuesta de mejora de la infraestructura del sedimentador.

Tabla 73. Costo de la propuesta de mejora de infraestructura del sedimentador (2018).

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Pintura anticorrosiva	2 gal	37,10	148,40
Plancha galvanizada 1,22m x 2,44m; e = 2mm	10 u	60,50	605,00
Angular 40 x 40 x 3mm, 6m	4 u	18,30	73,20
Tornillos, tuercas y arandelas	280 u	0,25	70,00
Tubo PVC 110mm x 3m	2 u	16,93	33,86
Tee 110 mm	2 u	6,27	12,54
Tapón H 110 mm PVC	4 u	2,35	9,40
Día de trabajo hombre	5 días x 2 hombre	130,00	260,00
Herramienta menor	50 %	10,00	5,00
Costo total			1217,40

Adicionalmente a las mejoras de la infraestructura del sedimentador primario, para mejorar y acelerar el proceso de sedimentación, se propone adicionalmente el uso de coagulantes o floculantes, en el mercado hay gran variedad de estos productos. La cal es un floculante muy utilizado para estabilizar los coloides presentes en el agua y hacerlos precipitar, además de ser una solución económica que ha sido utilizado en peñas PTAR de este tipo, es comprobado que funciona bien.

Investigaciones (Orozco, 1972), sugieren que se necesitan $6,8 \times 10^{-3}$ kg de cal/litro de agua residual, para el caso en estudio la cantidad aproximada de agua residual que almacena cada cámara es 21 litros. Para cada litro de agua residual se necesitan $6,8 \times 10^{-3}$ kg de cal, por lo que se necesitan 0,15 kg de cal para tratar 21 litros de agua por cada cámara.

Es importante mencionar que la cantidad de cal a añadir para el tratamiento primario con esta sustancia puede disminuir o aumentar según las características del agua, por lo que se recomienda realizar pruebas de tratabilidad o de jarras antes de iniciar la dosificación de la cal. Además, la cal que se usa para este tratamiento debe ser cal de alta solubilidad para evitar un alto nivel de sedimentación de la misma.

La Tabla 74 muestra un costo aproximado de la propuesta de floculante.

Tabla 74. Costo del uso de floculante por cada año de operación del la PTAR (2018).

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Cal saco de 15 kg/año	21	18,50	388,50
Costo total/año			388,50

Es necesario además que la cal esté en contacto con el agua residual por el tiempo determinado por pruebas de Jarras, para que se pueda realizar un mejor tratamiento.

▪ MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

En esta propuesta, se ha considerado a la piedra y grava como material de soporte (Figura 94) por ser una solución sencilla, eficiente y económica. Cataño (2003), recomienda utilizar piedra angulosa o redonda aproximadamente de 20 cm de diámetro y grava sin picos de tamaño entre 4 – 7 cm.

Por otra parte, para filtros anaerobios de flujo ascendente que poseen este tipo de estructura de soporte, el RAS (2000), recomienda que al menos una vez al año, el material granular necesita ser extraído de la unidad para su lavado, con el fin de evitar taponamientos y malos desempeños de los mismos. Por tanto, para mantenimiento de la estructura de soporte planteada en esta propuesta para el FAFA de la PTAR “Huaycopungo Sur”, se sugiere adoptar esta recomendación.

En la Tabla 75 se presenta las características principales de los dos tipos de materiales a utilizarse como medio de soporte en el filtro anaerobio de flujo ascendente instalado en la PTAR Huaycopungo Sur”.

Tabla 75. *Prarámetro para el medio filtrante del FAFA.*

PARÁMETRO	PIEDRA	GRAVA
Altura del lecho (m)	0,50	1,20
Forma	Rugosa redondeada	Rugosa redondeada sin picos
Porosidad %	0,40	0,60
Diámetro (cm)	≈ 20 cm	4 – 7

Estas características ejercerán influencia sobre la eficiencia y desempeño operativo del FAFA, ayudando a proveer un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, propiciando un mayor contacto del residuo con la masa biológica; además favorecerá en la retención de la biomasa adherida o en suspensión, generando altos tiempos de retención celular, indispensables para el correcto funcionamiento del sistema.

La Tabla 76 muestra un presupuesto aproximado que se debe tener en cuenta para el cambio del material del medio de soporte del FAFA.

Tabla 76. *Costo para el reemplazo del material del medio filtrante del FAFA (2018).*

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Piedra	33 m ³	22,50	742,50
Grava	78 m ³	30,00	2340,00
Día de trabajo hombre	15 días x 4 hombre	130,00	1040,00
Herramienta menor	50 %	10,00	5,00
Costo total			4127,50

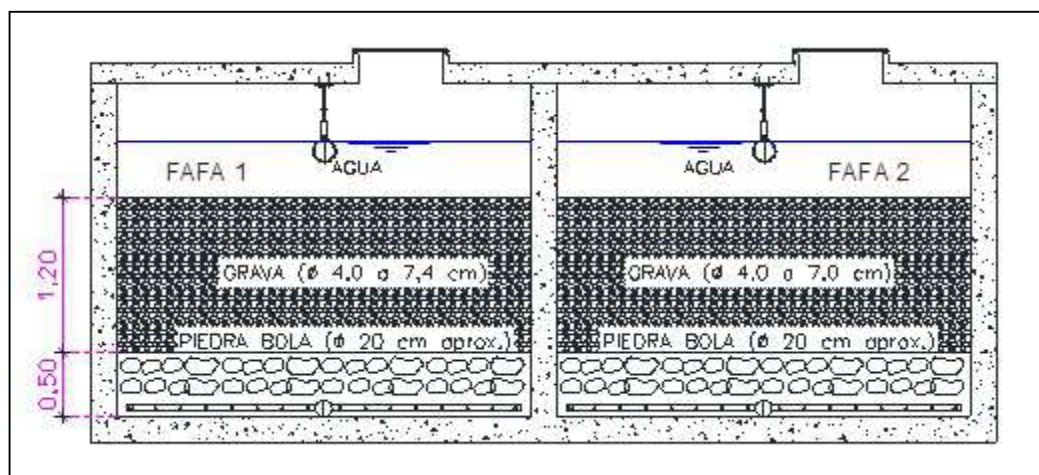


Figura 94. *Detalles de la propuesta para el medio de soporte del FAFA.*

4.3.2. Propuestas a mediano plazo

Considerando los resultados obtenidos de la evaluación, se plantea las siguientes propuestas de mejoras al sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, para optimizar y mejorar su desempeño:

1. Para retener una mayor cantidad de sólidos, principalmente arenas y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. Se plantea la instalación de un desarenador continuo al separador o derivador de caudales de ingreso tal como se muestra en el Anexo 6.

Considerando la magnitud de la obra proyectada, se estima que el tiempo requerido para su mantenimiento, será relativamente corto; además, considerando también que el servicio no se verá afectado a causa del mantenimiento; en el diseño propuesto, se contempla una sola unidad con una tubería de by-pass para efectos de mantenimiento. Aguas abajo del desarenador, se ha previsto instalar un canal Parshall (garganta) para medir el caudal de forma continua a la entrada de PTAR. Por otro lado, previo al desarenador, se ha dispuesto de un pequeño canal de aproximación previsto con una rejilla para la retención de los sólidos de gran tamaño para evitar dificultades en los procesos posteriores de tratamiento. Los detalles de cálculo del diseño del desarenador, se puede apreciar en el Anexo 7.

Para el diseño del desarenador se tomó en cuenta el caudal máximo instantáneo establecido en los diseños de la PTAR (8,65 l/s) mayorado por un factor de seguridad de 1,16 resultando un caudal de 10 l/s, siendo éste último el caudal utilizado en el diseño del desarenador. Por otro lado, Se prevé un tiempo de retención de catorce segundos (14 s) con una relación largo – ancho paroximada de 10:1 respectivamente, asegurando que la partícula tenga el tiempo suficiente para sedimentar.

Para mantener un desempeño eficiente del sistema proyectado, se deberá limpiar las rejillas una vez por día, esto se podrá realizar de forma manual o con el uso de un rastrillo. Los desechos que se obtengan deberán colocarse en los lechos de secado. Estas deben ser inspeccionadas de forma detallada una vez por semana, donde se revisará que las superficies metálicas no presenten roturas o corrosión, en caso contrario deben ser reparadas. Si se presenta un deterioro grave, se deberá realizar el reemplazo del elemento.

Igualmente, una vez por semana se deberá realizar la inspección de cámara desarenadora y corroborar que no exista la presencia de material flotante o natas. En caso contrario, estas deberán ser retiradas con una pala y colocadas en los lechos de secado. Para establecer cuando es necesario realizar la limpieza del desarenador, se debe verificar que el nivel de sedimentos acumulados en el fondo de la cámara, esté próximo a alcanzar la altura del vertedero aguas abajo. La extracción del material sedimentado, se podrá realizar de manera manual utilizando una pala y colocado en los lechos de secado.

Para efectos de mantenimiento de la cámara desarenadora se procederá a cerrar la compuerta que se ha provisto a la entrada de la cámara, entre tanto el caudal será desviado directamente a la cámara de descarga que conduce hacia el cárcamo de bombeo para ello se deberá abrir la compuerta dispuesta en este. Esto permitirá a que el servicio no se supenda.

A continuación, en la Tabla 77 se resume las especificaciones del diseño hidráulico del desarenador y en la Figura 95 se muestra los pormenores del diseño.

Tabla 77. Especificaciones del desarenador.

CANAL DE APROXIMACIÓN		
Caudal de diseño	(Q)	10 L/s
Velocidad de flujo	(v)	0,35 m/s
Profundidad canal	(H)	0,75 m
Ancho canal	(B)	0,25 m
Largo canal	(L)	1,05 m
Pendiente fondo canal	(i)	2 %
REJILLA		
Velocidad antes de la rejilla	(v)	0,33 m/s
Velocidad a través de la reja	(v _r)	0,60 m/s
Pérdida hidráulica	(h _l)	0,005 m
Diámetro de barras	(d _b)	12 mm
Longitud de barras	(L)	0,57 m
Espaciamento libre entre barras	(s)	16 mm
Número de barras	(n _b)	8,00
Número de espacios	(n _e)	9,00
Ángulo de inclinación con la horizontal	(θ)	45°
DESARENADOR (1 UNIDAD)		
Caudal de diseño	(Q)	10 L/s
Velocidad de flujo	(v)	0,20 m/s
Velocidad de sedimentación de las partículas	(v _s)	0,01 m/s
Tiempo de retención	(t)	14,00 s
Profundidad cámara	(H)	1,03 m
Ancho cámara	(B)	0,40 m
Longitud transición de entrada	(L _t)	0,40 m
Ángulo de divergencia de la transición de entrada:	(θ)	12,5°
Longitud cámara	(L _c)	3,40 m
Longitud total	(L _T)	3,94 m
Pendiente fondo cámara	(i)	2 %
CANAL PARSHALL		
Ancho de la garganta	(W)	0,15 m
Longitudes de las paredes de la sección convergente	(A)	0,62 m
Longitud de la sección convergente	(B)	0,61 m
Ancho de la salida	(C)	0,39 m
Profundidad total	(E)	0,46 m
Longitud de la garganta	(F)	0,31 m
Longitud de la sección divergente	(G)	0,61 m

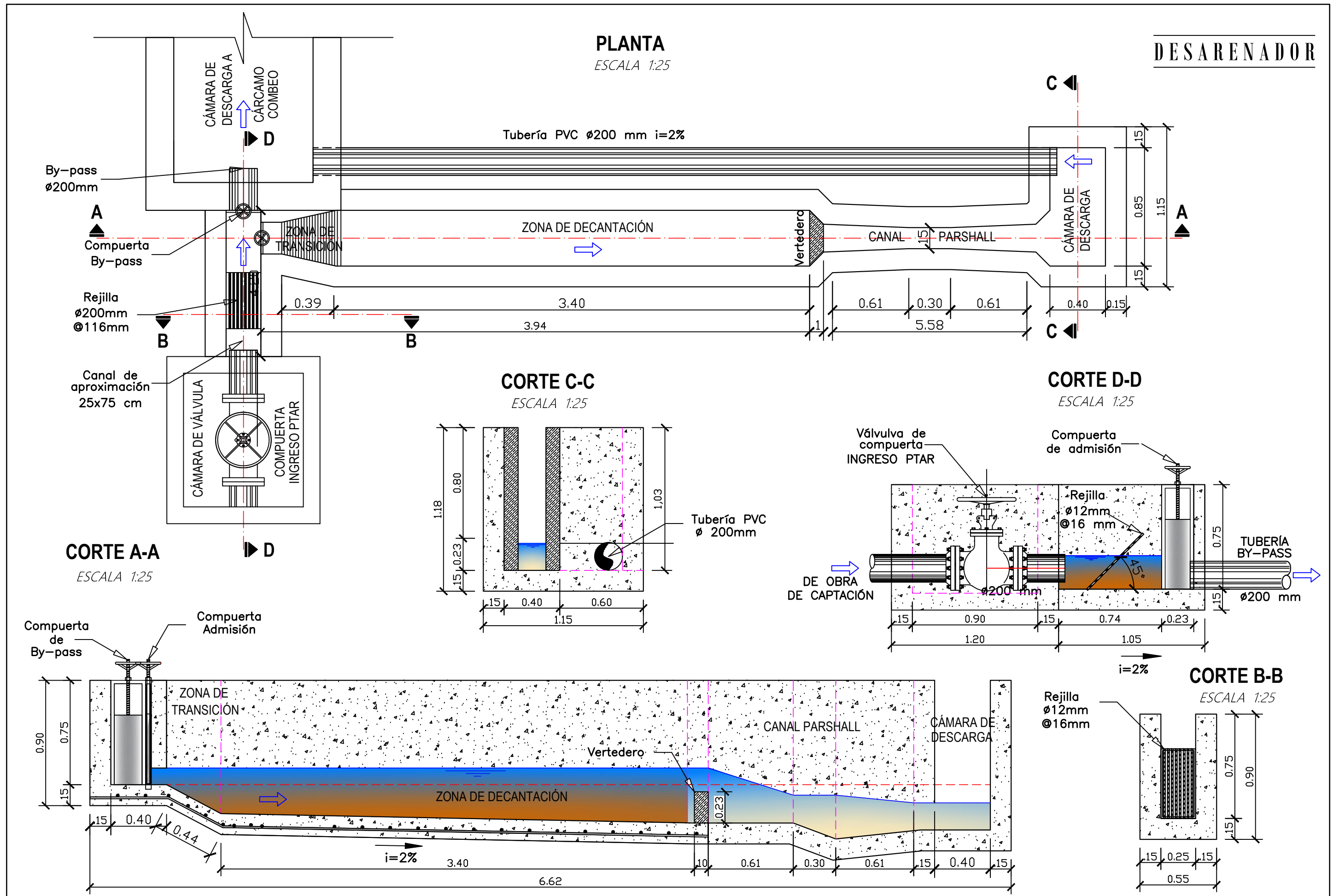


Figura 95. Pormenores del diseño del desarenador.

2. Para mejorar y alcanzar altos niveles de eficiencia del sedimentador, es necesario contar con una mayor área de sedimentación por metro cuadrado de superficie. En este sentido, se propone la mejora del diseño de las cámaras sedimentadoras para que operen con el caudal de diseño de la planta, con el fin de que la eficiencia esperada en remoción de partículas suspendidas, sea efectiva y se encuentre entre el 60 y 80 %.

Las unidades propuestas consisten en cámaras rectangulares, provistas de pantallas con perforaciones que permitirá disipar la energía de velocidad del caudal de bombeo y facilitar luego una distribución uniforme del afluente en toda el área transversal del sedimentador, además evitará altas velocidades dentro del sedimentador que puedan perturbar los sedimentos del fondo. En el primer tercio de la longitud de las cámaras, se dispuso una tolva para el depósito de los lodos sedimentados y una tubería para su extracción periódica, teniendo en cuenta que entre 60 – 90% de los lodos quedan almacenados al comienzo. La implantación general de la obra propuesta, se puede ver en el Anexo 6 y sus detalles del rediseño en el Anexo 8.

Al igual que el desarenador, para el rediseño del sedimentador se adoptó el mismo criterio para establecer el caudal de diseño, considerando el caudal máximo instantáneo 8,65 l/s mayorado por el factor de seguridad de 1,16, resultando un caudal de 10 l/s. En este caso, como se tiene dos unidades, este caudal se dividirá para 2, resultando un caudal de diseño de 5 l/s por cada unidad.

Por otro lado, para el sistema proyectado, se deberá realizar la inspección del sedimentador cada semana. El nivel máximo de lodos no deberá sobrepasar los 50 cm. En caso de que el nivel de lodos presente sea mayor que el nivel máximo permitido, se debe realizar la purga de los lodos. La forma de evacuación de lodos lo realizará mediante el uso de un sistema de bombeo.

Para medir el nivel de lodos, se utilizará una varilla de 3.50 m de longitud, uno de los extremos debe ser envuelto en tela blanca y debidamente sujeta, el tramo de tela cubierta debe ser igual al nivel de lodos máximo permitido. Se deberá introducir la varilla de forma vertical por una de las tapas de registro o pozo de registro. Debe dejarse cinco minutos y luego retirarse cuidadosamente, después de esto el nivel de lodos puede notarse por las partículas adheridas en la tela, este debe ser medido con un flexómetro o vara graduada. Antes de introducir la varilla en el sedimentador, se deben retirar las natas presentes en el tanque.

Se recomienda realizar la purga de lodos del sedimentador, cada vez que sea necesario. Con esto se evitará que el material sedimentado se endurezca, reduciendo así la capacidad de la unidad. Además de garantizar la reducción de los sólidos suspendidos en el sistema.

La Tabla 78 muestra las características y especificaciones obtenidas del rediseño del sedimentador, mientras que en la Figura 96 se pormenoriza cada una de ellas.

Tabla 78. Especificaciones del sedimentador.

SEDIMENTADOR (2 UNIDAD)		
Caudal de diseño	(Q)	5 L/s
Velocidad de sedimentación	(v_s)	0,0004 m/s
Velocidad horizontal	(v_h)	0,08 m/s
Tiempo de retención	(t)	1,62 h
Profundidad	(H)	2,10 m
Longitud	(L)	6,70 m
Ancho	(B)	2,45 m
Pendiente fondo	(i)	10 %
PANATALLA DIFUSORA		
Caudal	(Q)	5 L/s
Velocidad en los orificios	(v_s)	0,10 m/s
Distancia de la pared de entrada a pantalla	(d)	0,80 m
Ancho	(B)	2,45 m
Altura	(H)	1,30 m
Orificios		
Área total	(A_o)	0,04 m ²
Diámetro	(d_o)	50 mm
Área @ orificio	(a_o)	50 mm
Número	(n)	25
Número de filas	(n_f)	5
Número de columnas	(n_c)	5
Espacio entre filas	(e_f)	0,25 m
Espacio entre columnas	(e_c)	0,50 m
TOLVA		
Altura	(h)	0,80 m
Volumen	(V)	1,30 m ³
<i>Base mayor (superior)</i>		
Largo	(L)	1,50 m
Ancho	(B)	2,45 m
<i>Base menor (superior)</i>		
Largo	(L)	0,50 m
Ancho	(B)	0,50 m

Al mejorar la calidad de las aguas residuales afluentes al tratamiento secundario y terciario, se puede esperar un buen funcionamiento del sistema en su conjunto, además se disminuiría la frecuencia del mantenimiento preventivo y se prolongaría el funcionamiento adecuado de las obras.

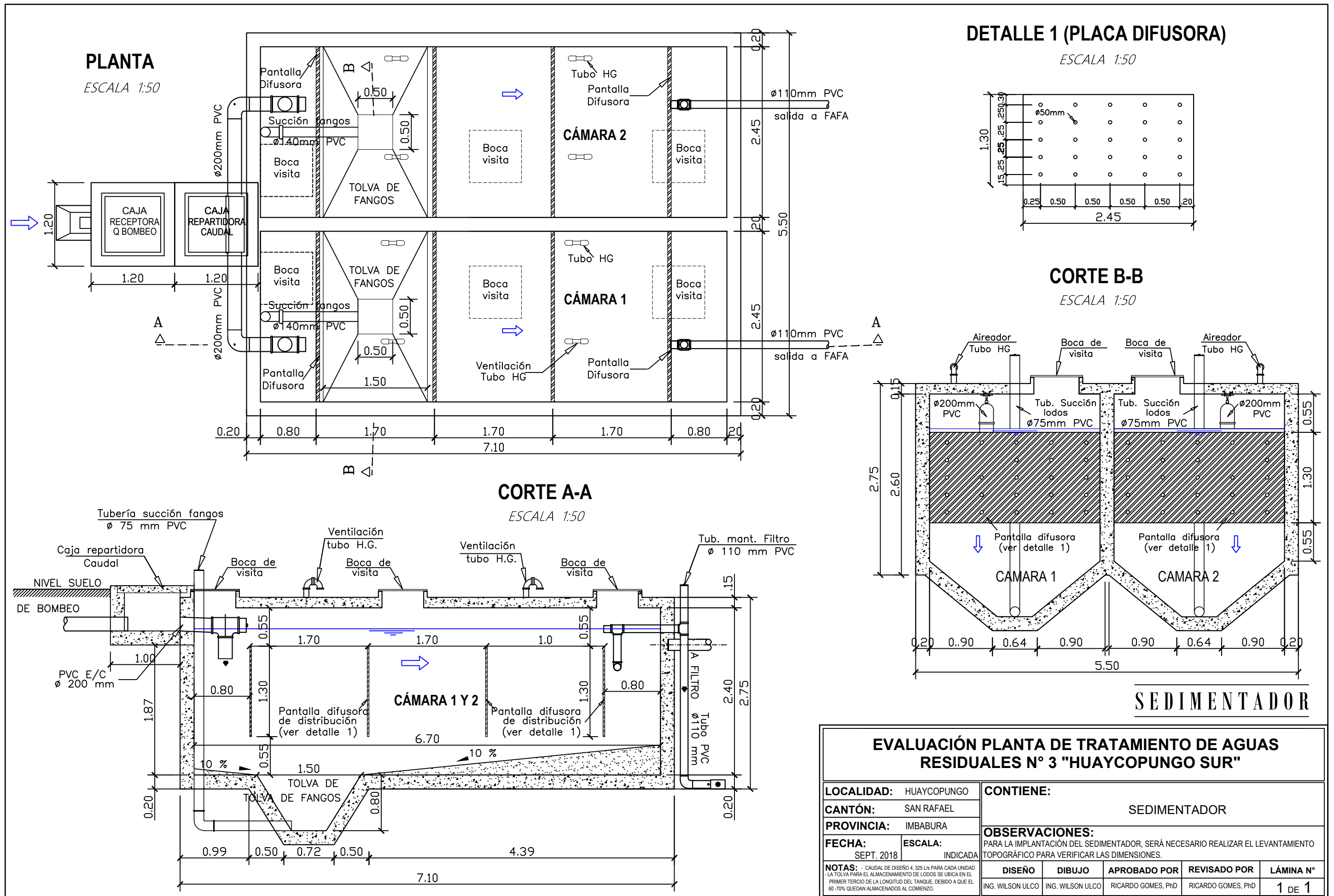


Figura 96. Pormenores del rediseño del sedimentador.

3. Para una correcta deshidratación de lodos y evitar obstrucciones de los drenes instalados para la recolección de lixiviados para su tratamiento, es necesario que en los lechos exista una capa de arena y grava que se emplee como medio de soporte, garantizando que el lodo deshidratado permanezca sobre el medio y facilite su evacuación manual. Por falta de estas consideraciones en sus diseños, actualmente el sistema de tuberías de recolección de lixiviados se encuentra obstruido, lo cual dificulta la adecuada deshidratación de los lodos dispuestos. Por lo expuesto, se vio la necesidad de proponer readecuar y mejorar la estructura del sistema existente, para mejorar el proceso de secado.

La alternativa planteada consiste en implementar a los lechos existentes, un sistema de drenaje conformado por filtros poco profundos, llenos de arena y grava, con un sistema de tubos instalados debajo de la grava del medio de drenaje para recolectar los lixiviados. Este secado se basa en el drenaje de líquido a través de la arena y la evaporación al aire del agua presente en la superficie de los lodos. Su diseño y operación son muy sencillos y fáciles de comprender, siempre y cuando la tasa de carga de los lodos esté bien seleccionada.

Para el medio de drenaje propuesto en esta alternativa, se considera las recomendaciones dadas en la “Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización” del OPS (2005). El medio de drenaje deberá tener los siguientes componentes:

- Las unidades secado deberán tener una profundidad total útil de 40 cm.
- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 7 cm, formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm llenos de arena.
- La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Deberá tener 0,15 m de espesor. La arena deberá ser lavada a fin de prevenir la obstrucción del lecho con las partículas finas.
- Bajo la arena se deberá colocar un estrato de grava graduada entre 13 y 25 mm (1/2” y 1”) de 0,20 m de espesor.
- Los drenes deberán ser tubos de 160 mm de diámetro, de PVC, instalados debajo de la grava del medio de drenaje.

La operación y control del sistema planteado, se basará principalmente en el espesor de la capa lodo a ser depositado sobre el lecho de secado, esta no deberá ser mayor a 0,30 m e idealmente de 0,25 m. Con buenas condiciones ambientales y un buen lecho de secado, un lodo bien digerido, deberá deshidratarse satisfactoriamente y estar listo para ser removido del lecho de secado entre una a dos semanas. Lodos con alto contenido de sólidos puede requerir hasta tres semanas o más a menos que se descargue capas de lodo menos profundas. Se deberá tener en cuenta de nunca añadir lodo a un lecho que contenga lodo.

La capa de arena deberá reemplazarse, cuandon estas presenten obstrucción, es decir, cuando se tenga un secado de lodos poco satisfactorio con tiempos de secado que superen su periodo normal.

La Tabla 79 y la Figura 97, indican las especificaciones y detalles del medio de drenaje a implementarse en las unidades de secado.

Tabla 79. Especificaciones del medio de drenaje propuesto parara la implementación en las unidades de secado.

LECHOS DE SECADO (5 UNIDADES)		
Profundidad útil	(h)	0,40 m
Medio de soporte		
Ladrillo artesanal	(e)	7 cm
Medio filtrante		
<i>Arena ($e = 0,15\ m$)</i>		
Tamaño efectivo	(Ø)	0,3 – 13 mm
Coeficiente de uniformidad	Cu	2 – 5
<i>Grava ($e = 0,20\ m$)</i>		
Tamaño efectivo	(Ø)	13 – 15 mm

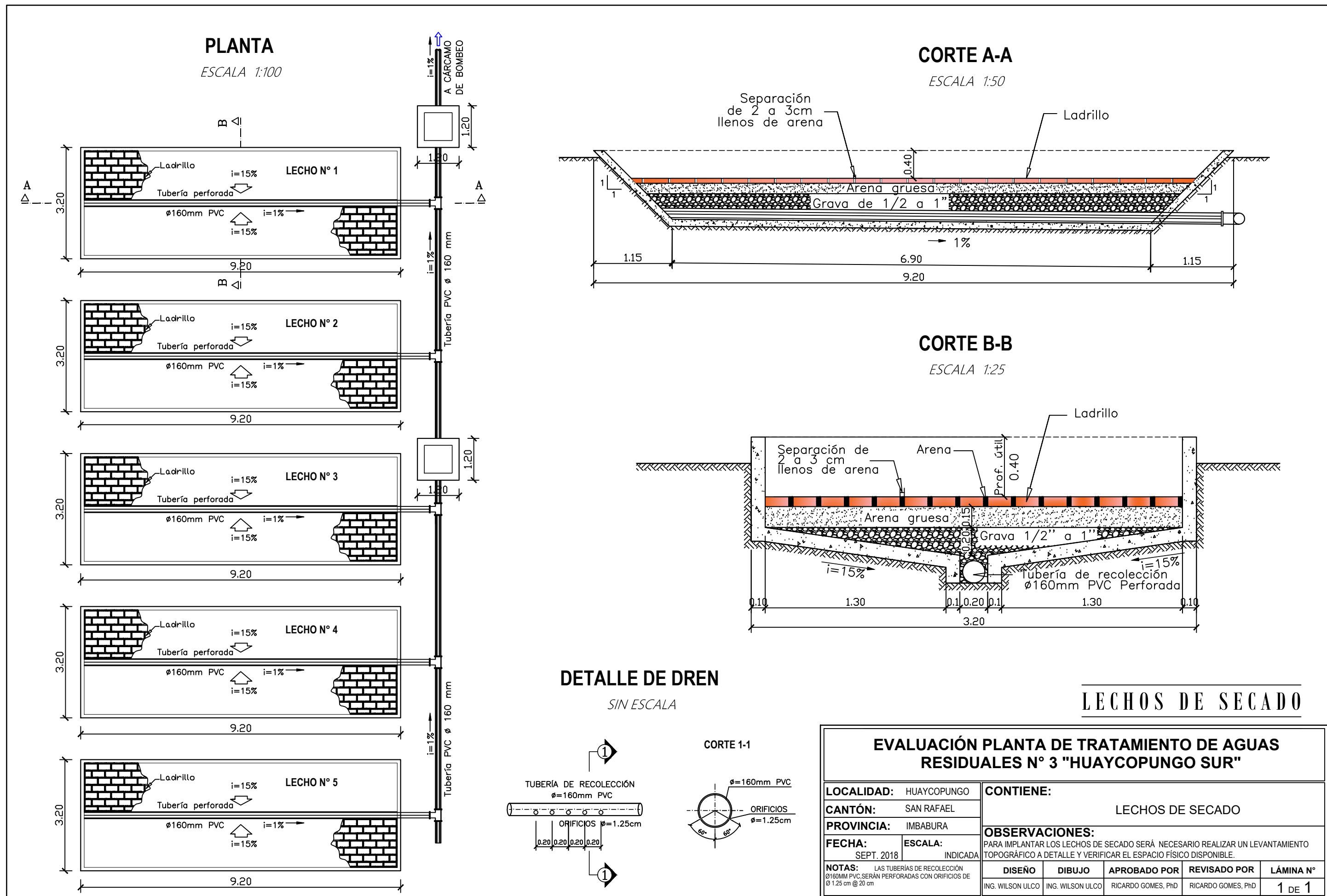


Figura 97. Pormenores del medio de drenaje a implementarse en las unidades de secado.

Las propuestas planteadas a mediano plazo, posteriormente necesitan ser analizadas y valoradas por la empresa, luego de solventar los detalles que necesitan con urgencia ser resueltos, ya que estas propuestas puedan resultar no necesarias en el caso de que se tenga previsto y planificado ampliar y reubicar la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.3.3. Propuestas a largo plazo

Desafortunadamente, la comunidad de Tocagón cuenta con un sistema de alcantarillado sin funcionamiento, dado a que la planta de tratamiento de agua residual “Huaycopungo Sur” no puede recepetar su vertido por su capacidad limitada, lo que ha obligado a los habitantes de la comunidad a disponer de pozos sépticos, letrinas o a su vez a realizar descargas directas a los causes de las quebradas que van al lago San Pablo, ocasionando problemas de contaminación. Por lo tanto, existen evidencias que justifican la necesidad de ampliar el sistema complementando aspectos técnicos y económicos.

Bajo este contexto, de acuerdo a las condiciones locales identificadas en esta evaluación: facilidad para disposición de terreno, calidad de agua residual (origen doméstico), factores ambientales, costos de instalación operación y mantenimiento; si a esto adicionamos las altas eficiencias de remoción de contaminantes que pueden alcanzar estos sistemas bajo la ejecución de una buena operación y mantenimiento, se sugiere mantener la tecnología actual de tratamiento de agua residual y rediseñar para ampliar el sistema o a su vez implementar un sistema paralelo con las mismas características como complementario al existente.

**Evaluación de la Planta de Tratamiento N° 3 de Agua Residual
“Huaycopungo Sur” de la Parroquia San Rafael de la Laguna,
Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura – Ecuador**

Conclusiones y recomendaciones

Capítulo 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente sección resume las principales conclusiones referentes a la evaluación de la Planta de tratamiento de agua residual “Huaycopungo Sur”. También se presentan recomendaciones importantes que pueden aportar en la mejora del desempeño de la PTAR.

5.1. Conclusiones

Con base a los resultados de la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas “Huaycopungo Sur” se concluye:

- La planta de tratamiento de aguas residuales N° 3 “Huaycopungo Sur” fue concedida con un horizonte de diseño hasta el año 2026, para dar servicio a las poblaciones de Huaycopungo (Parte Sur) y Tocagón, con un gasto influente de 2,72 L/s (235 m³/día); esta capacidad está llegando a su límite, ya que el gasto medio actual influente con el que se encuentra operando la PTAR se estima en 2,64 L/s (228 m³/día), sin considerar el gasto de aportación de la localidad de Tocagón, debido a que su sistema de alcantarillado se encuentra sin funcionamiento. En términos de eficiencia de capacidad física del sistema, para una situación de funcionamiento en estación seca, se establece que actualmente la PTAR está operando al 97% del 100% de su capacidad prevista para el final del periodo de diseño año 2026, por lo que surge la necesidad de ampliar y rediseñar el sistema a mediano plazo para satisfacer la demanda de gasto; durante la estación de lluvias, la PTAR presenta problemas mayores en lo que respecta al caudal afluente por la falta de control del caudal excedente que ingresa a la PTAR en esta estación, lo cual obliga a la PTAR a operar con caudales superiores a su capacidad (20%).
- Del análisis de los resultados históricos de las caracterizaciones de afluente de la PTAR, se establece que el agua residual doméstica presenta una composición típica de un agua residual de concentración baja, lo cual contribuye a que la operación de la PTAR sea eficaz pese a las ineficiencias existentes en los procesos unitarios del sistema, por la falta de supervisión y control de manera constante.
- La falta de un adecuado manejo y mantenimiento de la planta de tratamiento, por una parte, ha hecho que en ocasiones se detenga su funcionamiento por la falta de control e intervención en ciertas eventualidades como cuando las bombas dejan de funcionar a causa de un sobrecalentamiento o cuando obligatoriamente en épocas de lluvia se necesita controlar el flujo, por otra parte, esto constituye una de las causas del bajo desempeño y eficiencia que presenta actualmente el sistema.
- El agua residual procedente de las actividades locales de la zona, es predominantemente de origen doméstico que presenta una relación aproximada DBO₅/DQO de 0,5 lo cual indica que es biodegradable y que puede ser fácilmente tratable mediante procesos biológicos. En este sentido, este indicador afirma que el proceso biológico seleccionado para el tratamiento del agua residual generado en la localidad, es viable.

- El efluente de la PTAR que es vertido al río Itambi, posee características organolépticas aceptables ya que presenta una apariencia clara y un olor bajo. Por otra parte, la mayoría de parámetros de calidad de agua evaluados, cumplen con la norma de calidad requerida oficialmente para su descarga a un cuerpo de agua dulce, descritos en el Acuerdo Ministerial N° 097, Anexo 1, Recurso Agua, Tabla 9. Los parámetros reportados que no cumplen con los límites de descarga, son los compuestos organoclorados y organofosforados, siendo necesario concientizar a los usuarios a que eviten verter contaminantes de fungicidas, insecticidas y plaguicidas empleados en las labores de agricultura al sistema de alcantarillado.
- Aunque el efluente final de la PTAR cumple con lo establecido en la legislación vigente en el país, se encontró que algunos contaminantes en vez de ser removidos aumentan su concentración, tal es el caso de aceites y grasas: de 1,2 a 1,8 mg/l; DQO: de 139 a 141 mg/l; fósforo total: de 4,0 a 4,2 mg/l; nitrógeno de amonio: de 6 a 10,3 mg/l. Sin embargo, el cumplimiento de estos parámetros se debe a que el afluente de la planta de tratamiento es de baja concentración, según la clasificación presentada por algunas referencias bibliográficas.
- De la evaluación de los parámetros de control “in situ” de los procesos, se identificó que la temperatura, el pH y el Dse generan condiciones adecuadas para el desarrollo de la actividad biológica, ya que presentó temperaturas medias entre 16 y 19 °C, valores medios de pH que variaron entre 6,5 y 8,5 y valores de conductividad eléctrica que oscilaron entre 550 y 650 uSiemens/cm. Estos valores coinciden con los intervalos requeridos para el desarrollo de la actividad biológica: Temperatura: 12 a 18 °C (rangos de operación Psicrófilo), pH: entre 6 y 8,5; Conductividad eléctrica: 500 a 650 uSiemens/cm.
- De los resultados de evaluación de los parámetros de control “in situ” de los procesos, para condiciones de operación y funcionamiento en época seca y época de lluvias, se estableció que la temperatura, el pH y la DQO, no afectan el rendimiento del proceso anaerobio, ya que los valores presentados, están dentro de los valores recomendados para un buen rendimiento del proceso. Caso contrario sucede con la DBO₅ que presentó una baja concentración en el sustrato alimentado, respecto a la recomendada, lo que permite establecer que el rendimiento del digestor (FAFA), se ve afectado por la limitación de materia orgánica en el sustrato.
- El tratamiento primario presentó un aumento de los SST en un 75%; de la materia orgánica (DBO₅) en un 67%; de nutrientes: P total en un 158% y NKT en un 100%, contrariamente a lo esperado en este nivel de tratamiento que es el promover la remoción de estos contaminantes más no aumentarlos. La acumulación significativa de sólidos en el sedimentador se debe principalmente a la falta de mantenimiento de las unidades. Estos sólidos van a degradarse en condiciones esencialmente anóxicas y anaerobias, reduciendo significativamente la calidad del efluente que sale del sedimentador, además de producir un aumento en el arrastre de sólidos, lo que justifica el aumento de SST. En cuanto a los CF, su eficiencia de remoción fue de 35%, eficiencia que está dentro de los

estándares de remoción de un proceso de tratamiento primario (30 – 40%). Situación por la que se plantea una propuesta para la mejora de la infraestructura del sedimentador.

- En cuanto al tratamiento secundario, las eficiencias de remoción reportadas fueron: 29% de SST, 37% de DBO₅, 25% de DQO, 79% de CF, 21% de P total y 1% de NKT, presentando bajos niveles de remoción en comparación a las eficiencias esperadas en un proceso de tratamiento biológico SST: 60-99%; DBO₅: 60-99%; DQO: >80%, CF: 60-90% y Nutrientes (P y NKT): 10-30%.
- En el tratamiento terciario se remueven un 75% de los SST; 55% de DBO₅; 27% de DQO; 99,4% de CF; 48% de P y 67% de NKT, reportando bajos niveles de remoción a los esperados para un nivel de tratamiento terciario de tipo biológico SST: >50%; DBO₅ y DQO: >70 %; CF: >99% y Nutrientes (P y NKT): 20-50%.
- El tren de tratamiento que incluye todas las unidades (Sedimentador + FAFA + Estanques con Macrófitas), presentó una remoción global del 84% de SST; 52% de DBO₅; 99,9% de CF y 34% de NKT. Sin embargo, para la DQO y P total, en vez de disminuir la concentración de estos contaminantes, aumentan en un 1% y 5% respectivamente. Al realizar un análisis global de los resultados de las eficiencias del sistema en su conjunto, se verifica que el sistema presenta bajas eficiencias de remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.
- Las causas de la baja eficiencia de la planta de tratamiento fueron analizadas, encontrándose 3 razones principales del bajo rendimiento en el tratamiento: deficiencias en la operación y mantenimiento, falta de una unidad de desarenado y deficiencias del diseño en el sedimentador.
- La eficiencia global registrada en el sistema es proporcional al control y la operación del mismo. Del caso analizado, en la PTAR “Huaycopungo” donde los procesos operativos son deficientes, la eficiencia fue baja.
- El sistema de tratamiento que dispone la PTAR “Huaycopungo Sur” resulta adecuada para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona, pero su desempeño está siendo afectado por una inadecuada operación y mantenimiento, la misma que se ve agravada por la ausencia o insuficiencia de registros, procedimientos inadecuados de manejo de datos, ausencia de informes periódicos y falta de equipamiento de laboratorio.
- Para optimizar el desempeño de la PTAR, se presentaron una serie de propuestas que contribuirán a la mejora del funcionamiento y eficiencia del sistema de tratamiento. Las propuestas realizadas en este proyecto, se categorizadas en propuestas a corto, mediano y largo plazo. Entre las propuestas a implementar a corto plazo se presenta la instalación de pantallas difusoras en los sedimentadores, el uso de cal como floculante para acelerar el proceso de sedimentación de las partículas y el reemplazo del material de soporte del FAFA. A corto plazo se propone instalar un desarenador a la entrada de la PTAR, ampliar la estructura de los sedimentadores e implementar un sistema de filtro en los lechos de secado de lodos. En la propuesta a largo plazo, se sugiere rediseñar el sistema o implementar un sistema paralelo al existente para satisfacer la demanda de gastos de la población.

5.2. Recomendaciones

Para mejorar y optimizar el desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas “Huaycopungo Sur” se sugiere las siguientes recomendaciones:

- Disponer de personal para la operación permanente en la PTAR que vigile diariamente su funcionamiento, conozca del manual de operación y éste alerta a cualquier emergencia y eventualidad; además deberá realizar actividades como limpieza, inspecciones visuales, control y monitoreo periódico de los procesos unitarios para alcanzar eficientes niveles de operación y funcionamiento del sistema.
- Controlar el flujo de entrada a la PTAR principalmente en épocas de lluvia, ya que se constató que el caudal medio que ingresa a la PTAR es muy superior a su capacidad de diseño, debido a la afluencia de las aguas pluviales en el sistema de alcantarillado, influenciando en gran medida por la intensidad de la precipitación (periodo de retorno). Al respecto y a manera de sustento de lo expuesto, para las condiciones pluviales presentadas en el período de monidoreo de caudales, se encontró un caudal afluente de 3,86 l/s, siendo muy superior al de diseño (2,72 l/s) ocasionando desbordamientos en algunas unidades.
- Realizar mantenimiento periódico a los sedimentadores: remoción de natas, sólidos y sobrenadantes.
- Eventualmente realizar un retro lavado del material de empaque para evitar la colmatación del filtro anaerobio de flujo ascendente (esta se presenta debido a la presencia de residuos con altos contenidos de sólidos en suspensión que son arrastrados del sedimentador).
- Para alcanzar un mayor nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes en los estanques con con macrófitas, es necesario un manejo adecuado del cultivo del jacinto de agua (lechuguín), basado en mantener plantas jóvenes y renovadas altamente reproductivas y en condiciones óptimas para garantizan una buena capacidad fotosintética y oxigenación para la degradación de la materia orgánica además de la extracción de elementos químicos como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, cobre, boro, zinc, calcio, etc. disueltos en el agua residual. Según la investigación realizada por Farinango (2014) en la PTAR Huaycopungo Norte, recomienda que la cosecha del cultivo del jacinto de agua debe realizarse con una frecuencia de 15 a 18 días, para alcanzar óptimos niveles de desempeño de los estanques.
- Implementar un plan de monitoreo para la caracterización de calidad de agua residual, tanto a la entrada y salida del tren de tratamiento, así como a la entrada y salida de cada uno de los procesos unitarios que conforman el sistema, con el pósito de contar con un registro y evolución de eficiencias operativas y establecer medidas correctivas que ayuden a mejorar su desempeño.

- En vista que el sistema está llegando a su capacidad límite de diseño y una de las localidades contempladas en su diseño (Tocagón), actualmente no está siendo beneficiada para evitar el colapso del sistema, lo cual ha ocasionado que la localidad cuente con un sistema de alcantarillado sin funcionamiento al no poder conducir sus aguas servidas hasta la planta de tratamiento, es necesario rediseñar y ampliar el sistema para cubrir las grandes necesidades de saneamiento que actualmente aqueja a la población de Tocagón.
- Cumplir a cabalidad con las frecuencias establecidas para el mantenimiento preventivo del sistema, de acuerdo a lo dispuesto en su Manual de Operación y Mantenimiento, para evitar que se produzcan interrupciones debidas a fallas de cualquiera de los elementos, procesos u operaciones y prolongar el funcionamiento adecuado de las obras.
- Debido a que la planta de tratamiento está ubicada en una zona agrícola, es necesario e importante realizar programas de capacitación y concienciación al colectivo beneficiario del servicio de saneamiento, sobre los contaminantes que se emplean en las labores agrícolas (funguicidas, insecticidas, entre otros) y que están siendo vertidos al sistema de alcantarillado ya que en esta evaluación se encontró que los niveles de concentración de los compuestos organoclorados y organofosforados, están sobre los valores límites máximos permisibles de la norma de descarga al sistema de alcantarillado público y están afectando directamente en la operación de la PTAR.
- Realizar una evaluación de los lodos o fangos que se generan y disponen en la planta de tratamiento, para verificar su cumplimiento de calidad y puedan ser utilizados en las labores agrícolas, bajo un previo acondicionamiento de los mismos.
- Es de gran importancia que en el Ecuador se fomente e implementen iniciativas para la reutilización de las aguas residuales tratadas con fines no potables tales como: lavado de coches, limpieza de calles, agricultura, sanitarios, entre otros; esto permitirá que las entidades gestoras a cargo de la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales sean más eficientes en la prestación de sus servicios, mejorando su sostenibilidad económica y sobre todo contribuyendo a la preservación y conservación del medio ambiente natural, en una perspectiva de desarrollo sostenible.

Bibliografía

Abollino O., Aceto M., Malandrino M., Mentaste E., Sarzanini C., Barberis R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 119: 177.

Acuerdo Ministerial No. 097. (2015). Quito- Ecuador, MAE, Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo I, Tabla 10.

Arellano Díaz, J., & Guzmán Pantoja, J. E. (2011). Ingeniería Ambiental (1 ed.). México: Alfaomega Grupo editor S.A.de CV.

Arias A. (1991). Sistema de Tratamiento Anaerobio para Aguas Residuales del Beneficio de Café. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Ávila J., Castillo Q., Zárete W. 2000. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola. Consultado en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/7216.pdf> (03/12/13).

Balmat J. (1957). Biochemical oxidation of various particulate fractions of sewage. Sewage and industrial wastes, 29 (7), 757-761.

Campos Gómez, I. (2003). Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Cardona J., García L. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica.

Cataño J. (2003). Influencia del medio de soporte del comportamiento de filtros anaerobios de flujo ascendente bajo diferentes tiempos de retención hidráulica, Cali, 70 p. Trabajo de grado (Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

Chávez M. E. (2010). Diseño y cálculo de un tren de tratamiento biológico para aguas residuales urbanas usando la tecnología de lecho granular expandido. Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. México D.F. 272 p.

Chernicharo, C. (1997). Principios do Tratamento Biológico de Aguas Residuárias: Reactores Anaerobios. Volumen 5. Capi. 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Choorit, W. (2007). Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. Electronic Journal of Biotechnology, 10(3): 376-385.

Condori L., Delgadillo M. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales con macrófitas para comunidades cercanas al lago Titicaca. Journal Boliviano de Ciencias, 7(21):63-66, 227.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Quito – Ecuador, Recursos Naturales.

Coronel E. (2016). Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de Agua (*Lemna minor*) en el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas, 2015. Tesis para obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas – Perú.

Crites R., Tchobanoglous G. (200). Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2da. ed. Bogotá-Colombia: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, pp. 33-67, 300-333.

Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., & Andrade, M. (2010). Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales. Cochabamba, Bolivia.

Díaz M., Bustos M., Espinoza A. (2004). Pruebas de toxicidad acuática: Fundamentos y métodos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp. 94-100.

EPA. Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment US EPA. <http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf>, 1988. 225, 226, 229, 230, 231, 232, 235.

Espinosa, (2014). Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 30.000 Habitantes. Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente. Bogotá D.C.

Figueiredo I. (2009). Avaliação de desempenho do processo CEPT (chemically enhanced primary treatment) no tratamento primário de esgotos domésticos. Tese (doutorado) Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_d/capitulo2.pdf.

Han-Quing Yu (2006). Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory-scale multi-and single-fed filters at ambient temperaturas. Editores University of Science & Technology of China.

Hrudey S., Burch M., Drikas M., Gregory R. (1999). Remedial measures. In Toxic cyanobacteria in water. Ed. I. Chorus and J. Bartram. E&FN SPON. London.

J. Fernández. Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Coordinada por Jesús Fernández González. Proyecto Life. Amb disponible en. pdf a Internet: <http://www.macrophytes.info/documentación/>, 2000. 223, 226, 227, 229, 230, 232, 236.

Jaramillo M., Flores D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales de la actividad minera. Consultado en: dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf (28/02/13).

Hernández A. (1992), Depuración de Aguas Residuales, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.

Leonard N., Dasgupta A. (1998). Tratamiento de vertimientos industriales y peligrosos. Volumen III de ingeniería medioambiental. Ediciones Díaz de santos. ISBN: 8479783370, 9788479783372. 848 p.

Lucho C., Álvarez M., Beltrán R., Prieto F., Poggi H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*.

Metcalf L., Eddy H. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ra. ed. México DF- México: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, pp. 228, 508-520, 550-680.

Metcalf L & Eddy H. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse, McGraw-Hill.

Nahlik A., Mitsch W. (2006). Tropical treatment wetlands dominated by freefloating macrophytes for water quality improvement in costa rica. *Ecological Engineering*, 28(3):246–257. 226, 227, 237.

Niño Z., Pérez S., Llobregat M. (2004). Desarrollo de un Programa de Simulación de Procesos para el Tratamiento de Efluentes Líquidos. *Información Tecnológica*, 47-53.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Quito – Ecuador, 23p.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Primera Edición. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestro. Quito – Ecuador, 12p.

Noyola A., Morgan J., Guereca L. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. México DF- México.

León, M. y Lucero, A. 2009. Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lernma gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi. Ibarra, Ecuagor. Universidad Tecnica del Norte, p. 29-37.

Leyva, P. (1998). El Medio Ambiente en Colombia. Segunda versión. IDEAM. Bogotá. 495 pp.

Luv, D. y Lipták, B. (1999). Wastewater treatment. First Edition. Editorial Lewis. USA, 1269 pp.

Ødegaard H. (1998). Optimized Particle Separation in the Primary Step of WastewaterTreatment, *Water Science and Technology*, 37 (10), pp. 43-53.

Obaya y col, 1991, Lodos anaerobios termófilos del proceso UASB III. Uso del metanol para su adaptación. Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, N0.3, vol. XXV 1991. Pág 33-38.

Organización Mundial de la Salud – OMS (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (Serie de informes técnicos 778).

Organización Panamericana de la Salud – OPS (2005), Guía para el diseño de tanques sépticos, Tanques imhoff y lagunas de estabilización, Lima – Perú, 40 p.

Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales: Teoría y diseño. ACODAL, Bogotá, Colombia. ISBN: 9589645453, 9789589645451. pp. 411.

Ramallo R. (1993). Tratamiento de Aguas Residuales, 2da. ed. Quebec – Canadá: Editorial Reverte S.A, pp. 92, 146, 147.

RAS, T.D (2000). Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento. Bogotá-Colombia.

Rojas, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño, 3a ed. Bogotá – Colombia. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería 1248 p.

Sandoval M. Celis J., Junod J. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Teoría, 14:17–25. 224, 227, 236, 237.

Sastre, J. A. S. (2005). Tecnologías para la sostenibilidad: procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. EOI Esc. Organiz. Industrial.

Stephenson T. [et al.]. Membrane Bioreactor for wastewater treatment. London IWA, 2000.

Tsukamoto R. (2002). Tratamiento primario avanzado: el paradigma moderno del tratamiento de aguas residuales sanitarias. Acodal, Cali.

Vieira, P. (2009), Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano. Tese de Doutorado em Ciências e Tecnologias do Ambiente, especialidade de Tecnologias do Ambiente, pela Universidade do Algarve, Faro.

Vindas, K (2001). Evaluación de medios de soporte biológico para filtros anaerobios de flujo ascendente. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José.

Von S., y Chernicharo C. (2005). Biological wastewater treatment in warm climate regions (Vol. 1). London: IWA.

Wilson, T. E. (2005). Introduction and overview water environment federation clarifier Design, Manual of Practice No. FD-8. Proceedings of the Water Environment Federation, 2005 (11), 4412-4416.

Zegers, Frank. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto – UASB: Manual del curso: A. Microbiología. Universidad del Valle; Corporación Autónoma regional del Cauca; Universidad Agrícola de Wageningen, Santiago de Cali, noviembre 1987. Páginas A11-A13.

<http://es.scribd.com/doc/70449116/CENTA-Aguas-Residuales-Tratamiento-Normativa> (accedido el 11 de febrero de 2018).

<http://studylib.es/doc/7742731/determinacion-de-solidos-totales--suspendidos> (accedido el 27 de febrero de 2018).

<https://bit.ly/2oFTvFg> (accedido el 07 de marzo de 2018).

<https://es.scribd.com/document/355310818/Caracterizacion-de-Agua-Residuales> (accedido el 18 de marzo de 2018).

<https://bit.ly/2oEKAe8> (accedido el 04 de abril de 2018).

<https://ebay.to/2oFBuXQ> (accedido el 12 de abril de 2018).

<https://bit.ly/2NFblXI> (accedido el 06 de junio de 2016).

Anexos

ANEXO 1:

FORMATO DE ENCUESTA SOCIO-ECONÓMICA

ANEXO 2:

FICHA DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL

FICHA DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL – AFORO VOLUMÉTRICO

Proyecto:

Localización:

Coordenadas:

Altitud:

Clima:

HOJA N°

INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN

PTAR:

Tipo de vertido:

Temporada:

Fecha:

Temperatura y estado del tiempo:

Punto:

Operadores:

REGISTRO DE MEDICIÓN

HORA	N°	VOLUMEN (V)	TIEMPO (t)	CAUDAL (Q)	TRABAJO DE LA TUBERÍA DE ENTRADA			
		I	s	I/s	1/4	Medio	3/4	Lleno
6:00	1							
	2							
	3							
7:00	1							
	2							
	3							
8:00	1							
	2							
	3							
9:00	1							
	2							
	3							
10:00	1							
	2							
	3							
11:00	1							
	2							
	3							
12:00	1							
	2							
	3							
13:00	1							
	2							
	3							
14:00	1							
	2							
	3							
15:00	1							
	2							
	3							
16:00	1							
	2							
	3							
17:00	1							
	2							
	3							
18:00	1							
	2							
	3							

OBSEVACIONES:

ANEXO 3:

FICHA DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DE
PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS “IN SITU” Y
PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA
RESIDUAL

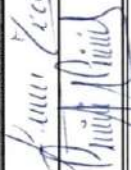
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES										 POLITÉCNICO DE LEIRIA		
FICHA DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETRO FÍSICOS-QUÍMICOS "IN SITU"												
Proyecto: Localización: Coordenadas: Altitud:										HOJA N° 		
										Clima:		
INFORMACIÓN DE LA MEDICIÓN												
PTAR: Tipo de vertido: Temporada: Fecha:						Temperatura y estado del tiempo: Punto: Operadores:						
REGISTRO DE MEDICIÓN												
HORA	PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS				PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS							
	Temperatura (T)	Conductividad Eléctrica (CE)	Potencial Hidrógeno (pH)	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	COLOR				APARI ENCIA		OLOR	
					Café claro	Gris claro	Gris oscuro	Negro	Clara	Turbia	Sin olor	Bajo
	°C	µS/cm		mg/l								
6:00												
7:00												
8:00												
9:00												
10:00												
11:00												
12:00												
13:00												
14:00												
15:00												
16:00												
17:00												
18:00												
ESQUEMA DE LA PTAR DONDE FUE REALIZADA LA MEDICIÓN												
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA												
OBSEVACIONES:												

ANEXO 4:

CADENA DE CUSTODIA DEL MUESTREO DE AGUA RESIDUAL

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES										 POLITÉCNICO DE LEIRIA	
MUESTREO DE CALIDAD DE AGUA											
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N. Altitud: 2790 msnm.											
810328.91 E. Frio. Clima:											
HOJA Nº CDC-1 / 4											
CEDENA DE LA CUSTODIA DE LOS ENVASES VACIOS											
Recepción	Fecha	Hora	Tipo de análisis	Cantidad de Envases	Envases		Entrega	Recibe	Observaciones		
					Tipo	Volumen					
PTAR "Huaycopungo Sur"	28/05/2018	07h00	Físicos-químicos	4	Plástico	4 L (1 Gal.)	Wilson Ulco	Darwin Taco	Env. Nuevos y Etiquetados		
PTAR "Huaycopungo Sur"	29/05/2018	07h00	Aceites y Grasas, Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	4	Vidrio	1 L	Wilson Ulco	Darwin Taco	Env. Nuevos y Etiquetados		
PTAR "Huaycopungo Sur"	30/05/2018	07h00	Pesticidas	4	Vidrio, color ambar (oscuro)	1 L	Wilson Ulco	Darwin Taco	Env. Nuevos y Etiquetados		
PTAR "Huaycopungo Sur"			Microbiológicos	4	Plástico, Estéril	100 mL	Wilson Ulco	Darwin Taco	Env. Nuevos y Etiquetados		

FIRMAS DE RESPONSABILIDADES	
RESPONSABLE ENTREGA ENVASES	RESPONSABLE RECEPCION DE ENVASES
	

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA										POLITÉCNICO DE LEIRIA	
ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN											
PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES											
MUESTREO DE CALIDAD DE AGUA											
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N. Altitud: 2790 msnm.											
HOJA N° CDC-2 / 4											
810328.91 E. Clima:											
INFORMACIÓN GENERAL						INFORMACIÓN GENERAL					
PTAR: N° 3 Huaycopungo Sur. Tipo de Vertido: Agua Residual Doméstica. Temporada: Inicio de Temporada de Sequía.						Tipo de Muestra: Compuesta. Método de Recolección: Manual Res. Tomas de Muestra: Muestreador Automático Darwin Taco / Wilson Ulco.					
Punto Muestreo	Proceso	Código Estación	Fecha	Hora	Coordena.	N° Caja Térmica	Parámetro		Cond. Eléctrica (Us/cm)	Sólidos Disueltos (ppm)	Observaciones
							T (°C)	PH			
Entrada PTAR	Afluente Ing PTAR- Trat. Prim.	A1	28/05/2018	8:00 - 16:30	810328 E 21292 N	1	19.1	6.62	580	291	Muestra a conservar a 4° C.
Sediment.- Entr. FAFA	Trat. Primario - Trat. Secund.	A2	28/05/2018	8:00 - 16:30	810333 E 21307 N	1	19.5	6.41	970	511	Muestra a conservar a 4° C.
Sal. FAFA -Entr. Estanques	Trat. Secundario - Trat. Tercia.	A3	28/05/2018	8:00 - 16:30	810340 E 21318 N	1	20.3	6.50	920	481	Muestra a conservar a 4° C.
Salida PTAR	Efluente . Salida PTAR	A4	28/05/2018	8:00 - 16:30	810247 E 21367 N	1	20.02 - 21.5	6.87	580611	286	Muestra a conservar a 4° C.
INTEGRANTES GRUPO DE MUESTREO: Darwin Taco, Wilson Ulco.											
REPORTE DE INCIDENTES/ ACCIONES CORRECTIVAS/ OBSERVACIONES:											
N°	Hora	Nombre	DNI	FIRMA							
1	8:00 - 16:30	Darwin Taco	1720091915								
2	8:00 - 16:30	Wilson Ulco	1722408244								

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
CADENA DE CUSTODIA		
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N. Altitud: 2790 msnm.	HOJA N° 4 CDC-3	
RECEPCION DE MUESTRA EN LABORATORIO		
INFORMACION GENERAL		
PTAR: N° 3 Huaycopungo Sur. Tipo de Vertido: Agua Residual Doméstica. Temporada: Inicio de Temporada de Sequía.	Tipo de Muestra: Compuesta. Mét. de Recolección: Manual. Res. Tomas de Muestra: Muestreador Automático. Darwin Taco / Wilson Ulco.	☒ ☒
RECIBE		
ENTREGA		
Fecha	Hora	Identificación de muestra
Número de frasco		
Envase		
Tensioactivos		
Sulfuros		
Sulfatos		
Sólidos Totales		
Sólidos Suspendidos Tot.		
Plomo		
Comp. Organofosforados		
Comp. Organoclorados		
Nitrógeno Kjeldahl Total		
Nitrógeno de amonio		
Nitritos		
Nitratos		
Hidro. Totales de Petróleo		
Fósforo Total		
DBO₅		
DBO₂		
Cromo Hexavalente		
Color Real		
Coliformes Fecales		
Aeróbico		
Aciditos y Grasas		
Preservación/ Temperatura		
Volumen		
Tipo		
Plástico		
Vidrio		
Vidrio color ambar (oscuro)		
Plástico estéril		
Plástico		
Vidrio		
Vidrio color ambar (oscuro)		
Plástico estéril		
Vidrio		
Vidrio color ambar (oscuro)		
Plástico estéril		
Vidrio		
Vidrio color ambar (oscuro)		
Plástico estéril		
Vidrio		
Vidrio color ambar (oscuro)		
Plástico estéril		
ACEPTADA		
SI ☒ NO ☐		
OBSERVACIONES: Las muestras de agua residual ingresaron al laboratorio el día lunes, 28 de mayo de 2018 a las 18h30 y no se pudo hacer la entrega al personal de laboratorio por su jornada de atención (08h00 - 17h00), por lo que fueron debidamente refrigeradas para su entrega posterior.		

RESPONSABLE ENTREGA DE MUESTRAS	
RESPONSABLE ENTREGA DE MUESTRAS 	RESPONSABLE RECEPCIÓN MUESTRAS

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA				
CADENA DE CUSTODIA						
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.					
Localización:	Vía Puería del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.					
Coordenadas:	10021288.69 N.	810328.91 E.				
Altitud:	2790 msnm.	Clima:				
		HOJA N° CDC-4 / 4				
ESTADO RECEPCIÓN DE MUESTRAS						
Fecha:	29/05/2018	Hora: 12h30				
A. EXÁMEN INICIAL						
1. ¿Ha llegado el precinto de seguridad sano?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
2. ¿Está el formulario de cadena de custodia (CDC) en la conservadora		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
3. ¿Fue la CDC completada por la persona que ha entregado la conservadora al laboratorio?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
4. ¿Fue la CDC completada por la persona que ha recibido la conservadora?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
5. ¿Se ha empacado la conservadora con refrigerante suficiente?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
6. Tipo de refrigerante	Cooler	4 °C				
B. FASE DE CONTROL						
1. Día en que las muestras han sido controladas:		29/05/2018				
2. ¿Han llegado los envases en condiciones adecuadas		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle:						
3. Están las etiquetas completas (día, hora, firma)?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
4. ¿Han sido preservadas las muestras (con reactivos)?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>X</td></tr> </table>	SI	NO		X
SI	NO					
	X					
5. ¿Coinciden las etiquetas de las muestras con los datos del formulario de CDC?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle:						
6. ¿Se han utilizado los envases correctos para los análisis químicos indicados?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
7. ¿Estaban ausentes de burbujas los viales?		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>X</td><td></td></tr> </table>	SI	NO	X	
SI	NO					
X						
Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle los envases que contienen burbujas, identificándolos con su código						
FIRMAS DE RESPONSABILIDADES						
ENTREGA:	RECIBE:					
						

ANEXO 5:

INFORME DE RESULTADOS DE LA CARACATERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

ANEXO 5A: INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLIS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.MI. 37106
ORDEN DE TRABAJO No. 58804

SOLICITADO POR: ULCO WILSON
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: TUMBACO EL ARENAL
MUESTRA DE: AGUA
DESCRIPCIÓN: ENTRADA A LA PLANTA (SAN RAFAEL DE LA LAGUNA)
LOTE: -----
FECHA DE ELABORACIÓN: -----
FECHA DE VENCIMIENTO: -----
FECHA DE RECEPCIÓN: 24/05/2018
HORA DE RECEPCIÓN: 12H32
FECHA DE ANÁLISIS: 29/05/2018
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA: 04/06/2018
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA
COLOR: CARACTERÍSTICO
OLOR: CARACTERÍSTICO
ESTADO: LÍQUIDO
CONTENIDO: 200ml
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA TOMADA POR EL PERSONAL TÉCNICO DEL OSP.
MUESTREO POR: Q. DARWIN TACO, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FECHA DE MUESTREO: 28/05/2018

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECAL	NMP/100 ml	1.7X10 ⁶	MMI-12/SM 9221-E

DATOS ADICIONALES:

NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro



Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*



B.F. Magaly Chasi - Msc.
JEFE ÁREA DE MICROBIOLOGIA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.MI. 37107
ORDEN DE TRABAJO No. 58804

SOLICITADO POR: ULCO WILSON
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: TUMBACO EL ARENAL
MUESTRA DE: AGUA
DESCRIPCIÓN: SALIDA SEDIMENTADOR
LOTE: -----
FECHA DE ELABORACIÓN: -----
FECHA DE VENCIMIENTO: -----
FECHA DE RECEPCIÓN: 24/05/2018
HORA DE RECEPCIÓN: 12H32
FECHA DE ANÁLISIS: 29/05/2018
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA: 04/06/2018
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA
COLOR: CARACTERÍSTICO
OLOR: CARACTERÍSTICO
ESTADO: LÍQUIDO
CONTENIDO: 200ml
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA TOMADA POR EL PERSONAL TÉCNICO DEL OSP.
MUESTREADO POR: Q. DARWIN TACO, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FECHA DE MUESTREO: 28/05/2018

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALIS	NMP/100 ml	1.1X10 ⁶	MMI-12/SM 9221-E

DATOS ADICIONALES:

NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*




B.F. Magaly Chasi - Msc.
JEFE ÁREA DE MICROBIOLOGIA



2 1/1

RMI-4.1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.MI. 37108
ORDEN DE TRABAJO No. 58804

SOLICITADO POR: ULCO WILSON
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: TUMBACO EL ARENAL
MUESTRA DE: AGUA
DESCRIPCIÓN: SALIDA DEL FILTRO
LOTE: -----
FECHA DE ELABORACIÓN: -----
FECHA DE VENCIMIENTO: -----
FECHA DE RECEPCIÓN: 24/05/2018
HORA DE RECEPCIÓN: 12H32
FECHA DE ANÁLISIS: 29/05/2018
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA: 04/06/2018
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA
COLOR: CARACTERÍSTICO
OLOR: CARACTERÍSTICO
ESTADO: LÍQUIDO
CONTENIDO: 200ml
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA TOMADA POR EL PERSONAL TÉCNICO DEL OSP.
MUESTREADO POR: Q. DARWIN TACO, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FECHA DE MUESTREO: 28/05/2018

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	2.3×10^5	MMI-12/SM 9221-E

DATOS ADICIONALES:

NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*




B.F. Magaly Chasi - Msc.
JEFE ÁREA DE MICROBIOLOGIA



3 1/1

RMI-4.1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.MI. 37109
ORDEN DE TRABAJO No. 58804

SOLICITADO POR: ULCO WILSON
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: TUMBACO EL ARENAL
MUESTRA DE: AGUA
DESCRIPCIÓN: SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO (DESCARGA LAGUNA)
LOTE: -----
FECHA DE ELABORACIÓN: -----
FECHA DE VENCIMIENTO: -----
FECHA DE RECEPCIÓN: 24/05/2018
HORA DE RECEPCIÓN: 12H32
FECHA DE ANÁLISIS: 29/05/2018
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA: 04/06/2018
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA
COLOR: CARACTERÍSTICO
OLOR: CARACTERÍSTICO
ESTADO: LÍQUIDO
CONTENIDO: 200ml
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA TOMADA POR EL PERSONAL TÉCNICO DEL OSP.
MUESTREO POR: Q. DARWIN TACO, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FECHA DE MUESTREO: 28/05/2018

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	1.3×10^3	MMI-12/SM 9221-E

DATOS ADICIONALES:

NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"




B.E. Magaly Chasi - Msc.
JEFE ÁREA DE MICROBIOLOGIA



4 1/1

RMI-4.1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

ANEXO 5B: INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47074
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

SOLICITADO POR:	ULCO WILSON		
DIRECCION DEL CLIENTE:	TUMBACO EL ARENAL		
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL		
DESCRIPCIÓN:	ENTRADA A LA PLANTA - SAN RAFAEL DE LA LAGUNA		
FECHA DE RECEPCIÓN:	24/05/2018	HORA DE RECEPCIÓN:	12H32
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 28/05/2018 AL 18/06/2018		
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	18/06/2018		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	TURBIA	ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	1 GALON		
CONDICIONES AMBIENTALES			
HUMEDAD RELATIVA %:	70,4	TEMPERATURA AMBIENTE °C:	16,4
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s:	0,3	DIRECCION DEL VIENTO:	NORESTE
PRESION ATMOSFERICA mm Hg:	558	COBERTURA DE NUBES:	NUBLADO
UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	17N0810325	UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	21293
MUESTREADO POR:	Q. DARWIN TACO		
FECHA DE MUESTREO:	28/05/2018	HORA:	11H30 - 14H30
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la factura.		

RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	METODOS	INCERTIDUMBRE %
ARSENICO	mg/L	<0,0002	0,1	MAM-49 / APHA 3114 B MODIFICADO	-
* COLOR ²	HAZEN	111	-	MAM-76 / METODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	-
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	<0,025	0,5	MAM-75 / COLORIMETRICO HACH 90 MODIFICADO	-
DBO5	mgO2/L	67	250,0	MAM-38 / APHA 5210 B MODIFICADO	4,00
DQO	mgO2/L	139	500,0	MAM-23A / MERCK 112,28,29,132 MODIFICADO	6,00
FOSFORO TOTAL	mg/L	4,0	15,0	MAM-17 / APHA 4500-P C y o C y E MODIFICADO	12,60
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	2,5	-	MAM-43 / APHA 4500-NO3 B MODIFICADO	22,30
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	<0,010	-	MAM-81 / COLORIMETRICO HACH 375 MODIFICADO	-



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE[®]



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47074
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA¹	METODOS	INCERTIDUMBRE %
* NITROGENO DE AMONIO²	mg/L	6,00	-	MAM-44 / COLORIMETRICO HACH MODIFICADO	-
NITROGENO TOTAL	mg/L	15	-	MAM-45 / METODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	2,00
ORGANOCOLORADOS					
ALFA-BCH	ug/L	<1,0	-	MAL-80 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
BETA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
* GAMMA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
DELTA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
HEPTACHLOR	ug/L	<1,0	-		-
ALDRIN	ug/L	<1,0	-		-
HEPTACHLOR EPOXIDO iso b	ug/L	<1,0	-		-
*GAMMA CHLORDANO	ug/L	<1,0	-		-
ENDOSULFAN I	ug/L	<1,0	-		-
*ALFA CHLORDANO	ug/L	<1,0	-		-
4,4' DDE	ug/L	<1,0	-		-
DIELDRIN	ug/L	<1,0	-		-
* ENDRIN	ug/L	<1,0	-		-
* ENDOSULFAN II	ug/L	<1,0	-		-
4,4' DDD	ug/L	<1,0	-		-
ENDRIN ALDEHIDO	ug/L	<1,0	-		-
ENDOSULFAN SULFATO	ug/L	<1,0	-		-
4,4 DDT	ug/L	<1,0	-		-
ENDRIN CETONA	ug/L	<1,0	-	-	
METOXYCHLOR	ug/L	<1,0	-	-	
ORGANOFOSFORADOS					
* o,o,o-TRIETILFOSFOROTHIONATO	ug/L	<0,02	-	MAL-79 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
* THIONAZIN	ug/L	<0,02	-		-
* DEMETON O	ug/L	<0,02	-		-
* SULFOTEP	ug/L	<0,02	-		-



B.F. ALICIA CEPÁ
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47074
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
ORGANOFOSFORADOS					
PHORATE	ug/L	<1,5	-	MAL-79 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
* DEMETON S	ug/L	<0,02	-		-
* DIMETHOATE	ug/L	<0,02	-		-
DIAZINON	ug/L	<1,0	-		-
DISULFOTON	ug/L	<1,5	-		-
METIL PARATHION	ug/L	<3,5	-		-
MALATHION	ug/L	<1,0	-		-
PARATHION	ug/L	<3,5	-		-
ETHION	ug/L	<1,0	-		-
FAMPHUR	ug/L	<2,0	-		-
* AZINPHOS METIL	ug/L	<0,02	-		-
PLOMO	mg/L	<0,09	0,5	MAM-25 / APHA 3111 B MODIFICADO	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	103	220,0	MAM-31 / APHA 2540 D MODIFICADO	19,00
SOLIDOS TOTALES	mg/L	463	1600,0	MAM-29 / APHA 2540 B MODIFICADO	5,00
SULFATOS	mg/L	53	400,0	MAM-65 / METODO RAPIDO HACH 680 MODIFICADO	29,00
SULFUROS	mg/L	<0,5	-	MAM-77 / APHA 4500-S F MODIFICADO	-
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (DETERGENTES ANIONICOS)	mg/L	0,078	2,0	MAM-74 / APHA 5540 C MODIFICADO	11,80
SUSTANCIAS SOLUBLES EN HEXANO (ACEITES Y GRASAS)	mg/L	1,2	70,0	MAM-40 / APHA 5520 B MODIFICADO	9,80
TPH INFRAROJO	mg/L	0,8	20,0	MAM-39 / EPA 418,1 MODIFICADO	20,14

LMP TULSMA: LIMITE MAXIMO PERMISIBLE SEGÚN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACION, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACION DEL SAE

2: FUERA DEL RANGO DE ACREDITACION



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04



*Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47075
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

SOLICITADO POR:	ULCO WILSON		
DIRECCION DEL CLIENTE:	TUMBACO EL ARENAL		
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL		
DESCRIPCIÓN:	SALIDA SEDIMENTADOR		
FECHA DE RECEPCIÓN:	24/05/2018	HORA DE RECEPCIÓN:	12H32
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 28/05/2018 AL 18/06/2018		
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	18/06/2018		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	MUY TURBIA	ESTADO:	LIQUIDO
		CONTENIDO:	1 GALON
CONDICIONES AMBIENTALES			
HUMEDAD RELATIVA %:	61,5	TEMPERATURA AMBIENTE °C:	17,4
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s:	0,4	DIRECCION DEL VIENTO:	NORESTE
PRESION ATMOSFERICA mm Hg:	557	COBERTURA DE NUBES:	NUBLADO
UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	17N0810331	UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	21308
MUESTREO POR:	Q. DARWIN TACO		
FECHA DE MUESTREO:	28/05/2018	HORA:	11H30 - 14H30
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la factura.		

RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	METODOS	INCERTIDUMBRE %
* COLOR ²	HAZEN	187	-	MAM-76 / METODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	-
DBO5	mgO2/L	112	250,0	MAM-38 / APHA 5210 B MODIFICADO	4,00
DQO	mgO2/L	260	500,0	MAM-23A / MERCK 112,28,29,132 MODIFICADO	2,00
FOSFORO TOTAL	mg/L	10,3	15,0	MAM-17 / APHA 4500-P C y/o C y E MODIFICADO	12,60
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	5,0	-	MAM-43 / APHA 4500-NO3 B MODIFICADO	22,30
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	0,013	-	MAM-81 / COLORIMETRICO HACH 375 MODIFICADO	22,00
* NITROGENO DE AMONIO ²	mg/L	21,20	-	MAM-44 / COLORIMETRICO HACH MODIFICADO	-



Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE¹

B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47075
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
* NITRÓGENO TOTAL ²	mg/L	30	-	MAM-45 / MÉTODO RÁPIDO MERCK MODIFICADO	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	180	220,0	MAM-31 / APHA 2540 D MODIFICADO	19,00
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	831	1600,0	MAM-29 / APHA 2540 B MODIFICADO	5,00
SULFATOS	mg/L	63	400,0	MAM-65 / MÉTODO RÁPIDO HACH 680 MODIFICADO	29,00
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (DETERGENTES ANIÓNICOS)	mg/L	<0,014	2,0	MAM-74 / APHA 5540 C MODIFICADO	-

LMP TULSMA: LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE SEGÚN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACIÓN, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE

2: FUERA DEL RANGO DE ACREDITACIÓN



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE ÁREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47076
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

SOLICITADO POR:	ULCO WILSON				
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	TUMBACO EL ARENAL				
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL				
DESCRIPCIÓN:	SALIDA DEL FILTRO				
FECHA DE RECEPCIÓN:	24/05/2018	HORA DE RECEPCIÓN:	12H32		
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 28/05/2018 AL 18/06/2018				
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	18/06/2018				
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
CARACTERÍSTICA:	MUY TURBIA	ESTADO:	LIQUIDO	CONTENIDO:	1 GALON
CONDICIONES AMBIENTALES					
HUMEDAD RELATIVA %:	67,3	TEMPERATURA AMBIENTE °C:	16,8		
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s:	0,5	DIRECCIÓN DEL VIENTO:	NORTE		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA mm Hg:	558	COBERTURA DE NUBES:	NUBLADO		
UBICACIÓN GEOGRÁFICA UTM:	17N0810337	UBICACIÓN GEOGRÁFICA UTM:	21315		
MUESTREO POR:	Q. DARWIN TACO				
FECHA DE MUESTREO:	28/05/2018	HORA:	11H30 - 14H30		
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la factura.				

RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
* COLOR ²	HAZEN	147	-	MAM-76 / MÉTODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	-
DBO ₅	mgO ₂ /L	71	250,0	MAM-38 / APHA 5210 B MODIFICADO	4,00
DQO	mgO ₂ /L	194	500,0	MAM-23A / MERCK 112,28,29,132 MODIFICADO	2,00
FOSFORO TOTAL	mg/L	8,1	15,0	MAM-17 / APHA 4500-P C y/o C y E MODIFICADO	12,60
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	5,1	-	MAM-43 / APHA 4500- NO ₃ B MODIFICADO	22,30
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	0,010	-	MAM-81 / COLORIMETRICO HACH 375 MODIFICADO	22,00



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los parámetros marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47076
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
* NITRÓGENO DE AMONIO ²	mg/L	20,90	-	MAM-44 / COLORIMÉTRICO HACH MODIFICADO	-
* NITRÓGENO TOTAL ²	mg/L	36	-	MAM-45 / MÉTODO RÁPIDO MERCK MODIFICADO	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	128	220,0	MAM-31 / APHA 2540 D MODIFICADO	19,00
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	659	1600,0	MAM-29 / APHA 2540 B MODIFICADO	5,00
SULFATOS	mg/L	57	400,0	MAM-65 / MÉTODO RÁPIDO HACH 680 MODIFICADO	29,00
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (DETERGENTES ANIÓNICOS)	mg/L	0,057	2,0	MAM-74 / APHA 5540 C MODIFICADO	11,80

LMP TULSMA: LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE SEGÚN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACIÓN, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE

2: FUERA DEL RANGO DE ACREDITACIÓN



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE ÁREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47077
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

SOLICITADO POR:	ULCO WILSON				
DIRECCION DEL CLIENTE:	TUMBACO EL ARENAL				
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL				
DESCRIPCIÓN:	SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO - DESCARGA LAGUNA				
FECHA DE RECEPCIÓN:	24/05/2018	HORA DE RECEPCIÓN:	12H32		
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 28/05/2018 AL 18/06/2018				
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	18/06/2018				
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
CARACTERÍSTICA:	TURBIA	ESTADO:	LIQUIDO	CONTENIDO:	1 GALON
CONDICIONES AMBIENTALES					
HUMEDAD RELATIVA %:	67,8	TEMPERATURA AMBIENTE °C:	16,9		
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s:	0,3	DIRECCION DEL VIENTO:	SURESTE		
PRESION ATMOSFERICA mm Hg:	558	COBERTURA DE NUBES:	NUBLADO		
UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	17N0810247	UBICACIÓN GEOGRAFICA UTM:	21365		
MUESTREADO POR:	Q. DARWIN TACO				
FECHA DE MUESTREO:	28/05/2018	HORA:	11H30 - 14H30		
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la factura.				

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	METODOS	INCERTIDUMBRE %
ARSENICO	mg/L	<0,0002	0,1	MAM-49 / APHA 3114 B MODIFICADO	-
COLOR	HAZEN	40	-	MAM-76 / METODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	7,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	<0,025	0,5	MAM-75 / COLORIMETRICO HACH 90 MODIFICADO	-
DBO5	mgO2/L	82	250,0	MAM-38 / APHA 5210 B MODIFICADO	4,00
DQO	mgO2/L	141	500,0	MAM-23A / MERCK 112,28,29,132 MODIFICADO	6,00
FOSFORO TOTAL	mg/L	4,2	15,0	MAM-17 / APHA 4500-P C y/o C y E MODIFICADO	12,60
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	2,2	-	MAM-43 / APHA 4500-NO3 B MODIFICADO	22,30
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	<0,010	-	MAM-81 / COLORIMETRICO HACH 375 MODIFICADO	-



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47077
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	METODOS	INCERTIDUMB RE %
* NITROGENO DE AMONIO ²	mg/L	10,30	-	MAM-44 / COLORIMETRICO HACH MODIFICADO	-
NITROGENO TOTAL	mg/L	12	-	MAM-45 / METODO RAPIDO MERCK MODIFICADO	2,00
ORGANOCOLORADOS					
ALFA-BCH	ug/L	<1,0	-	MAL-80 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
BETA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
* GAMMA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
DELTA-BCH	ug/L	<1,0	-		-
HEPTACHLOR	ug/L	<1,0	-		-
ALDRIN	ug/L	<1,0	-		-
HEPTACHLOR EPOXIDO iso b	ug/L	<1,0	-		-
*GAMMA CHLORDANO	ug/L	<1,0	-		-
ENDOSULFAN I	ug/L	<1,0	-		-
*ALFA CHLORDANO	ug/L	<1,0	-		-
4,4' DDE	ug/L	<1,0	-		-
DIELDRIN	ug/L	<1,0	-		-
* ENDRIN	ug/L	<1,0	-		-
* ENDOSULFAN II	ug/L	<1,0	-		-
4,4' DDD	ug/L	<1,0	-		-
ENDRIN ALDEHIDO	ug/L	<1,0	-		-
ENDOSULFAN SULFATO	ug/L	<1,0	-		-
4,4 DDT	ug/L	<1,0	-	-	
ENDRIN CETONA	ug/L	<1,0	-	-	
METOXYCHLOR	ug/L	<1,0	-	-	
ORGANOFOSFORADOS					
* o,o,o-TRIETILFOSFOROTHIONATO	ug/L	<0,02	-	MAL-79 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
* THIONAZIN	ug/L	<0,02	-		-
* DEMETON O	ug/L	<0,02	-		-
* SULFOTEP	ug/L	<0,02	-		-
PHORATE	ug/L	<1,5	-		-
* DEMETON S	ug/L	<0,02	-		-



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 47077
ORDEN DE TRABAJO No. 58803

RESULTADOS					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
ORGANOFOSFORADOS					
* DIMETHOATE	ug/L	<0,02	-	MAL-79 / EPA 8270 D MODIFICADO	-
DIAZINON	ug/L	<1,0	-		-
DISULFOTON	ug/L	<1,5	-		-
METIL PARATHION	ug/L	<3,5	-		-
MALATHION	ug/L	<1,0	-		-
PARATHION	ug/L	<3,5	-		-
ETHION	ug/L	<1,0	-		-
FAMPHUR	ug/L	<2,0	-		-
* AZINPHOS METIL	ug/L	<0,02	-		-
PLOMO	mg/L	<0,09	0,5	MAM-25 / APHA 3111 B MODIFICADO	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	32	220,0	MAM-31 / APHA 2540 D MODIFICADO	19,00
SOLIDOS TOTALES	mg/L	409	1600,0	MAM-29 / APHA 2540 B MODIFICADO	5,00
SULFATOS	mg/L	37	400,0	MAM-65 / METODO RAPIDO HACH 680 MODIFICADO	29,00
SULFUROS	mg/L	<0,5	-	MAM-77 / APHA 4500-S F MODIFICADO	-
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (DETERGENTES ANIONICOS)	mg/L	0,052	2,0	MAM-74 / APHA 5540 C MODIFICADO	11,80
SUSTANCIAS SOLUBLES EN HEXANO (ACEITES Y GRASAS)	mg/L	1,8	70,0	MAM-40 / APHA 5520 B MODIFICADO	9,80
TPH INFRAROJO	mg/L	0,8	20,0	MAM-39 / EPA 418,1 MODIFICADO	20,14

LMP TULSMA: LIMITE MAXIMO PERMISIBLE SEGÚN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACION, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACION DEL SAE

2: FUERA DEL RANGO DE ACREDITACION



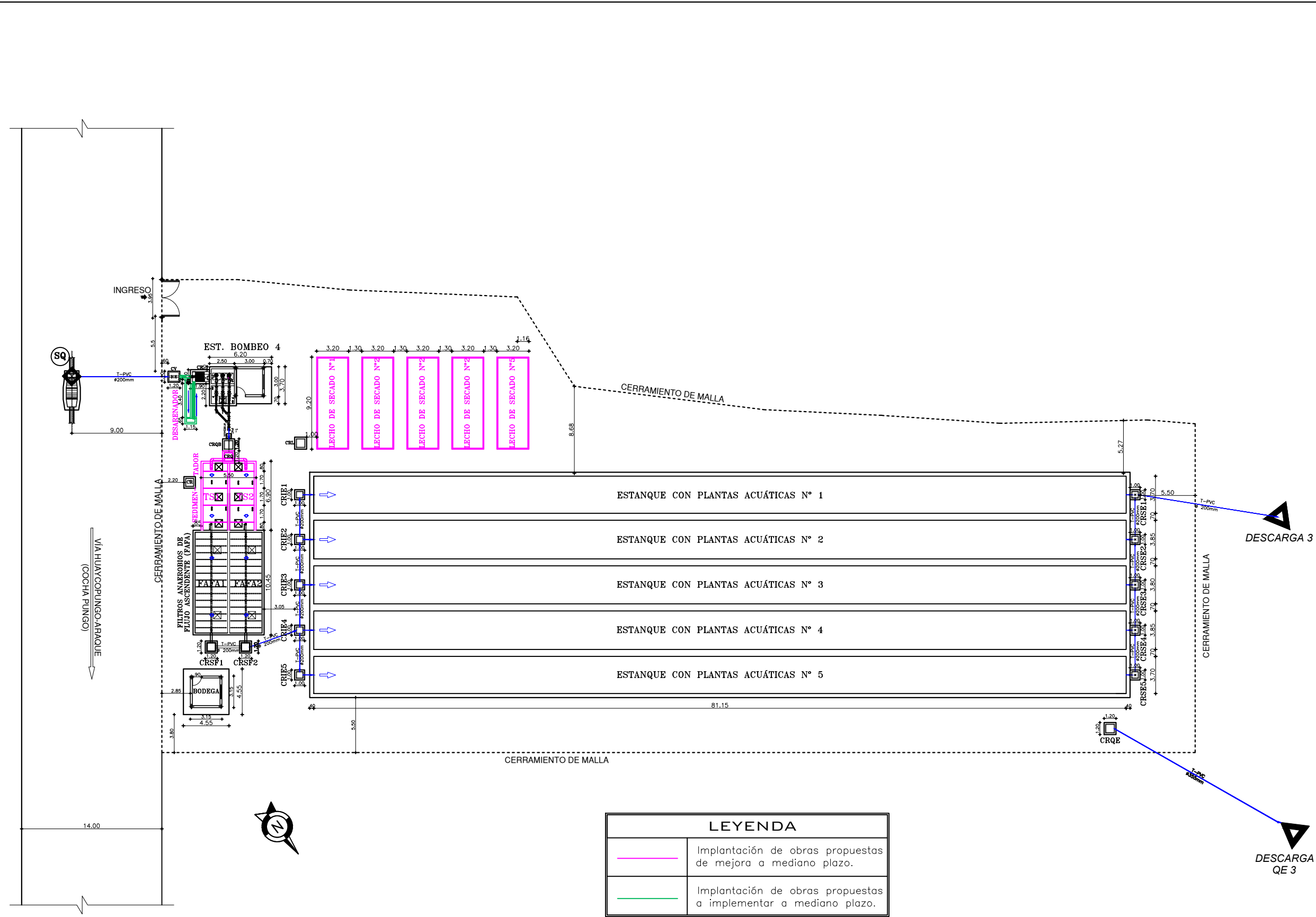
B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

ANEXO 6:

**IMPLANTACIÓN OBRAS MEJORA – MEDIANO
PLAZO**



LEYENDA				
	Implantación de obras propuestas de mejora a mediano plazo.			
	Implantación de obras propuestas a implementar a mediano plazo.			

PTAR N° 3 "HUAYCOPUNGO SUR"

IMPLANTACIÓN

NOTAS:

ESTE PLANO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL. PROPIEDAD DEL AUTOR DEL PLANO PARA FINES ACADÉMICOS. QUEDA EXPRESAMENTE PROHIBIDA SU DIBUCIÓN, COPIA O USO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA.

REVISIONES:				
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO POR
			ING. WILSON ULCO	

REGISTRO DE INSPECCIÓN:		
LEVANTAMIENTO CON CINTA DE LAS ESTRUCTURAS DE LA PTAR POR:		
ING. WILSON ULCO		
ING. JOSÉ LUIS BURGA		
LUIS ULCO		
FRANKLIN BURGA		

FECHA:
08-05-2018

FORMATO:
A3
ESCALA:
SIN ESCALA

LOCALIZACIÓN

NOMENCLATURA GENERAL:

ITEM	DESCRIPCIÓN
SQ	Separador de caudal
T-PVC	Tubería PVC
CV	Cámara de Válvula
CR	Cámara de rejilla
CRQB	Caja receptora de Caudal de bombeo
CRQB	Caja receptora de Caudal de bombeo
CRQ	Caja repartidora de caudal
TS1	Tanque sedimentador N° 1
TS2	Tanque sedimentador N° 2
FAFA1	Filtro anaerobio de flujo ascendente N° 1
FAFA2	Filtro anaerobio de flujo ascendente N° 2
CRSF1	Caja de revisión de salida del FAFA1
CRSF2	Caja de revisión de salida del FAFA2
CRIE1	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 1
CRIE2	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 2
CRIE3	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 3
CRIE4	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 4
CRIE5	Caja de revisión, ingreso al estanque N° 5
CRSE1	Caja de revisión, salida del estanque N° 1
CRSE2	Caja de revisión, salida del estanque N° 2
CRSE3	Caja de revisión, salida del estanque N° 3
CRSE4	Caja de revisión, salida del estanque N° 4
CRSE5	Caja de revisión, salida del estanque N° 5
CRSE1	Caja de revisión, salida del estanque N° 1
CRLS	Caja de revisión, lecho de secado

ESQUEMA IMPLANTACIÓN INSPECCIÓN

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES

POLITÉCNICO DE LEIRIA

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA PTAR N° 3 "HUAYCOPUNGO SUR"

CONTIENE:

IMPLANTACIÓN DE ESTRUCTURAS

UBICACIÓN:

PAÍS: ECUADOR | PROVINCIA: MANABÍ | CANTÓN: OTAVALO | PARROQUIA: SAN PABLO | SECTOR: HUAYCOPUNGO

LÁMINA:

1/1

ANEXO 7:

DISEÑO DEL DESARENADOR

ANEXO 7A: DISEÑO DEL CANAL DE APROXIMACIÓN.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		POLITÉCNICO DE LEIRIA	
DISEÑO DE CANAL DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)			
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.		
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°	
Coordenadas:	10021288.69 N	810328.91 E	RQ - 1 3
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.	
1) OBJETIVO DE LA ESTRUCTURA			
Se propone diseñar un canal (rectangular) de aproximación a la entrada y salida del sedimentador, para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada y salida.			
2) CRITERIOS DE DISEÑO			
1. El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos (mantenimiento), es de 8 a 6 años. 2. El diseño de este canal, por seguridad sera constante e igual a la altura del sedimentador. 3. A la salida y entrada del desarenador se preverá , a cada lado, por lo menos una longitud de canal equivalente a 25% de la longitud del sedimentador. 4. Se considerará una pendiente de fondo del 2‰. 5. El material de construcción del sedimentador será hormigón armado. 6. La relación ancho/profundidad debe igual a 2.			
3) DATOS DE DISEÑO			
Caudal de diseño (Caudal máximo diario)	Q _{DIS} =	10	l/s
Pendiente del fondo del canal	i =	2	%
Material: Hormigón (Rugosidad de Manning)	n =	0,02	El desarenado se refiere a 0,2 mm.
4) DATOS COMPLEMENTARIOS			
Aceleración de la gravedad (m/s ²).	g =	9,81	m/s ²
5) DIMENSIONAMIENTO			
La máxima eficiencia hidráulica para un canal rectangular, se tiene cuando b = 2h. Para el diseño del canal rectangular usamos la ecuación de Manning.			
1. CÁLCULO DE LA ALTURA DE AGUA (h)			
EXRESIÓN:		RESULTADOS:	
$Q = \frac{1}{n} \times (R_h)^{2/3} \times S^{1/2}; \quad R_h = \frac{b \times h}{b + 2h}; \quad b = 2h$		h = 0,12 cm/s	
$h = \left(\frac{Q \times n \times 4^{2/3}}{S^{1/2} \times 2^{5/3}} \right)^{3/8}$		Constructivamente se adopta:	
		h = 0,12 m	
Siendo:			
h: Altura de agua (m).			
Q: Caudal de diseño (m ³ /s).			
n: Rugosidad de Manning.			
S: Gradiente hidráulico.			

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE CANAL DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 2 / 3
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.
5) DIMENSIONAMIENTO		

2) CÁLCULO DE LA BASE EN FUNCIÓN DEL TIRANTE NORMAL

EXRESIÓN:

$$b = 2h$$

Siendo:

b: Base del canal (m).
h: Altura de agua (m).

RESULTADOS:

b = 0,24 m

3) ÁREA HIDRÁULICA

EXRESIÓN:

$$A_h = b \times h$$

Siendo:

A_h: Área hidráulica (m²).
b: Base del canal (m).
h: altura de agua (m).

RESULTADOS:

A_h = 0,03 m²

Verificación de que el flujo en el canal es subcrítico NF<1; y que la velocidad debe ser de 0,6 m/s a 2 m/s.

Velocidad en el canal

EXRESIÓN:

$$v = \frac{Q}{A_h}$$

Siendo:

v: velocidad del flujo en el canal (m/s).
Q: Caudal (m³/s).
A: Área hidráulica (m²).

RESULTADOS:

v = 0,35 m/s

NO Cumple Velocidad Sedimentable

Número de Froud:

EXRESIÓN:

$$NF = \frac{v}{g \times h}$$

Siendo:

NF: Número de Froude.
b: Aceleración de la gravedad (m/s²).
h: Altura de agua (m).

RESULTADOS:

NF = 0,29

Flujo Subcrítico

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE CANAL DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.		HOJA N° RQ - 3 / 3
6) DIMENSIONES FINALES		
DESCIPCIÓN	DIMENSIONES CALCULADAS	DIMENSIONES ADOPTADAS
CANAL DE APROXIMACIÓN		
Ancho canal	b = 0,24 m	b = 0,25 m
Profundidad canal	H = 0,24 m	H = 0,75 m
Largo canal	L = 0,70 m	L = 1,05 m
Pendiente fondo canal	i = 2 %	i = 2 %

ANEXO 7B: DISEÑO DEL DESARENADOR.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES			
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)			
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.		
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.		
Coordenadas:	10021288.69 N	810328.91 E	HOJA N°
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.	RQ - 1 / 12
1) OBJETIVO DE LA ESTRUCTURA			
El desarenador es una estructura importante requerida en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR, que ayudará evitar a que el equipo de bombeo se deteriore; la deposición de arena en tuberías tuberías; la acumulación de arena en el cárcamo de bombeo, sedimentador y digestor anaerobio (FAFA). Además, disminuirá la frecuencia de limpieza del cárcamo de bombeo y sobre todo reducirá la frecuencia de sobrecalentamiento de las bombas, causada por la acumulación excesiva de arena, principalmente en épocas de lluvias. Las visitas y el monitoreo en la operación de la PTAR, ha permitido identificar que la arena está presente en el agua residual, por su transmisión en el sistema de alcantarillado.			
2) CRITERIOS DE DISEÑO			
1. El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos (mantenimiento), es de 8 a 6 años. 2. El material de construcción del sedimentador será hormigón armado. 3. El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podrá contar con una sola unidad que debe contar con un canal de by-pass para efectos de mantenimiento. 4. El periodo de operación es de 24 horas por día. 5. Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada. 6. La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de 12° 30'. 7. Para facilidad del lavado, al fondo del desarenador se le dará una pendiente del 2%. Esta inclinación comienza al finalizar la transición. 8. La velocidad de paso por el vertedero de salida debe ser pequeña para causar menor turbulencia y arrastre de material (Krochin, V=1m/s). 9. La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara. 10. La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20. 11. La descarga del flujo puede ser controlada a través de dispositivos como vertederos (sutr) o canales Parshall. (garganta). 12. El diseño del desarenador, sera constante a lo largo de toda la estructura. 13. Limpieza manual.			
3) DATOS DE DISEÑO			
Caudal de diseño (Caudal máximo diario)	$Q_{DIS.} =$	10	l/s
Caudal de diseño (Caudal máximo diario)	$Q_{MIN.} =$	1,66	l/s
Peso específico de las partículas	$\gamma_s =$	2,65	g/cm ³
Diámetro de la partícula	$d =$	0,2	mm
Pendiente del fondo del canal	$i =$	2	%
Material: Hormigón (Rugosidad de Manning)	$n =$	0,018	
Viscosidad cinemática del agua (cm ² /seg).	$\eta:$	1,007E-06	m ² /s
4) DATOS COMPLEMENTARIOS			
Aceleración de la gravedad.	g:	9,81	m ² /s
Ancho del canal de llegada a la transición.	b	0,25	m

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA								
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)										
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N Altitud: 2790 msnm.		810328.91 E Clima: Frio.								
		HOJA N° RQ - 2 / 12								
4) DIMENSIONAMIENTO										
1) CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO EN EL DESARENADOR (v)										
La velocidad en un desarenador se considera lenta, cuando esta comprendida entre 0,10 a 0,60 m/s. Un desarenador se diseña con velocidades que varían entre 0,1 m/s y 0,4 m/s (velocidad óptima 0,3 m/s). La elección puede ser arbitraria o puede realizar utilizando la fórmula de Campo.										
EXPRESIÓN: $v = a\sqrt{d}$ Siendo: v: Velocidad de flujo horizontal (cm/s). d: Diámetro (mm). a: Constante en función del diámetro (Tablas). <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>d (mm)</th> <th>a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 0,1</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>0,1 - 1</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>> 1</td> <td>36</td> </tr> </tbody> </table>	d (mm)	a	< 0,1	51	0,1 - 1	44	> 1	36	RESULTADOS: a = 44 v = 19,7 cm/s v = 0,20 m/s	
d (mm)	a									
< 0,1	51									
0,1 - 1	44									
> 1	36									
Se comprueba la velocidad del flujo ($0,10 \text{ m/s} \leq v \leq 0,60 \text{ m/s}$).										
EXPRESIÓN: $0,10 \text{ m/s} \leq v \leq 0,60 \text{ m/s}$	RESULTADOS: $0,20$ Verifica									
2) SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CÁMARA (ANCHO B y ALTURA H)										
- Altura del agua (h)										
Se determina la altura H, asumiendo un ancho B y teniendo en cuenta que $0,8 < H/B < 1$:										
EXPRESIÓN: $Q = A \times v; \rightarrow Q = B \times h \times v; \rightarrow h = \frac{Q}{B \times v}$ Siendo: h Altura del agua (m). Q: Caudal (m³/s). v: Velocidad del flujo horizontal (m/s).	RESULTADOS: Adoptando un ancho, B = 0,40 m h = 0,13 m									

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA						
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)								
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.							
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°						
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 3						
Altitud:	2790 msnm.	12						
	810328.91 E							
	Clima: Frio.							
4) DIMENSIONAMIENTO								
- Borde libre o de seguridad (h') En el diseño del sedimentador, se considera una altura adicional o de seguridad del 40% de la altura del agua ($h' = 0,4h$)								
EXPRESIÓN:	RESULTADOS:							
$h' = 0,4h$	$h' = 0,05 \quad m$							
Siendo: h: Altura del agua (m). h': Altura libre o de seguridad (m).								
- Altura total (H) Siendo: H: Altura total (m). h: Altura del agua (m). h': Altura de seguridad (m). Constructivamente se adopta: $H = 0,40 \quad m$								
Se comprueba $0,8 \leq H/B \leq 1$:								
EXPRESIÓN:	RESULTADOS:							
$0,08 \leq \frac{H}{B} \leq 1$	Verifica							
Siendo: H: Altura total (m). B: Ancho del canal (m).								
3) VERIFICACIÓN DEL TIPO DE FLUJO <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Laminar</td> <td>Re < 2000</td> </tr> <tr> <td>Transicional</td> <td>2000 < Re < 4000</td> </tr> <tr> <td>Turbulento</td> <td>Re > 4000</td> </tr> </table>			Laminar	Re < 2000	Transicional	2000 < Re < 4000	Turbulento	Re > 4000
Laminar	Re < 2000							
Transicional	2000 < Re < 4000							
Turbulento	Re > 4000							

DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°

RQ - 4

12

4) DIMENSIONAMIENTO

Velocidad (v):

EXPRESIÓN:

$$v = \frac{Q}{A_h}$$

Siendo:

v: Velocidad (m/s).

Q: Caudal (m³/s).

A_h: Área hidráulica (m²).

RESULTADOS:

v = 0,2 m/s

Se comprueba el número de Reynolds (Re):

EXPRESIÓN:

$$Re = \frac{v \times R_h}{\eta}$$

Siendo:

Re: Numero de Reynolds.

v Velocidad del flujo (m/s).

A: Area hidraulica (m²).

η: Viscosidad cinemática del agua (cm²/s).

RESULTADOS:

Re = 15181,94

Flujo Turbulento

4) VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN (v s)

- Flujo laminar

Para este aspecto, existen varias fórmulas empíricas, tablas y nomogramas, entre las cuales consideramos:

Arkhangelski

Tabla en la cual determinamos v_s (cm/s) en función del diámetro de partículas d (mm). Para un diámetro de d = 0,2 mm.

Velocidades de sedimentación w calculado por

Arkhangelski (1935) en función del diámetro

D (mm)	V _s (cm/s)	D (mm)	V _s (cm/s)
0,05	0,178	0,5	5,4
0,1	0,692	0,55	5,94
0,15	1,56	0,6	6,48
0,2	2,16	0,7	7,32
0,25	2,7	0,8	8,07
0,3	3,24	1	9,44
0,35	3,78	2	15,29
0,4	4,32	3	19,25
0,45	4,86	5	24,9

RESULTADOS:

El v_s según la tabla mostrada, será :

v_s = 2,16 cm/s

v_s = 0,02 m/s

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA										
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)												
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N Altitud: 2790 msnm.	810328.91 E Clima: Frio.	HOJA N° RQ - 5 / 12										
4) DIMENSIONAMIENTO												
<u>Owens</u>												
EXPRESIÓN: $v_s = k\sqrt{d(\gamma_s - 1)}$ Siendo: v_s: Velocidad de sedimentación (m/s). d: Diametro de la partícula (m). γ_s: Peso especifico del material (g/cm³). k: Constante que varia de acuerdo con la forma y naturaleza de los granos, sus valores se muestra en la tabla. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Forma y naturaleza</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena esférica</td> <td>9,35</td> </tr> <tr> <td>Granos redondeados</td> <td>8,26</td> </tr> <tr> <td>Granos cuarzo $d > 3$ mm</td> <td>6,12</td> </tr> <tr> <td>Granos cuarzo $d > 0.7$ mm</td> <td>1,28</td> </tr> </tbody> </table>		Forma y naturaleza	k	Arena esférica	9,35	Granos redondeados	8,26	Granos cuarzo $d > 3$ mm	6,12	Granos cuarzo $d > 0.7$ mm	1,28	RESULTADOS: Como K varía entre 9,35 y 1,28; por lo que se considerará: $k = 4,8$ $v_s = 0,09 \text{ m/s}$
Forma y naturaleza	k											
Arena esférica	9,35											
Granos redondeados	8,26											
Granos cuarzo $d > 3$ mm	6,12											
Granos cuarzo $d > 0.7$ mm	1,28											
<u>Scotti - Foglieni</u>												
EXPRESIÓN: $v_s = 3,8\sqrt{d} + 8,3d$ Siendo: v_s: Velocidad de sedimentación (m/s). d: Diámetro de la partícula (m). Para el cálculo de v_s de diseño, se tomará el promedio de los v_s obtenidos con los métodos enunciados.		RESULTADOS: $v_s = 0,05 \text{ m/s}$										
- Flujo Turbulento												
EXPRESIÓN: $v_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{c} (\gamma_s - 1) \times d}$ Siendo: v_s: Velocidad de sedimentación (cm/s). g: Aceleración de la gravedad (m/s²). c: coeficiente de resistencia de los granos γ_s: Peso especifico del material (g/cm³). d: Diametro de la partícula (cm).		RESULTADOS: Para granos redondos, se tiene un coeficiente de resistencia: $c = 0,5$ $v_s = 0,93 \text{ cm/s}$ $v_s = 0,00929 \text{ m/s}$										

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 6 / 12
Altitud:	2790 msnm.	
	810328.91 E	
	Clima: Frio.	
4) DIMENSIONAMIENTO		
5) TIEMPO DE RETENCIÓN (T)		
- Flujo Laminar		
Tiempo considerando flujo Laminar		
EXPRESIÓN:	RESULTADOS:	
$t = \frac{h}{v_s}$	$t = 2,33 \text{ s}$	
Siendo: t: Tiempo de retención (s). h: Altura del agua (m). v _s : Velocidad de sedimentación para flujo laminar (m/s).		
- Flujo Turbulento		
Tiempo que demora la partícula en caer desde la superficie al fondo.		
EXPRESIÓN:	RESULTADOS:	
$t = \frac{h}{v_s}$	$t = 14,00 \text{ s}$	
Siendo: t: Tiempo de retención (s). h: Altura del agua (m). v _s : Velocidad de sedimentación para flujo turbulento (m/s).		
6) LONGITUD DE LA CÁMARA (L)		
- Flujo Laminar		
EXPRESIÓN:	RESULTADOS:	
$L_c = k \times v \times t$	De la tabla e interpolándose tiene un coeficiente de seguridad:	
Siendo:		
	v	k
	1	0,3 1,5
	2	0,2 k
	3	0,5 2
L _c : Longitud de la cámara (m). v: Velocidad de flujo horizontal (cm/s) t: Tiempo de retención para flujo laminar (s).	$k = 1,25$	

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA												
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)														
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.													
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.													
Coordenadas:	10021288.69 N	810328.91 E												
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.												
		HOJA N° RQ - 7 / 12												
4) DIMENSIONAMIENTO														
<i>k</i> es un coeficiente de seguridad usado en desarrenadores de bajas velocidades, para tomar en cuenta los efectos de la turbulencia y depende de la velocidad de escurrimiento de acuerdo a la siguiente tabla:														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Velocidad de escurrimiento (m/s)</th> <th>Coeficiente de seguridad</th> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>2</td> </tr> </table>	Velocidad de escurrimiento (m/s)	Coeficiente de seguridad	0,2	1,25	0,3	1,50	0,5	2	$L_c = 0,57 \text{ m}$ Constructivamente se adopta: $L_c = 0,60 \text{ m}$					
Velocidad de escurrimiento (m/s)	Coeficiente de seguridad													
0,2	1,25													
0,3	1,50													
0,5	2													
- Flujo Turbulento														
EXPRESIÓN: $L_c = k \times v \times t$		RESULTADOS: De la tabla e interpolandose tiene un coeficiente de seguridad:												
Siendo: L: Longitu de la cámara (m). v: Velocidad de flujo horizontal (cm/s) t: Tiempo de retención para flujo turbulento (s).		<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>v</td> <td>k</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,2</td> <td>k</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,5</td> <td>2</td> </tr> </table> K = 125		v	k	1	0,3	1,5	2	0,2	k	3	0,5	2
	v	k												
1	0,3	1,5												
2	0,2	k												
3	0,5	2												
<i>k</i> es un coeficiente de seguridad usado en desarrenadores de bajas velocidades para tomar en cuenta los efectos de la turbulencia y depende de la velocidad de escurrimiento de acuerdo a la siguiente tabla:														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Velocidad de escurrimiento (m/s)</th> <th>Coeficiente de seguridad K</th> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>2</td> </tr> </table>	Velocidad de escurrimiento (m/s)	Coeficiente de seguridad K	0,2	1,25	0,3	1,5	0,5	2	L = 3,36 m Constructivamente se adopta: L = 3,40 m					
Velocidad de escurrimiento (m/s)	Coeficiente de seguridad K													
0,2	1,25													
0,3	1,5													
0,5	2													
7) TRANSICIÓN DE ENTRADA														
La transición debe ser hecha lo mejor posible, pues la eficiencia de la sedimentación depende de la uniformidad de la velocidad en la sección transversal, para el diseño se puede utilizar la formula de Hind:														
EXPRESIÓN: $L_t = \frac{B - b}{2 \tan \theta}$		RESULTADOS: $L_t = 0,34 \text{ m/s}$												
Siendo: L_t: Longitud de la transición de ingreso (m). θ: Ángulo de divergencia (12° 30'). B: Ancho del sedimentador (m). b: Ancho del canal de llegada a la transición (m).		Por fines constructivos: $L_t = 0,40 \text{ m/s}$												

DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N
 Altitud: 2790 msnm.

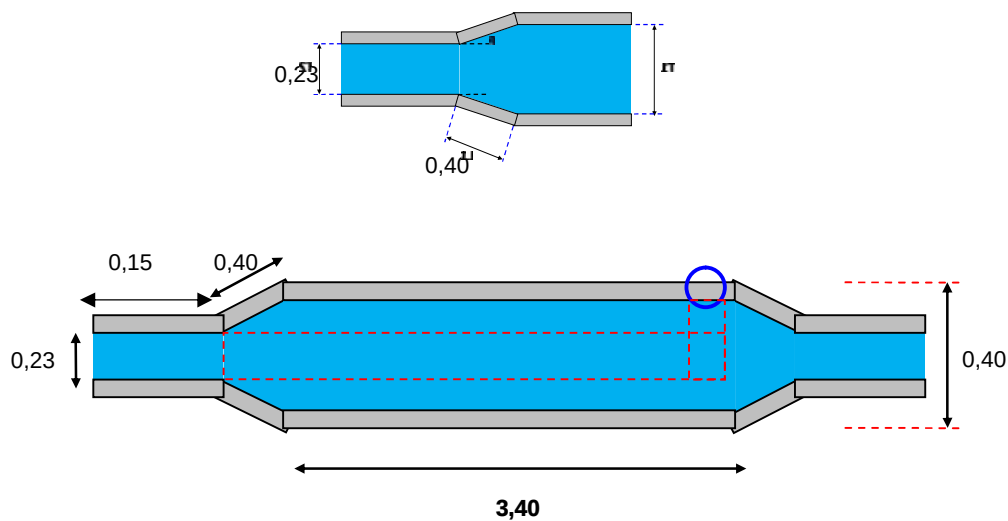
810328.91 E
 Clima: Frio.

HOJA N°
 RQ - 8 / 12

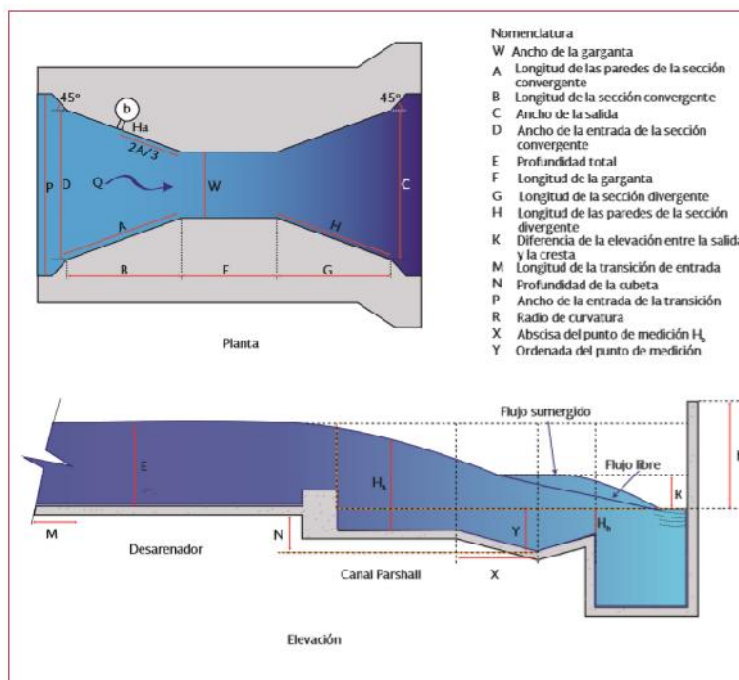
4) DIMENSIONAMIENTO

8) TRANSICIÓN DE ENTRADA

TRANSICIÓN DE ENTRADA



9) CANAL PARSHALL



DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°
RQ - 9 / 12

4) DIMENSIONAMIENTO

Para el diseño del canal Parshall, se considerara la siguientes tablas:

Tabla. Fórmulas para canales Parshall.

Ancho de la garganta (W) (cm)		Ecuación*	Capacidad (L/s)
2,5	(1")	$Q = 0,055 (H_a)^{1,5}$	0,3-5
5	(2")	$Q = 0,110 (H_a)^{1,5}$	0,6-13
7,6	(3")	$Q = 0,176 (H_a)^{1,547}$	0,8-55
15,2	(6")	$Q = 0,381 (H_a)^{1,58}$	1,5-110
22,9	(9")	$Q = 0,535 (H_a)^{1,53}$	2,5-250
30,5	(12")	$Q = 0,690 H_a^{1,522}$	3,1-455
45,7	(18")	$Q = 1,054 H_a^{1,538}$	3,1-455
61	(24")	$Q = 1,426 H_a^{1,55}$	12-950
91,4	(36")	$Q = 2,182 (H_a)^{1,566}$	17-1 400
121,9	(48")	$Q = 2,935 (H_a)^{1,578}$	37-1 900
152,4	(60")	$Q = 3,381 (H_a)^{1,587}$	60-2 400
182,8	(72")	$Q = 4,515 (H_a)^{1,595}$	70-2 900
213,4	(84")	$Q = 5,306 (H_a)^{1,601}$	115-3 450
243,8	(96")	$Q = 6,101 (H_a)^{1,606}$	130-3 950
305	(120")	$Q = 7,463 (H_a)^{1,6}$	250-5 660

Tabla. Dimensiones de la canaleta Parshall.

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88	86,4	38	57,5	61	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108	5,1	7,6
30,5	137	134	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	145	142	76,2	103	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
61	153	150	91,5	121	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	168	165	122	157	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	38,1	222,3	5,1	7,6
122	183	180	153	194	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	271,1	5,1	7,6
153	198	194	184	230	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	308	5,1	7,6
183	214	209	214	267	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	344,2	5,1	7,6
214	229	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	381	5,1	7,6
244	244	239,2	275	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	417,2	5,1	7,6
305	275	427	366	476	122	91,5	183	15,3	34,3	-	-	-	30,5	23

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 10
Altitud:	2790 msnm.	12
	810328.91 E	
	Clima: Frio.	
4) DIMENSIONAMIENTO		
- Ancho de Garganta Teniendo en cuenta el caudal mínimo $Q_{\min} = 1,76$ L/s y el caudal máximo $Q_{\text{DIS}} = 10$ L/s de la <i>tabla fórmulas para canales Parshall</i> , se tiene una garganta (W) igual a:		
RESULTADOS: $W = 15,20 \text{ cm}$		
- Tirante en 2/3 de A De la <i>tabla de fórmulas para canales Parshall</i> , se tiene la siguiente ecuación de caudal.		
EXPRESIÓN: $H_a = 0,381(H_a)^{1,58}$ $H_a = \left(\frac{Q}{0,381} \right)^{1/1,58}$	RESULTADOS: Constructivamente se adopta: $H_a = 0,10 \text{ m}$	
Siendo: H_a : Tirante en 2/3 de A (m). Q: Caudal de diseño (m^3/s).		

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA																																																																
DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)																																																																		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.																																																																	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°																																																																
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 11																																																																
Altitud:	2790 msnm.	12																																																																
	810328.91 E																																																																	
	Clima: Frio.																																																																	
5) DIMENSIONES FINALES																																																																		
- Dimensiones de la canaleta Parshall Finalmente de la tabla <i>dimensiones de la canaleta Parshall</i>, se tiene las siguientes dimensiones para el canal Parshall <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 45%;">Ancho de la garganta</td> <td style="width: 10%; text-align: right;">K =</td> <td style="width: 10%; text-align: right;">1,9</td> <td style="width: 35%; text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de las paredes de la sección convergente</td> <td style="text-align: right;">A =</td> <td style="text-align: right;">36,3</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de la sección convergente</td> <td style="text-align: right;">B =</td> <td style="text-align: right;">35,6</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Ancho de la salida</td> <td style="text-align: right;">C =</td> <td style="text-align: right;">9,3</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Ancho de la entrada de la sección convergente</td> <td style="text-align: right;">D =</td> <td style="text-align: right;">16,8</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad total</td> <td style="text-align: right;">E =</td> <td style="text-align: right;">22,9</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de la garganta</td> <td style="text-align: right;">F =</td> <td style="text-align: right;">7,6</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de la sección divergente</td> <td style="text-align: right;">G =</td> <td style="text-align: right;">20,3</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de las paredes de la sección divergente</td> <td style="text-align: right;">H =</td> <td style="text-align: right;">-</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta</td> <td style="text-align: right;">K =</td> <td style="text-align: right;">1,9</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de la transición de entrada</td> <td style="text-align: right;">M =</td> <td style="text-align: right;">-</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de la cubeta</td> <td style="text-align: right;">N =</td> <td style="text-align: right;">2,9</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Ancho de la entrada de la transición</td> <td style="text-align: right;">P =</td> <td style="text-align: right;">50</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Radio de curvatura</td> <td style="text-align: right;">R =</td> <td style="text-align: right;">-</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Abscisa del punto de medición Hb</td> <td style="text-align: right;">X =</td> <td style="text-align: right;">0,8</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> <tr> <td>Ordenada del punto de medición</td> <td style="text-align: right;">Y =</td> <td style="text-align: right;">1,3</td> <td style="text-align: right;">cm</td> </tr> </table>			Ancho de la garganta	K =	1,9	cm	Longitud de las paredes de la sección convergente	A =	36,3	cm	Longitud de la sección convergente	B =	35,6	cm	Ancho de la salida	C =	9,3	cm	Ancho de la entrada de la sección convergente	D =	16,8	cm	Profundidad total	E =	22,9	cm	Longitud de la garganta	F =	7,6	cm	Longitud de la sección divergente	G =	20,3	cm	Longitud de las paredes de la sección divergente	H =	-	cm	Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta	K =	1,9	cm	Longitud de la transición de entrada	M =	-	cm	Profundidad de la cubeta	N =	2,9	cm	Ancho de la entrada de la transición	P =	50	cm	Radio de curvatura	R =	-	cm	Abscisa del punto de medición Hb	X =	0,8	cm	Ordenada del punto de medición	Y =	1,3	cm
Ancho de la garganta	K =	1,9	cm																																																															
Longitud de las paredes de la sección convergente	A =	36,3	cm																																																															
Longitud de la sección convergente	B =	35,6	cm																																																															
Ancho de la salida	C =	9,3	cm																																																															
Ancho de la entrada de la sección convergente	D =	16,8	cm																																																															
Profundidad total	E =	22,9	cm																																																															
Longitud de la garganta	F =	7,6	cm																																																															
Longitud de la sección divergente	G =	20,3	cm																																																															
Longitud de las paredes de la sección divergente	H =	-	cm																																																															
Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta	K =	1,9	cm																																																															
Longitud de la transición de entrada	M =	-	cm																																																															
Profundidad de la cubeta	N =	2,9	cm																																																															
Ancho de la entrada de la transición	P =	50	cm																																																															
Radio de curvatura	R =	-	cm																																																															
Abscisa del punto de medición Hb	X =	0,8	cm																																																															
Ordenada del punto de medición	Y =	1,3	cm																																																															

DISEÑO DE DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°

RQ - 12

12

5) DIMENSIONES FINALES

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES CALCULADAS	DIMENSIONES ADOPTADAS
DESARENADOR		
Ancho cámara	B = 0,40 m	B = 0,40 m
Longitud transición de entrada	L_t = 0,40 m	L_t = 0,40 m
Ángulo de divergencia de la transición de entrada:	θ = 12,5 °	θ = 12,5 °
Longitud cámara	L_c = 3,40 m	L_c = 3,40 m
Longitud total	L_T = 3,94 m	L_T = 3,94 m
Pendiente fondo cámara	i = 2 %	i = 2 %
CANAL PARSHAL		
Ancho de la garganta	K = 1,9 cm	K = 1,9 cm
Longitud de las paredes de la sección convergente	A = 36,3 cm B = 35,6 cm	A = 36,3 cm B = 35,6 cm
Longitud de la sección convergente	C = 9,3 cm	C = 9,3 cm
Ancho de la salida	E = 22,9 cm	E = 22,9 cm
Profundidad total	F = 7,6 cm	F = 7,6 cm
Longitud de la garganta	G = 20,3 cm	G = 20,3 cm
Longitud de la sección divergente		

ANEXO 8:

REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA		
DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)				
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.			
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°		
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 1 / 7		
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.		
1) OBJETIVO DE LA ESTRUCTURA				
Se propone diseñar un canal (rectangular) de aproximación a la entrada y salida del sedimentador, para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada y salida.				
2) CRITERIOS DE DISEÑO				
1. El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos (mantenimiento), es de 8 a 6 años. 2. El número de unidades en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento. 3. El tiempo de retención será entre 1,5 - 6 horas. de la longitud del sedimentador. 4. La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³/m²/día. 5. La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m. 6. La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6. 7. La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20. 9. El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento. 10. La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación. 11. Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo. 12. Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir. 13. El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s. 14. Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. 15. La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada. 16. Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo. 17. Para gastos hasta de 40 L/s, se usan orificios de 3 a 5 cm de diámetro.				
3) DATOS DE DISEÑO				
Caudal de diseño (Caudal máximo diario)	Q _{DIS} =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px 20px;">5,00</td> <td style="padding: 0 10px;">l/s</td> </tr> </table>	5,00	l/s
5,00	l/s			
Velocidad de sedimentación	V _s =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px 20px;">0,0004</td> <td style="padding: 0 10px;">m/s</td> </tr> </table>	0,0004	m/s
0,0004	m/s			
4) DIMENSIONAMIENTO				
1) ÁREA SUPERFICIAL (A_s)				
EXRESIÓN: $Q = A_s \times v_s \rightarrow A_s = \frac{Q}{v_s}$	RESULTADOS: A_s = 13,87 m²			
Siendo: Q: Caudal de diseño (m³/s). A_s: Área superficial (m²). v_s: Velocidad de sedimentación (m/s).				

DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°

RQ - 2

7

4) DIMENSIONAMIENTO

2) CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES

Determinar las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura h (m) de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo.

- Se asume un ancho del sedimentador y se determina la longitud de la zona de sedimentación.

EXPRESIÓN:

RESULTADOS:

$$L_2 = \frac{A_s}{B}$$

Adoptando un ancho de sedimentador:

Siendo:

$$B = 2,45 \text{ m}$$

L_2 : Longitud de la zona de sedimentación (m). Se tiene:

$$L_2 = 5,66 \text{ m}$$

A_s : Área superficial (m^2).

B: Ancho de la unidad (m).

- Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora.

$$L_1 = 0,80 \text{ m}$$

- Entonces se tiene como longitud de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 = 6,46 \text{ m}$$

- Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño

Verifica

- Se asume la profundidad

$$H = 2,10 \text{ m}$$

- Se verifica si cumple la relación L/H de los criterios de diseño: L/H

Verifica

3) VELOCIDAD HORIZONTAL v_H

Se determinará la velocidad horizontal V_H de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

EXPRESIÓN:

RESULTADOS:

$$V_H = \frac{100 \times Q}{B \times H}$$

$$v_H = 0,10 \text{ m/s}$$

Siendo:

v_H : Velocidad horizontal (m/s).

Q: Caudal de diseño (m^3/s).

B: Ancho de la unidad (m).

H: Altura de la unidad (m).

DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°

RQ - 3

7

4) DIMENSIONAMIENTO

4) TIEMPO DE RETENCIÓN T_0

EXPRESIÓN:

$$T_0 = \frac{A_s \times H}{3600 \times Q}$$

Siendo:

T_0 : Tiempo de retención en horas (m/s).
 A_s : Área superficial (m^2).
 H : Profundidad de la unidad (m).
 Q : Caudal de diseño (m^3/s).

RESULTADOS:

$T_0 = 1,62$ horas

[Verifica](#)

- Con una pendiente de 10% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima: $H' = H + 0,1H$ **2,31 m**

5) DISEÑO DE LA PANTALLA DIFUSORA

- Se determina el área total de los orificios.

EXPRESIÓN:

$$A_0 = \frac{Q}{V_0}$$

Siendo:

A_0 : Área total de orificios (m^2).
 v_0 : Velocidad en los orificios (m/s), no debe ser mayor a 0,15 m/s.
 Q : Caudal de diseño (m^3/s).

RESULTADOS:

Se asume una velocidad de paso en los orificios:

$v_0 = 0,10$ m/s

Se determina el área total de los orificios

$A_0 = 0,04$ m^2

DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)

Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.
 Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.
 Coordenadas: 10021288.69 N 810328.91 E
 Altitud: 2790 msnm. Clima: Frio.

HOJA N°

RQ - 4

7

4) DIMENSIONAMIENTO

- Se determina el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

EXPRESIÓN:

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

Siendo:

n: Número de orificios
 A₀: Área total de orificios (m²).
 a₀: Área de cada orificio (m²).
 d₀: Diámetro de orificio (m²).

RESULTADOS:

Se apota un diámetro de orificio:

$$d_0 = 50 \text{ mm}$$

$$a_0 = 0,002 \text{ m}^2$$

$$n = 22 \text{ m}^2$$

Se adopta:

$$n = 25$$

- Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - 2/5H = 1,26 \text{ m}$$

- Se asume un número de filas de orificios

$$n_f = 5$$

- Entonces se tiene el número de columnas n_c = 9

$$n_c = 5$$

- Se determina el espaciamiento entre filas:

EXPRESIÓN:

$$e_1 = \frac{h}{n_f}$$

Siendo:

e₁: Espaciamiento entre filas (m).
 h: Porción de altura de la pantalla difusora.
 n_f: Número de filas de orificios.

RESULTADOS:

Se asume una velocidad de paso en los orificios:

$$e_1 = 0,25 \text{ m}$$

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 5
Altitud:	2790 msnm.	7
	810328.91 E	
	Clima: Frio.	
4) DIMENSIONAMIENTO		
- Se determina el espaciamiento entre columnas: EXPRESIÓN: $e_c = \frac{B}{n_c}$ Siendo: e_c: Espaciamiento entre columnas (m). B: Ancho de la unidad (m). n_c: Número de columnas de orificios. RESULTADOS: $e_c = 0,49 \text{ m}$		
6) TOLVA Y CANTIDAD DE LODOS Para anchos mayores de 3.0 m se recomiendan 3 tolvas. En nuestro caso solo hay uno. (H=2,45) - Area superior tolva (A_s) EXPRESIÓN: $A_s = B \times L_s$ Siendo: A_s: Area superior de tolva (m²). B: Ancho de tolva = Ancho de la unidad del sedimentador (m). L_s: Longitud superior de tolva (m). RESULTADOS: Adoptamos una longitud superior de tolva L_s $L_s = 1,50 \text{ m}$ Determinamos el área superior de la tolva $A_s = 3,68 \text{ m}^2$		
- Area inferior tolva (A_i) Considerando que la sección inferior de la tolva será cuadrada, tenemos: EXPRESIÓN: $A_i = L_i^2$ Siendo: A_i: Area inferior de tolva (m²). L_i: Ancho inferior de tolva (m). RESULTADOS: Adoptamos una longitud inferior de la tolva L_i $L_i = 0,50 \text{ m}$ Determinamos el área inferior de la tolva $A_i = 0,25 \text{ m}^2$		

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		
DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto:	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur.	
Localización:	Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador.	HOJA N°
Coordenadas:	10021288.69 N	RQ - 6 / 7
Altitud:	2790 msnm.	Clima: Frio.
4) DIMENSIONAMIENTO		
- Volumen de tolva (V) EXPRESIÓN: $vol = \frac{1}{3} h (A_s + A_i + \sqrt{A_s A_i})$ Siendo: v: volumen de la tolva (m³). h: altura de tolva (m). RESULTADOS: Adoptamos una altura de tolva tolva h h = 0,80 m Determinamos el volumen de la tolva (vol) v = 1,30 m³		

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA ESCUELA DE TECNOLOGÍA Y GESTIÓN PROYECTO DE MAESTRADO EN INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIONES CIVILES		 POLITÉCNICO DE LEIRIA
DISEÑO DE SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL (CONVENCIONAL)		
Proyecto: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales No. 3 Huaycopungo Sur. Localización: Vía Puerta del Lago, Otavalo-Imbabura, Ecuador. Coordenadas: 10021288.69 N Altitud: 2790 msnm.	810328.91 E Clima: Frio.	HOJA N° RQ - 7 / 7
5) DIMENSIONES FINALES		
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES CALCULADAS	DIMENSIONES ADOPTADAS
CÁMARA		
Longitud	L = 6,46 m	L = 6,70 m
Ancho	B = 2,45 m	B = 2,45 m
Profundidad	H = 2,10 m	H = 2,10 m
Profundidad total	H_T = 2,40 m	H_T = 2,40 m
Pendiente de fondo	i = 10 %	i = 10 %
PANTALLA DIFUSORA		
Diámetro orificio	d_o = 50 mm	d_o = 50 mm
Altura pantalla difusora	h = 1,26 m	h = 1,30 m
Ancho pantalla difusora	b = 2,45 m	b = 2,45 m
Número total de orificios	n = 25	n = 25
Número de filas de orificios	n_f = 5	n_f = 5
Número de columnas de orificios	n_c = 5	n_c = 5
Espacios entre filas (orificios)	e_f = 0,25 m	e_f = 0,25 m
Espacios entre columnas (orificios)	e_c = 0,49 m	e_c = 0,50 m
TOLVA		
Area superior de tolva	A_s = 3,68 m²	A_s = 0,00 m²
Longitud superior de tolva	L_s = 1,5 m	L_s = 1,5 m
Area inferior de tolva	A_i = 0,25 m²	A_i = 0,25 m²
Longitud inferior de tolva	L_i = 0,5 m	L_i = 0,5 m
Altura de tolva	h = 0,8 m	h = 0,8 m

Glosario

Aguas servidas: Residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial.

Aerobio: Microorganismos que necesitan de oxígeno libre para vivir.

Afluente: Agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales o proceso de tratamiento.

Aguas residuales domesticas tratadas: Se refieren a las que han sido sometidas a una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos mediante los sólidos que el liquido contiene son separados parcialmente y el resto de los sólidos orgánicos complejos putrescibles son convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables, inocuos al ser humano; así también se realiza la reducción de microorganismos patógenos.

Agua residual: Son aquellas procedentes de actividades domesticas comerciales, industriales y agropecuarias que presentan características físicas, químicas o biológicas que causen daño ala calidad del agua, suelo, biota y la salud humana.

Aireación: Proceso de transferencia de oxigeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Anaerobio: Microorganismos que no necesitan de oxígeno libre para vivir, tomándolo de la materia que lo rodea.

Bacteria: Organismos unicelulares microscópicos. No necesitan de luz para su proceso de vida.

Biodegradación: Proceso de descomposición de sustancias orgánicas por medio de microorganismos en sustancias mas simples como bióxido de carbono, agua y amoniaco que pueden ser incorporados a los ciclos biológicos de materiales en los sistemas ecológicos.

Cadena de custodia: Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad del muestreo.

Carga contaminante: Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Caudal: Es la cantidad de agua residual que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.

Caudal promedio: Es el valor promedio estadístico de la cantidad de agua que pasa por un punto dado en un periodo de tiempo estimado como punto del estudio.

Coliform fecales: Los microorganismos que tiene las mismas propiedades, de los coliformes totales, a una temperatura de 44 ó 44,5°C. También se les designa Coliformes Termoresistentes o Termotolerantes.

Coliforme total: Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento, no tienen citocromato oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 ó 37°C, en un período de 24 a 48 horas.

Contaminación: Efecto nocivo sobre el medio que afecta a todos los seres vivos.

Cuerpo receptor: Es parte del medio ambiente en el cual pueden ser vertidos directa o indirectamente cualquier tipo de efluentes tratados o no tratados provenientes de actividades contaminantes o potencialmente contaminantes, tales como: cursos de aguas, drenajes naturales, lagos, lagunas, ríos, embalses y el océano.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO): Medida de capacidad de consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el agua o agua residual se expresa como la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química.

Descarga: Vertido de las aguas provenientes del colector principal, crudas o tratadas; en un cuerpo receptor.

Desechos: Son los que provienen de la materia viva, e incluyen restos de orgánicos: alimentos, papel, cartón y estiércol.

Efluente: Agua residual que sale de una planta o un proceso de tratamiento.

Frecuencia de monitoreo: Es la periodicidad del monitoreo de calidad del agua residual, el cual está determinado por el caudal de operación de la PT AR.

Hidrófilo: Que tiene afinidad por el agua.

Límite Máximo Permisible (LMP): Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Lodo: Sólido acumulado en el fondo de una unidad de tratamiento como resultado de precipitaciones.

Microorganismos: Seres unicelulares pequeños presentes en el agua.

Monitoreo de la calidad del agua residual: Es el proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad del agua residual, con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control a las fuentes de contaminación.

Muestra puntual: Es aquella muestra tomada en forma única y aislada para determinar la calidad del agua en un momento y lugar determinado.

Muestra compuesta: Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el período de muestras.

Muestra integrada: La muestra integrada es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible. Un ejemplo de este tipo de muestra ocurre en un río o corriente que varía en composición de acuerdo con el ancho y la profundidad.

Operario: Persona encargada de las labores de operación y mantenimiento del sistema.

Parámetros de calidad: Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad de agua.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de los parámetros contaminantes contenidos en las aguas residuales domésticas o municipales.

Preservante químico: Es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua residual hasta el momento del análisis.

Protocolo: Es un documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas y procedimientos establecidos para desarrollar una actividad específica.

Punto de aforo: Dispositivo o estructura donde se realiza la medición de caudal.

Punto de descarga: Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Punto de monitoreo o punto de control: Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad (en este caso del agua residual cruda y tratada) en forma periódica.

Reporte operacional: Es un reporte sobre el funcionamiento del sistema, en donde se indican datos sobre la planta, aforos, análisis de laboratorio, accidentes, situaciones anómalas y acciones correctivas.

Sistema de tratamiento: Es la combinación de procesos y de operaciones de tipo físico, químico y biológico destinados a eliminar el residuo sólido, la materia orgánica, los microorganismos patógenos y, en ocasiones, los elementos nutritivos contenidos en el agua residual.

Sólidos: Cuerpos cuyas moléculas tienen entre sí mayor cohesión que la de los líquidos.

Sedimentación: Formación de sedimentos que se van acumulando a través del tiempo.

Suspensión: Estado de un cuerpo dividido en partículas muy finas y mezclado con un fluido sin disolverse en él.

Tensoactivos: Son sustancias sintéticas que se añaden a los detergentes de la ropa. Son productos difícilmente biodegradables, responsables de buena parte del exceso de espuma que puede verse en muchos ríos y cursos de agua.

Tiempo de contacto: La longitud de tiempo que una sustancia esta en contacto con un liquido, antes de ser eliminada por filtración o por la presencia de un cambio químico.

Tiempo de Retención Hidráulica: Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Tratamiento: Remoción en las aguas negras, por métodos físicos, químicos y biológicos, de materia en suspensión, coloidales o disueltos.

Tratamiento de aguas servidas: Se llama así al proceso artificial a que se someten las aguas negras o residuales, para descontaminarlas, haciéndolas menos peligrosas y molestas.

Tratamiento anaeróbico: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento Biológico: Proceso de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.