



1859

**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**  
**Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio  
Guaguayme Alto del cantón Zamora**

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Manejo y Conservación del Medio  
Ambiente

**AUTOR:**

Anderson Fabián Zapata Jara

**DIRECTOR:**

Ing. Christian Fernando León Céli, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 18 de agosto de 2023

Ing. Christian Fernando León Céli, Ph.D.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio Guaguayme Alto del cantón Zamora**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de autoría del estudiante **Anderson Fabián Zapata Jara**, con **cédula de identidad Nro. 1104229867**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Christian Fernando León Céli, Ph.D.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Anderson Fabián Zapata Jara**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula:** 1104229867

**Fecha:** 18 de agosto de 2023

**Correo electrónico:** anderson.zapata@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986696334

**Carta de autorización por parte del autor, para consultas, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Anderson Fabián Zapata Jara**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio Guaguayme Alto del cantón Zamora**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los dieciocho días del mes de agosto del dos mil veintitrés.



**Firma:**

**Autor:** Anderson Fabián Zapata Jara

**Cédula:** 1104229867

**Dirección:** Loja, Operadores, calle Juan Cueva Serrano y Francisco Costa Zabaleta

**Correo electrónico:** anderson.zapata@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986696334

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Christian Fernando León Céli, Ph.D.

## **Dedicatoria**

A mi madre Lilia Jara por brindarme su apoyo y cariño en todo momento, al igual que mi Hermana Gabriela Montaña y el Licenciado Wagner Torres por haber estado para mí en todo momento.

A mis tíos Enma Jara y Ángel Gálvez quienes han sido como mis segundos padres y me han apoyado siempre.

Gracias por el esfuerzo y empeño que pusieron para poder forjar mi vida estudiantil.

***Anderson Fabián Zapata Jara***

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer principalmente a mi madre, quien ha sido mi mayor apoyo en todo este proceso.

A la Universidad Nacional de Loja, al Ing. Christian León por dirigirme en este Trabajo de Titulación. A los docentes de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, quienes han sido artífices de mi educación profesional.

A mis amigos por apoyarme para alcanzar todas mis metas.

***Anderson Fabián Zapata Jara***

## Índice de contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
Índice de tablas:.....	xi
Índice de figuras:.....	xvi
Índice de anexos:.....	xix
<b>1. Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico.....</b>	<b>8</b>
4.1. Estado del arte .....	9
4.2. La contaminación del agua.....	12
4.3. Tratamiento de aguas residuales.....	14
4.3.1. Pretratamiento .....	15
4.3.2. Tratamiento primario.....	18
4.3.3. Tratamiento secundario .....	24
4.4. Plan de manejo ambiental.....	27
4.4.1. Estructura de un plan de manejo ambiental.....	27
4.5. Marco legal.....	28
4.5.1. Constitución de la República del Ecuador .....	28
4.5.2. Código Orgánico del Ambiente.....	29
4.5.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua.....	29
4.5.4. Ley Orgánica de Salud .....	29

<b>5. Metodología.....</b>	<b>31</b>
5.1. Alcance de investigación.....	32
5.2. Diseño de investigación.....	33
5.3. Área de estudio.....	33
5.4. Caracterización el agua residual del barrio Guaguayme Alto.....	35
5.4.1. Selección de parámetros para la caracterización.....	35
5.4.2. Método de muestreo.....	36
5.4.3. Procedimiento de muestreo.....	37
5.4.4. Medición del caudal.....	39
5.4.5. Población horizonte.....	39
5.4.6. Caudales estimados del agua residual.....	41
5.4.7. Análisis de datos.....	42
5.4.8. Cargas contaminantes.....	43
5.4.9. Habitante equivalente.....	43
5.5. Selección de la tecnología de tratamiento.....	43
5.5.1. Línea de tratamiento.....	43
5.5.2. Levantamiento topográfico.....	44
5.5.3. Selección de la línea de tratamiento.....	45
5.6. Análisis estadístico.....	49
5.6.1. Caudales.....	49
5.7. Diseño del tratamiento adecuado para el sector.....	50
5.7.1. Canal de llegada.....	51
5.7.2. Medidor de caudal tipo Parshall.....	52
5.7.4. Tratamiento primario.....	57
5.7.5. Tratamiento secundario.....	61
5.7.6. Secado de lodos.....	64
5.7.7. Nivel del agua en la Planta de Tratamiento.....	65
5.7.8. Identificación de impactos.....	66
5.7.9. Elementos ambientales susceptibles a los impactos identificados.....	68
5.7.10. Parámetros de calificación y valoración de impactos ambientales.....	69
5.7.11. Plan de Manejo Ambiental.....	71
<b>6. Resultados.....</b>	<b>73</b>



6.1. Caracterización del agua residual del barrio Guaguayme Alto .....	73
6.1.1. Aforo de caudales en días de lluvia .....	75
6.1.2. Análisis estadístico de los caudales .....	76
6.1.3. Población horizonte .....	83
6.1.4. Caudales estimados del agua residual .....	83
6.1.5. Resultados del laboratorio .....	84
6.1.5. Índice de biodegradabilidad .....	88
6.1.6. Cargas contaminantes .....	89
6.1.7. Habitantes equivalentes .....	90
6.2. Selección de la tecnología de tratamiento .....	90
7.2.1. Topografía del lugar .....	91
7.2.1. Pretratamiento .....	92
7.2.2. Líneas de tratamiento propuestas .....	92
7.2.3. Eficacia de remoción .....	107
7.2.4. Terrenos disponibles .....	111
7.2.5. Características medioambientales .....	112
7.2.6. Generación de lodos .....	113
7.2.7. Operación y mantenimiento .....	114
7.2.8. Costos de construcción, operación y mantenimiento .....	114
7.2.9. Criterios limitantes .....	117
7.2.10. Matrices de decisión .....	118
7.3. Diseño del tratamiento adecuado .....	119
7.3.1. Pretratamiento .....	120
7.3.2. Tratamiento primario .....	126
7.3.3. Tratamiento secundario .....	130
7.3.4. Tratamiento de lodos .....	132
7.3.5. Nivel del agua en el sistema de tratamiento .....	134
7.3.6. Obras complementarias .....	134
7.3.7. Valorización de impactos ambiental .....	136
7.3.8. Plan de Manejo Ambiental .....	137
7.4. Presupuesto .....	147
<b>7. Discusión .....</b>	<b>149</b>

<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>152</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>153</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>154</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>160</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Parámetros caracterizados. ....	<b>36</b>
<b>Tabla 2.</b> Técnicas acordadas con el laboratorio para la conservación de las muestras.....	<b>37</b>
<b>Tabla 3.</b> Método recomendado según el número de habitantes.....	<b>41</b>
<b>Tabla 4.</b> Abreviatura de las líneas de tratamiento.....	<b>46</b>
<b>Tabla 5.</b> Formato para la gráfica de ocurrencia.....	<b>49</b>
<b>Tabla 6.</b> Resumen de los coeficientes de rugosidad de Manning.....	<b>52</b>
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de pérdida para rejillas según la forma de las mismas.....	<b>55</b>
<b>Tabla 8.</b> Factores de capacidad relativa y tiempo de digestión de lodos.....	<b>60</b>
<b>Tabla 9.</b> Características típicas del medio filtrante .....	<b>64</b>
<b>Tabla 10.</b> Impactos ambientales generados por la implementación de la PTAR.....	<b>69</b>
<b>Tabla 11.</b> Valorización de la importancia de cada atributo.....	<b>70</b>
<b>Tabla 12.</b> Valores medios obtenidos en los diferentes días de muestreo.....	<b>74</b>
<b>Tabla 13.</b> Caudales obtenidos en días de lluvia. ....	<b>75</b>
<b>Tabla 14.</b> Porcentajes de ocurrencia de los diferentes caudales medidos en los cuatro días de muestreo.....	<b>76</b>
<b>Tabla 15.</b> Prueba de normalidad de los datos de caudales obtenidos en las cuatro jornadas de muestreo. ....	<b>78</b>
<b>Tabla 16.</b> Análisis descriptivos de los datos de caudales de las diferentes jornadas de muestreo. ....	<b>82</b>
<b>Tabla 17.</b> Determinación de la población de diseño para un tiempo de vida útil de 20 años de la PTAR. ....	<b>83</b>
<b>Tabla 18.</b> Comparación de caudales estimados y los obtenidos.....	<b>84</b>
<b>Tabla 19.</b> Media ponderada de los resultados del laboratorio para las cuatro jornadas de muestreo, expresada en (mg/l). ....	<b>86</b>

<b>Tabla 20.</b> Rangos de contaminación de aguas residuales en comunidades rurales en el Ecuador. .....	<b>87</b>
<b>Tabla 21.</b> Parámetros de la primera muestra que exceden los límites permisibles.....	<b>87</b>
<b>Tabla 22.</b> Parámetros de la segunda muestra que exceden los límites permisibles.....	<b>88</b>
<b>Tabla 23.</b> Parámetros de la tercera muestra que exceden los límites permisibles.....	<b>88</b>
<b>Tabla 24.</b> Parámetros de la cuarta muestra que exceden los límites permisibles.....	<b>88</b>
<b>Tabla 25.</b> Relación de biodegradabilidad DBO5/DQO de un agua residual.....	<b>88</b>
<b>Tabla 26.</b> Cargas contaminantes del agua residual de Guaguayme Alto.....	<b>89</b>
<b>Tabla 27.</b> Cargas unitarias (g/hab/día) de contaminantes por zona ecológica y rango poblacional. ....	<b>89</b>
<b>Tabla 28.</b> Características del sistema de tratamiento de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA). ....	<b>93</b>
<b>Tabla 29.</b> Ventajas y desventajas de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente.....	<b>94</b>
<b>Tabla 30.</b> Características del sistema de tratamiento de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. ....	<b>95</b>
<b>Tabla 31.</b> Ventajas y desventajas de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.....	<b>96</b>
<b>Tabla 32.</b> Características del sistema de tratamiento de lagunas de estabilización.....	<b>97</b>
<b>Tabla 33.</b> Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización.....	<b>98</b>
<b>Tabla 34.</b> Características del sistema de tratamiento de humedales artificiales.....	<b>99</b>
<b>Tabla 35.</b> Ventajas y desventajas de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal/vertical.....	<b>100</b>
<b>Tabla 36.</b> Características del sistema de tratamiento de filtros percoladores.....	<b>101</b>
<b>Tabla 37.</b> Ventajas y desventajas de los filtros percoladores.....	<b>102</b>
<b>Tabla 38.</b> Características del sistema de tratamiento de Contactores Biológicos Rotativos (CBR)....	<b>103</b>
<b>Tabla 39.</b> Ventajas y desventajas de los Contactores Biológicos Rotativos (CBR).....	<b>104</b>

<b>Tabla 40.</b> Características de la línea de tratamiento.....	<b>105</b>
<b>Tabla 42.</b> Porcentajes de eliminación de contaminantes para las diferentes líneas de tratamiento. ....	<b>107</b>
<b>Tabla 43.</b> Tabla resumen de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	<b>108</b>
<b>Tabla 44.</b> Concentraciones reducidas acorde al porcentaje de remoción, en mg/l.....	<b>108</b>
<b>Tabla 45.</b> Abreviaturas de las líneas de tratamiento.....	<b>109</b>
<b>Tabla 46.</b> Comportamiento de las líneas de tratamiento en función del nivel de concentración de materia orgánica. ....	<b>110</b>
<b>Tabla 47.</b> Tolerancia de las líneas de tratamiento a las variaciones de caudal y carga.....	<b>110</b>
<b>Tabla 48.</b> Superficie requerida (m <sup>2</sup> ) para poblaciones de hasta 1 000 habitantes.....	<b>111</b>
<b>Tabla 49.</b> Riesgo de emisión de malos olores de las líneas de tratamiento.....	<b>112</b>
<b>Tabla 50.</b> Riesgo de emisión de ruidos en las diferentes líneas de tratamiento.....	<b>112</b>
<b>Tabla 51.</b> Grado de integración ambiental de las líneas de tratamiento.....	<b>112</b>
<b>Tabla 52.</b> Generación de lodos para las diferentes líneas de tratamiento.....	<b>113</b>
<b>Tabla 53.</b> Tratamiento de lodos para las líneas de tratamiento propuestas.....	<b>113</b>
<b>Tabla 54.</b> Clasificación de las diferentes líneas de tratamiento en función de la complejidad de operación y mantenimiento.....	<b>114</b>
<b>Tabla 55.</b> Costos de construcción para los tratamientos de hasta 1 000 habitantes.....	<b>114</b>
<b>Tabla 56.</b> Costos de operación y mantenimiento de las distintas líneas de tratamiento hasta 1 000 habitantes. ....	<b>115</b>
<b>Tabla 57.</b> Tabla resumen de la selección del tratamiento adecuado.....	<b>118</b>
<b>Tabla 58.</b> Valores de diseño para el canal de llegada de la planta de tratamiento.....	<b>121</b>
<b>Tabla 59.</b> Valores de diseño para el canal Parshall de la planta de tratamiento.....	<b>122</b>
<b>Tabla 60.</b> Valores de diseño para el cribado de la planta de tratamiento.....	<b>124</b>
<b>Tabla 61.</b> Valores de diseño para el desengrasador de la planta de tratamiento. ....	<b>125</b>
<b>Tabla 62.</b> Valores de diseño para el Tanque Imhoff de la planta de tratamiento.....	<b>129</b>

<b>Tabla 63.</b> Valores de diseño para el humedal artificial de flujo subsuperficial de la planta de tratamiento. ....	<b>132</b>
<b>Tabla 64.</b> Valores de diseño para el secado de lodos de la planta de tratamiento.....	<b>134</b>
<b>Tabla 65.</b> Matriz de importancia de los impactos generados por la implementación de la planta de tratamiento.. ....	<b>136</b>
<b>Tabla 66.</b> Tabla de valorización de impactos.....	<b>137</b>
<b>Tabla 67.</b> Tabla resumen de identificación de impactos.....	<b>137</b>
<b>Tabla 68.</b> Plan de Prevención y Mitigación de Impactos para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>138</b>
<b>Tabla 69.</b> Plan de Manejo de Desechos para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>139</b>
<b>Tabla 70.</b> Plan de Comunicación y Capacitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>140</b>
<b>Tabla 71.</b> Plan de Relaciones Comunitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>141</b>
<b>Tabla 72.</b> Plan de Contingencias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	<b>142</b>
<b>Tabla 73.</b> Plan de Relaciones Comunitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>143</b>
<b>Tabla 74.</b> Plan de Monitoreo y Seguimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>144</b>
<b>Tabla 75.</b> Plan de Rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	<b>145</b>
<b>Tabla 76.</b> Plan de Abandono, Cierre y Entrega del área de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>146</b>
<b>Tabla 77.</b> Presupuesto aproximado del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	<b>147</b>
<b>Tabla 78.</b> Límite de aplicación medidores Parshall con descarga libre.....	<b>165</b>
<b>Tabla 79.</b> Valores de los coeficientes K y n en función de W.....	<b>165</b>

<b>Tabla 80.</b> Dimensiones típicas de medidores Parshall en cm.....	<b>166</b>
<b>Tabla 81.</b> Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día lunes.....	<b>167</b>
<b>Tabla 82.</b> Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día martes.....	<b>168</b>
<b>Tabla 83.</b> Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día sábado.....	<b>169</b>
<b>Tabla 84.</b> Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día domingo.....	<b>170</b>
<b>Tabla 85.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	<b>171</b>
<b>Tabla 86.</b> Resultado del análisis de la primera muestra.....	<b>173</b>
<b>Tabla 87.</b> Resultado del análisis de la segunda muestra.....	<b>174</b>
<b>Tabla 88.</b> Resultado del análisis de la tercera muestra.....	<b>175</b>
<b>Tabla 89.</b> Resultado del análisis de la cuarta muestra.....	<b>176</b>
<b>Tabla 86.</b> Concentraciones de aguas residuales en pequeñas comunidades.....	<b>177</b>
<b>Tabla 87.</b> Concentraciones de diferentes parámetros en aguas residuales.....	<b>177</b>
<b>Tabla 88.</b> Modelo de matriz de decisión.....	<b>178</b>
<b>Tabla 89.</b> Matriz de decisión para la línea de tratamiento de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. ....	<b>179</b>
<b>Tabla 90.</b> Matriz de decisión para la línea de tratamiento de lagunas de estabilización.....	<b>180</b>
<b>Tabla 91.</b> Matriz de decisión para la línea de tratamiento de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. ....	<b>181</b>
<b>Tabla 92.</b> Matriz de decisión para la línea de tratamiento de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. ....	<b>182</b>
<b>Tabla 93.</b> Matriz de decisión para la línea de tratamiento de Filtros Percoladores.....	<b>183</b>
<b>Tabla 94.</b> Matriz de decisión para línea de tratamiento para Contactores Biológicos Rotativos con un Tanque Imhoff como tratamiento primario.....	<b>184</b>
<b>Tabla 95.</b> Matriz de decisión para una línea de tratamiento de Contactores Biológicos Rotativos con Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente como tratamiento primario.....	<b>185</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Distribución de sólidos en el agua residual de contaminación media.....	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Reja de desbaste de limpieza manual.....	<b>16</b>
<b>Figura 3.</b> Depósito de homogeneización a nivel constante. ....	<b>17</b>
<b>Figura 4.</b> Depósito de homogeneización de nivel variable. ....	<b>17</b>
<b>Figura 5.</b> Canales desarenadores.....	<b>18</b>
<b>Figura 6.</b> Esquema de pretratamiento de desengrasado estático.....	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Sección transversal de un tanque séptico. ....	<b>21</b>
<b>Figura 8.</b> Esquema general de un proceso de tanque Imhoff.....	<b>22</b>
<b>Figura 9.</b> Esquema de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).....	<b>23</b>
<b>Figura 10.</b> Mapa de ubicación del barrio Guaguayme Alto.....	<b>33</b>
<b>Figura 11.</b> Ubicación del terreno disponible para la planta de tratamiento.....	<b>35</b>
<b>Figura 12.</b> Punto de descarga del sistema de alcantarillado.....	<b>38</b>
<b>Figura 13.</b> Diagrama de la metodología de decisión. ....	<b>45</b>
<b>Figura 14.</b> Ejemplo de la matriz de decisión. ....	<b>48</b>
<b>Figura 15.</b> Distribución normal. ....	<b>50</b>
<b>Figura 16.</b> Distribución sesgada a la izquierda. ....	<b>50</b>
<b>Figura 17.</b> Variación del caudal en el primer día de muestreo.....	<b>73</b>
<b>Figura 18.</b> Variación del caudal en los diferentes días de muestreo.....	<b>74</b>
<b>Figura 19.</b> Gráfico de probabilidad para los caudales del primer día de muestreo.....	<b>76</b>
<b>Figura 20.</b> Distribución de los datos de caudal de la primera jornada de muestreo.....	<b>77</b>
<b>Figura 21.</b> Gráfico de probabilidad para los caudales del segundo día de muestreo.....	<b>78</b>
<b>Figura 22.</b> Distribución de los datos de caudal de la segunda jornada de muestreo.....	<b>79</b>
<b>Figura 23.</b> Gráfico de probabilidad para los caudales del tercer día de muestreo.....	<b>80</b>
<b>Figura 24.</b> Distribución de los datos de caudal de la tercera jornada de muestreo.....	<b>80</b>



<b>Figura 25.</b> Gráfico de probabilidad para los caudales del cuarto día de muestreo.....	<b>81</b>
<b>Figura 26.</b> Distribución de los datos de caudal de la cuarta jornada de muestreo.....	<b>82</b>
<b>Figura 27.</b> Levantamiento topográfico del barrio Guaguayme Alto.....	<b>91</b>
<b>Figura 28.</b> Curvas de nivel cada 50 cm. del terreno seleccionado para la PTAR.....	<b>92</b>
<b>Figura 29.</b> Línea de tratamiento propuesta para los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA). .....	<b>93</b>
<b>Figura 30.</b> Línea de tratamiento propuesta para los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA). .....	<b>94</b>
<b>Figura 31.</b> Línea de tratamiento propuesta para las lagunas de estabilización.....	<b>96</b>
<b>Figura 32.</b> Línea de tratamiento propuesta para un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. ....	<b>98</b>
<b>Figura 33.</b> Línea de tratamiento propuesta para un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. ....	<b>99</b>
<b>Figura 34.</b> Línea de tratamiento propuesta para los filtros percoladores operado con un tanque Imhoff como tratamiento primario. ....	<b>101</b>
<b>Figura 35.</b> Línea de tratamiento clásica para filtros percoladores.....	<b>101</b>
<b>Figura 36.</b> Línea de tratamiento propuesta para los Contactores Biológicos Rotativos (CBR) operando un Tanque Imhoff en cabecera. ....	<b>103</b>
<b>Figura 37.</b> Línea de tratamiento clásica propuesta para los Contactores Biológicos Rotativos (CBR). .....	<b>103</b>
<b>Figura 38.</b> Línea de tratamiento propuesta para la Aireación Extendida.....	<b>105</b>
<b>Tabla 41.</b> Ventajas y desventajas de la aireación extendida. ....	<b>106</b>
<b>Figura 39.</b> Índice de nivel de precios del PIB (Mundo = 100).....	<b>116</b>
<b>Figura 40.</b> Línea de tratamiento propuesta para el diseño. ....	<b>120</b>
<b>Figura 41.</b> Diseño del canal de llegada expresado en centímetros.....	<b>122</b>
<b>Figura 42.</b> Diseño del medidor del caudal tipo Parshall en centímetros.....	<b>123</b>
<b>Figura 43.</b> Diseño del cribado en centímetros. ....	<b>124</b>

<b>Figura 44.</b> Diseño del desengrasador de la PTAR en centímetros.....	<b>126</b>
<b>Figura 45.</b> Diseño del tanque Imhoff para tratamiento primario.....	<b>129</b>
<b>Figura 46.</b> Vista superior del tanque Imhoff. ....	<b>130</b>
<b>Figura 47.</b> Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.....	<b>132</b>
<b>Figura 48.</b> Nivel del agua dentro del sistema de tratamiento.....	<b>134</b>
<b>Figura 49.</b> Pretratamiento del sistema. ....	<b>186</b>
<b>Figura 50.</b> Diseño del tratamiento primario. ....	<b>187</b>
<b>Figura 51.</b> Diseño del tratamiento secundario. ....	<b>188</b>
<b>Figura 52.</b> Diseño de lecho de secado. ....	<b>189</b>

**Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Fase de campo del trabajo de investigación.....	<b>160</b>
<b>Anexo 2.</b> Referencias de diseño para medidor Parshall.....	<b>165</b>
<b>Anexo 3.</b> Valores obtenidos en las cuatro jornadas de muestreo.....	<b>167</b>
<b>Anexo 4.</b> Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales.....	<b>171</b>
<b>Anexo 5.</b> Resultados del laboratorio de los parámetros analizados.....	<b>173</b>
<b>Anexo 6.</b> Referencia de cargas contaminantes y concentraciones.....	<b>177</b>
<b>Anexo 7.</b> Matrices de decisión de cada línea de tratamiento propuesta.....	<b>178</b>
<b>Anexo 8.</b> Planos del sistema de tratamiento.....	<b>186</b>
<b>Anexo 9.</b> Certificación de traducción del resumen.....	<b>190</b>

## **1. Título**

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio  
Guaguayme Alto del cantón Zamora**

## 2. Resumen

En el siguiente Trabajo de Titulación se presenta el diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, acuerdo a las condiciones del barrio Guaguayme Alto del cantón Zamora. Este sector es un pequeño centro urbano que descarga sus aguas residuales directamente a la quebrada, la elección del humedal artificial se justifica, debido a que en los últimos años esta tecnología se la ha aplicado principalmente en sectores rurales, debido a sus bajos costos de instalación y operación, obteniendo buenos resultados; en función de esto, como objetivo principal y acorde a las condiciones del área de estudio, se realizó el diseño de dicho tratamiento. Para ello, se recolectaron muestras del agua residual en cuatro diferentes días para determinar el grado de contaminación, para la selección del tratamiento, se evaluaron varios sistemas aplicados principalmente en pequeñas localidades y finalmente se realizó el diseño del tratamiento seleccionado, conjuntamente con la evaluación del impacto que puede generar la implementación del mismo. En el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para comunidades pequeñas, es importante tener en cuenta el estado de las aguas residuales y elegir los sistemas de tratamiento adecuados, especialmente en áreas rurales debido a las limitaciones económicas que pueden presentar estos lugares.

***Palabras clave:*** Humedales artificiales, tratamiento, pequeñas localidades.

## **2.1. Abstract**

The following work presents the design of a vertical subsurface flow artificial wetland, according to the conditions of the Guaguayme Alto neighborhood in the Zamora canton. This sector is a small urban center that discharges its wastewater directly into the creek. The choice of the artificial wetland is justified because in recent years this technology has been mainly applied in rural sectors due to its low installation and operation costs and obtaining good results. Based on this, the main objective and in accordance with the study area conditions, the design of this treatment was carried out. To do this, wastewater samples were collected on four different days to determine the degree of contamination, and several systems applied mainly in small towns were evaluated for treatment selection. Finally, the design of the selected treatment was carried out, together with the evaluation of the impact that its implementation can generate. In the design of wastewater treatment plants for small communities, it is important to consider the state of the wastewater and choose the appropriate treatment systems, especially in rural areas due to the economic limitations that these places may present.

***Keywords:*** *Artificial wetlands, treatment, small localities*

### **3. Introducción**

Respecto a las líneas de investigación de la carrera, el presente proyecto se encuentra dentro del Manejo de la Contaminación Ambiental. Este campo es importante debido a que contribuye con acciones para reducir el impacto ambiental. Dufrense (1998) menciona que debido a los diferentes métodos existentes se puede controlar la contaminación, para ello, se debe analizar de manera sistemática el origen y naturaleza de la emisión o vertido, de igual manera, la interacción con el ambiente, finalmente seleccionar adecuadamente la tecnología para dar solución a la contaminación reduciendo y controlando los impactos ambientales.

Guaguayme Alto es una pequeña comunidad perteneciente a la parroquia Guadalupe del cantón Zamora. En los sectores de esta parroquia principalmente existe contaminación del suelo y agua por el vertido de aguas residuales, debido a que las únicas plantas de tratamiento no están en funcionamiento y se encuentran ubicadas únicamente en 3 barrios: Guaguayme Bajo, Piuntza y la cabecera parroquial Guadalupe. Además, en la mayor parte del territorio de la parroquia no existe un sistema de alcantarillado, por ende, las aguas servidas son vertidas directamente al suelo o quebradas (PDOT de Guadalupe, 2015)

Existen diversas maneras de tratar el agua, sin embargo, cuando se habla de pequeñas urbanizaciones, los sistemas de tratamiento son limitados, principalmente por el factor económico que, dependiendo de la situación del sector, se dificulta la construcción y explotación del sistema de tratamiento. En este contexto, existen diversas alternativas de remediación, que resultan ambiental y económicamente viables, utilizadas especialmente en países o sectores en vías de desarrollo debido a sus bajos costos de instalación, operación y mantenimiento. (Amabilis-Sosa et al., 2016)

De tal forma, el estudio se enfoca principalmente en el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas comunidades, donde Rodríguez et al., (2006) manifiesta que este tipo de vertidos presentan características propias, las cuales las diferencian de las aguas residuales procedentes de grandes núcleos urbanos, aspecto importante a considerar en el diseño del tratamiento. Los pequeños poblados, debido a su ubicación y nivel de desarrollo, presentan dificultades al momento de la provisión de servicios de saneamiento y depuración.

Debido a estas dificultades, es común que las zonas rurales descarguen sus aguas residuales en cuerpos de agua sin tratamiento previo, por tal motivo los estudios de alternativas

de tratamiento que presentan bajos costos de instalación y fácil operación han aumentado, estos diseños se los han denominado sistemas ecológicos. Principalmente los sistemas que utilizan lagunas de oxidación y construcción de humedales, presentan ventajas como su fácil manejo, escaso uso de electricidad, alta remoción de contaminantes y un gasto económico bajo, convierte a estas tecnologías en idóneas para ser usadas en pequeñas comunidades e incluso pequeñas empresas (Sandoval-Herazo et al., 2020)

De los más de 200 municipios existentes en Ecuador, sólo el 62% tratan las aguas residuales que generan, siendo los tratamientos biológicos los más utilizados; en gran porcentaje las pequeñas localidades son las que no presentan sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas servidas. En algunas de estos poblados se utilizan pozos sépticos de manera individual en las viviendas, en otros utilizan sistemas de tratamiento que sólo cubren una parte de la localidad, dichos sistemas muchas veces no se les da un mantenimiento adecuado o están prácticamente abandonados (Peña et al., 2018)

Debido a las diferentes características que se presentan en el tratamiento de aguas residuales en las pequeñas comunidades, la investigación presenta una estructura compuesta por la parte teórica de los tratamientos de aguas residuales, la metodología que describe los procesos realizados, desde la toma de las muestras de agua, la caracterización del agua residual, las consideraciones para la selección del sistema del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, que se basan en la descripción de las características de diferentes líneas de tratamiento recomendadas por la Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales, valoración de los tratamientos considerados mediante una matriz de decisión, el dimensionamiento del tratamiento mediante un humedal y su costo de implementación. Además, se realiza una evaluación del impacto ambiental que puede generar el sistema de tratamiento, con el fin de obtener un diseño de un tratamiento de aguas residuales adecuado al entorno del barrio Guaguayme Alto.

El barrio Guaguayme Alto posee una población de 250 habitantes, valor obtenido en el último censo realizado por el GAD Parroquial, cuenta con un sistema de alcantarillado desde hace más de 25 años, el cual fue modificado recientemente para ampliar la cobertura de todo el barrio, el sector no cuenta con industrias, sus actividades comerciales únicamente son negocios como tiendas y posee una unidad educativa, por ende, las aguas residuales que genera son netamente domésticas. Las aguas lluvias y las aguas servidas se juntan en el mismo sistema de



alcantarillado, por tanto, este es un sistema unitario y su punto de descarga se encuentra a 317 m aproximadamente del parque central (PDOT de Guadalupe, 2019)

La quebrada del barrio Guaguayme Alto circula por la parte norte del barrio, la misma que recibe las aguas residuales del sector con un caudal de descarga constante, sin ningún tratamiento previo. Aquí se generan malos, pudiendo atribuirse a esto a la ausencia de oxígeno, generando reacciones anaeróbicas. Esta quebrada desemboca en la quebrada Guaguayme que a su vez termina en el río Yacuambi, esto puede afectar a las comunidades aguas abajo que hagan uso de estos cuerpos de agua, (PDOT de Guadalupe, 2019)

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Guadalupe, (2019) las poblaciones que descargan las aguas residuales en quebradas y ríos sin ningún tratamiento previo, afectan a la salud de centros poblados aguas abajo, debido a que estos captan estas aguas para sus diferentes actividades, causando enfermedades intestinales y afectaciones en la piel en un gran porcentaje de la población. De igual forma, El barrio Guaguayme Alto al descargar sus aguas residuales en la quebrada del sector, no da cumplimiento a lo que manifiesta la ordenanza para la gestión del servicio de agua potable y saneamiento en el artículo 43, donde prohíbe la descarga de aguas residuales en vías, ríos, esteros o quebradas, sean estas domiciliarias o industriales (Gobierno Municipal del cantón Zamora, 2021)

Las características de las aguas residuales que pueden ser descargadas en otros cuerpos de agua sin tratamiento previo, se ven influenciadas por la parte económica de un sector, en este caso, la economía del barrio se centra especialmente en el sector primario, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas, principalmente para su autoconsumo. Gran parte de la población desarrolla sus actividades en la zona urbana buscando una mejor calidad de vida, debido a que ahí se encuentran diferentes instituciones públicas y privadas, dado que en el barrio Guaguayme Alto, el proceso económico no ha presentado un crecimiento notable como en el resto de la parroquia, donde se brindan servicios incluso en el área turística (PDOT de Guadalupe, 2019)

Frente a esta situación del sector, se busca dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Existe una tecnología viable a nivel económico, técnico y ambiental para el tratamiento de las aguas residuales procedentes del barrio Guaguayme Alto?

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio Guaguayme Alto.

#### **Objetivos específicos**

- Caracterizar el agua residual del barrio Guaguayme Alto.
- Seleccionar la tecnología de tratamiento más apropiada para las aguas residuales que genera el sector.
- Diseñar el tratamiento más adecuado a las condiciones técnicas, socioeconómicas y ambientales del sector.

#### 4. Marco Teórico

La población que se está expandiendo rápidamente representa un problema en términos de contaminación debido a la falta de manejo adecuado de las aguas residuales. El alto costo de la implementación de un sistema convencional de tratamiento de aguas residuales, el elevado consumo de energía, los altos costos de mantenimiento y operación son la principal razón por la cual el tratamiento de aguas residuales no tiene éxito en áreas rurales, especialmente en América Latina. Por esta razón, las familias descargan sus aguas residuales directamente en el suelo o cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo, lo que puede causar contaminación ambiental y afectaciones a la salud. (Gustavo et al., 2021).

Debido a que las aguas residuales de pequeñas urbanizaciones presentan características propias en cuanto al caudal y calidad del agua, no se debe considerar valores bibliográficos para el diseño de un sistema de tratamiento, sino que se vuelve necesario llevar a cabo campañas de aforo y de muestreo, para obtener una correcta caracterización, dado a que también, estas pequeñas comunidades, por lo general tienen un sistema de alcantarillado unitario, el cual recolecta aguas lluvia, aguas residuales de domicilios e industrias en caso de haberlas (Rodríguez et al., 2006).

Báez, (2016) menciona que, en las pequeñas comunidades, los sistemas más usados son las fosas sépticas y pozos de infiltración, estos tratamientos por lo general presentan problemas de sobrecarga y operación, contaminando el suelo, acuíferos y aguas superficiales. Debido a esta situación, se vuelve necesario implementar y estudiar más a fondo los sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales, los cuales permiten obtener una calidad de agua adecuada para su aprovechamiento.

Rodríguez et al., (2006) califican a los tratamientos no convencionales como tecnologías que ocasionan un bajo impacto ambiental sonoro y se integran fácilmente al ambiente, su funcionamiento es eficaz y constante frente a variaciones de caudal y carga, lo cual es común en pequeñas comunidades, sus costos de operación son inferiores a los tratamientos convencionales, dado que no poseen dispositivos electromecánicos, facilitan la gestión de los lodos que se generen en la depuración y su mantenimiento no presenta mayores dificultades técnicas, por lo que no se requiere de personal especializado.

Dentro de los sistemas no convencionales se encuentran los tratamientos naturales como los humedales construidos, que, a pesar de su simplicidad, bajos costos, poco mantenimiento, alta eficiencia de remoción y bajo consumo de energía, puede no ser apto a aplicarse en lugares

donde la extensión de terreno es un limitante, caso contrario, resulta ser un sistema de tratamiento atractivo y eficiente en zonas rurales. En grandes urbanizaciones, esta alternativa puede resultar más costosa que los tratamientos convencionales, por los costos de los terrenos (Zurita-mart et al., 2011).

#### **4.1. Estado del arte**

La principal tarea de un técnico en el pasado se centraba en problemas constructivos e hidráulicos, últimamente esta situación ha cambiado debido a la industrialización y la gran variedad de aguas residuales de diferentes tipos que genera, por lo que se requiere tantos procesos de tratamiento y quipos, que la ingeniería química se vuelve necesaria para el saneamiento. Para el tratamiento de las aguas residuales hay que considerar nuevas tecnologías, procesos y nuevas líneas de tratamiento, de igual manera, modificar las ya existentes. Todas las operaciones en el tratamiento debe diseñarse caso por caso para cada tipo de agua residual (Ramalho, 2021).

El tratamiento de aguas residuales es un aspecto que aún se encuentra en desarrollo debido a cuatro factores importantes: población, tecnología, economía y político-normativo. En el apartado poblacional, el crecimiento urbano ha causado un aumento en el caudal de aguas residuales no tratadas. En lo tecnológico, existen líneas de tratamientos con altos niveles de complejidad en cuanto a construcción, operación y mantenimiento. El apartado económico hace referencia a la infraestructura disponible que no cubre todas las necesidades de descontaminación debido a lo costoso de los tratamientos, generando problemas de funcionamiento, mientras que en el aspecto político, hace frente a la escasez de fondos destinados y el cumplimiento normativo (Rivera et al., 2018)

Torres (2013) menciona que los procesos de tratamiento del agua se dividen en dos categorías: físico-químicos y biológicos. Los procesos físico-químicos se basan en la separación de partículas y el agua mediante métodos como la sedimentación o flotación. Los procesos químicos, por otro lado, cambian la forma de las partículas no separables de esta manera, utilizando productos químicos para crear partículas de mayor densidad que luego pueden ser separadas mediante métodos físicos. Aunque estos procesos tienen ventajas como la capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios en la calidad y cantidad del agua residual y su tamaño compacto cuando se utilizan sedimentadores de alta tasa, también tienen limitaciones como:

- Reducción mínima de materia orgánica soluble, ya que lo único que se hace es el traslado de estos contaminantes desde la línea de aguas hasta la línea de lodos.
- Generan una gran cantidad de lodos primarios con materia orgánica putrescible que requieren ser tratados antes de ser utilizados o desechados.
- Altos costos de operación
- Complejidad de operación debido a la manipulación de químicos, por lo que se necesita de personal calificado.
- Requiere una cantidad significativa de reactivos químicos.

Los procesos biológicos son una forma natural de tratar la materia orgánica partiendo de principios tal y como ocurre en ríos, lagos y suelos mediante la acción de microorganismos que consumen la materia orgánica y generan nuevo material celular o gas. Los objetivos principales son estabilizar la materia orgánica y remover los sólidos coloidales. Dependiendo de las circunstancias locales, también se pueden incluir objetivos adicionales como la reducción de nutrientes y compuestos orgánicos. Los procesos biológicos son más efectivos que los físico-químicos y pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos, dependiendo de las necesidades de oxígeno. Los tratamientos biológicos son una opción más sostenible debido a su menor consumo de energía, bajos costos, producción de energía (metano), generación menor de lodos, entre otros, haciendo a estos tratamientos más idóneos en pequeñas comunidades (Torres, 2013)

Al elegir la tecnología para el tratamiento de aguas residuales, hay varios factores clave a considerar, sin embargo, en los sectores en desarrollo, está relacionado con las demandas y posibilidades del sector, principalmente la disponibilidad de tierra, los costos y la eficiencia de eliminación. Las tecnologías de tratamiento biológico se han vuelto comunes en estos sectores (Torres, 2013) en donde Gandarillas R. et al., (2017), recomiendan tratar las aguas residuales mediante el Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (RAFA), debido a las diferentes ventajas que presenta. A nivel industrial es el reactor más utilizado, mientras que, a nivel doméstico, su aplicación ha aumentado, especialmente en América Latina. Este tipo de tratamiento es utilizado especialmente en aguas residuales con alta carga orgánica, como granjas avícolas, efluentes orgánicos industriales y eliminación de sólidos, dado que la eficiencia del tratamiento depende de procesos biológicos.

Gandarillas R. et al., (2017) también mencionan sobre la necesidad de utilizar un tratamiento adicional para remover materia orgánica remanente, debido a que la digestión

anaerobia se ve condicionada por la cinética de degradación, temperatura, el contacto entre el sustrato y los microorganismos. Los nutrientes, dado que la digestión anaerobia prácticamente no elimina nitrógeno ni fósforo. Los organismos patógenos por la falta de eficiencia del RAFA y los sólidos sedimentables que hayan permanecido en el efluente o se hayan descargado en una desestabilización del RAFA. Se recomienda utilizar como post tratamiento dependiendo de las exigencias de calidad del agua los estanques de estabilización, planta de lodos activados y otros.

Los sistemas lagunares son una opción eficiente para tratar aguas residuales en países en desarrollo dentro de los tratamientos biológicos. Los climas tropicales proporcionan condiciones ideales para el proceso de tratamiento. Estos sistemas son fáciles de operar, económicos en cuanto a construcción y requieren poco personal. Consisten en estanques excavados para almacenar agua residual durante periodos prolongados y el tratamiento se lleva a cabo a través de la actividad bacteriana y la simbiosis de algas y otros organismos (Cortéz et al., 2017). Vargas et al., (2020) manifiestan que las lagunas de estabilización deben ser fundamentales en el tratamiento de las aguas residuales, no sólo por su eficaz proceso de remoción de organismos patógenos, sino que, este tipo de lagunas también se pueden emplear para la cría de peces y el riego de cultivos, contribuyendo de manera positiva a la conservación del recurso hídrico y el cuidado del ambiente.

Otro de los tratamientos biológicos utilizados en pequeñas comunidades son los humedales artificiales, son sistemas de purificación de aguas residuales que utilizan plantas acuáticas para limpiar el agua. El sistema consiste en una capa de grava impermeable cubierta por un cultivo de plantas acuáticas con raíces. Estas plantas realizan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que limpian el agua residual gradualmente. El tratamiento del agua se divide en tres partes: recolección, limpieza y eliminación del agua limpia. Los humedales se dividen en varios tipos: humedales de flujo superficial, humedales de flujo subsuperficial horizontal/vertical (Delgadillo et al., 2010)

El uso de humedales artificiales ha sido una alternativa que se ha venido empleando con mayor frecuencia alrededor del mundo, debido a su fácil mantenimiento y operación. Este tratamiento que se basa en la interacción de componentes como agua, grava, plantas y microorganismos, que, si bien permiten la descontaminación de las aguas residuales, debe combinarse con tecnologías previas como tratamientos primarios, que puedan eliminar contaminantes que los humedales no pueden o que puedan obstruir procesos posteriores. Los

humedales a menudo se han utilizado para tratar el agua sin procesarla previamente, pero es importante tener en cuenta que estos sistemas son sensibles a los cambios en las características y cargas hidráulicas del agua que reciben. Por lo tanto, es significativo asegurarse de que el agua residual a tratar no tenga una gran variabilidad en estas características para garantizar un tratamiento eficiente (Jaramillo et al., 2016)

Sandoval et al., (2020) indican que los humedales artificiales de flujo vertical se han empleado cada vez más en pequeñas comunidades, este tipo de tratamiento consta de dos zonas, la parte superior o zona insaturada y la zona saturada que viene a ser la parte inferior, esto permite una mejor eliminación de nitrógeno. Este tratamiento, debido a la zona constante de saturación por la altura de salida del agua superior al fondo, ha demostrado excelentes porcentajes de remoción de materia orgánica y nitrógeno de las aguas residuales domésticas, luego de que hayan pasado por un tratamiento primario.

#### **4.2. La contaminación del agua**

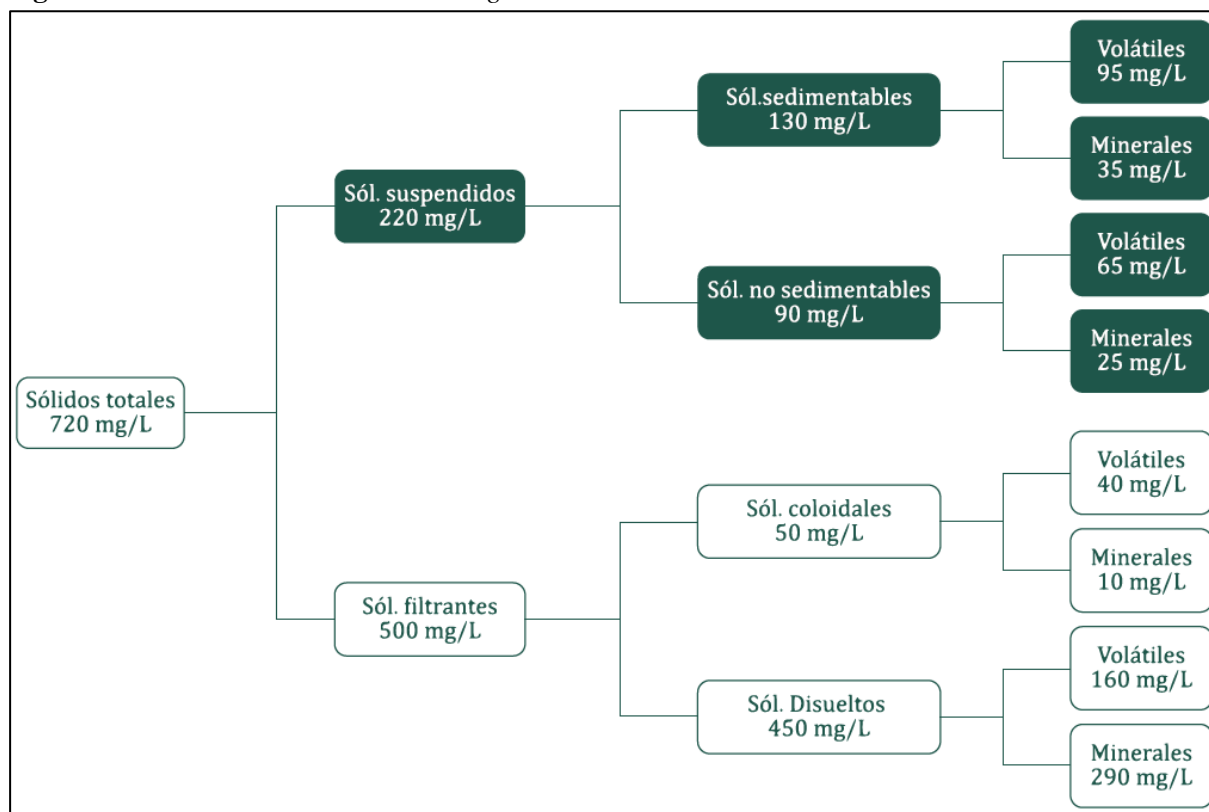
La contaminación del agua hace referencia a la presencia de elementos o energía, introducidos por el hombre de forma directa o indirecta, las cuales ocasionen daños a los organismos vivos, afectan a la salud de las personas e impiden actividades de recreación y económicas con el agua, como la natación, buceo, pesca, riego, utilización en industrias, etc. (Ramirez, 2021)

La Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA, 2021) menciona que en las aguas residuales urbanas existen principales contaminantes que se los puede clasificar en cuatro grandes grupos: materia en suspensión, materia orgánica, nutrientes, organismos patógenos:

- **Materia en suspensión:** Hay diferentes tipos de partículas sólidas presentes en el agua, algunas de las cuales son insolubles y permanecen en suspensión. Estas partículas se pueden clasificar según su tamaño y la facilidad con la que se sedimentan. Las partículas no sedimentables, por ejemplo, son aquellas que permanecen en suspensión en agua en reposo. Las partículas sedimentables, por otro lado, solo permanecen suspendidas si el agua está en circulación. Estos dos tipos de partículas se dividen a su vez en volátiles las cuales se evaporan con facilidad a temperatura ambiente y las minerales que son sustancias inorgánicas compuestas de uno o más elementos químicos. También existen los sólidos filtrantes, que son aquellos que pasan a través del medio filtrante al medir

los sólidos suspendidos. Estos se subdividen en sólidos coloidales y sólidos disueltos, que también se clasifican en volátiles y minerales (Figura 1).

**Figura 1.** Distribución de sólidos en el agua residual de contaminación media.



Nota. Tomado de *Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales* (p. 82), CENTA, 2021

- Materia orgánica:** Se estima que una gran parte de los sólidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza orgánica, con un 75% de sólidos en suspensión y un 40% de sólidos disueltos. Estos sólidos orgánicos incluyen proteínas, hidratos de carbono y grasas y aceites. Los métodos comunes para medir la contaminación orgánica incluyen la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DBO5 evalúa la materia orgánica biodegradable y se mide mediante un proceso bioquímico aerobio. La DQO mide la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de los contaminantes presentes en el agua mediante reacciones químicas. La relación DBO5/DQO proporciona información valiosa sobre la biodegradabilidad del agua y si es adecuada para tratar mediante procesos biológicos.
- Nutrientes:** Los nutrientes son una categoría de compuestos químicos que incluyen el nitrógeno y el fósforo presentes en las aguas residuales urbanas. Estos elementos son



necesarios para el crecimiento de la biomasa que se utiliza para tratar estas aguas, pero en exceso pueden causar eutrofización, un crecimiento excesivo de fitoplancton en las masas de agua. El contenido total de nitrógeno se compone de diferentes formas químicas, como el nitrógeno orgánico, amoniacal y en forma de nitratos y nitritos, mientras que el nitrógeno Kjeldhal mide la suma de las dos primeras formas. La forma amoniacal del nitrógeno puede ser tóxica para la vida acuática. El contenido total de fósforo también se compone de formas orgánicas e inorgánicas, principalmente ortofosfatos.

- **Organismos patógenos:** Son aquellos que proceden del metabolismo humano y animal, que se encuentran infectados o presentan algún tipo de enfermedad determinada. En este grupo se encuentran principalmente las bacterias, los virus, protozoos y helmintos. En las aguas residuales se utilizan organismos indicadores como los coliformes totales y fecales, dada su fácil comprobación por su presencia numerosa.

#### 4.3. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo que involucra tanto tratamientos físicos que buscan separar la parte sólida del líquido, tratamientos químicos los cuales cumplen el rol de descontaminar el agua mediante reacciones químicas como la desinfección con cloro, ozono u otras sustancias, tratamientos biológicos que buscan eliminar la materia orgánica presente en el agua, mediante el uso de microorganismos que se encargan de su degradación, cumpliendo así un objetivo final de producir agua limpia y segura de manera eficiente para la salud humana y el medio ambiente (Rodríguez, 2020). Según Noyola et al. (2013), un tratamiento puede estar conformado por:

- **Línea de agua:** Puede comprender algunos de los siguientes tratamientos
  - **Pretratamiento:** Elimina todo aquel residuo que puede perjudicar a la instalación posterior.
  - **Tratamiento primario:** Elimina los sólidos en suspensión con sus contaminantes asociados.
  - **Tratamiento secundario:** Elimina materia orgánica biodegradable.
- **Línea de fangos:** Combinación de operación y procesos unitarios, encargados de tratar los fangos generados para su gestión como residuo.

- **Espesado del fango:** Aumenta la concentración del fango para un mejor rendimiento en la digestión anaerobia o de la deshidratación.
- **Estabilización del fango:** Estabiliza la materia orgánica permitiendo su manipulación y usos posteriores.
- **Deshidratación del fango:** Elimina el agua del fango, reduciendo su masa y facilitando el transporte.

#### **4.3.1. Pretratamiento**

El pretratamiento de las aguas residuales constituye una serie de operaciones, sean estas físicas o mecánicas, cuyo objetivo es eliminar una gran cantidad de materiales que por su tamaño o naturaleza pueden ocasionar problemas en operaciones posteriores en el tratamiento de las aguas residuales. Este tipo de materiales pueden clasificarse en arenas, sólidos de gran tamaño y grasas (CENTA, 2021)

Por otro lado, Lozano (2012) manifiesta el pretratamiento es un proceso importante ya que, aunque no elimina la carga contaminante completamente, ayuda a eliminar elementos que pueden afectar la eficiencia del tratamiento y protege los equipos de la depuradora de daños. Sus objetivos principales son eliminar material grueso y arenas. El tipo de dispositivo para el pretratamiento dependerá del tipo de aguas residuales, características del agua residual, tipos de unidades utilizadas en etapas posteriores y el nivel de operación de la depuradora.

- **Desbaste**

El desbaste en pretratamiento se utiliza para retirar residuos que pueden causar daños a las bombas u obstruir las tuberías del sistema de tratamiento, también se pueden retener residuos de pequeño tamaño para proteger equipos sensibles. Esto puede lograrse mediante barreras (rejas) o tamicos, donde los sólidos de mayor tamaño son retenidos y los menores pasan a través de las mismas. Las rejas son barras metálicas colocadas transversalmente al flujo del agua, mientras que el tamizado es un proceso de filtración a través de un soporte fino (Fernández, 2016)

**Figura 2.** *Reja de desbaste de limpieza manual.*

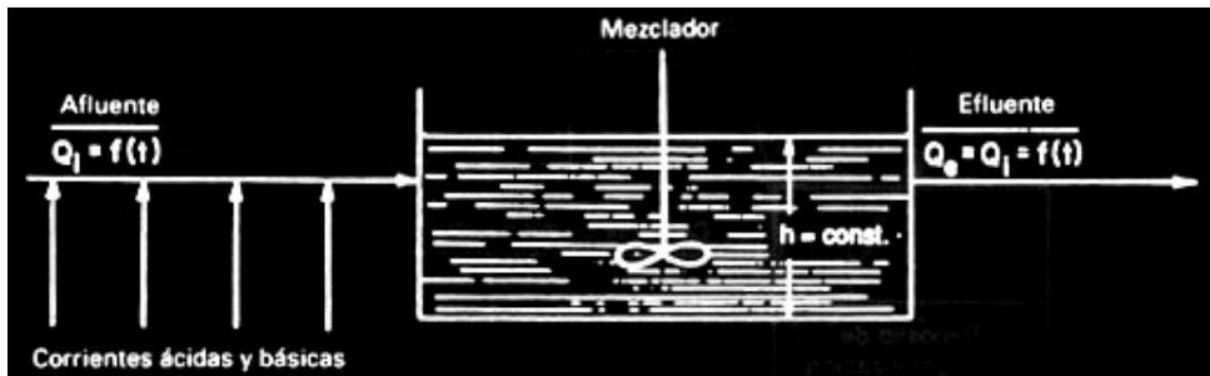


*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.202), CENTA, 2021.

- **Homogeneización**

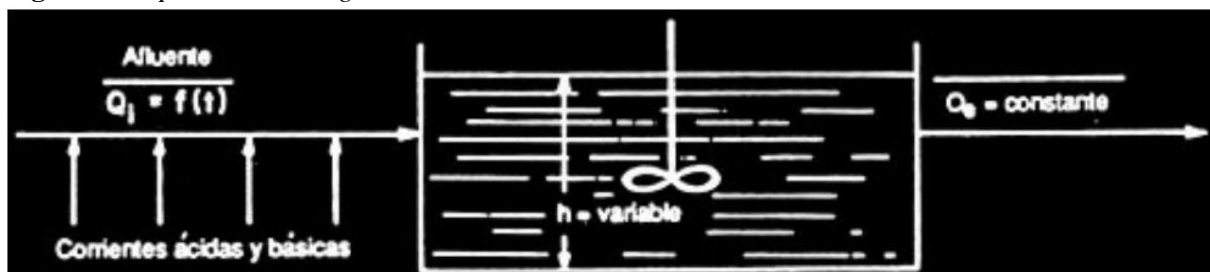
Ramalho (2021) menciona que la homogeneización es el proceso de mezclar corrientes de agua residual, ácida y alcalina en un tanque de homogeneización. La homogeneización se utiliza a menudo para varios objetivos. Estos incluyen: reducir las variaciones en las corrientes de agua residual para lograr una corriente mezclada con un caudal relativamente constante antes de llegar a la planta de tratamiento y reducir las variaciones en la DBO del afluente en los sistemas de tratamiento. Se utilizan dos tipos de tanques de homogeneización: estanques de homogeneización de nivel constante y estanques de homogeneización de nivel variable. Los estanques de homogeneización de nivel constante (Figura 3) mantienen el nivel del tanque constante, por lo que, si el caudal de entrada varía, el caudal de salida también varía.

**Figura 3.** Depósito de homogeneización a nivel constante.



Nota. Tomado de *Pretratamientos y tratamientos primarios. Tratamiento de aguas residuales* Ramalho (p.59), Ramalho, 2021.

**Figura 4.** Depósito de homogeneización de nivel variable.



Nota. Tomado de *Pretratamientos y tratamientos primarios. Tratamiento de aguas residuales* Ramalho (p.60), Ramalho, 2021.

Los estanques de homogeneización de nivel variable (Figura 4) permiten que el efluente salga con un caudal constante, ajustando el nivel del tanque según cambie el caudal de entrada. Este método también se utiliza para lograr una neutralización y un caudal de salida constante (Ramalho, 2021)

- **Desarenador**

El desarenador cumple la función de separar todos los sólidos que se encuentran suspendidos y poseen una densidad elevada, esto mediante la decantación, por lo general estos sólidos son de naturaleza inorgánica, quedando sólo aquellos de naturaleza orgánica. Las partículas inorgánicas por lo regular son arenas, o partículas procedentes de cáscaras, grava, metales, etc., este tipo de partículas se caracterizan por ser estables, es decir, no se pueden descomponer en procesos posteriores en el tratamiento, por tal motivo, el proceso de desarenado (Figura 5) es empleado como pretratamiento, para retener estos contaminantes antes de que ingresen en la planta de tratamiento (Fernández, 2016)

**Figura 5.** *Canales desarenadores.*

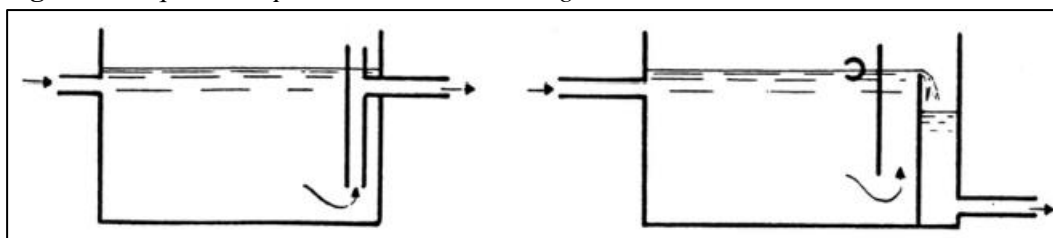


*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.202), CENTA, 2021.

- **Desengrasado**

Este proceso de pretratamiento consiste en separar las grasas mediante la gravedad, o cualquier tipo de materia que sea más ligera que el agua. En poblaciones pequeñas, es común usar desarenadores estáticos, los cuales consisten en la retención de las grasas acumulándolas en la superficie, debido a que, mediante un elemento, puede ser tubería sumergida o tabique deflector, obliga a que el agua circule por la parte inferior del comportamiento, dejando la materia con menor densidad en la parte superior (Figura 6). La limpieza de este tipo de desengrasador se la realiza de manera manual, reduciendo los costos.

**Figura 6.** *Esquema de pretratamiento de desengrasado estático.*



#### **4.3.2. Tratamiento primario**

La función de un tratamiento primario es el de separar la parte sólida de la líquida, esto lo realiza mediante medios físicos, es decir, la gravedad separa los sólidos en suspensión del agua residual. En pequeñas comunidades, es común el uso de tanques sépticos y tanque Imhoff como tratamientos primarios, obteniendo buenos resultados incluso en comunidades medianas,

al igual que los sedimentadores primarios y lagunas anaerobias. Recientemente se ha encontrado que el uso de Reactores de Flujo Ascendente (RAFA) que son un tipo de tratamiento biológico utilizado para eliminar contaminantes orgánicos, como tratamiento primario presenta resultados positivos, dejando de lado su uso como tratamiento secundario, siendo esto una innovación ecoeficiente. En este tipo de procesos, se experimenta principalmente una reducción de DBO por la digestión anaerobia (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013)

El material sedimentable o flotante al ser removido, ya sea por medios físicos o mecánicos, indica que el tratamiento primario es capaz de eliminar la materia que puede ocasionar daños en tratamientos posteriores, sino que, también remover una fracción de contaminantes orgánicos que representan una fracción del DBO y de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamientos primarios, también se tiene la flotación, precipitación química, oxidación química, sedimentadores primarios, tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas anaerobias (Franco y Rosel, 2002)

- **Flotación**

El proceso de flotación por aire disuelto ha demostrado ser eficiente para tratar gran variedad de aguas residuales y remover hidrocarburos y materia suspendida. En estos sistemas el flujo de agua residual se presuriza en presencia de aire suficiente como para lograr la saturación y mezcla del aire con el agua liberando esto a la cámara de flotación, en donde las burbujas de aire generadas se mezclan con los hidrocarburos o sólidos suspendidos, facilitando así su eliminación (Díaz-Díaz et al., 2018)

- **Precipitación química**

En el Centro Europeo de Posgrado y Empresa (CEUPE, 2017) se menciona que los contaminantes son descompuestos mediante la adición de productos químicos que debilitan o eliminan las fuerzas entre las partículas. Esto permite que las partículas interactúen mediante movimiento molecular y agitación física. La mezcla rápida dispersa el producto químico en el agua residual y promueve el choque entre las partículas, lo que a su vez hace que las partículas se agrupen para formar agregados de mayor tamaño, conocido como coagulación. Al transcurrir el tiempo, se debe reducir la velocidad de mezcla para generar flóculos grandes, ya que, entre más rápida es la mezcla, las partículas se destruyen por el contacto, a esto se le llama floculación. Finalmente llega la sedimentación, que es el proceso de separación de estos sólidos del agua, generando dos capas, la capa del agua y la capa de los sólidos sedimentados.

- **Oxidación química**

El proceso de oxidación química, se refiere a la oxidación de un contaminante con la finalidad de que este pueda agrietarse o romperse, formando así nuevas sustancias. EL tratamiento de oxidación química es utilizado cuando existen contaminantes que son difíciles de eliminar, las partículas resultado de la oxidación pueden tratarse posteriormente con más facilidad, mediante la degradación biológica, absorción e incluso sedimentación. Los químicos usados como oxidantes son el ozono y peróxido de hidrógeno, que pueden oxidar partículas orgánicas e inorgánicas (Synertech, 2020)

- **Sedimentadores primarios**

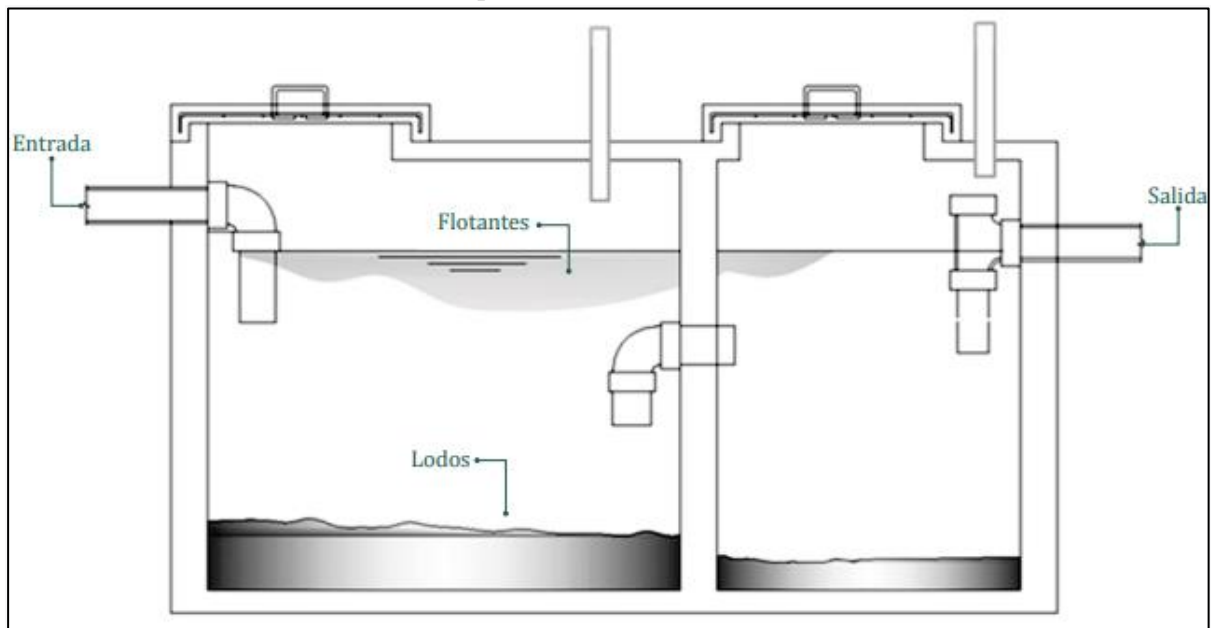
Los sedimentadores primarios son una técnica de tratamiento de aguas residuales que busca eliminar los sólidos y los niveles de oxígeno biológico mediante la sedimentación. Se sugiere el uso de tanques o lagunas de sedimentación como primer paso en el proceso, y también se menciona la posibilidad de usar estos equipos para retener el agua de lluvia con un tiempo de retención corto en caso de caudales máximos. Es importante mencionar que la sedimentación es una técnica comúnmente utilizada en tratamiento de aguas residuales, ya que es un proceso físico sencillo y eficaz para eliminar sólidos suspendidos y DBO (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013)

- **Tanques sépticos**

En CENTA, (2021) se menciona que los tanques sépticos son dispositivos enterrados que ayudan a tratar las aguas residuales, reduciendo la cantidad de sólidos en suspensión presentes en ellas. Estos tanques funcionan mediante dos procesos: uno físico en el cual los sólidos sedimentables se separan de los flotantes mediante la acción de la gravedad, y otro biológico en el cual la fracción orgánica de los sólidos se degrada mediante reacciones anaerobias, reduciendo su volumen y liberando biogás. Estos tanques son efectivos en la eliminación de sólidos y reducción del volumen de lodos.

Es común que los tanques sépticos tengan dos secciones colocadas en serie (Figura 7). El agua limpia del primer compartimento pasa al siguiente a través de un agujero en un punto intermedio entre las capas de flotantes y lodos para evitar la remoción de ambos. En el segundo compartimento, se lleva a cabo una separación adicional de materias flotantes y sedimentables, pero en menor cantidad.

**Figura 7.** Sección transversal de un tanque séptico.



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.240), CENTA, 2021.

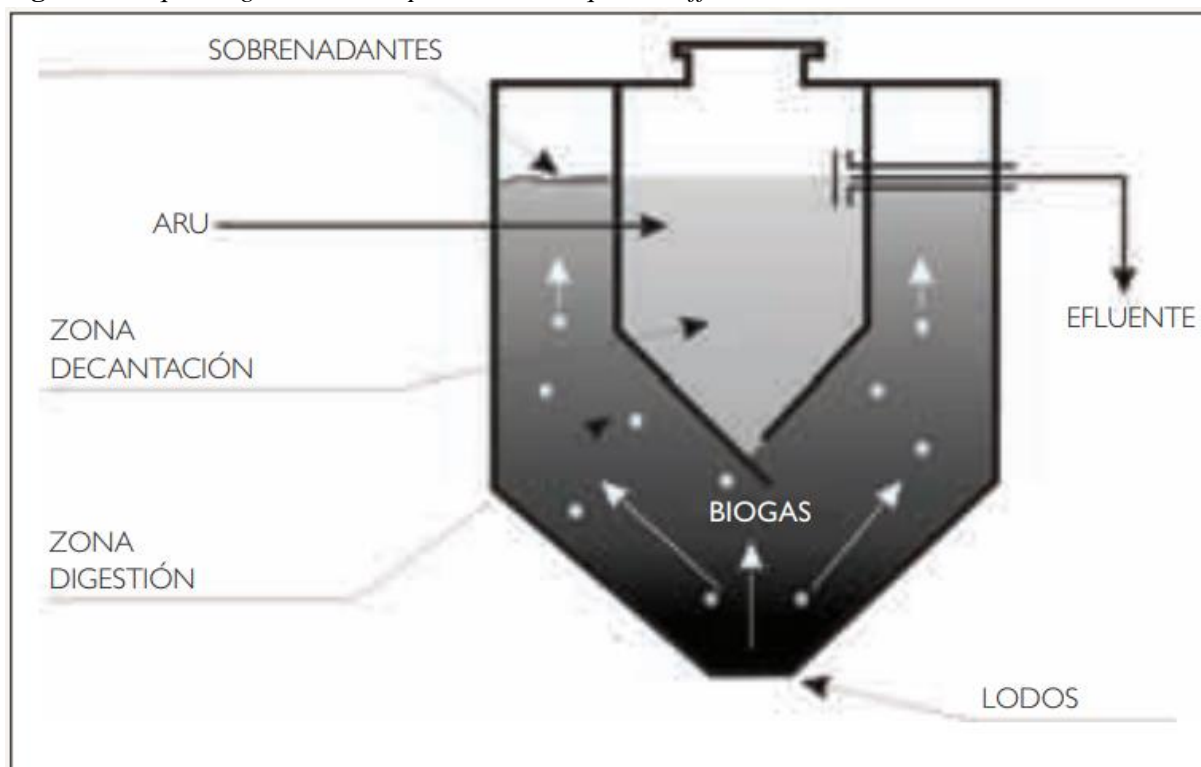
La formación de burbujas de gas durante la degradación anaerobia de los lodos puede dificultar la sedimentación normal de los sólidos en el agua residual. Sin embargo, tener un segundo compartimento permite que las partículas más ligeras tengan mejores condiciones para sedimentar. Es importante mencionar que los tanques sépticos solo proporcionan un nivel básico de tratamiento, por lo que es necesario llevar a cabo tratamientos adicionales para cumplir con las regulaciones (CENTA, 2021)

- **Tanques Imhoff**

El Tanque Imhoff es un dispositivo utilizado para tratar las aguas residuales urbanas mediante la eliminación de la materia orgánica particulada sedimentable y flotante. La fracción orgánica de los sólidos sedimentados se degrada anaeróbicamente. Los tanques Imhoff están compuestos por un solo depósito en el que se separa la zona de sedimentación en la parte superior del tanque de la zona de digestión en la parte inferior (Figura 8). La configuración de la abertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y lodos desde la zona de digestión a la de sedimentación, evitando que estos gases afecten el proceso de sedimentación de los sólidos en suspensión (Rodríguez et al., 2006)



**Figura 8.** Esquema general de un proceso de tanque Imhoff.



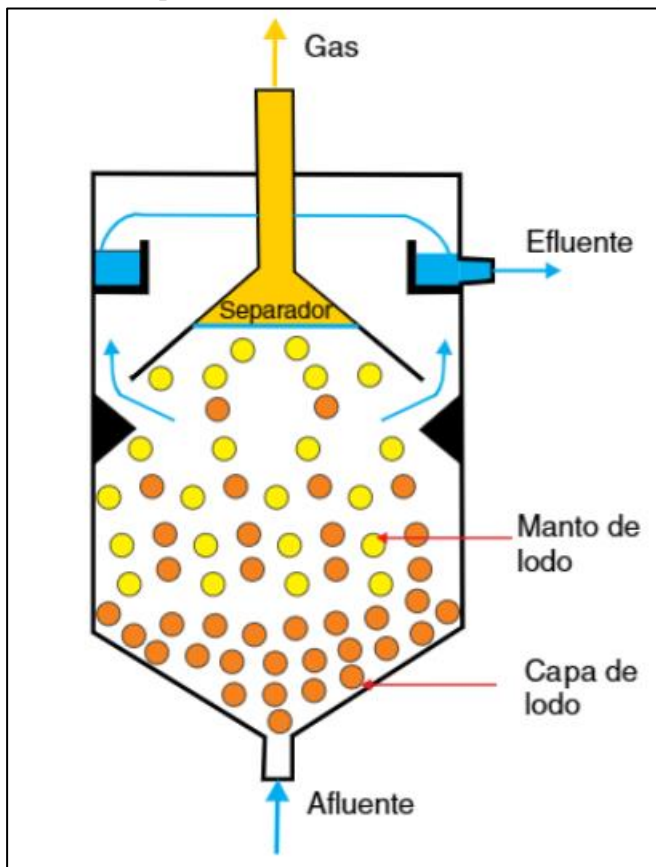
*Nota.* Tomado de *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población* Rodríguez et al., (p.64), Rodríguez et al., 2006.

En el funcionamiento de un Tanque Imhoff, se llevan a cabo procesos físicos y biológicos similares a los de los Tanques Sépticos. Sin embargo, la principal diferencia radica en el corto tiempo de estancia del agua residual en la zona de sedimentación, lo que permite obtener efluentes con baja septicidad. Esta zona funciona como un Sedimentador Primario. Además, la reducción del volumen de la materia orgánica en la zona de digestión permite realizar las operaciones de extracción de lodos menos frecuentemente (CENTA, 2021)

- **Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA)**

Los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA o UASB) son una forma de tratamiento de aguas residuales en la que el agua se introduce por el fondo y fluye hacia arriba a través de una capa de lodos sedimentados (Figura 9). Los microorganismos y bacterias se agrupan en estos reactores formando biogránulos o flóculos, lo que aumenta la eficacia de la sedimentación. La turbulencia natural causada por el caudal del agua y la producción de biogás que se genera como desecho por la descomposición de materia orgánica por parte de los microorganismos y bacterias, ayudan a mejorar el contacto entre el agua residual y el fango biológico.

**Figura 9.** Esquema de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).



*Nota.* Tomado de *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales* Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (p.27), Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013.

Es necesario realizar un tratamiento adicional para degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos, puede ser a través de sistemas convencionales aeróbicos como lagunas de estabilización. Es importante realizar etapas previas de adecuación del agua antes de introducirla en el reactor, como por ejemplo, eliminando aceites, grasas y arena (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013)

- **Lagunas anaerobias**

Noyola et al., (2013) manifiestan que el proceso de lagunas anaerobias se utiliza principalmente para tratar aguas residuales industriales con temperaturas superiores al ambiente y contenido de sólidos sedimentables. Estas lagunas son tanques profundos, que pueden alcanzar hasta 10 metros de profundidad, y no tienen cubierta para recolectar el biogás. Un problema común con este proceso es el olor desagradable asociado con el mismo. También se utilizan en el tratamiento de aguas residuales municipales, como primer paso en un sistema de lagunas compuesto por una laguna facultativa en segundo lugar y una laguna de clarificación al final. En este caso, la laguna anaerobia tiene una profundidad entre 3 y 5 metros.

Generalmente las lagunas anaerobias se las usa en un primer proceso en el tratamiento de aguas residuales, teniendo la función principal de remover el DBO. Este tipo de lagunas no poseen oxígeno disuelto y algas. La remoción del DBO se logra mediante la sedimentación de los sólidos y digestión anaerobia que produce en la zona de lodos; se debe considerar en el diseño, que las bacterias que intervienen en este proceso son sensibles a los tóxicos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013)

#### **4.3.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento biológico o secundario se utiliza para eliminar los contaminantes mediante la actividad de microorganismos presentes en el tanque de reacción. Durante este proceso, la materia orgánica suspendida y disuelta se transforma en sólidos inorgánicos sedimentables y biomasa mediante procesos de oxidación química. El tratamiento primario se encarga de eliminar la mayoría de los sólidos en suspensión y gran parte del DBO en suspensión, mientras que el tratamiento biológico tiene como objetivo eliminar específicamente el DBO disuelto, los sólidos y los residuos en suspensión que no fueron retenidos en el tratamiento primario (Lozano, 2012)

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (2013) de Bolivia añade que, dependiendo del tipo de tecnología que se utilice se puede reducir la presencia de coliformes fecales. El lugar donde la biomasa se pone en contacto con el agua residual para su tratamiento, puede ser un biorreactor o una laguna de estabilización, entre otros. En la mayoría de los casos, la biomasa se genera espontáneamente durante el tratamiento biológico y a partir de bajas concentraciones de microorganismos presentes en las aguas residuales o en el aire. Por lo tanto, el conocimiento de las actividades bioquímicas de los microorganismos es importante como base para el diseño de un proceso de biorremediación o en la selección del tipo de proceso a utilizar.

- **Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización son un sistema de tratamiento de aguas residuales con mínimos costos de operación, y son reconocidas a nivel mundial. La construcción de estanques estables para solucionar el problema del tratamiento de aguas residuales es aplicable tanto a pequeñas industrias y localidades como a grandes ciudades. Sin embargo, hay localidades que, por costo y falta de disponibilidad de suelo no se permite este tipo de tratamiento (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

1. **Lagunas anaerobias:** Pueden trabajar con altas cargas orgánicas. Cumplen dos objetivos principales, la reducción de la materia en suspensión y la estabilización los lodos generados que se depositan en el fondo (CENTA, 2021)
2. **Lagunas facultativas:** Estas lagunas tienen una profundidad menor que las lagunas anaerobias. El propósito principal de este tipo de lagunas es biodegradar la materia orgánica presente en las aguas residuales mediante un proceso aeróbico, gracias al oxígeno producido por la actividad fotosintética de las microalgas presentes en el agua residual. También se producen fenómenos de reaireación superficial, impulsados por el viento debido a la gran extensión de estas lagunas (CENTA, 2021)
3. **Lagunas de maduración:** Constituyen la etapa final del esquema de tratamiento, por lo que soportan una baja carga orgánica, lo que facilita la penetración profunda de la radiación solar. En estas lagunas se consigue cierta erradicación de las poblaciones de microalgas por filtración de los organismos que proliferan en ellas y, sobre todo, se consigue una alta tasa de eliminación de organismos patógenos, fruto del efecto bactericida de la radiación UV, procesos filtración y predación, altos valores de pH y oxígeno disuelto, etc., conduce a aguas residuales finales altamente desinfectadas y oxidadas (CENTA, 2021).

- **Filtros percoladores**

Son un sistema en el cual las aguas residuales son puestas en contacto con microorganismos adheridos a un empaque específico para permitir el flujo natural del aire. El material del empaque debe tener una alta relación entre su área y su volumen, ser resistente, duradero y económico. Sin embargo, es difícil encontrar un material que cumpla con todos estos atributos, por lo que se utilizan dos tipos de empaques: naturales, como piedras, y sintéticos, como piezas de plástico con diferentes geometrías. El funcionamiento del filtro percolador varía dependiendo de la cantidad de agua tratada y de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor (Noyola et al., 2013)

- **Humedales artificiales**

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración en aguas residuales. El sistema implica la construcción de un modelo de cultivo de macrófitas enraizadas a una capa de grava impermeable. La acción de los macrófagos que son células que se encuentran en los tejidos vegetales, capaces de digerir patógenos y materiales extraños, induce una serie compleja

de interacciones físicas, químicas y biológicas mediante las cuales las aguas residuales entrantes se limpian de manera gradual y gradual (Delgadillo et al., 2010)

De igual manera, Delgadillo et al. (2010) manifiestan que los humedales artificiales pueden clasificarse de la siguiente forma:

1. **Humedales artificiales de flujo superficial:** Los sistemas de escorrentía superficial son aquellos en los que el agua discurre preferentemente por el tronco de la planta y entra en contacto directo con la atmósfera. Este tipo de humedal es una variación del sistema lagunar convencional. En términos paisajísticos, este sistema es muy recomendable por su potencial como hábitat para peces, anfibios, aves, etc.
  2. **Humedales artificiales de flujo subsuperficial:** Los sistemas de flujo subterráneo se caracterizan porque la circulación del agua en ellos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua de casi 0,6 m. Las plantas se cultivan en este medio granular y el agua entra en contacto con los rizomas y raíces de la planta. Los humedales de escorrentía subterránea pueden ser de dos tipos: (a) dependiendo de cómo se suministre el agua al sistema: humedales de flujo subterráneo horizontal y (b) humedales de escorrentía subterránea vertical.
- **Contactores biológicos rotativos (CBR)**

Noyola et al., (2013) señala que este sistema, también conocido como biodisco, consta de un empaque circular que gira para contener la biomasa adherida. El disco gira lentamente (2 a 5 rpm) alrededor de su eje, mientras que el 40% de su superficie está sumergida en el agua restante y el resto está expuesto al aire, es decir, la biopelícula interactúa secuencialmente con el aire y el agua.

Por lo general, se suelen utilizar dos o tres tanques de biodisco dispuestos en serie, lo que puede conducir a una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica y la nitrificación. En el tratamiento de aguas residuales domésticas, la eliminación de DBO5 es efectiva, alcanzando porcentajes del 90 al 95%. Este proceso se puede utilizar en climas fríos con mayor flexibilidad que otros, ya que opera protegido por una cobertura.

En CENTA, (2021) se menciona que los contactores biológicos rotativos trabajan bajo cubierta con el fin de evitar daños a la biopelícula por motivos de las condiciones atmosféricas y protegerlo en caso de fallas electromecánicas que detengan la rotación del rotor y dejen en exposición de manera permanente parte del material de soporte.

#### 4.4. Plan de manejo ambiental

La elaboración de un plan ambiental es un reflejo de criterios de profesionales que forman parte de un proyecto, su importancia radica en las interacciones que se establecen en cada una de las actividades del proyecto, luego de que estas hayan sido identificadas y valoradas en función de los impactos que ocasionan al medio ambiente, para establecer medidas para mitigar, restaurar y compensar los impactos negativos potenciales, de igual manera, maximizar impactos positivos en las diferentes etapas del proyecto, ejecutando así actividades de manera sostenible y responsable con el ambiente (CELEC, 2014).

##### 4.4.1. Estructura de un plan de manejo ambiental

La Corporación Eléctrica del Ecuador, (2014) menciona que un Plan de Manejo Ambiental consta de varios programas, los cuales se los detalla a continuación:

- **Programa de prevención, mitigación, remediación y compensación ambiental:** Este programa está orientado a prevenir, mitigar, corregir y subsanar cualquier impacto o efecto negativo que pueda llegar a generarse en los componentes ambientales físicos, bióticos y sociales, debido a las actividades del proyecto.
- **Programa de seguridad industrial y salud ocupacional:** El objetivo del programa es asegurar el ambiente laboral para que el trabajador desarrolle correctamente sus actividades, de igual manera, evitar daños a terceros y a los componentes del proyecto.
- **Programa de manejo de desechos:** Dentro de un proyecto se generan desechos, la finalidad del programa está orientado a establecer mecanismos para el correcto manejo de los residuos, sea ya en la recolección, manipulación, almacenamiento, transporte y disposición final.
- **Programa de capacitación ambiental:** El programa tiene dos propósitos, el primero es el de capacitar al personal involucrado directamente en el proyecto, con el fin de que incorpore el término ambiental dentro de las actividades que están bajo su responsabilidad. El segundo es el de involucrar a la comunidad que se encuentra involucrada en el proyecto e informar sobre temas ambientales para que su participación y relación se lleve a cabo con responsabilidad.
- **Programa de relaciones comunitarias:** La finalidad del programa es el de informar a la comunidad que se encuentra dentro del área de influencia del proyecto sobre la ejecución del mismo, y llevar a cabo actividades participativas para considerar e incorporar opiniones y observaciones de los moradores respecto al proyecto.

- **Programa de monitoreo, control y seguimiento:** El programa de monitoreo tiene como objetivo determinar las actividades necesarias para quien esté a cargo del proyecto pueda adoptar y asegurar el cumplimiento de las medidas de protección ambiental contenidas dentro del Plan de Manejo Ambiental.
- **Programa de contingencias:** El objetivo es el de dar una respuesta inmediata a emergencias, garantizando una mínima afectación de los accidentes que puedan suscitar durante las acciones del proyecto
- **Programa de rehabilitación:** El programa de rehabilitación establece medidas para restaurar los ambientes degradados por las actividades del proyecto y restaurar los ecosistemas, alcanzando así un equilibrio de las condiciones ambientales.
- **Programa de abandono y entrega del área:** Este programa contempla medidas que las empresas encargadas del proyecto deben tomar, con el fin de garantizar un desmontaje de las instalaciones ambientalmente correcto, luego de que la vida útil de la infraestructura haya llegado a su fin o por una decisión unilateral de los involucrados en el proyecto.

#### **4.5. Marco legal**

En el presente apartado se hace referencia a la base legal, la cual rige y determina el alcance del proyecto en el tratamiento de aguas residuales.

##### **4.5.1. Constitución de la República del Ecuador**

Dentro del marco de la Constitución de la República del Ecuador (2008), en el artículo 14 reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente saludable y sostenible. Por tanto, es la responsabilidad de todos mantener y proteger el ambiente y los ecosistemas, así como evitar cualquier daño que se pueda causar y restaurar espacios naturales dañados.

Se menciona también el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano, sin contaminación y en un entorno saludable, según el artículo 66, apartado 27 de la Constitución de algún país. El texto también menciona la importancia de vivir en armonía con el ambiente y evitar cualquier alteración que pueda afectar negativamente su estado natural.

También se infiere sobre el derecho de la naturaleza en el artículo 71, reconociendo que es fundamental para la vida y por lo tanto debe ser respetada, cuidada y regenerada. El artículo también señala que las personas tienen derecho a exigir a las autoridades que se cumplan estos derechos de la naturaleza y que el estado debe incentivar a las personas, sean estas naturales,

jurídicas o colectivas, para la protección de la naturaleza y cualquier elemento que forme parte de ella. En resumen, se destaca la importancia del cuidado y protección de la naturaleza y se establece la responsabilidad tanto individual como institucional en el cumplimiento de estos derechos.

Los gobiernos autónomos de los pueblos tienen la responsabilidad de prestar servicios públicos a la población, incluyendo el alcantarillado y la depuración de aguas residuales. Esto es con el objetivo de cumplir con los derechos mencionados previamente. El artículo 264, literal 4 es la referencia legal para esta obligación.

El artículo 411 se refiere específicamente a la conservación, recuperación y manejo integral del recurso hídrico. Se establece que cualquier actividad que pueda afectar negativamente la calidad y cantidad del agua será regulada, especialmente si tiene un impacto en las fuentes y áreas de recarga de agua. En este contexto, se da prioridad a la sostenibilidad de los ecosistemas y el consumo humano en el uso y aprovechamiento del agua.

#### **4.5.2. Código Orgánico del Ambiente**

Dentro del Código Orgánico del Ambiente (2017), en el artículo 196, establece que los gobiernos autónomos descentralizados municipales deben tener los recursos necesarios para implementar sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. El objetivo es asegurar que las aguas servidas sean tratadas de manera adecuada para poder ser reutilizadas, siempre y cuando cumplan con las normas ambientales. En caso de que no sea posible tratarlas para su reutilización o no puedan ser trasladadas a un sistema de alcantarillado, deben ser tratadas de tal forma que no contaminen los cuerpos receptores y no afecten la salubridad pública.

#### **4.5.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua**

Dentro de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), en el artículo 12, se establece que el estado, sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego tienen la responsabilidad de proteger, recuperar y conservar las fuentes de agua. El estado debe proporcionar los fondos y asistencia técnica necesarios para garantizar la protección y conservación del recurso. Si no se conoce el usuario de una fuente de agua, la responsabilidad de proteger y conservarla recae en la Autoridad Única del Agua en colaboración con el gobierno autónomo descentralizado, siempre y cuando esta fuente de agua no se encuentre dentro de un área natural protegida.

#### **4.5.4. Ley Orgánica de Salud**



De igual manera, dentro de la Ley Orgánica de Salud (2015), se menciona la responsabilidad del estado y municipios, para brindar a la población los sistemas de alcantarillado y otros sistemas para la disposición final de excretas y aguas servidas, con el fin de garantizar la salud pública.

En el artículo 103 se prohíbe la descarga de aguas residuales sin ningún tratamiento previo conforme disponga la ley, a los ríos, quebradas, mares, canales, lagunas o cualquier otro cuerpo de agua; de igual manera también se menciona la prohibición de este tipo de agua en el uso de crianza de animales y actividades agropecuarias.

## 5. Metodología

El tratamiento de las aguas residuales es un tema importante en la gestión ambiental debido a la necesidad de proteger la calidad del agua y evitar la contaminación de los cuerpos receptores. En el presente estudio para el tratamiento de aguas residuales se incluyó varios pasos importantes, como se describen a continuación:

- Alcance y diseño de la investigación realizada: Necesario para establecer claramente los objetivos y metas del estudio, así como los métodos y herramientas que se utilizaron para alcanzarlos.
- Descripción del área de estudio: Se caracterizó el área de estudio, incluyendo información sobre su geografía, clima, población, existencia de industrias y usos del agua.
- Características del agua residual del barrio: Se recolectó y analizó las muestras de agua residual para conocer su composición físico-química y biológica.
- Proceso de selección de los parámetros del agua residual que se analizaron: Se seleccionó los parámetros más importantes para evaluar la calidad del agua residual, como el pH, el contenido de nutrientes, DBO, DQO, etc.
- Descripción del método de muestreo de las aguas residuales: Se describieron los procedimientos utilizados para recolectar las muestras de agua residual, incluyendo la frecuencia, el lugar y la metodología de muestreo.
- Aforo de caudales de las aguas residuales: se midieron los caudales de agua residual para estimar la cantidad de contaminación generada por la población.
- Población horizonte para el diseño del tratamiento: Se estimaron las necesidades futuras de tratamiento de aguas residuales para el área de estudio, considerando el crecimiento de la población con respecto al tiempo de vida útil del sistema de tratamiento.
- Estimación de los caudales del agua residual: Se estimaron los caudales de agua residual para referencia y comparación con los caudales medidos.
- Análisis en el laboratorio de las muestras de agua residual: Se analizaron las muestras de agua residual en un laboratorio para evaluar su calidad y determinar las cargas contaminantes.
- Cargas contaminantes y habitantes equivalentes: Se calcularon las cargas contaminantes por unidad de población (habitantes equivalentes) para su evaluación de la eficiencia del tratamiento.

- Se seleccionó el sistema de tratamiento de aguas residuales más adecuado para pequeñas comunidades, que implicó evaluar las características específicas de cada tratamiento y se determinó qué sistema proporciona el mejor rendimiento y costo.
- El levantamiento topográfico del área de estudio implicó recopilar información sobre el terreno, como la topografía, la vegetación y los cuerpos de agua cercanos, para determinar cómo afectará esto a la implementación del sistema de tratamiento.
- El dimensionamiento del sistema de tratamiento seleccionado implicó calcular las dimensiones y capacidades necesarias para el sistema y así cumplir con las regulaciones y las necesidades de tratamiento específicas.
- La identificación de elementos ambientales susceptibles a los impactos que puedan suceder en la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, implicó evaluar cómo el proyecto podría afectar al ecosistema, la fauna y la vegetación local.
- Para los parámetros de calificación y valoración de impactos ambientales, implicaron establecer los criterios para medir y evaluar los impactos ambientales del proyecto y determinar cómo se mitigarán.
- Se elaboró plan de manejo ambiental que implicó desarrollar un plan detallado para minimizar y mitigar los impactos ambientales del proyecto y garantizar que se cumplan las regulaciones ambientales.

Cada uno de los puntos mencionados anteriormente se explicarán y describirán con más detalle durante el desarrollo de la metodología.

### **5.1. Alcance de investigación**

La investigación presentó un alcance descriptivo y cuantitativo:

Es descriptiva y cuantitativa dado que, se indagó sobre las diferentes tecnologías y líneas de tratamiento de aguas residuales. De igual manera, se recopiló información de varias investigaciones y prácticas de estos tratamientos, a fin de obtener resultados de gran valor.

De igual forma, se caracterizó el agua residual generada por la población del sector, se representó el problema del lugar mediante la recolección de datos numéricos, definiendo variables correspondientes a los parámetros del agua residual, los cuales fueron medidos y promediados para la representación de los resultados. Además, se describieron las diferentes opciones de tratamiento de agua consideradas para comunidades pequeñas que son las mejor adaptadas al lugar de estudio debido a que es una pequeña población.

En función de los datos obtenidos en la fase de muestreo y selección de la línea de tratamiento adecuada, se realizó el diseño del sistema seleccionado, el cual incluye el dimensionamiento, gráficos y costos del mismo.

## **5.2. Diseño de investigación**

El proyecto se llevó a cabo bajo un diseño no experimental-longitudinal

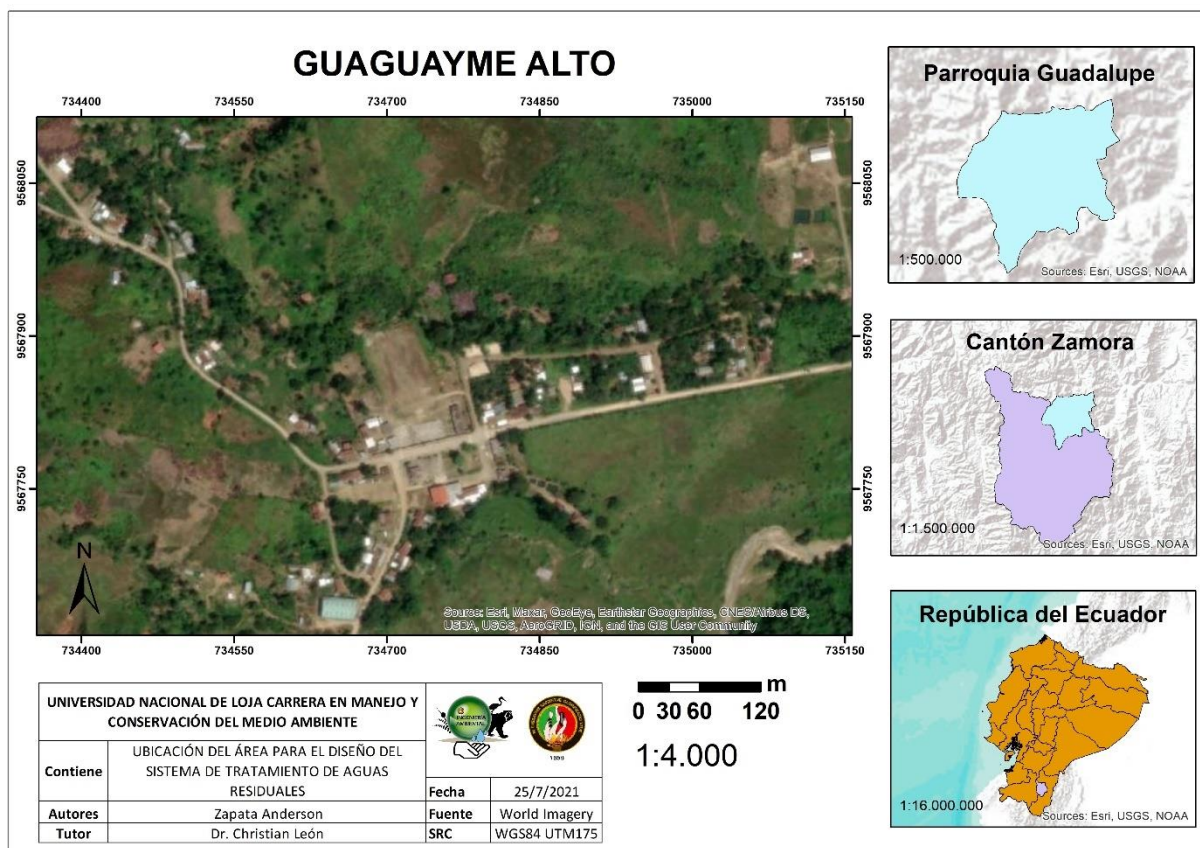
No es experimental, dado que no se manipuló los datos a conveniencia, todo el diseño del tratamiento se realizó en el contexto natural del sector. De igual manera se trabajó con estimaciones de caudal, concentraciones y población para un análisis de coherencia con los datos obtenidos en campo.

El término longitudinal hace referencia a un tipo de investigación donde la recolección de datos proviene de una determinada población, correspondientes a varios puntos en el tiempo, con el fin de contemplar las variaciones de datos. En este caso, la recolección de datos se realizó en cuatro días distintos.

## **5.3. Área de estudio**

Guaguayme Alto es un poblado de la parroquia Guadalupe, perteneciente al cantón Zamora de la provincia Zamora Chinchipe (Figura 10). Sus coordenadas UTM son 734795,5 latitud este y 9568170,5 longitud norte, con una extensión de 0,11 km<sup>2</sup> y se encuentra a una altitud de 883 msnm. Este barrio presenta temperaturas que varían en el año entre los 16°C a 29°C y precipitaciones anuales que varían desde los 2 000 a los 2 500 mm. Posee una población de 250 habitantes y sus principales actividades económicas son la agricultura y ganadería destinadas al autoconsumo y venta (GAD Parroquial de Guadalupe, 2019)

**Figura 10.** *Mapa de ubicación del barrio Guaguayme Alto.*



El terreno seleccionado para la ubicación del sistema de tratamiento (Figura 11) posee un área de 670 m<sup>2</sup> aproximadamente, pertenece a un morador del barrio, se encuentra ubicado a 30 metros del punto de descarga cruzando la quebrada, el lugar cuenta con condiciones aptas en cuanto a pendiente y cercanía al lugar de descarga, considerando que, de igual manera, no se encuentra próximo a viviendas del sector ni ningún tipo de camino o vía en el cual pueda interrumpir el paso de transeúntes.

**Figura 11.** Ubicación del terreno disponible para la planta de tratamiento.



#### **5.4. Caracterización el agua residual del barrio Guaguayme Alto**

Se caracterizó el agua residual del sector, analizando diferentes propiedades y componentes presentes en el agua, con la finalidad de determinar su calidad y su aptitud para su tratamiento. La caracterización incluyó la medición de diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos, los cuales se mencionan en el transcurso de este apartado. La información obtenida fue esencial para el diseño y la optimización de los procesos de tratamiento y para dar cumplimiento con los estándares de calidad ambiental.

##### **5.4.1. Selección de parámetros para la caracterización**

La elección de los parámetros está estrechamente relacionada con el uso final del agua. En este caso, se espera que el agua tratada sea descargada en un cuerpo de agua, por lo que los parámetros se determinaron en función de lo establecido en la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo 4) y de los procesos de tratamiento elegidos, ya que estos proporcionan información para el diseño del sistema.

Delgadillo et al. (2010), mencionan que debido a costos de análisis de los diferentes parámetros es posible elegir a los más imprescindibles, para ello es necesario tener en cuenta el origen de las aguas residuales. En este caso, las aguas residuales provienen de uso doméstico.

Los parámetros a medir también están en función de los tratamientos que se van a aplicar, dado que si no se tiene la información suficiente luego no se puede diseñar. Por tal motivo, los parámetros que se consideraron para el análisis son los que se exponen en la (Tabla 1).

**Tabla 1. Parámetros caracterizados.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
DQO (soluble y suspendida)	mg DQO/l
DBO <sub>5</sub> (soluble y suspendida)	mg DBO <sub>5</sub> /l
Fósforo Total	mg PT/l
Sólidos Totales (ST)	mg ST/l
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg STD/l
Sólidos Suspendidos (SS)	mg SS/l
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	mg SSV/l
Sólidos Suspendidos no Volátiles (SSNV)	mg SSNV/l
Sólidos sedimentables y no sedimentables	mg/l
Grasas y aceites	mg/l
Temperatura	°C
pH	-
Alcalinidad	mg/l

#### **5.4.2. Método de muestreo**

Dado que hay varias condiciones a tener en cuenta al tomar muestras de agua, como fluctuaciones en el flujo y la cantidad de contaminación, diferentes tipos de aguas residuales, opciones de muestreo, y el tiempo de almacenamiento de las muestras, se decidió tomar una sola muestra en un punto específico donde se descargan todas las aguas residuales del barrio. Además, se utilizaron frascos ámbar esterilizados para recoger las muestras y se siguieron las recomendaciones dadas por Barreto et al., (2010) e INEN 2169, (2013) que se mencionan a continuación:

- Se respetó los tiempos mínimos entre las tomas de muestras y el traslado hacia el laboratorio.
- Los registros de cada muestra recolectada fueron llenados en la cadena de custodia y se identificó cada frasco.

- Se evitó la contaminación de la muestra, evitando que esta esté expuesta al sol o al aire libre.
- Los frascos que fueron enviados al laboratorio se llenaron completamente evitando la existencia de aire, debido a que los análisis fueron físico-químicos, esto evita la agitación e interacción de la fase gaseosa.
- La temperatura de almacenamiento de las muestras fue menor a la temperatura en la que se las recolectó.

### 5.4.3. Procedimiento de muestreo

Siguiendo la metodología descrita por el Instituto de Toxicología de la Defensa (2016), en el cual se manifiesta que cuando se desconoce la variación de cargas contaminantes y caudales en un agua residual se debe muestrear durante 8 en intervalos de 30 minutos. Este procedimiento se lo realizó durante cuatro días debido a que es una población pequeña de 250 habitantes según el GAD Parroquial de Guadalupe (2019). Al elegir los días de muestreo, se tuvo en cuenta las actividades de la población y se consideraron días con un alto y bajo uso del agua para comparar los resultados.

Para la recolección del agua residual se lo realizó mediante muestras compuestas y muestras simples, según la INEN 2266, (2013) las muestras simples son aquellas que son tomadas una sola en un cuerpo de agua, mientras que las muestras compuestas son aquellas que se forman a partir de varias muestras simples, es decir, se mezclan varias muestras simples formando una sola muestra. Para determinar el volumen de la muestra compuesta se utilizó la siguiente fórmula:

$$Vi = \frac{V * Qi}{n * Qm}$$

Ecuación (1)

Donde:

**Vi:** Volumen individual de cada una de las alícuotas, en ml.

**V:** Volumen de la muestra compuesta, en ml

**Qi:** Caudal medido al momento del muestreo de cada una de las alícuotas (l/s)

**n:** Número de alícuotas individuales de que se compone la muestra

**Qm:** Caudal medio en el período de muestreo (l/s)

**Tabla 2.** *Técnicas acordadas con el laboratorio para la conservación de las muestras.*

Tipo de recipiente	Volumen de recipiente	Almacenaje	Temperatura de preservación
--------------------	-----------------------	------------	-----------------------------



- Las muestras se recolectaron en el punto de descarga del sistema de alcantarillado del barrio (Figura 12).

**Figura 12**

*Punto de descarga del sistema de alcantarillado.*



- Los 68 recipientes utilizados fueron esterilizados con anterioridad con el fin de evitar la contaminación de las muestras.
- Los días elegidos para la recolección de las muestras de agua residual fueron los días de menor uso de agua, lunes y martes, y los días de mayor uso, sábado y domingo. Esto se debió a que, durante los días hábiles, gran parte de la población sale a las zonas rurales para trabajar, generando menos cantidad de agua residual, mientras que, durante los fines de semana, las personas permanecen en el barrio y se genera más cantidad de agua residual. Además, se coordinó con el laboratorio IHTALAB para establecer los horarios de muestreo, empezando el primer día a las 05:00 am y terminando a las 15:00 pm y los tres días restantes de 11:30 am a 19:30 pm para facilitar el envío de las muestras.

- Se conformó un volumen de 5 litros para la muestra compuesta por día, dicha muestra fue dividida en 10 recipientes de 500 ml para ser enviada a una temperatura de 5°C. Cada recipiente fue etiquetado, en donde se especificaba el lugar de muestreo, hora de inicio y final del muestreo, nombre del recolector, fecha, condiciones atmosféricas y la hora de la conformación de la muestra compuesta.
- Los recipientes donde se almacenaron las muestras simples, fueron etiquetados con la hora de muestreo, además, en cada muestreo, se midió parámetros in situ como temperatura y pH utilizando un multiparámetro sension 156 marca HACH, de igual forma, se midió la temperatura ambiente del lugar, Anexo 1.

#### **5.4.4. Medición del caudal**

Para calcular el caudal se empleó el método volumétrico, el cual se basa en medir el volumen de agua recolectado en un periodo de tiempo específico. Esta técnica consiste en medir la relación entre el volumen del agua recolectada y el tiempo transcurrido durante la recolección.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

**Q:** Caudal

**V:** Volumen

**t:** Tiempo

Se utilizó un recipiente de 15,28 litros. En cada momento de recolección de muestras simples, se realizaron tres mediciones para obtener un valor promedio. Al final del día de muestreo, se calculó el promedio de los 17 caudales medidos durante las 8 horas de muestreo, obteniendo así el caudal medio diario.

Se aforó en tres días de lluvia, adicionalmente a las cuatro jornadas de muestreo, con la finalidad de determinar un caudal máximo de las aguas residuales mediante mediciones. El aforo se realizó con el mismo recipiente del muestreo, los dos primeros días se efectuó la medición en dos intervalos de tiempo mientras duró la lluvia y el tercer día se aforó una sola vez, Se realizaron tres repeticiones en cada aforo, luego se promedió para un resultado con una mayor precisión.

#### **5.4.5. Población horizonte**

La población de diseño se obtuvo mediante el método de razón y correlación, en el cual se asume que la población sigue la tendencia de la región a la cual pertenece. Este método fue utilizado debido a falta de información en el barrio, por lo que no se tiene una tasa de crecimiento poblacional, el método mencionado permite utilizar la información de la parroquia a la que pertenece el barrio Guaguayme Alto para poder determinar la tasa de crecimiento. Se estimó una población horizonte de diseño para un período único de 20 años para el cálculo de la población futura, debido a que ese es el tiempo de vida útil considerado para la PTAR según CPE INEN 5, (2018), de igual manera en CENTA, (2021) se menciona que la recomendación del año horizonte del proyecto para comunidades pequeñas es de entre 15 a 20 años. Para obtener la tasa de crecimiento se utilizó la Tasa de Crecimiento Geométrico Simplificado (Bocaz), debido a que este método es utilizado cuando la diferencia entre los dos censos realizados en el lugar es de entre 5 y 10 años (Torres, 2011)

$$r = \left(\frac{2}{a}\right) * \left(\frac{P^{t+n} - P^t}{P^{t+n} + P^t}\right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

**r** = Tasa de crecimiento anual geométrico, en %

**P<sup>t+n</sup>** = Población al momento actual (GAD Parroquial de Guadalupe, 2019)

**P<sup>t</sup>** = Población al momento inicial (GAD Parroquial de Guadalupe, 2019)

**a** = Amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia, en años

Para obtener la población proyectada a 20 años, primero se calculó la población hasta el año 2022 desde el último censo realizado en el Plan de Ordenamiento Territorial. Tobergte y Curtis (2013), mencionan que, para el cálculo de la población proyectada es aplicable la siguiente fórmula:

$$PF = Pi * (1 + r)^n \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

**Pi** = Población inicial

**r** = Tasa de crecimiento anual inter censal, en %

**n** = Número de años que se desea proyectar a la población, partiendo de la población inicial

**PF** = Población final proyectada después de “n” años

Asimismo, CENTA, (2021) hace referencia de algunos métodos para la proyección de la población en el diseño de tratamiento de aguas residuales, en donde se recomienda acorde al número de habitantes, utilizar los siguientes métodos (Tabla 3):

**Tabla 3.** Método recomendado según el número de habitantes.

Método recomendado	Hasta 2.000 habitantes	De 2.001 a 10.000 habitantes	De 10.001 a 100.000 habitantes
Aritmético	X	X	
Geométrico	X	X	X
Exponencial		X <sup>1</sup>	X <sup>2</sup>

El crecimiento aritmético tiene en cuenta el aumento o disminución de la población debido a factores como la mortalidad y la migración. El método exponencial requiere al menos tres censos para calcular la tasa de crecimiento y es comúnmente utilizado en áreas con un gran desarrollo poblacional. Por último, el método geométrico (Ecuación 4), el cual se utilizó para obtener la tasa de crecimiento. es utilizado en poblaciones pequeñas.

#### 5.4.6. Caudales estimados del agua residual

El objetivo de esta evaluación fue comparar los caudales calculados con los caudales medidos en el campo con el fin de determinar la precisión de las estimaciones e identificar cualquier desviación en caso de que exista.

- **Caudal medio:** El caudal promedio se calculó utilizando la fórmula 5, tomando como base el valor de dotación de agua de 100 l/hab\*día para poblaciones pequeñas con alcantarillado, según la información proporcionada por INEN, (1997). Se tomó como referencia el valor de 0.8 para el coeficiente de retorno, el cual indica el porcentaje de agua que entra al sistema de alcantarillado (EMAAP, 2009)

$$Q_m = \left( \frac{P * Dot * R}{86400} \right) \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

**Q<sub>m</sub>** = Caudal medio de agua residual

**P** = Población

**Dot** = Consumo per cápita (l/hab\*día)

**R** = Coeficiente de retorno

- **Caudal máximo (Q<sub>máx</sub>):** Se lo obtuvo a partir del caudal medio mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{máx} = Q_m * K1 * K2 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

**Q<sub>máx</sub>** = Caudal máximo de agua residual

**Q<sub>m</sub>** = Caudal medio de agua residual

**K1** = 1,2 (Coeficiente pico para el día con mayor consumo)

**K2** = 1,5 (Coeficiente pico para la hora con el mayor consumo)

- **Caudal mínimo:** Para pequeñas poblaciones sigue un orden del 30% del caudal medio:

$$Q_{min} = Q_m * K3 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

**Q<sub>mín</sub>** = Caudal mínimo de agua residual

**Q<sub>m</sub>** = Caudal medio de agua residual

**K3** = Coeficiente de reducción para la hora con menor consumo

Rodríguez et al., (2006), mencionan que, en poblaciones pequeñas, el coeficiente de reducción es del 30%.

#### 5.4.7. Análisis de datos

Para obtener un resultado representativo de los parámetros del agua de entre las cuatro jornadas de muestreo, se utilizó una media ponderada, la cual es más representativa que una media simple, ya que, considera el valor del caudal para cada concentración correspondiente (Metcalf y Eddy, 1996)

$$x_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

**x<sub>w</sub>** = Concentración media del constituyente proporcional al caudal

**n** = Número de observaciones

$x_i$  = Concentración media del constituyente durante el i-ésimo período de tiempo

$q_i$  = Caudal medio durante el i-ésimo período de tiempo.

Los resultados se compararon con los límites máximos permisibles para descarga hacia un cuerpo de agua dulce, que se encuentran en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (MAE, 2015).

Conjuntamente con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de la relación DBO:N:P en el agua residual ya que los valores de estos parámetros son indicadores de la carga orgánica, actividad biológica y la eutrofización, esta relación se utiliza para poder inferir sobre la calidad del agua. Serrano, (2005) recomienda una relación de DBO/N/P de 100/5/1 como mínimo para las aguas urbanas, mientras que para las aguas residuales industriales recomienda trabajar con valores de 100/2,5/0,5 pero usando en este caso la relación entre DQO/N/P. Para este caso, se consideró la primera relación dada la procedencia de las aguas residuales.

#### **5.4.8. Cargas contaminantes**

Determinar la carga contaminante es de importancia para la capacidad de tratamiento de la PTAR, para evitar problemas de operación y asegurar un diseño confiable (Romero, 2002).

Se determinó las cargas contaminantes de aquellos parámetros que comúnmente se considera de mayor importancia, para lo cual se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Carga contaminante} = \text{Concentración (mg/l)} * \text{Caudal (m}^3/\text{día)} \quad \text{Ecuación (9)}$$

#### **5.4.9. Habitante equivalente**

Para la determinación del habitante equivalente se utilizó la fórmula descrita en el libro de Rodríguez et al., (2006). El habitante equivalente es uno de los parámetros que caracterizan la contaminación, siendo una medida básica para dimensionar la planta de tratamiento, donde se pondera la carga contaminante partiendo del aporte individual del mismo contaminante (Lozano, 2012)

$$h. e. = \left( \frac{Q_m * DBO5 \left( \frac{mg}{l} \right)}{60g \text{ DBO5/día}} \right) \quad \text{Ecuación (10)}$$

Un habitante equivalente queda definido por la carga orgánica biodegradable con un DBO de cinco días de 60 g de oxígeno por día.

### **5.5. Selección de la tecnología de tratamiento.**

#### **5.5.1. Línea de tratamiento**

Noyola et al., (2013) mencionan que los tratamientos pueden complementarse entre ellos con la finalidad de conseguir una determinada calidad de agua, de igual forma, dar tratamiento a los fangos que puedan llegar a generarse.

Según la guía de selección y diseño de tratamiento de CENTA (2021), se proponen líneas de tratamiento que cumplan con los límites de vertido en cuanto a la eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica, ya que estos dos parámetros superan los límites permitidos en el análisis del agua. Se eligieron las líneas de tratamiento propuestas por los autores basadas en la experiencia de Bolivia y países vecinos.

Además, la guía indica que todas las líneas de tratamiento deben incluir un pretratamiento y un tratamiento de lodos. La selección de las líneas de tratamiento se realizó con el objetivo de cumplir los requisitos de vertido establecidos por la normativa, ser fáciles de operar y mantener, y facilitar la gestión de exceso de lodos, siendo adecuadas para comunidades pequeñas. A continuación, se exponen las líneas de tratamiento recomendadas en la guía.

#### **Tratamientos anaerobios**

Pretratamiento + Tanque Imhoff + FAFA + Lagunas Facultativas

Pretratamiento + RAFA/RALF + Lagunas Facultativas

#### **Tratamientos extensivos**

Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas

Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal/Vertical

#### **Tratamientos intensivos**

Pretratamiento + Tratamiento Primario + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria

Pretratamiento + Tratamiento Primario + CBR + Sedimentador Secundaria

Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario

### **5.5.2. Levantamiento topográfico**

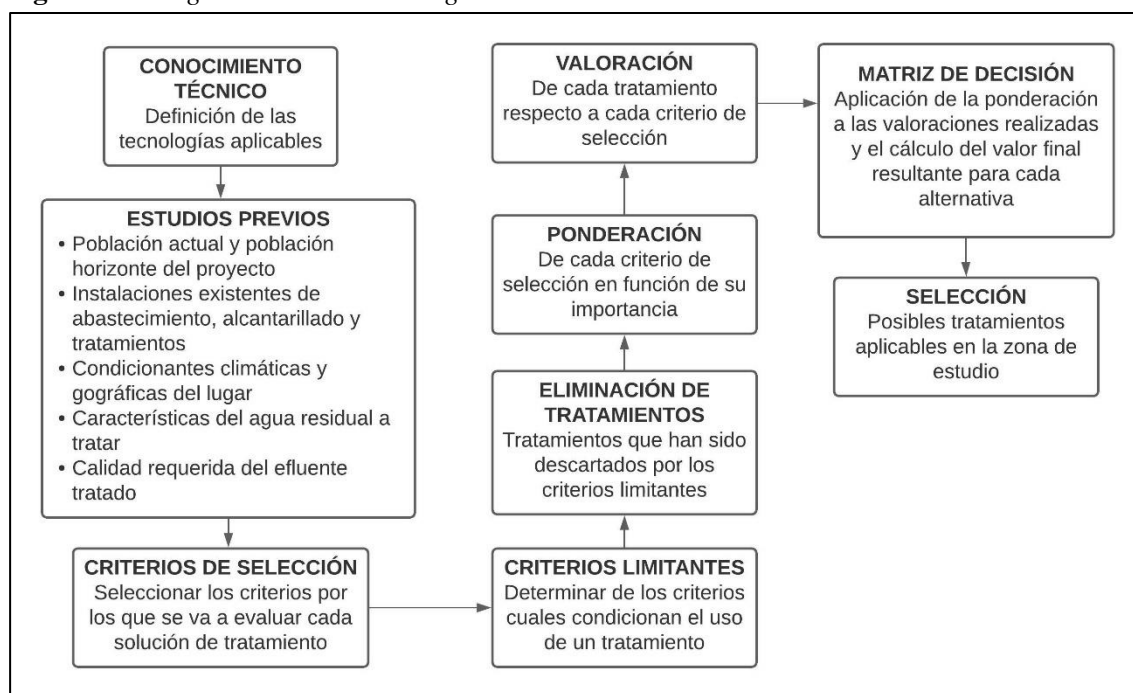
Se realizó una inspección de la zona, con la finalidad de evaluar las características del terreno y así determinar y delimitar el área adecuada para la PTAR que se levantó. De acuerdo a las particularidades de la zona de estudio, se estableció puntos de referencia en el terreno, estos puntos fueron utilizados para determinar las ubicaciones de la estación total Sokkia Set 610, de tal forma que se pueda tener visibilidad a la mayor cantidad de puntos en el terreno.

El levantamiento se realizó con los topógrafos del departamento de planificación del Municipio de Zamora, lugar donde también se obtuvo el plano de todo el barrio, el cual fue levantado con anterioridad. Los datos obtenidos en la fase de campo fueron procesados, visualizando así la forma y altura de la superficie del terreno.

### 5.5.3. Selección de la línea de tratamiento

Debido a que la selección del tratamiento adecuado debe llevarse a cabo por técnicos y planificadores, se ha adoptado la metodología descrita en la Figura 13 propuesta por CENTA (2021), la cual resulta sencilla y práctica, basándose en las características del tratamiento y considerando las condiciones locales, identificando los criterios a evaluar por medio de matrices multicriterio, dicha metodología plasmada en el diagrama se detalla a continuación.

**Figura 13.** Diagrama de la metodología de decisión.



- **Conocimiento técnico**

Para la selección del tren de tratamiento adecuado, como ayuda, se elaboró tablas en las cuales se detallan características de cada línea de tratamiento en cuestión. Efectuándose la elección en función de los porcentajes de depuración, con la finalidad de alcanzar criterios de vertido que se encuentren dentro de la normativa, sencillas y bajos costos en cuanto a la construcción, operación y mantenimiento y que produzcan un bajo impacto ambiental.

La Tabla 4 muestra las abreviaturas de las líneas de tratamiento con las que se trabajó.



**Tabla 4.** Abreviatura de las líneas de tratamiento.

<b>Línea de tratamiento</b>	<b>Abreviatura</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	<b>Línea 1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	<b>Línea 2</b>
Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas	<b>Línea 3</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	<b>Línea 4.1</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	<b>Línea 4.2</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff+ Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	<b>Línea 5.1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	<b>Línea 5.2</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	<b>Línea 6.1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	<b>Línea 6.2</b>
Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario	<b>Línea 7</b>

- **Estudios previos**

Para selección y diseño adecuado de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es necesario entender completamente los diferentes factores bajo los que va a trabajar la PTAR. Para hacer una selección correcta, se llevaron a cabo investigaciones previas, incluyendo el tamaño de la población actual y futura del barrio acorde a la vida útil del sistema, la identificación del tipo de alcantarillado en el barrio, los caudales y las características de las aguas residuales generadas. Estos estudios previos se describen en los resultados del primer objetivo. Con esta información, se pudo determinar el tratamiento adecuado.

- **Criterio de selección**

Se consideró los criterios mencionados en la metodología guía, esta misma sugiere que se deben tener en cuenta ciertas características. Es importante destacar que la lista de criterios mencionados no es exhaustiva, y que la importancia de cada uno de ellos variará según el contexto y las necesidades específicas del escenario. Es decir, puede haber situaciones en las que sea necesario agregar o eliminar criterios adicionales, y la importancia de los criterios

seleccionados puede variar dependiendo de la situación. Los criterios seleccionados y recomendados son los siguientes:

- Eficacia de remoción
  - Terrenos disponibles
  - Características medioambientales
  - Impactos medioambientales
  - Generación de lodos
  - Operación y mantenimiento
  - Costos de construcción, operación y mantenimiento
- **Matrices de decisión**

Para la selección de la tecnología apropiada, se elaboró matrices de decisión, se describieron las características de cada línea de tratamiento, donde se obtuvo así el sistema más apropiado para el lugar de estudio. Noyola et al., (2013) mencionan que la presente estructura (Figura 14) es una propuesta la cual se acopla a una mayor cantidad de proyectos.

En la columna **A** muestra valores ponderados acorde a la importancia relativa de cada criterio, siendo estos: eficacia de remoción, terreno disponible, características medioambientales, impactos ambientales, generación de lodos, operación y mantenimiento y los costos de construcción, operación y mantenimiento, la suma de cada criterio ponderado debe ser siempre de 100.

En la columna **B** se ubican los criterios ya mencionados, cuyo valor de ponderación se identifica en la columna **A**. En la columna **C** se evaluó cada criterio, siendo esta calificación de 0 cuando no aplique, 1 cuando sea deficiente, 3 cuando sea adecuado y 5 para muy bueno.

Para cada criterio evaluado, se sumó su calificación y se dividió para el resultado máximo que puede obtener, el valor obtenido se lo ubicó en la columna **C**. Mientras que en la columna **E** se ubicaron los resultados de la multiplicación de la columna **D** y el valor ponderado de la columna **A**. La suma de los valores de la última columna, es el resultado de la calificación para la tecnología evaluada.

En la Figura 14 se presenta un ejemplo hipotético para ilustrar la operación de la matriz de decisión. Se evalúa las características en función de diferentes criterios. Estos criterios se valoran de acuerdo a su importancia relativa y se les asigna una calificación de 0 a 5, dependiendo de su nivel de aplicabilidad y adecuación. Finalmente, se multiplica cada

calificación por su valor ponderado y se suman los resultados para obtener la calificación total para la tecnología evaluada.

**Figura 14.** Ejemplo de la matriz de decisión.

	A	B	C	D	E
#	%	PROCESO EVALUADO: LODOS ACTIVADOS TIPO AIREACIÓN EXTENDIDA RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	D*A
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	3	0.6	6
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	5	1	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	5	1	10
5	5	VIDA ÚTIL	3	0.6	3
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	3	0.6	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	3		
7.2		Operación y mantenimiento	3		
7.3		Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 7.3 D		0.6	21
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	5		
8.2		Experiencia del contratista	5		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	1		
8.5		Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotarlo en la casilla 8.5D		0.8	8
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	3		
9.2		Confiabilidad del proceso	5		
9.3		Complejidad de operación del proceso	1		
9.4		Requerimiento de personal	1		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	1		
9.6		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 9.6D		0.44	8.8
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	5		
10.2		Producción de ruido	3		
10.3		Contaminación visual	5		
10.4		Producción de malos olores	5		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	3		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotarlo en la casilla 10.7D		0.87	4.3
11	100	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 11E			66.1

Nota. Tomado de *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* Noyola et al., (p.112), Rodríguez et al., 2013.

## 5.6. Análisis estadístico

### 5.6.1. Caudales

Para determinar el caudal de la jornada de muestreo, se siguió la metodología publicada en el libro de Romero, (2002) y se aplicó una prueba de normalidad para constatar los resultados. Se graficaron los valores obtenidos frente a su ocurrencia, con la finalidad de contrastar si los datos siguen una tendencia lineal y así determinar su normalidad, se utilizó la siguiente fórmula con la que se determinó la frecuencia:

$$f = \frac{(m - 0,5)100}{n} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

**f** = frecuencia

**m** = orden

**n** = número de datos observados

- Para la gráfica, se elaboró una tabla de tres columnas como se observa en la Tabla 5, en la primera columna se representó el valor de m que corresponde al orden, empezando desde el 1, en la segunda columna se ubicó los caudales en orden ascendente, y, por último, en la tercera, el valor de la frecuencia hallada por la fórmula descrita (Ecuación 11).

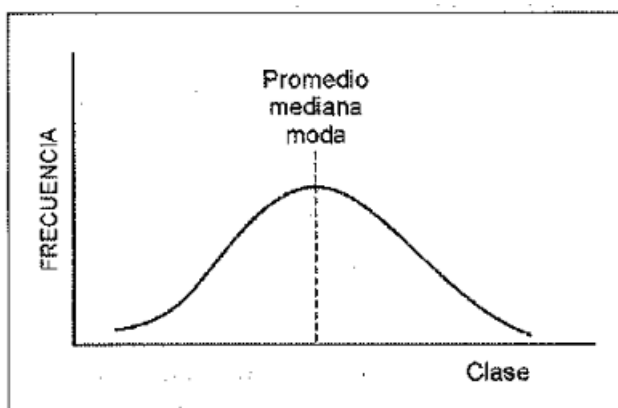
**Tabla 5.** Formato para la gráfica de ocurrencia.

<b>m</b>	<b>DBO mg/l</b>	<b>f (%)</b>
1	400	6,25
2	450	18,75
3	520	31,25
4	630	43,75
5	700	56,25
6	730	68,75
7	860	81,25
8	1100	93,75

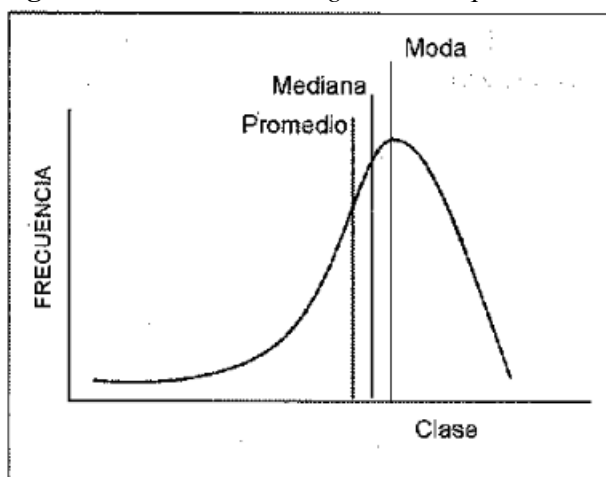
- Se realizó la gráfica y se determinó la correlación de los datos para determinar la normalidad de los mismos. En una distribución normal, los valores de la mediana, moda y promedio no difieren significativamente (Figura 15), no siendo este el caso para una distribución sesgada (Figura 16), la cual se extiende más hacia una dirección sea hacia

la izquierda o la derecha, donde la moda, mediana y promedio sí presentan diferencia significativa (Romero, 2002)

**Figura 15.** *Distribución normal.*



**Figura 16.** *Distribución sesgada a la izquierda.*



- Para corroborar la distribución de los datos, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, aplicable para muestras pequeñas menores a 50 datos mediante la media y la varianza muestral, para cada jornada de muestreo utilizando el programa SPSS.

Se aplicó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a los caudales obtenidos de cada jornada de muestreo y los caudales medidos en días de lluvia, para poder obtener el caudal medio, el mismo que se proyectó para el tiempo de vida útil de la PTAR utilizando la tasa de crecimiento del barrio.

### **5.7. Diseño del tratamiento adecuado para el sector.**

La efectividad del tratamiento de aguas residuales depende de su diseño y selección de acuerdo al estudio individual de cada proyecto, en función del porcentaje de descontaminación,

nivel económico y características del lugar. Los cálculos de diseño se basaron en un canal de llegada, un medidor de caudal tipo Parshall, el pretratamiento, un tanque Imhoff, un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical y el secado de lodos.

### 5.7.1. Canal de llegada

El canal de llegada es parte de una planta de tratamiento de aguas residuales en donde el agua residual es recibida y conducida hacia los procesos de tratamiento.

- **Altura (h):** Hace referencia a la medida de la profundidad del agua en el canal de llegada, la cual se determina a través de una fórmula específica (Ecuación 12) y utiliza un valor estándar de 1 metro para el ancho del canal. Sin embargo, para comunidades más pequeñas, se puede utilizar un valor de 0,3 metros para el ancho según la CONAGUA (2010):

$$h = 1.6624 * K^{0.74232} * b \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

**K** = Coeficiente de Manning

**b** = Ancho del canal

- **Coeficiente de Manning:** Indica la resistencia del flujo del agua en el canal. Se lo obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Qm * n}{b^{8/3} * S^{1/2}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

**Qm** = Caudal medio diario

**n** = Coeficiente de rugosidad de Manning

**b** = Ancho del canal

**S** = Pendiente del canal

- **Coeficiente de Rugosidad (n):** Para el coeficiente de rugosidad se consideró la tabla presentada en CPE INEN 5, (2018), donde se recomienda utilizar valores acorde al revestimiento viejo o nuevo y las características de la superficie, en esta ocasión se consideró un valor de 0,016 correspondiente a hormigón ordinario (Tabla 6).

**Tabla 6.** Resumen de los coeficientes de rugosidad de Manning.

Características de la superficie	Valor de n de Manning		
	Mínimo	Medio	Máximo
Hormigón ordinario	0,015	0,016	0,018
Hormigón pulido	0,013	0,014	0,015
tuberías de hormigón		0,013	

- **Pendiente (S):** Según la FAO, (2022), la pendiente en el fondo de un canal en zonas con pocas ondulaciones, se debe considerar un valor mínimo de 5 cm por cada 100 m.
- **Radio hidráulico (R<sub>H</sub>):** Es un parámetro importante en el dimensionamiento de canales, en el caso de que el canal presente una forma rectangular, el radio hidráulico estará en función del ancho y altura del canal:

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2 * h} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

**h** = Altura del agua en el canal

**b** = Ancho del canal

- **Velocidad (V):** La velocidad en el canal se determinó mediante la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

**n** = Coeficiente de rugosidad de Manning

**R<sub>H</sub>** = Radio hidráulico

**S** = Pendiente del canal

### 5.7.2. Medidor de caudal tipo Parshall

Un medidor de caudal tipo Parshall, es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que atraviesa una sección, el cual consta de las siguientes partes: Transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente (IMTA, 2001)

Para el diseño del canal tipo Parshall se considera el caudal máximo y mínimo aforado:

$$Q_{\text{máx}} = 0,0026 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mín}} = 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el caso de que el canal Parshall se lo utilice como aforador, Azevedo y Romero nos brinda límites de aplicación en función de los caudales máximos y mínimos (Anexo 2) donde se exponen las referencias de diseño para el canal Parshall en función de los caudales máximos y mínimos. Para la medición del caudal se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = KH^n \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

**H** = Medida de carga.

Los valores de los coeficientes de K y n se consideran 0,176 y 1,547 respectivamente, los valores restantes se exponen en el Anexo 2. La medida de carga se recomienda determinarla mediante  $2/3 A$  ó  $2/3 B$ .

### 5.7.3. Pretratamiento

Reduce la cantidad de material que debe ser tratado en las etapas posteriores del tratamiento, lo que puede mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos. El pretratamiento en este estudio constó de procesos como cribado y desengrasador.

- **Cribado**

En zonas rurales se utiliza mayormente las rejillas de limpieza manual, por tal motivo se seleccionó este tipo de rejillas para su dimensionamiento.

- **Ubicación de las rejillas:** Las rejillas se deben ubicar de manera inclinada respecto al piso, de igual manera, el canal debe ser horizontal y perpendicular a la rejilla, asegurando así un repartimiento uniforme de los sólidos retenidos.
- **Área libre al paso del agua (Al):** En *Aguamarket* (2021), se menciona que la velocidad del flujo del agua debe ser suficiente para que los materiales de gran tamaño queden retenidos mientras que los más pequeños puedan atravesar las barras y no sedimenten. En función a lo mencionado, recomienda una velocidad mínima de 0.30 m/s según (Montsoriu y de Dios, 1996)

$$Al = \frac{Q}{V_b} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

**Q** = Caudal de diseño

**V<sub>b</sub>** = Velocidad mínima a través de las barras



- **Tirante de agua en el canal (h):** Valor que señala la altura del agua al estar dentro del canal, se lo obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{Al}{b} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Donde:

**b** = Ancho del canal de llegada

**Al** = Área libre al paso del agua

- **Altura total del canal (H):** Es la resultante de la suma de la altura del agua en el canal y el borde libre, que se considera como la altura de seguridad. CONAGUA, (2010) recomienda una altura de seguridad de 30 cm.

$$H = h + Hs \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

**Hs** = Altura de seguridad

**h** = Tirante de agua en el canal

- **Longitud de las barras (L<sub>b</sub>):** La longitud de las barras debe permitir la limpieza de las aguas residuales, se la calculó con la siguiente fórmula:

$$L_b = \frac{Hs}{\sin \alpha} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Donde:

**α** = Ángulo de inclinación de las rejillas

**Hs** = Altura de seguridad

Las rejillas de limpieza manual presentan inclinaciones que van entre los 30° a los 45° en relación a la horizontal del canal, siendo este último el valor utilizado (Romero, 2001).

- **Número de barras (n):** Para obtener la cantidad de barras se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \left( \frac{b}{e + S} \right) - 1 \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

**e** = Separación entre las barras

**S** = Espesor máximo de las barras

**b** = Ancho del canal de llegada

Según Romero, (2001), las características de las rejillas presentan un espesor máximo de 1,5 cm, por lo que se consideró dicho valor. Por otro lado, respecto a la separación, se utilizó una medida de 2,5 cm que es idónea para para rejillas de limpieza manual según menciona el mismo autor.

- **Pérdida de carga en las rejillas (hf):** Indica la pérdida de energía en función de la forma de la barra y la energía de la velocidad del flujo (Romero, 2002). Dicho de otra manera, es la diferencia de altura del flujo antes y después de las rejillas. La pérdida de carga se la determinó mediante la fórmula propuesta por Kirschmer (Ecuación 22), en este caso se utilizó el valor 2,42 según la forma de la barra (Tabla 7).

$$hf = \beta \left(\frac{S}{e}\right)^{4/3} * \frac{v^2}{2g} \text{Sen } \alpha$$

Ecuación (22)

Donde:

$\beta$  = Factor de forma de las barras





$V^2/2g$  = Carga de velocidad antes de la reja

$e$  = Separación entre las barras

$S$  = Espesor máximo de las barras

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de las rejillas

**Tabla 7.** Coeficiente de pérdida para rejillas según la forma de las mismas.

Forma	Factor	Figura
$\beta_A$	2,42	
$\beta_B$	1,67	
$\beta_C$	1,83	
$\beta_D$	1,79	

Nota. Tomado de *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño* Romero (p.288 - 289), Romero, 2002.

- **Desengrasador**

La cantidad de grasas presentes en el agua residual ocasionan problemas en la depuración, como el incremento del DQO por las grasas presentes en los vertidos, alteran el proceso de digestión de lodos, dificultan la sedimentación en decantadores al formar una capa superficial. La cantidad de grasas en las aguas residuales puede variar, teniendo valores de 24 g/hab/día o el 28% de los sólidos en suspensión (Hernández Muñoz et al., 2004). En este sentido se incorporó en el diseño una infraestructura ubicada a continuación del cribado para remover aceites y grasas.

➤ **Cálculo del área:**

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación (23)}$$

Donde:

**Q** = Caudal a depurar

**C<sub>h</sub>** = Carga superficial

La carga superficial que se recomienda es de 4 l/(s\*m<sup>2</sup>) según el CPE INEN 5.

- **Ancho del desengrasador:** El CPE INEN 5 menciona que los desengrasadores presentan una forma regular, con una relación de largo-ancho que varía entre 1 y 1,8, en esta ocasión se consideró una relación de 1,5.

$$B = \left(\frac{A}{1,5}\right)^{0,5} \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

**A** = Área

- **Longitud del desengrasador:**

$$L = \text{Relación} \frac{L}{b} * B \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

**B** = Ancho

**L/b** = Relación largo/ancho

- **Altura del desengrasador:**

$$H = \frac{Tr * Q}{B * L} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

**Q** = Caudal a depurar

**B** = Ancho del desengrasador

**Q** = Caudal a depurar

**L** = Longitud del desengrasador

**Tr** = Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica que es el tiempo que tarda el agua por pasar por desengrasador y permite estimar la eficacia en la separación de grasas y aceites. Para un caudal inferior a los 10 l/s según la norma CPE INEN 5, (2018) el tiempo de retención hidráulica es de 3 minutos.

#### **5.7.4. Tratamiento primario**

El tratamiento primario brinda un nivel óptimo de tratamiento antes de que se utilicen las aguas residuales. Como alternativa a este primer tratamiento, se pueden usar tanques de aireación con pequeños períodos de retención (uno o dos días), en el caso de pequeños proyectos se pueden usar tanques Imhoff (Metcalf y Eddy, 1996)

- **Tanque Imhoff**

El tanque Imhoff es importante en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades porque proporciona un método eficaz y económico para separar los sólidos y líquidos en un solo tanque. Esto reduce la necesidad de instalaciones adicionales y permite una mejor clarificación y sedimentación de los sólidos, lo que a su vez reduce la cantidad de material a tratar antes de su disposición final. Además, el tanque Imhoff también ayuda a mantener un ambiente anaeróbico en el fondo del tanque, lo que permite la digestión y estabilización de los sólidos, lo que reduce el olor y la generación de gases.

- ❖ **Zona de sedimentación**

Es la parte superior del tanque Imhoff, en esta zona, por acción de la gravedad, las partículas sedimentables abandonan el compartimiento y se van acumulando en la parte inferior, mientras que las grasas y aceites se acumulan en la superficie de la zona de sedimentación.

- **Área del sedimentador**

$$As = \frac{Q_{max}}{C_s}$$

Ecuación (27)

Donde:

$Q_{max}$  = Caudal máximo de las aguas residuales, en m<sup>3</sup>/s

$C_s$  = Carga superficial, en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h

Para el diseño de la parte de sedimentación es recomendable usar valores de carga superficial de 1,0 a 1,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, esto en función del caudal máximo del agua residual (Metcalf y Eddy, 1996). En este caso se utilizó la carga superficial de 1,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h.

➤ **Volumen**

$$Vs = R * Q_{max}$$

Ecuación (28)

Donde:

$R$  = Tiempo de retención hidráulica

Metcalf y Eddy, (1996) mencionan que el tiempo de retención hidráulica para pequeñas comunidades varían de 2 a 4 horas, siendo el valor típico de 2 horas recomendado para el diseño.

➤ **Ancho de la zona de sedimentación**

$$B = \sqrt{\frac{As}{relación \frac{L}{B}}}$$

Ecuación (29)

Donde:

$As$  = Área del sedimentador

Es común utilizar la relación largo/ancho para determinar el ancho de la zona de sedimentación en función del largo del tanque, debido a que permite una mejor distribución de la carga hidráulica y una mayor eficiencia en la sedimentación de las partículas en suspensión. Esto mejora la eficiencia en la separación de sólidos y líquidos y minimiza la formación de capas de materia en el fondo del tanque. La relación largo/ancho presenta un intervalo de 2:1 – 5:1 donde se recomienda utilizar una relación de 3:1 para proyectos pequeños (Metcalf y Eddy, 1996)

➤ **Largo de la zona de sedimentación**

$$L = \frac{As}{B}$$

Ecuación (30)

Donde:

**As** = Área del sedimentador

**B** = Ancho de la zona de sedimentación

➤ **Ángulo del fondo del sedimentador**

$$\alpha = \frac{\angle}{180^\circ} * \pi$$

Ecuación (31)

El fondo de la zona de sedimentación presenta una sección transversal en forma de V, donde la pendiente de los lados es de 50° a 60° con respecto a la horizontal (OPS, 2005). Para el diseño se consideró una pendiente de 50°.

➤ **Altura del fondo del sedimentador**

$$Hf = \text{tg}(\alpha) * \frac{B}{2}$$

Ecuación (32)

Donde:

**B** = Ancho de la zona de sedimentación

**Hf** = Altura del fondo del sedimentador

➤ **Altura total del sedimentador**

$$H_T = B_L + Hf + H$$

Ecuación (33)

Donde:

**B<sub>L</sub>** = Borde libre

**Hf** = Altura del fondo del sedimentador

**H** = Profundidad de la zona de sedimentación

Se consideró un borde libre de 0.3 m. dado CPE INEN 5 recomienda valores de 0,3 a 0,6 m.

❖ **Zona de digestión**

La fracción orgánica de los sólidos sedimentables que se precipitaron desde la zona de sedimentación, experimentan degradación por vía anaerobia, donde se experimenta una reducción de volumen, produciendo biogás.

➤ **Volumen de almacenamiento y digestión**

$$Vd = \frac{70 \text{ l/hab} * P * fcr}{1000} \quad \text{Ecuación (34)}$$

Donde:

**P** = Población

**fcr** = Factor de capacidad relativa

Para el diseño del compartimiento de la cámara inferior del tanque Imhoff se consideró la Tabla 8, De igual manera la Organización Panamericana de la Salud (2005) recomienda utilizar como volumen del compartimiento de lodos un valor de 70 l/hab.

**Tabla 8.** Factores de capacidad relativa y tiempo de digestión de lodos.

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)	Tiempo de digestión en días
5	2,0	110
10	1,4	76
15	1,0	55
20	0,7	40
>25	0,5	30

*Nota.* Tomado de *Guía para el diseño de tanques sépticos tanques Imhoff y lagunas de estabilización* (p.16), OPS, 2005.

➤ **Ancho del tanque Imhoff**

$$B_{im} = B + 2(E_{el}) + 2(E_{sed}) \quad \text{Ecuación (35)}$$

Donde:

**E<sub>el</sub>** = Espesor de los muros del sedimentador

**E<sub>sed</sub>** = Espaciamiento libre pared digestor

El CPE INEN 5 recomienda un espaciamiento libre mínimo de 0,6 m, mientras que en la OPS, (2005) se menciona que los lados del sedimentador presentan valores de 15 a 20 cm., en este caso se consideró el valor mínimo.

➤ **Superficie libre**

$$S(\%) = \frac{2 * E_{sed} * L}{B_{im} * L} \quad \text{Ecuación (36)}$$

Donde:

$E_{sed}$  = Espaciamiento libre pared digestor

$B_{im}$  = Ancho del tanque Imhoff

➤ **Altura del fondo del digestor**

$$H_{(FD)} = \frac{B_{im}}{N_{TA} * 2} * \text{tg}(\alpha) \quad \text{Ecuación (37)}$$

Donde:

$B_{im}$  = Ancho del tanque Imhoff

$N_{TA}$  = Número de tanques

$\alpha$  = Ángulo del fondo del digestor

En este caso el ángulo del fondo del digestor no fue el mismo que el del sedimentador, para esta ocasión se consideró un ángulo del 30°

➤ **Altura total del tanque Imhoff**

$$H_{(TI)} = ht + H_{dig} + H_{(FD)} + D_{sed} \quad \text{Ecuación (38)}$$

Donde:

$ht$  = Altura total del sedimentador

$H_{dig}$  = Altura de los lodos en el digestor

$H_{(FD)}$  = Altura del fondo del digestor

$D_{sed}$  = Distancia del fondo del sedimentador a la altura máxima de los lodos

Respecto a la altura de los lodos en el digestor ( $H_{dig}$ ) se consideró un valor de 1,5 m., debido a que el CPE INEN 5 recomienda dicha altura. Mientras que para la distancia del fondo del sedimentador a la altura máxima de los lodos ( $D_{sed}$ ) la OPS, (2005) menciona que deberá de haber una distancia de 0,5 m.

### 5.7.5. Tratamiento secundario

Luego del análisis de las características de los tratamientos seleccionados, se optó por un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical como tratamiento secundario. Este tipo de tecnología es utilizada en poblaciones menores a 5 000 habitantes, ya que se ve limitada por el



tamaño poblacional, al momento de tratar grandes poblaciones, requiere grandes terrenos, elevado número de humedales, dificultando la distribución del agua. En la actualidad, los humedales artificiales constituye una tecnología con gran número de PTAR en pequeñas poblaciones (CENTA, 2021)

- **Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical**

Los humedales son utilizados como tratamiento primario o secundario, para el segundo caso se trabaja en proyectos en los que las aguas residuales ya fueron tratadas mediante tanques sépticos, reactores UASB, Imhoff, lagunas anaerobias u otro tratamiento primario (Delgadillo et al., 2010). Se utilizó los humedales de flujo subsuperficial sobre los de flujo superficial, debido a que el agua discurre subterráneamente necesitando menor disponibilidad de terreno, evitando la generación de malos olores e insectos e impidiendo el contacto con las personas, de igual manera proporcionando protección térmica en temporadas frías (CENTA, 2021)

Para el cálculo de este tipo de humedal fue necesario seguir los siguientes pasos: cálculo del área, profundidad del humedal, pendiente, relación largo/ancho y el sustrato:

- **Área superficial del humedal**

Para el cálculo del área se lo realizó mediante dos pasos, la población equivalente y si el humedal operará como tratamiento primario o secundario. En este caso, el humedal trabajará como tratamiento secundario y el sistema de alcantarillado es unitario, por ende se utilizó la fórmula expuesta (Ecuación 39) (Delgadillo et al., 2010)

$$A_s = 1m^2 * h.e. \quad \text{Ecuación (39)}$$

Donde:

$A_s$  = Área del humedal

**h.e.** = Habitante equivalente

- **Profundidad del humedal**

En el libro de Delgadillo et al., (2010) se menciona que la profundidad de un humedal artificial subsuperficial de flujo vertical suele estar entre los 60 a 80 cm, donde el valor usual es de 60 cm.

- **Tiempo de retención hidráulica**

$$t = \frac{n * h * A_s}{Q} \quad \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

**t** = Tiempo de retención hidráulica

**n** = Porosidad del medio granular

**h** = Profundidad del humedal

**Q** = Caudal del agua residual

➤ **Pendiente del humedal**

La pendiente en la superficie del humedal debe ser del 0% con la finalidad de evitar formaciones de charcos de agua. Por otro lado, la pendiente de fondo del humedal artificial vertical puede variar de 0,5 a 2%, pero comúnmente se utiliza una pendiente del 1% (Delgadillo et al., 2010)

➤ **Ancho del humedal artificial**

$$W = \frac{1}{h} * \left( \frac{Q * A_s}{m * k_s} \right)^{0.5} \quad \text{Ecuación (41)}$$

Donde:

**Q** = Caudal del agua residual

**A<sub>s</sub>** = Área del humedal

**h** = Profundidad del humedal

**m** = Pendiente

**k<sub>s</sub>** = Conductividad hidráulica

➤ **Largo del humedal artificial**

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación (42)}$$

Donde:

**W** = Ancho del humedal artificial

**A<sub>s</sub>** = Área superficial

Entre mayor sea la relación largo – ancho del humedal, será mejor la depuración del agua residual, pero presenta problemas adicionales como flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho filtrante, etc. Por tal motivo se recomienda una relación largo – ancho de 2:1, 3:1 y 4:1 (Delgadillo et al., 2010)

### ➤ **Sustrato**

Como medio filtrante se utilizó la grava fina (Tabla 9) como referencia dado que es lo que se recomienda. Los valores presentados resultan idóneos para sistemas de tratamientos pequeños, debido a que facilitan el flujo del agua a través del humedal (conductividad hidráulica), dado al tamaño y porosidad del medio. Para sistemas de mayor escala, el medio propuesto debe ser evaluado experimentalmente para determinar los valores de porosidad y conductividad hidráulica.

**Tabla 9.** Características típicas del medio filtrante.

Tipo de medio	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (pie <sup>3</sup> /pie <sup>2</sup> /d)
Arena gruesa	2	28 a 32	300 a 3 000
Arena con grava	8	30 a 35	1 600 a 16 000
Grava fina	16	35 a 38	3 000 a 32 000
Grava mediana	32	36 a 40	32 000 a 160 000
Roca triturada	128	38 a 45	16 x 10 <sup>4</sup> a 82 x 10 <sup>4</sup>

Nota. pie<sup>3</sup>/pie<sup>2</sup>/d \* 0,3047 = m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.

Tomado de *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial* (p.10), EPA, 2000.

### ➤ **Plantas a utilizar en el humedal**

Las macrófitas recomendadas para utilizar en el humedal deben ser nativas del lugar, con la finalidad de facilitar su desarrollo en el ambiente del lugar y de evitar la introducción de cualquier tipo de especie no local, afectando no sólo al tratamiento, sino a la flora del lugar.

En este caso, deja como propuesta utilizar el pasto vetiver, debido a que es estéril y no invasivo, por lo que no se corre el riesgo de que se convierta en maleza. De igual manera sus raíces crecen de manera vertical, alcanzando profundidades de hasta 5 metros. Este tipo de pasto es extremadamente resistente a sequías y contaminación, haciéndolo idóneo para su uso en el tratamiento de aguas residuales (León et al., 2018)

### **5.7.6. Secado de lodos**

CENTA, (2021) Especifica que la deshidratación de lodos consiste en reducir la cantidad del agua en los lodos, para lograr este objetivo se lo logra mediante un secado mecánico utilizando filtros banda y centrifugas y un secado natural mediante lechos de secado, donde se aprovecha el sol y el viento, este último fue lo utilizado en el diseño.

Para el diseño del lecho de secado de lodos se utilizó la metodología descrita por la OPS, (2005), donde se describe éste sistema como un método más simple y económico, siendo utilizado en pequeñas comunidades.

➤ **Carga de sólidos**

$$C = Q_m * SS * 0,0864 \quad \text{Ecuación (43)}$$

Donde:

**SS** = Sólidos suspendidos en el agua residual antes de tratar

**Qm** = Caudal promedio del agua residual

➤ **Masa de sólidos que conforman los lodos**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ecuación (44)}$$

➤ **Volumen diario de lodos digeridos**

$$Vld = \frac{Msd}{plodo * \left( \% \text{ de } \frac{\text{sólidos}}{100} \right)} \quad \text{Ecuación (45)}$$

Donde:

**plodo** = Densidad de lodos, equivalente a 1,04 Kg/l

**% de sólidos** = % de sólidos en el lodo, varía del 8 al 12%

➤ **Volumen de lodos a extraerse**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1\ 000} \quad \text{Ecuación (46)}$$

Donde:

**Td** = Tiempo de digestión, 30 días en función de la temperatura del agua

➤ **Área del lecho de secado**

$$Als = Pd * Dp \quad \text{Ecuación (47)}$$

Donde:

**Pd** = Población de diseño, 345 hab.

**Dp** = Densidad poblacional, 0,0030 hab/m<sup>2</sup>.

### 5.7.7. Nivel del agua en la Planta de Tratamiento

Se determinó el flujo del agua en la PTAR con la finalidad de asegurar que el gradiente hidráulico sea el correcto para que haya un flujo por gravedad entre las unidades de tratamiento o de identificar las alturas manométricas de las instalaciones de bombeo en caso de requerirse, la importancia de estas líneas radica también en evitar cualquier tipo de inundación o regreso del fluido que pueda darse (Eddy, 1996)

Para evitar el uso de bombas dentro del sistema para el flujo del agua se consideró varios aspectos dentro del sistema:

- La topografía del lugar influye en la capacidad de transportar y tratar el agua, debido a la pendiente del terreno se pueden presentar problemas en la velocidad del fluido.
- La longitud del sistema de tratamiento influye en el transporte, dado que entre mayor sea la longitud, mayor será la carga hidráulica para llegar a la final del sistema.
- El caudal de las aguas residuales, debido que el tamaño de las tuberías va en función del caudal para el flujo adecuado del agua.
- Ubicación de las etapas de tratamiento evitando cambios bruscos de dirección del flujo del agua para evitar obstrucciones y reducción del flujo del agua.

#### **5.7.8. Identificación de impactos**

Cada proyecto genera impactos sean positivos y negativos tanto en sus fases de construcción, funcionamiento y cierre. La importancia de identificar estos impactos generados radica en la posibilidad de prevenir, mitigar, o nivelar las afectaciones generadas por el proyecto.

- **Fase de construcción**

- **Retiro de cobertura vegetal**

Se refiere a la preparación del terreno para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario eliminar cualquier tipo de vegetación, escombros y basura existente. Esta actividad se llevará a cabo mediante medios manuales y mecánicos.

- **Disposición de una bodega**

Consiste en la ubicación de una bodega provisional para guardar de manera temporal los materiales necesarios para la implementación de la planta. La bodega cumple la función proteger los bienes contra condiciones climáticas y evitar robos.

- **Excavación para construcción**

Consiste en la excavación del terreno para la implementación del sistema de tratamiento, de igual manera con el retiro de materiales producto de la excavación. Esta actividad se la realiza a través de medios manuales y mecánicos.

➤ **Movilización de materiales y equipos**

Consiste en la apertura de caminos temporales, para trasladar hasta el sitio de la obra el personal o cualquier material a utilizar en la construcción. Los caminos provisionales perdurarán mientras el personal de construcción los requieran.

➤ **Construcción de la planta**

Se refiere a la edificación del sistema de tratamiento sin afectar cualquier tipo de propiedad privada o pública, sean estas viviendas, alcantarillado, alumbrado público o cualquier infraestructura en particular, debiendo cuidarlas o repararlas en el caso de que sean perjudicadas.

• **Fase de funcionamiento**

➤ **Operación del sistema del tratamiento**

Las aguas residuales pasarán primero por un pretratamiento donde quedarán retenidos cualquier tipo de residuo inorgánico de gran tamaño, debido a que estos pueden ocasionar cualquier tipo de problema en las infraestructuras posteriores en el tratamiento.

El Tanque Imhoff consta de dos compartimientos, un sedimentador en la zona alta que cumple la función de sedimentar los sólidos sedimentables y en la zona baja un digestor de lodos, que estabiliza anaeróbicamente los lodos. Los gases generados ascienden hacia la superficie y salen por una zona de ventilación.

El mantenimiento y operación del humedal artificial de flujo subsuperficial depende especialmente del mantenimiento que se le de al tratamiento primario, sin embargo, se debe limpiar los tubos de distribución al menos una vez al año para evitar cualquier obstrucción con sólidos, de igual manera, cortar la parte alta de las plantas utilizadas.

En el secado de lodos el factor más importante es la evaporación que se genera, según la parte líquida se infiltra y la evaporación continúa, se va agrietando la superficie del lodo, facilitando más la evaporación por dichas grietas.

➤ **Inspección de la planta de tratamiento**

Pretende revisar el estado de la planta de tratamiento, garantizando así su correcto funcionamiento: De esta manera se puede dar niveles de prioridad a la planta de tratamiento en caso de que se tenga que intervenir.

➤ **Exposición a agentes biológicos**

La exposición al riesgo biológico no se puede separar de la fase de operación de la planta de tratamiento, de tal manera, se deben tomar medidas que disminuyan el contacto directo del operador con el agente biológico.

• **Fase de actualización**

➤ **Evaluación de la planta**

Se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de la planta para identificar los componentes y sistemas que necesitan ser actualizados o reemplazados. Si bien esta actividad presenta impactos positivos ya que asegura el tratamiento de las aguas residuales, durante la repotenciación se deben tomar medidas para minimizar los impactos negativos como la gestión adecuada de los residuos de construcción.

➤ **Actualización de los equipos y sistemas**

Se actualizan los componentes y sistemas de la planta de tratamiento de aguas residuales que han llegado al final de su vida útil. En caso de construcción de nuevas infraestructuras se pueden generar emisiones de gases al aire y residuos de construcción.

➤ **Optimización del proceso de tratamiento**

Se ajusta el proceso de tratamiento para optimizar el rendimiento y la eficiencia de la planta. En este paso se puede incluir nuevas tecnologías de ser necesario, ajustar parámetros de tratamiento, incluso implementar nuevas prácticas para la gestión de los lodos. Se pueden generar residuos y materiales de desecho debido a las evaluaciones de rendimiento para identificar oportunidades de mejora.

➤ **Pruebas y puesta en marcha**

Se realizan pruebas y ajustes finales para garantizar que la planta de tratamiento funcione correctamente antes de ponerla en funcionamiento nuevamente.

### **5.7.9. Elementos ambientales susceptibles a los impactos identificados**

Considerando la parte ambiental, se debe tener en cuenta los impactos ambientales que se pueden producir en la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los elementos ambientales que pueden verse afectados se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Impactos ambientales generados por la implementación de la PTAR.

Componente Ambiental	Factor	Impacto	Tipo de impacto
Suelo	Calidad del suelo	Afectación debido al desbroce del terreno	Negativo
Agua	Calidad del agua	Alteración de las características físico-químicas del agua debido a los sedimentos generados	Negativo
Aire	Calidad del aire	Calidad del aire deteriorado debido a los gases emitidos por la maquinaria utilizada y material particulado	Negativo
	Presión sonora	Incremento del nivel de ruido y vibraciones por la maquinaria utilizada	Negativo
Biótico	Vegetación	Alteración de la cobertura vegetal	Negativo
	Especies amenazadas	Afectación a especies	Negativo
Percepción natural	Vistas, paisaje	Alteración del medio natural	Negativo
Seguridad y salud	Salud y seguridad laboral	Riesgos a los que se exponen los trabajadores en las actividades del proyecto	Negativo
Social	Vida cotidiana	Molestias que se puedan generar a la comunidad por actividades del proyecto	Negativo
Economía	Empleo	Generación de empleos	Positivo

#### 5.7.10. Parámetros de calificación y valoración de impactos ambientales

Mediante una matriz de interacciones se valoró la importancia de cada impacto identificado. Se evaluó cada interacción generada en la matriz mediante la ponderación de acuerdo a la importancia de cada característica designándolas a estas con un orden positivo o negativo (Tabla 11).

Las características que se consideraron para la valoración de impactos ambientales fueron las siguientes:

- **Intensidad (I):** Grado de destrucción que puede generar dicha actividad frente a un factor ambiental.
- **Extensión (Ex):** El área de influencia que puede alcanzar el impacto generado.
- **Momento (Mo):** Se refiere al tiempo que transcurre desde el momento de la actividad hasta que inicia el efecto.
- **Persistencia (Pe):** El tiempo que dura el efecto ocasionado desde que aparece hasta que el medio natural pueda reponerse por sí solo o intervención del hombre.



- **Reversibilidad (Rv):** Hace referencia al suceso de que pueda recuperarse de manera natural el factor afectado.
- **Sinergia (Si):** Esta característica hace referencia a la fusión de dos o más efectos ocasionados por actividades que actúan de manera simultánea.
- **Acumulación (Ac):** Cuando una actividad produce de manera continua un efecto, este puede incrementar de manera progresiva.
- **Efecto (Ef):** Se refiere a la manera de manifestarse un efecto sobre un factor ambiental.
- **Periodicidad (Pr):** Hace referencia a la regularidad en la que se manifiesta un efecto.
- **Recuperabilidad (Mc):** Indica la posibilidad de recuperar un factor ambiental mediante medidas correctivas.
- **Importancia (I):** Para calcular la importancia de los atributos descritos, se lo realizó mediante la siguiente ecuación 48.

$$I = +/-(3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc) \quad \text{Ecuación (48)}$$

**Tabla 11.** Valorización de la importancia de cada atributo.

NATURALEZA		INTENSIDAD (I)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
EXTENSIÓN (Ex)		MOMENTO (Mo)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Crítico	8	Crítico	8
PERSISTENCIA (Pe)		REVERSIBILIDAD (Rv)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Mediano plazo	2
Permanente	3	Irreversible	4
SINERGIA (Si)		SINERGIA (Si)	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFECTO (Ef)		PERIODICIDAD (Pr)	
Indirecto	1	Irregular	1
Discreto	4	Discontinuo	2

		Periódico	4
		Continuo	8
RECUPERABILIDAD (Mc)		IMPORTANCIA (I)	
Recuperación de manera inmediata	1	$I = +/- (3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc)$	
Recuperable a largo plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

La importancia puede tener valores cercanos a 100 como máximo y a 10 como mínimo, es decir, se calificó entre más cerca de 100 el impacto es de incidencia elevada, caso contrario su incidencia es mínima o intrascendente.

### 5.7.11. Plan de Manejo Ambiental

Se estableció un plan de manejo ambiental para establecer medidas para prevenir, controlar y compensar cualquier tipo de efecto negativo que pueda ocasionarse durante la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para la correcta ejecución del proyecto se elaboraron planes que garanticen una correcta operabilidad durante la fase de construcción y funcionamiento de la planta. Los planes desarrollados son los siguientes:

- Plan de prevención y mitigación de impactos: Describe las medidas para prevenir o reducir los impactos negativos en el medio ambiente y la comunidad local, resultantes del proyecto de implementación de la PTAR.
- Plan de manejo de desechos: Gestiona y controla los residuos generados en el proyecto, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y mejorar la salud pública. Incluye estrategias para la generación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos.
- Plan de comunicación y capacitación: Se enfoca en asegurar la transmisión efectiva de información y en brindar capacitación a los interesados y afectados por el proyecto. Esto incluye a los trabajadores, la comunidad local, las autoridades y los reguladores. El objetivo es asegurar que todos los implicados comprendan adecuadamente el proyecto, sus objetivos y sus impactos, y estén capacitados para participar en su implementación y monitoreo.
- Plan de relaciones comunitarias: Se refiere a un conjunto de estrategias y acciones destinadas a establecer una comunicación efectiva y positiva entre la empresa o institución responsable del proyecto y la comunidad local afectada.

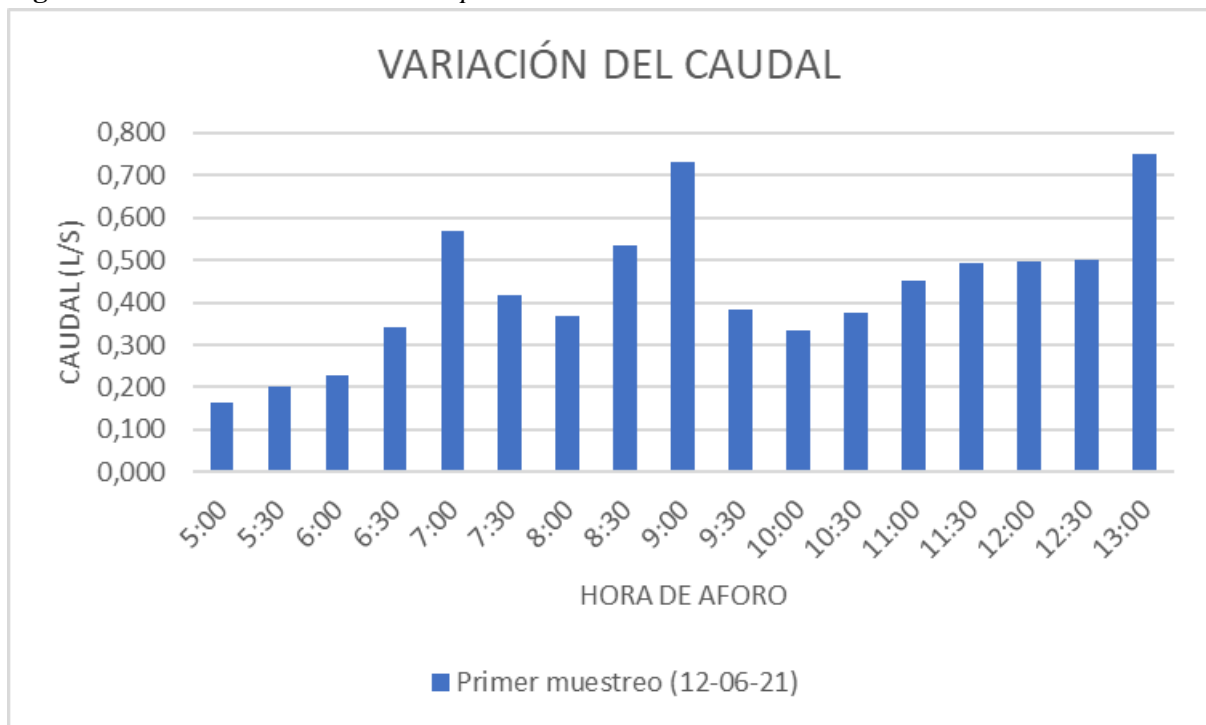
- Plan de contingencias: Describe las acciones y medidas que se tomarán en caso de un evento inesperado o desastre.
- Plan de salud y seguridad ocupacional: Trata sobre la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales relacionados con la construcción de la planta. Se establecen medidas para prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales, así como para garantizar un ambiente de trabajo seguro para los trabajadores
- Plan de monitoreo y seguimiento: Se enfoca en establecer los procedimientos y protocolos necesarios para monitorear y evaluar la efectividad y eficiencia de las actividades de construcción, sin comprometer el ambiente.
- Plan de rehabilitación: Describe acciones necesarias para la rehabilitación y recuperación del área intervenida.
- Plan de cierre y actualización: Se elaboró un plan para repotenciar la planta de tratamiento. A diferencia de un plan de cierre y abandono, que recomienda medidas para el cierre adecuado de un sitio de proyecto, en el caso de una planta de tratamiento de aguas residuales, es recomendable restaurarla para continuar su operación. Esto se debe a que los costos de construcción de una nueva planta son altos, la infraestructura existente ya tiene los cimientos de tratamiento y el cierre de una planta de tratamiento puede tener un impacto ambiental significativo al dejar las aguas residuales sin tratar. La actualización de la planta existente garantiza que el tratamiento adecuado continuará.

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización del agua residual del barrio Guaguayme Alto

En la Figura 17, se representa el primer día de muestreo que comenzó a las 5:00 am y finalizó a las 1:00 pm. Durante este periodo, se identificaron los caudales máximos a las 9:00 am y 1:00 pm, con valores de 0.73 l/s y 0.75 l/s respectivamente, mientras que el caudal mínimo fue de 0.17 l/s a las 5:00 am. Estos caudales máximos se relacionan con los momentos en los que la población utiliza más agua en sus actividades cotidianas, mientras que el caudal mínimo corresponde a un período en el que la gente todavía no ha comenzado sus actividades diarias.

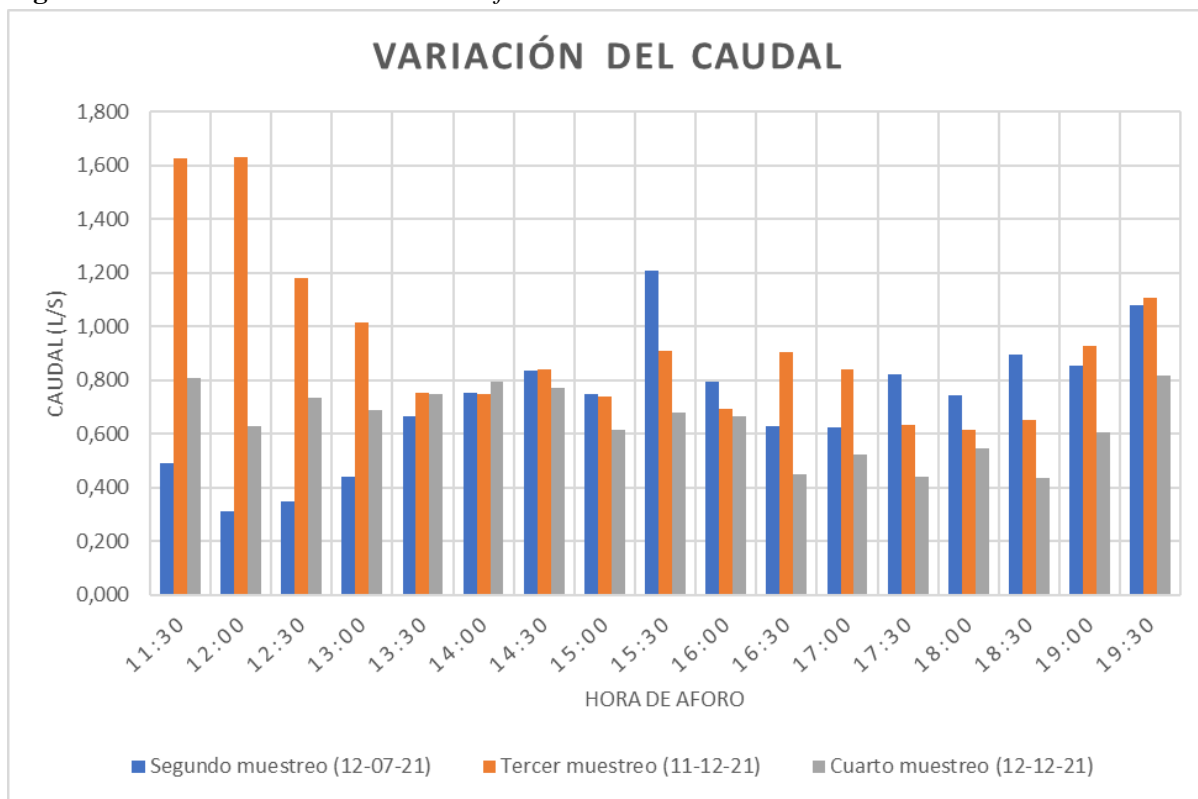
**Figura 17.** Variación del caudal en el primer día de muestreo.



Para la segunda, tercera y cuarta jornada de muestreo (Figura 18), las horas de aforo van desde las 11:30 am hasta las 19:30 pm. En la segunda jornada de muestreo que corresponde al día martes, el pico más alto se evidencia a las 15:30 pm con un caudal de 1,21 l/s mientras que el caudal mínimo se obtuvo a las 12:00 pm siendo este de 0,31 l/s. En cuanto a la tercera jornada de muestreo del día sábado, los caudales mayores se representan en los dos primeros aforos de

la jornada, obteniendo valores de 1,63 l/s, siendo este el caudal mayor de las cuatro jornadas de muestreo. Para el día domingo el caudal máximo medido fue de 0,82 l/s que corresponde al último aforo realizado a las 19:30 pm.

**Figura 18.** Variación del caudal en los diferentes días de muestreo.



*Nota.* Los caudales corresponden a la segunda, tercera y cuarta jornada de muestreo, dado que la primera jornada se realizó en diferente horario.

En cuanto a la temperatura, el primer día de muestreo registró la temperatura ambiente más baja de 22,85°C, mientras que la temperatura de la muestra fue de 24,33°C. Ambos valores fueron más bajos en comparación con los tres días restantes de muestreo. Esto se debió a que la recolección de muestras se realizó en las primeras horas del día, resultando en una temperatura ambiente más fría que la de la muestra. Se espera que, en regiones situadas por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar y con temperaturas ambientes superiores a 20°C, la temperatura del agua residual supere los 25°C. La primera jornada de muestreo también presentó un pH más próximo a 7, como se puede ver en la Tabla 12. Los resultados detallados de cada caudal obtenidos en cada jornada de muestreo se encuentran en el Anexo 2.

**Tabla 12.** Valores medios obtenidos en los diferentes días de muestreo.

Día	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura ambiente (°C)	pH	Temperatura muestra (°C)
Lunes	1,55	22,85	6,95	24,33
Martes	2,59	24,39	6,69	24,39

Sábado	3,03	25,49	6,46	24,64
Domingo	2,32	25,38	6,62	24,86

### 6.1.1. Aforo de caudales en días de lluvia

En las jornadas de aforo en días de lluvia (Tabla 13), se obtuvieron los valores más altos de los caudales medidos en comparación con la fase de muestreo. El caudal más alto, corresponde al aforo realizado el día viernes 10 de diciembre del 2021, esto debido a la intensidad de lluvia para ese momento.

**Tabla 13.** Caudales obtenidos en días de lluvia.

Fecha: 04 – 12 – 21		Hora: 17:20 pm	
Muestreo	Tiempo (s)	Promedio (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Primera toma	13,26	13,51	3,89
Segunda toma	15,72		
Tercera toma	11,54		
-			
Primera toma	12,06	14,89	
Segunda toma	16,28		
Tercera toma	16,34		
Fecha: 05 – 12 – 21		Hora: 08:33 am	
Muestreo	Tiempo (s)	Promedio (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Primera toma	10,48	11,22	3,74
Segunda toma	9,33		
Tercera toma	13,86		
-			
Primera toma	18,56	18,13	
Segunda toma	23,45		
Tercera toma	12,38		
Fecha: 10-12-21		Hora: 22:12 pm	
Muestreo	Tiempo (s)	Promedio (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Primera toma	5,63	5,94	9,25
Segunda toma	6,78		
Tercera toma	5,42		

Para determinar el caudal medio diario, se tomó en cuenta tanto los caudales medios de las cuatro jornadas de muestreo y los caudales medidos en los aforos de días de lluvia. La prueba de normalidad Shapiro-Wilk arrojó un resultado de 0,015, lo que indica una distribución sesgada, por tal motivo se determinó el caudal medio diario mediante la mediana, ya que, al utilizar el promedio aritmético, se obtendría un valor que no corresponde al dato central, dado que la distribución no es normal.

$$Q_m = 3,03 \text{ m}^3/\text{h} \sim 0,84 \text{ l/s}$$

### 6.1.2. Análisis estadístico de los caudales.

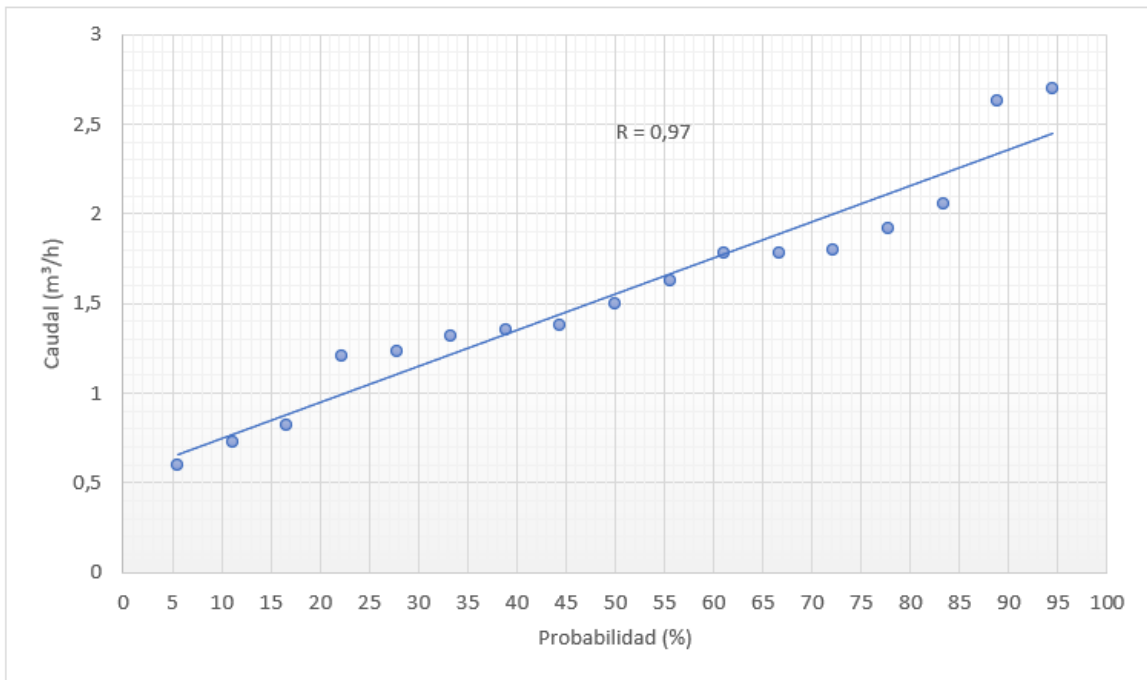
Se obtuvo la probabilidad de los caudales de las cuatro jornadas de muestreo (Tabla 14), corroborando la normalidad de los datos, gracias a la recta de mejor ajuste.

**Tabla 14.** Porcentajes de ocurrencia de los diferentes caudales medidos en los cuatro días de muestreo.

Orden	Caudal (m <sup>3</sup> /h)				Probabilidad (%)
	1°	2°	3°	4°	
1	0,59	1,12	2,21	1,57	5,56
2	0,73	1,26	2,28	1,58	11,11
3	0,82	1,59	2,35	1,61	16,67
4	1,20	1,76	2,49	1,89	22,22
5	1,23	2,25	2,66	1,97	27,78
6	1,32	2,26	2,70	2,18	33,33
7	1,35	2,40	2,72	2,22	38,89
8	1,38	2,68	3,02	2,26	44,44
9	1,50	2,69	3,03	2,40	50,00
10	1,62	2,71	3,25	2,45	55,56
11	1,78	2,85	3,28	2,48	61,11
12	1,78	2,95	3,33	2,65	66,67
13	1,80	3,01	3,65	2,69	72,22
14	1,92	3,07	3,98	2,77	77,78
15	2,05	3,23	4,24	2,86	83,33
16	2,63	3,89	5,85	2,91	88,89
17	2,70	4,35	5,86	2,94	94,44

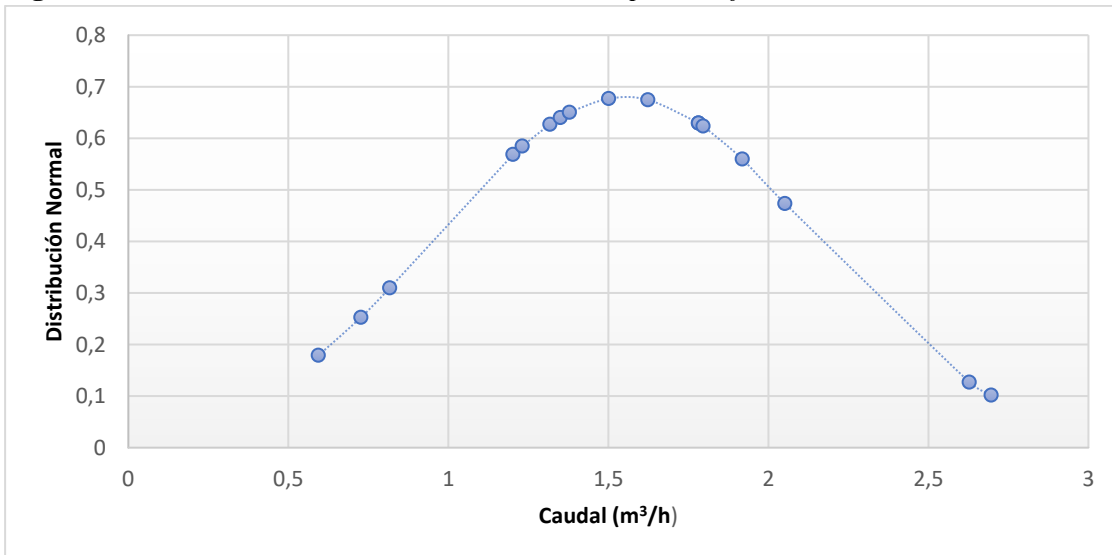
La probabilidad obtenida para los diferentes caudales es la misma respecto al caudal correspondiente en los cuatro días de muestreo, esto debido a que, cada jornada tiene el mismo orden con valor máximo de 17, ya que ese es el número de aforos que se realizó por cada día.

**Figura 19.** Gráfico de probabilidad para los caudales del primer día de muestreo.



En la Figura 19 se representan los caudales medidos en la primera jornada de muestreo contra la probabilidad de los mismos. Los datos siguen una tendencia lineal y presentan buena correlación, por tanto, se asume que tienen una distribución normal, al presentar un modelo gaussiano, podemos determinar el caudal del día de muestreo mediante el promedio aritmético.

**Figura 20.** Distribución de los datos de caudal de la primera jornada de muestreo.



Se realizó una prueba de normalidad para justificar el resultado obtenido en el gráfico de probabilidad, el valor obtenido mediante la prueba Shapiro-Wilk (Tabla 15) es de  $p = 0,627$ ,



resultado mayor a 0,05, por ende, los datos presentan una distribución normal. En la Figura 20 se evidencia que los valores de los caudales medidos se ajustan a una distribución normal.

**Tabla 15.** Prueba de normalidad de los datos de caudales obtenidos en las cuatro jornadas de muestreo.

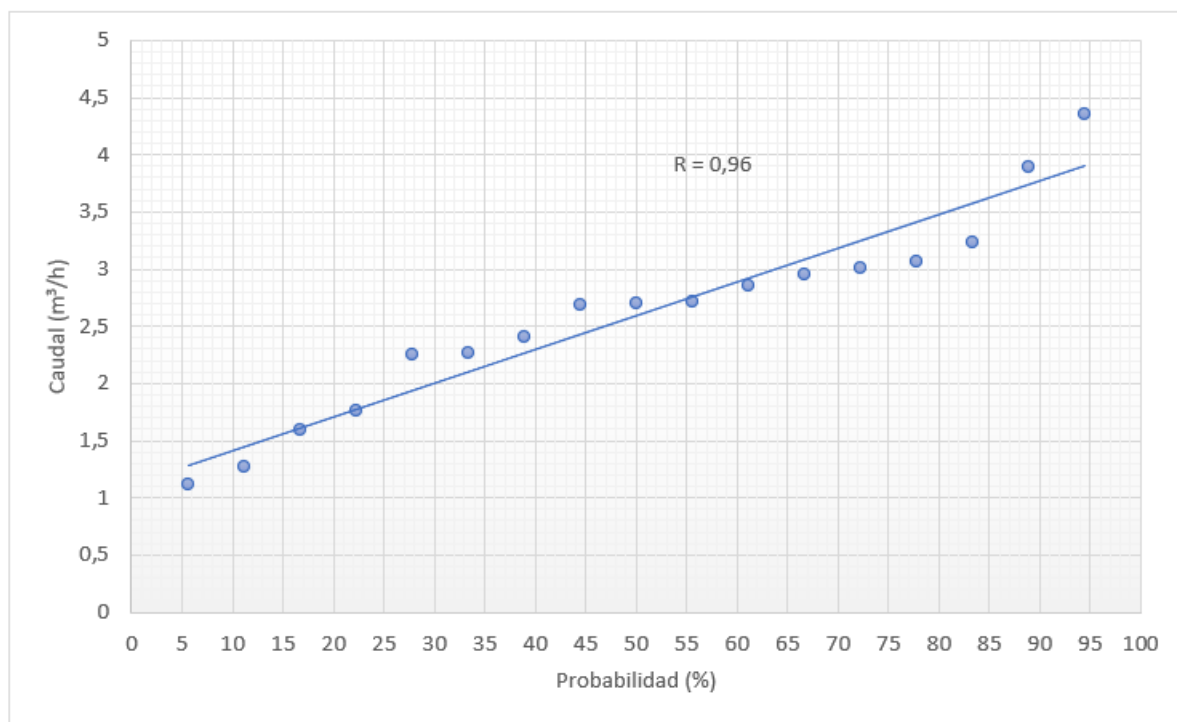
Caudal	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
1°	0,96	17	0,63
2°	0,97	17	0,79
3°	0,83	17	0,006
4°	0,93	17	0,19

Para determinar el caudal medio diario de la primera jornada de muestreo, se obtuvo el promedio de los caudales medidos.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

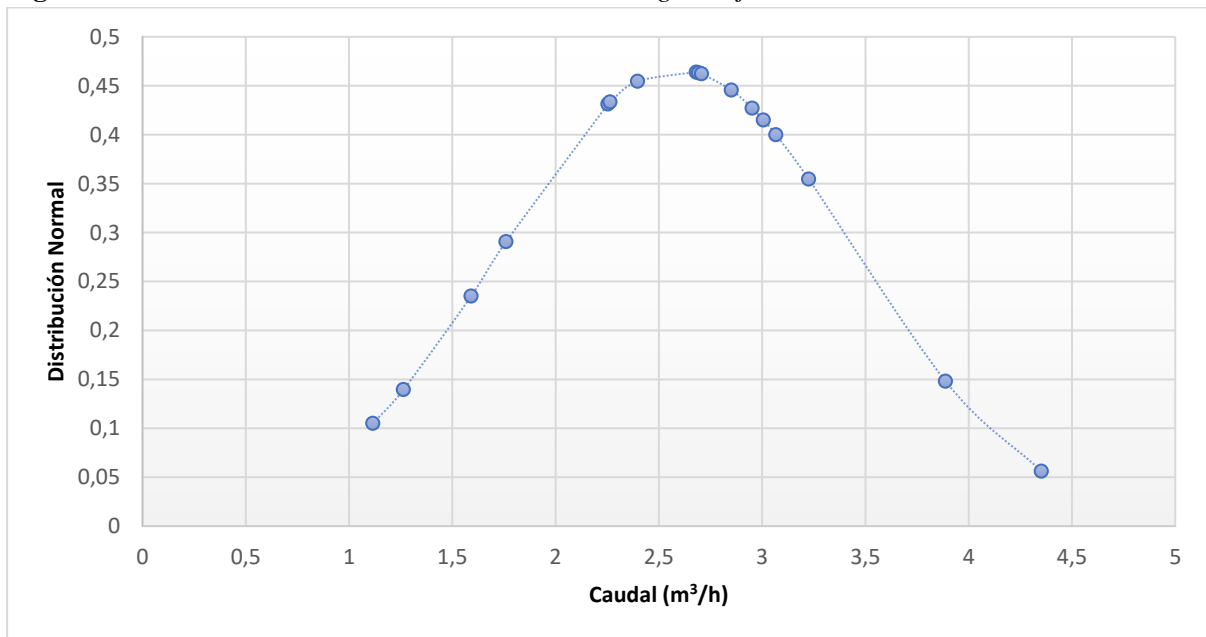
$$\bar{x} = 1,55 \text{ m}^3/\text{h} \sim 37,27 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Figura 21.** Gráfico de probabilidad para los caudales del segundo día de muestreo.



Los valores del caudal siguen una tendencia lineal y presentan una correlación alta (Figura 21), por tal motivo, los mismos muestran una distribución normal en donde se pueden aplicar métodos estadísticos para este tipo de distribución.

**Figura 22.** Distribución de los datos de caudal de la segunda jornada de muestreo.



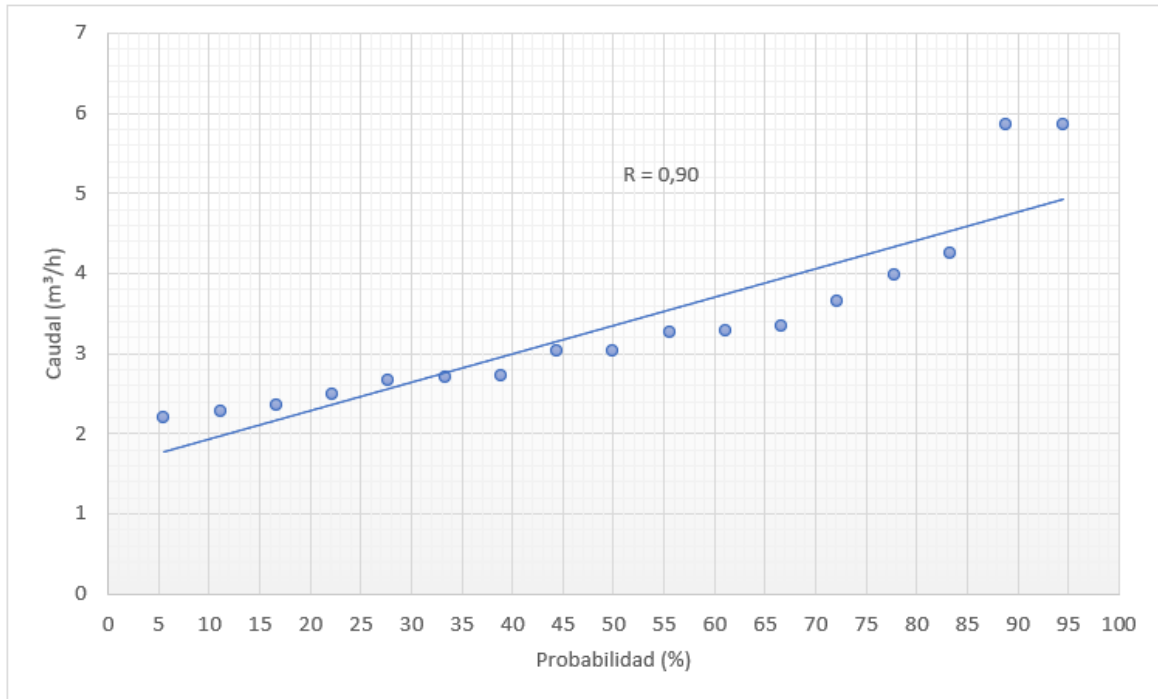
Los valores de los caudales tomados en la segunda jornada de muestreo presentaron una distribución normal (Figura 22). De igual manera, se realizó una prueba de normalidad (Tabla 14) para corroborar el resultado del gráfico de probabilidad. El valor de p mediante la prueba Shapiro-Wilk es de 0,792, el cual es mayor que el nivel de significancia de 0,05, por tanto, los datos presentan una distribución normal, como se evidencia en la figura 13.

Para determinar el caudal medio diario de la segunda jornada de muestreo, se obtuvo el promedio de los caudales medidos.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

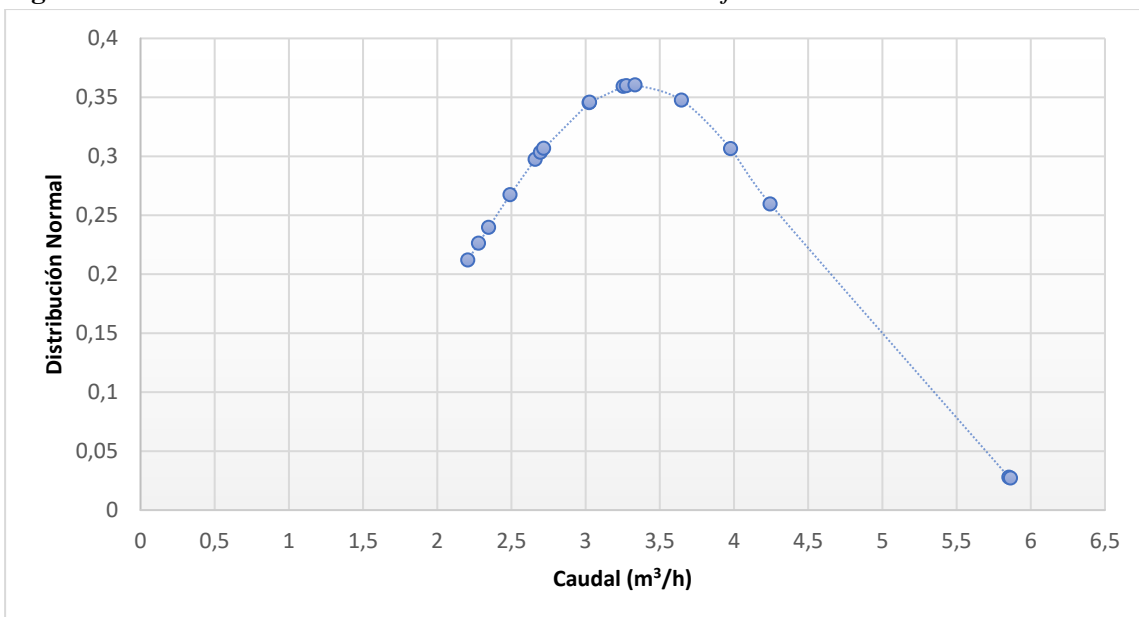
$$\bar{x} = 2,59 \text{ m}^3/\text{h} \sim 62,22 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Figura 23.** Gráfico de probabilidad para los caudales del tercer día de muestreo.



Para el tercer día de muestreo, los datos de los caudales siguen una tendencia lineal (Figura 23), a diferencia con las dos jornadas anteriores, en este caso, el valor de correlación es menor, que, aunque represente una relación lineal muy alta entre las dos variables, se determinó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 14).

**Figura 24.** Distribución de los datos de caudal de la tercera jornada de muestreo.

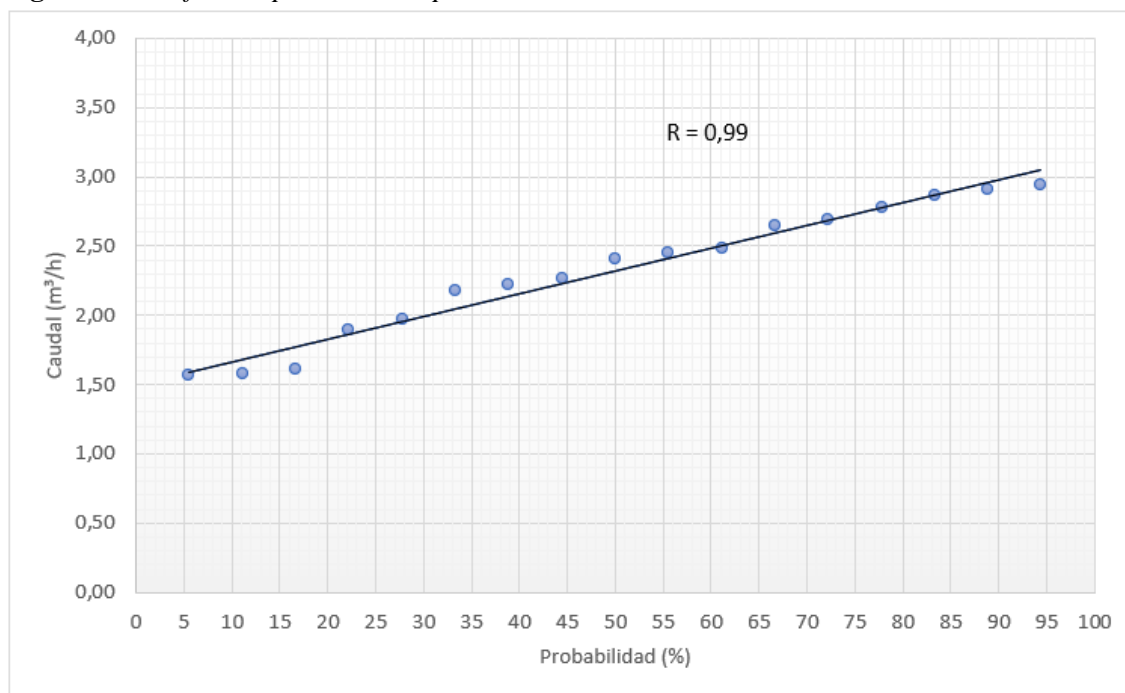


En este caso, la prueba de normalidad arrojó un resultado de 0,006, el cual es menor al nivel de significancia de 0,05, por tanto, los valores de los caudales para el tercer día de muestreo, no presentan normalidad. En la Tabla 15 se puede observar que el coeficiente de asimetría es de 1,434, este valor positivo indica que el sesgo de la distribución es hacia la derecha, por tal motivo, y como se puede observar en la Figura 24 la distribución de los datos presenta una cola más larga hacia la derecha.

Para determinar el caudal de la jornada de muestreo, en este caso se obtuvo la mediana de los datos, debido a que, en este caso, este estadístico es el más representativo del valor central, ya que, al presentar una distribución sesgada, no se puede establecer por medio del promedio aritmético y la moda no existe al no haber datos repetidos.

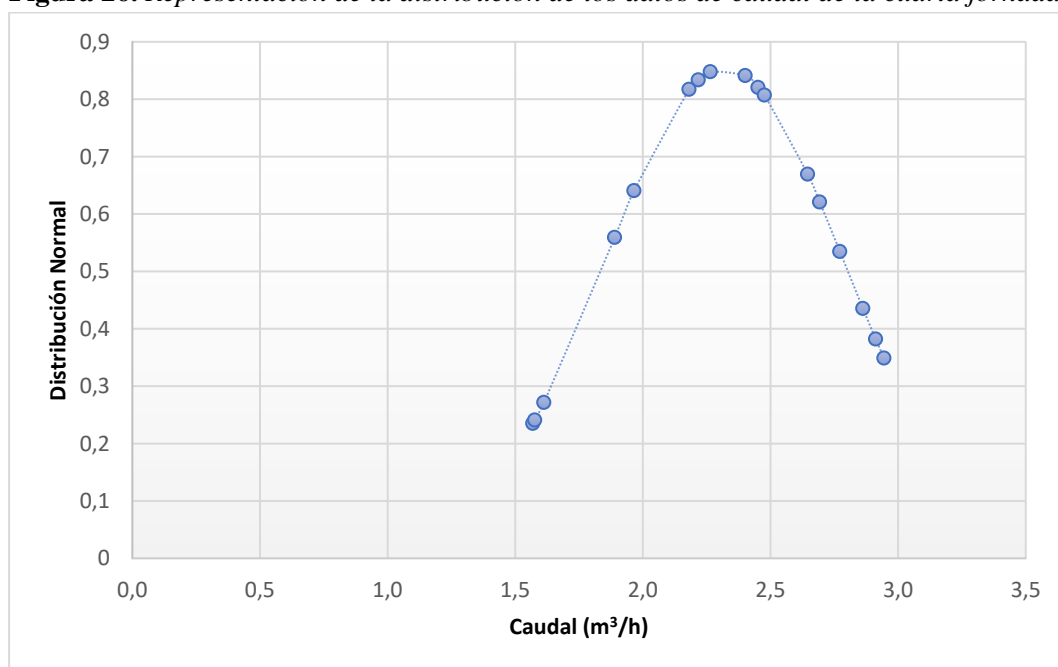
$$Q = 3,03 \text{ m}^3/\text{h} \sim 72,66 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Figura 25.** Gráfico de probabilidad para los caudales del cuarto día de muestreo.



Los valores de los caudales del cuarto día de muestreo presentaron una correlación casi perfecta (Figura 25), teniendo una tendencia lineal, por tal motivo se asume que la distribución de los datos es normal.

**Figura 26.** Representación de la distribución de los datos de caudal de la cuarta jornada de muestreo.



La prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 15) arrojó un valor de p de 0,198, siendo este mayor que 0,05, por tanto, los valores no presentan una distribución sesgada, adaptándose al modelo de distribución normal (Figura 26).

Para determinar el caudal medio diario de la cuarta jornada de muestreo, se obtuvo el promedio de los caudales medidos.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = 2,32 \text{ m}^3/\text{h} \sim 55,67 \text{ m}^3/\text{d}$$

En la Tabla 16 se muestra un resumen estadístico de los datos de los caudales medidos en las cuatro jornadas de muestreo. La varianza de los valores de caudal en la tercera jornada de muestreo es mayor en comparación con las otras jornadas, lo que indica que los datos se dispersan más de su media. La cuarta jornada de muestreo tiene valores negativos en cuanto a asimetría y curtosis, lo que significa que la distribución y la concentración de los datos tienen un sesgo a la izquierda de la media. Finalmente, los mínimos y máximos muestran que el caudal más bajo fue medido en la primera jornada y el más alto en la tercera jornada.

**Tabla 16.** Análisis descriptivos de los datos de caudales de las diferentes jornadas de muestreo.

		Estadístico			
		1°	2°	3°	4°
<b>Caudal</b>	<u>Media</u>	1,55	2,59	3,35	2,92

Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite superior	1,25	2,15	2,78	2,08
	Límite inferior	1,85	3,03	3,92	2,56
Mediana		1,50	2,69	3,03	2,40
Varianza		0,35	0,73	1,26	0,22
Desv. Típica		0,59	0,86	1,11	0,47
Mínimo		0,59	1,12	2,21	1,57
Máximo		2,70	4,35	5,86	2,94
Rango		2,10	3,24	3,66	1,37
Amplitud Inter cuantil		0,64	1,03	1,24	0,80
Asimetría		0,35	0,10	1,43	-0,36
Curtosis		0,00	0,10	1,56	-1,06

### 6.1.3. Población horizonte

**Tabla 17.** Determinación de la población de diseño para un tiempo de vida útil de 20 años de la PTAR.

Guadalupe		
<b>Población 2010</b>	2979	hab
<b>Población 2019</b>	3427	hab
<b>Población 2022</b>	3524	hab
<b>Amplitud</b>	10	años
<b>Tasa de crecimiento</b>	0,014	
Proyección 20 años Guaguayme Alto		
<b>Población 2022</b>	261	hab
<b>razón</b>	0,074	
<b>Población 2042</b>	345	hab

### 6.1.4. Caudales estimados del agua residual

Se estimaron estos caudales basados en factores como la población, la dotación y el coeficiente de retorno, con el fin de tener valores de comparación con los caudales medidos en el campo. Esta estimación permite verificar la coherencia entre los datos esperados y los datos reales, lo que resulta en una estimación más precisa. Esto, a su vez, ayuda a optimizar el uso de los recursos y a planificar financieramente la construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### Caudal medio

$$Q_{av} = \left( \frac{P * Dot * R}{86400} \right)$$

$$Q_{av} = 0,24 \text{ l/s}$$

#### Caudal máximo

$$Q_{m\acute{a}x} = Qm * K1 * K2$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,44 \text{ l/s}$$

### Caudal mínimo

$$Q_{min} = Qm * K3$$

$$Q_{min} = 0,07 \text{ l/s}$$

En la Tabla 18 se presentan los resultados estimados frente a los valores de los resultados medidos en campo, los cuales se los obtuvieron a partir del análisis estadístico de los caudales aforados.

**Tabla 18.** Comparación de caudales estimados y los obtenidos.

Caudal estimado (l/s)		Caudal medido (l/s)	
Qav	0,24	Qav	0,84
Qmáx	0,44	Qmáx	1,63
Qmín	0,07	Qmín	0,16

Los caudales medidos fueron mayores que los estimados (Tabla 18), Antonio, (2015) menciona que el uso doméstico del agua en zonas rurales se ve influenciado por las características de la región, en zonas con climas calientes con temperaturas mayores a los 22°C, un individuo hace mayor uso del agua, que en climas fríos, de igual manera, las costumbres de la población y las tarifas del agua influyen en el consumo de la misma. La temperatura ambiente en los días de muestreo, tuvo un intervalo de 22°C a 25°C aproximadamente, siendo valores de los cuales puede depender un mayor consumo de agua.

La diferencia de los caudales medidos frente a los estimados, puede deberse a caudales incontrolados recogidos en las alcantarillas, por medio de la infiltración donde el agua que se infiltra al suelo penetra a la red de alcantarillado a través de cañerías defectuosas y las conexiones incontroladas las cuales recogen aguas procedentes de desagües de tejados, patios y drenajes superficiales, drenes de fuentes y zonas pantanosas, drenes de cimientos, etc. (Orellana, 2005).

#### 6.1.5. Resultados del laboratorio

Se puede apreciar en los resultados (Tabla 19) obtenidos a partir de la ecuación (8), que, el valor del DQO es mayor que el DBO5, lo cual es correcto, debido a que el DQO mide la materia orgánica total y el DBO5 mide la materia orgánica biodegradable a 5 días, por tal motivo el valor del DQO debe ser mayor que el valor de DBO5, en este caso con valores de 84.25 mg/l y 68 mg/l respectivamente.

La parte de nutrientes, expresados como nitrógeno y fósforo, no presentaron elevadas concentraciones, siendo esto un aspecto positivo a la hora del tratamiento, dado que se evita el

fenómeno de eutrofización, sin embargo, la presencia de estos nutrientes resulta importante en la desinfección de las aguas, ya que permite la formación de la biomasa.

En cuanto al Nitrógeno Total Kjendahl (NKT), se obtuvieron resultados coherentes, en comparación a lo que menciona CENTA, (2021), que nos dice que el NKT es la suma del nitrógeno orgánico y amoniacal, considerando que la parte orgánica se divide en una fracción soluble y otra suspendida, se obtendría un valor similar. De igual manera, se menciona que el NKT por lo general presenta una concentración similar que equivale a la quinta parte del DQO<sub>5</sub>, siendo esta de 13,98 mg/l, valor similar al NKT que es de 12,74 mg/l.

Dentro de la caracterización del agua residual, la fracción soluble y suspendida del fósforo se la determinó en base a lo mencionado por Camacho (2001), que manifiesta que la parte suspendida del fósforo u orgánica, tiene poca relevancia en las aguas residuales dada su baja concentración, teniendo un valor típico de 1 mg/l; por otro lado, la parte inorgánica o soluble del fósforo es de 7 mg/l para los ortofosfatos y de 3 mg/l para fosfatos, siendo estos valores comunes en aguas residuales urbanas. CENTA (2021) referencia concentraciones típicas de aguas residuales urbanas (Anexo 6, Tabla 87), donde la parte inorgánica del fósforo es de 3 mg/l y 1 mg/l para la fracción orgánica, presentando una relación 3:1. Se consideró esta relación para determinar la parte soluble y suspendida del fósforo.



**Tabla 19.** Media ponderada de los resultados del laboratorio para las cuatro jornadas de muestreo, expresada en (mg/l).

Análisis	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo	4° Muestreo	Media Ponderada
Nitrógeno Total Kjendahl	11,1	14,5	11,5	13,5	12,74
Amonio	8,3	10,5	8,79	11,2	9,77
Nitratos	17,8	13,6	10,6	8,2	12,01
Nitrógeno Total Suspendido	2,24	3,36	1,15	1,3	1,97
Nitrógeno Total Soluble	27	26,5	20,1	20,1	22,97
Fósforo Total	5,7	4,2	3,5	3,3	4,00
Fósforo soluble	4,28	3,15	2,63	2,48	3,00
Fósforo suspendido	1,43	1,05	0,88	0,83	1,00
Sólidos Totales	350	270	330	320	314,45
Sólidos Sedimentables	0,2	0,5	0,3	0,45	0,37
Sólidos Totales Disueltos	247	208	240	200	222,63
Sólidos Suspendidos	97,5	76,3	95,5	135	100,24
Sólidos Suspendidos Volátiles	56,5	64,4	50,1	55,2	56,29
Sólidos Suspendidos No Volátiles	41	12	45,5	80	44,06
Turbidez	32,3	22,1	40,2	45	35,14
Alcalinidad	310	350	350	321	336,38
Aceites y Grasas	48	40	41	45	42,85
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Soluble	15	24	27	28	24,47
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Suspendida	35	56	42	45	45,41
Demanda Química de Oxígeno (DQO) Soluble	18,5	30	33	35	30,30
Demanda Química de Oxígeno (DQO) Suspendida	54,5	69	48	49	55,04

Las concentraciones de ciertos parámetros se encontraron dentro de los rangos expuestos (Anexo 6, tabla 86). Proaño, (2021) menciona que las concentraciones de los diferentes contaminantes en poblaciones ecuatorianas rurales, varían según las diferentes actividades de los habitantes, los residuos arrojados a través de la cañería y hábitos de consumo. En una población, entre menor sea su economía, tendrán un menor consumo de bienes, por lo que se ve reflejado en la disminución de las concentraciones de contaminantes de aguas residuales rurales.

En cuanto a la relación DBO/N/P, se evidenció que no se encuentra bajo la mínima requerida de 100/5/1, ya que se obtuvieron valores para el DBO<sub>5</sub> de 69,88 mg/l, para el N de 24,94 mg/l y para el P de 4 mg/l. Soya, (1998), menciona que es importante determinar este tipo de relación para el tratamiento de las aguas residuales, dado que, de no encontrarse estos

nutrientes en cantidades suficientes, los tratamientos biológicos no podrían desarrollarse normalmente, trayendo otro tipo de operaciones al sistema de depuración. En general, la relación de DBO/N/P se suele realizar de manera más exhaustiva en las aguas residuales industriales, dado que en este tipo de aguas se evidencia una mayor falta de nutrientes.

**Tabla 20.** Rangos de contaminación de aguas residuales en comunidades rurales en el Ecuador.

Parámetro		Rango de concentración
DBO <sub>5</sub>		200 – 500 mg/L
DQO	400 – 1600 mg/L	
Nitrógeno total		35 – 100 mg/L
Nitrógeno amoniacal		6 – 60 mg/L
Nitrato		< 1 mg/L
Fósforo total		6 – 30 mg/L
Fosfatos		6 – 25 mg/L
Sólidos suspendidos totales		100 – 500 mg/L
Sólidos suspendidos volátiles		90 – 310 mg/L
Coliformes fecales		1 x 10 <sup>6</sup> – 1 x 10 <sup>10</sup> ufc

Fuente: (Proaño, 2021)

Los resultados del análisis del laboratorio para los parámetros seleccionados, indicaron que para el día lunes 6 de diciembre del 2021 (Anexo 5, Tabla 86), sobrepasan los límites permisibles según la norma para descarga a un cuerpo de agua dulce (Anexo 4), los aceites y grasas, sólidos suspendidos totales y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), con respecto a este último parámetro, el resultado es igual al límite permisible, por tanto, se lo considera dentro de los parámetros que exceden el valor permitido, por tal motivo para esa jornada de muestreo, sólo tres parámetros excedieron los límites permisibles (Tabla 21).

**Tabla 21.** Parámetros de la primera muestra que exceden los límites permisibles.

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/l)	Resultado (mg/l)
Aceites y grasas	30	48
DBO5	50	50
Sólidos suspendidos totales	80	97

Para el segundo día de muestreo, que corresponde al martes 7 de diciembre del 2021 (Anexo 5, Tabla 87), los parámetros que exceden los límites permisibles corresponden a aceites y grasas y DBO5, en este caso los sólidos suspendidos totales se encuentran dentro del rango permitido (Tabla 22).

**Tabla 22.** *Parámetros de la segunda muestra que exceden los límites permisibles.*

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/l)	Resultado (mg/l)
Aceites y grasas	30	40
DBO5	50	80

En cuanto al sábado 11 de diciembre del 2021 (Anexo 5, Tabla 88), presenta similitud con el primer día de muestreo, debido a que, los parámetros que exceden el límite permisible son: aceites y grasas, DBO5 y sólidos suspendidos totales (Tabla 23).

**Tabla 23.** *Parámetros de la tercera muestra que exceden los límites permisibles.*

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/l)	Resultado (mg/l)
Aceites y grasas	30	41
DBO5	50	69
Sólidos suspendidos totales	80	95.5

De igual manera, para el último día de muestreo, que corresponde al domingo 12 de diciembre del 2021 (Anexo 5, Tabla 89), los resultados son similares al primer y tercer día, debido a que los parámetros analizados que exceden los límites permisibles, vuelven a ser los aceites y grasas, los sólidos suspendidos y la DBO5 (Tabla 24).

**Tabla 24.** *Parámetros de la cuarta muestra que exceden los límites permisibles.*

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/l)	Resultado (mg/l)
Aceites y grasas	30	45
DBO5	50	73
Sólidos suspendidos totales	80	135

### 5.1.5. Índice de biodegradabilidad

La relación entre DBO5 y DQO arrojó un resultado de 0,8, el cual es un valor mayor a 0,4 lo que indica que es un agua residual muy biodegradable (Tabla 25), por tanto, para su depuración se puede aplicar tratamientos biológicos. Por lo general, las aguas residuales domésticas, presentan gran biodegradabilidad debido al tipo de vertido.

**Tabla 25.** *Relación de biodegradabilidad DBO5/DQO de un agua residual.*

<b>DBO5/DQO Biodegradabilidad del agua residual</b>	
> 0,4	Muy biodegradable
0,2 - 0,4	Biodegradable

< 0,2

No biodegradable

### 6.1.6. Cargas contaminantes

**Tabla 26.** Cargas contaminantes del agua residual de Guaguayme Alto.

Parámetro	Carga másica	
	(g/día)	(g/hab/día)
DQO	6 205,92	23,78
DBO <sub>5</sub>	5 081,67	19,47
NKT	1 813,64	6,95
P <sub>total</sub>	290,88	1,11
SS	7 279,27	27,89

En los resultados de las cargas contaminantes (Tabla 26) en comparación con los parámetros expuestos en la Tabla 27, se evidenció que las cargas se encuentran más próximas a los rangos de población de entre 1 000 y 2 000 habitantes. En cuanto a los parámetros de SS, P y N las cargas se encuentran dentro del rango, mientras que para el DBO<sub>5</sub> y DQO las cargas se encuentran por debajo de los rangos, esto se puede justificar dado que la población del barrio Guaguayme Alto es menor a los 1 000 habitantes, y se puede observar que, a mayor rango de población, mayores son las cargas contaminantes.

**Tabla 27.** Cargas unitarias (g/hab/día) de contaminantes por zona ecológica y rango poblacional.

Zona ecológica	Población (habitantes)		
	1.000 - 2000	2.001 - 10.000	10.001 - 50.000
	Cargas contaminante SS (g SS/hab/d)		
Altiplano	20 - 35	30 - 45	40 - 50
Valles y Llanos	30 - 45	40 - 50	45 - 55
	Cargas contaminante DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /hab/d)		
Altiplano	20 - 35	30 - 45	40 - 50
Valles y Llanos	30 - 45	40 - 50	45 - 55
	Cargas contaminante DQO (g DQO/hab/d)		
Altiplano	30 - 55	50 - 70	65 - 90
Valles y Llanos	50 - 75	70 - 90	85 - 110
	Cargas contaminante N (g N/hab/d)		
Altiplano	4 - 7	6 - 10	9 - 12
Valles y Llanos	7 - 10	9 - 11	10 - 13
	Cargas contaminante P (g P /hab/d)		
Altiplano	0,8 - 1,3	1,2 - 1,5	1,4 - 2,0
Valles y Llanos	1,2 - 1,5	1,4 - 1,8	1,6 - 2,1

Vidal y Araya, (2014) mencionan que las concentraciones de contaminantes en el agua residual varían según la población, en una zona rural la densidad poblacional, las diferentes actividades que desarrollan como el cuidado de jardines y huertos, pueden ocasionar una baja carga orgánica, nutrientes y otros parámetros.

A medida que aumenta el caudal de agua, es posible que las concentraciones de contaminantes sean bajas, debido a un efecto de dilución (Pauta et al., 2019). En este caso, se midió un caudal mayor al esperado durante las cuatro jornadas de muestreo, lo que podría tener un impacto en las concentraciones de contaminantes. Adicional a esto Metcalf y Eddy, (1996) mencionan que, en sistemas unitarios las concentraciones de DBO y SS en presencia de aguas pluviales pueden disminuir. Además, de haber aportaciones incontroladas e infiltraciones, este tipo de caudales pueden reducir las concentraciones de los dos parámetros nombrados.

Una razón por la que el caudal aforado fue mayor que el estimado en Guaguayme Alto, puede ser que al poseer agua entubada semipotable, los moradores del sector pagan una tarifa reducida por el servicio de agua, siendo esta de tres dólares cada 25 000 litros. Este factor puede influir en la falta de conciencia de los habitantes del barrio, ya que, es motivo de que adquieran malos hábitos frente al uso del agua, como el dejar las llaves abiertas, por tal razón, el caudal de las aguas residuales tiende a aumentar y las concentraciones de contaminantes son reducidas al pasar el agua semientubada directamente al sistema de alcantarillado.

#### **6.1.7. Habitantes equivalentes**

$$h.e. = \left( \frac{(72,58 \text{ m}^3/\text{día}) * (69,88\text{mg/l})}{60\text{g DBO5/día}} \right)$$

$$h.e. = 85 \text{ h.e.}$$

El resultado hace referencia a la cantidad de carga contaminante que puede biodegradarse y que es descargada por un habitante de del lugar durante un día. En este caso, el h.e. fue inferior a la población censada, por ende, se asume que no existe ningún otro tipo de vertidos biodegradables que no sean de origen doméstico. En poblaciones pequeñas, se espera que ambos valores presenten similitud (Rodríguez et al., 2015), en esta ocasión, la diferencia pudo darse debido a diferentes motivos, principalmente por circunstancias descritas en el apartado anterior, pérdidas en la red de alcantarillado, variaciones de caudal y concentraciones o por lo descrito en el apartado anterior.

## **6.2. Selección de la tecnología de tratamiento**

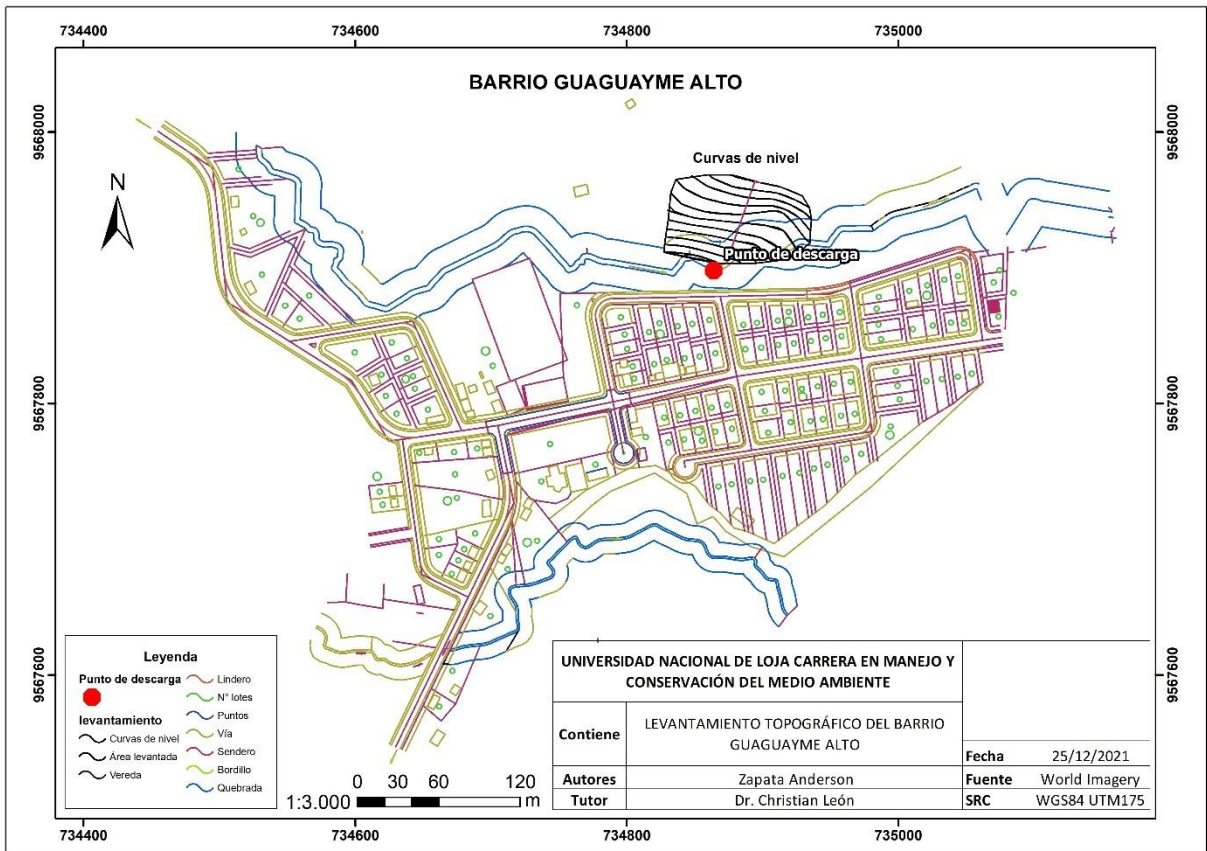
Con la finalidad de facilitar el proceso de selección, se caracterizó cada línea de tratamiento propuesta en la metodología, en función de lo recomendado por CENTA (2021),

quienes basaron su información en diferentes líneas de tratamiento para comunidades Andinas obtenida en base a los diferentes trabajos realizados en países de Sudamérica.

**7.2.1. Topografía del lugar**

El sistema de alcantarillado de las aguas residuales del barrio descarga en las coordenadas 734862.69 latitud este y 9567897.12 longitud sur, junto a la quebrada. El área seleccionada para la PTAR se encuentra al otro lado de la quebrada donde está ubicado el punto de descarga de las aguas residuales (Figura 27), debido a que es un terreno poco accidentado aguas abajo.

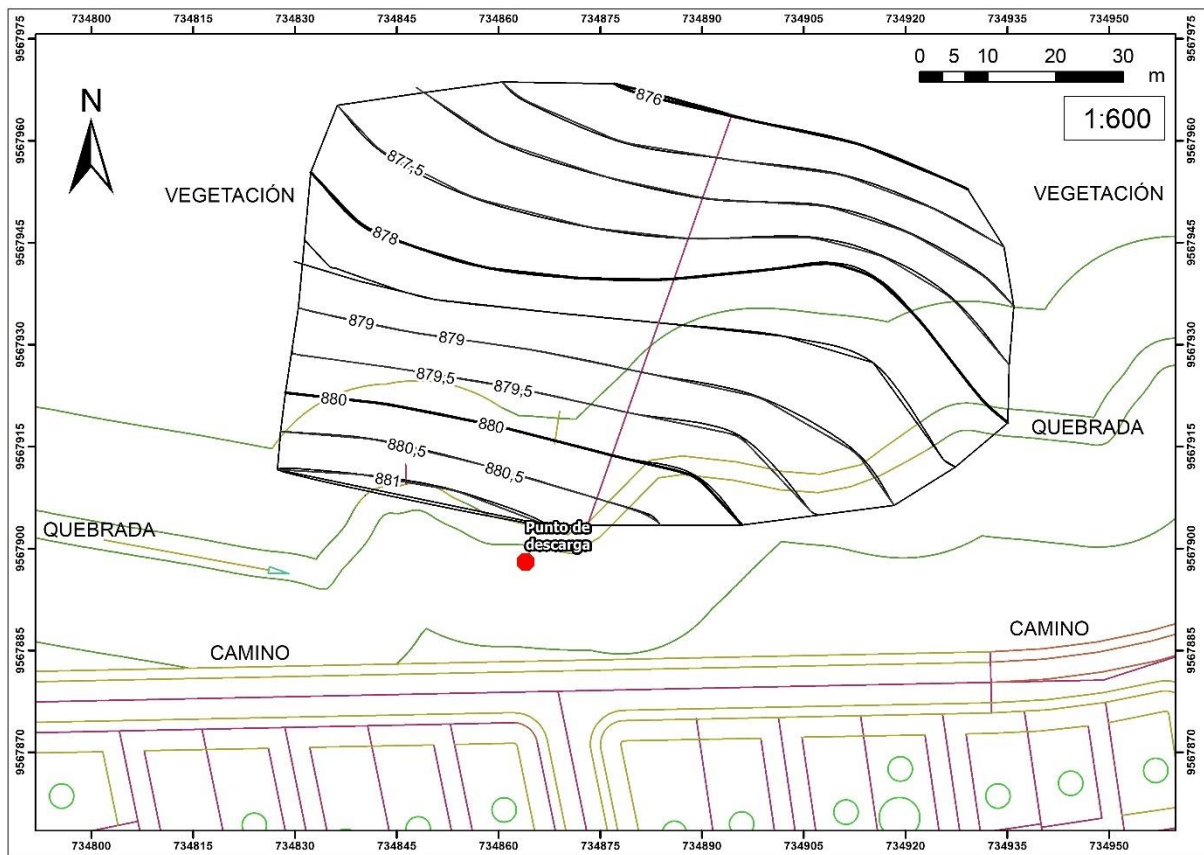
**Figura 27.** Levantamiento topográfico del barrio Guaguayme Alto.



Nota. Elaboración propia.

Las curvas de nivel se generaron cada 50 cm (Figura 28) debido a que el terreno levantado fue pequeño, con un área de 5972 m<sup>2</sup>, dicha equidistancia proporciona una mayor información cuantitativa sobre el relieve del lugar. Las curvas representan una mayor altura desde la zona sur hacia el norte, teniendo una pendiente del 7%, siendo ese sentido ideal para garantizar que el caudal de entrada a la PTAR salga de la misma.

**Figura 28.** Curvas de nivel cada 50 cm. del terreno seleccionado para la PTAR.



Nota. Elaboración propia.

### 7.2.1. Pretratamiento

Cada línea de saneamiento propuesta consta con un pretratamiento, con la finalidad de eliminar cualquier tipo de materia que según el tamaño o naturaleza pueden generar problemas en etapas posteriores. El pretratamiento consta de las siguientes etapas:

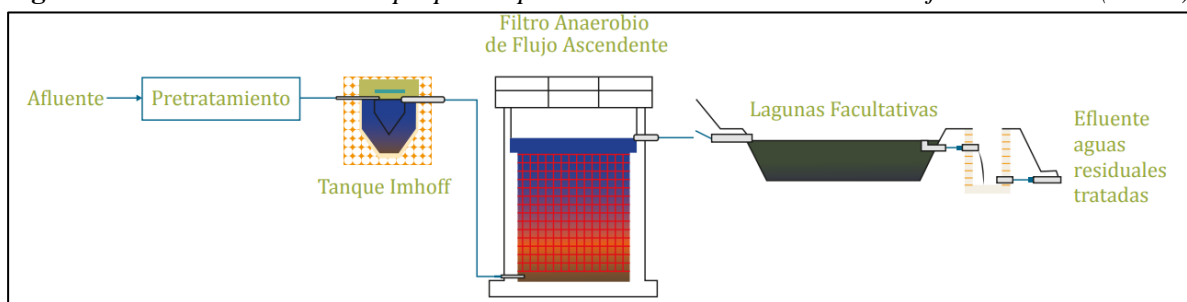
- Desbaste
- Desarenado
- Desengrasado

### 7.2.2. Líneas de tratamiento propuestas

#### 1. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA)

Para el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) se propuso la siguiente línea de tratamiento (Figura 29), la cual cuenta con un tanque Imhoff como tratamiento primario y lagunas facultativas posterior al FAFA. Este sistema combinado de tratamiento permite la eliminación de patógenos y reducción de la carga de materia orgánica y nutrientes del agua residual.

**Figura 29.** Línea de tratamiento propuesta para los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA).



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.296), CENTA, 2021.

Se describió este sistema de tratamiento frente a las diferentes características (Tabla 28) evaluadas en la matriz de decisión. Cada característica permitió una evaluación más acertada en la evaluación del sistema más idóneo.

**Tabla 28.** Características del sistema de tratamiento de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA).

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + Tanque Imhoff + FAFA + Lagunas Facultativas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	Disminuye el rendimiento conforme baja la temperatura. No es recomendable su aplicación para temperaturas medias del agua inferiores a 15°C.
Flexibilidad	No es flexible a las variaciones del caudal, por lo que no es recomendable su aplicación en redes de alcantarillado unitario.
Lodos generados	Presenta una generación de 0,41 l/hab/d en una población de hasta 1 000 hab.
Operación y Mantenimiento	Al no contar con equipos electromecánicos, la operación y mantenimiento se simplifica, sin embargo, la depuración de los filtros transcurre vía anaerobia, por lo que se recomienda que los operadores estén familiarizados con el proceso.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación de biogás en los procesos de depuración en el interior de los FAFA.</li> <li>• Los impactos sonoros son nulos.</li> <li>• El impacto visual es mínimo al construirse los FAFA enterrados, siendo las lagunas facultativas un aspecto positivo.</li> </ul>
Características del terreno	Terrenos fáciles de excavar y con un nivel freático bajo.
Costos de construcción	Disminuye los costos de construcción en función que aumentan los habitantes servidos.
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los porcentajes de costos.

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.296 - 314), CENTA, 2021.



El FAFA presenta ventajas y desventajas al ser utilizado como post tratamiento de un tratamiento primario (Tabla 29).

**Tabla 29.** Ventajas y desventajas de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente.

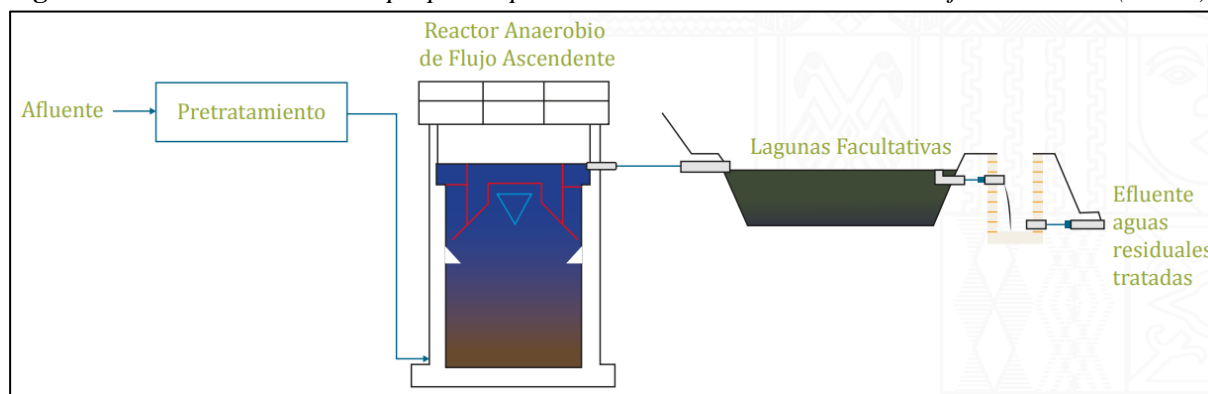
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos requisitos de superficie para su construcción.</li> <li>• No requiere de energía para su operación.</li> <li>• Fácil de operar.</li> <li>• Se utilizan materiales de fácil acceso para su construcción.</li> <li>• Se generan lodos estabilizados y en menor cantidad que los tratamientos aerobios.</li> <li>• No cuenta con dispositivos móviles que puedan presentar averías.</li> <li>• Bajos costos de operación y construcción.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de obstrucción del material filtrante.</li> <li>• El sistema es lento en cuanto al arranque y la estabilización.</li> <li>• Baja capacidad de eliminación de nutrientes y organismos patógenos.</li> <li>• No es recomendable el uso en temperaturas medias del agua en el mes más frío por debajo de los 15°C.</li> <li>• Si no se quema el biogás tanto en el tratamiento primario y en el FAFA, se emite metano en la atmósfera.</li> </ul>

*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.315 - 316), CENTA, 2021.

## 2. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA)

Los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente constituyen una tecnología anaerobia y en el mismo reactor se producen procesos como sedimentación primaria, reactor biológico y digestión anaerobia. Frente a este tratamiento, se presentó como propuesta la línea de tratamiento compuesta un pretratamiento y lagunas facultativas posterior al RAFA (Figura 30).

**Figura 30.** Línea de tratamiento propuesta para los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).



*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.335), CENTA, 2021.

Este tipo de sistema, aunque es utilizado en pequeñas comunidades, presenta una baja flexibilidad a las variaciones de caudal (Tabla 30), por lo que no es recomendable su utilización

en poblados con sistemas de alcantarillado unitarios. De igual manera, se describió el resto de características de la línea de tratamiento.

**Tabla 30.** Características del sistema de tratamiento de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + RAFA + Lagunas Facultativas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	Disminuye el rendimiento conforme baja la temperatura. No es recomendable su aplicación para temperaturas medias del agua inferiores a 15°C.
Flexibilidad	Es una tecnología poco flexible a las variaciones de caudal. Presenta un mejor funcionamiento en sistemas de alcantarillados separados.
Lodos generados	Presenta una generación de 0,17 l/hab/d en una población de 1 000 hab.
Operación y Mantenimiento	El nivel de equipos electromecánicos es reducido, la operación de este tipo de reactores presenta una leve complejidad, especialmente en la puesta en marcha y el control de las reacciones vía anaerobia, por lo que es recomendable que los operadores se familiaricen con la tecnología
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La liberación de biogás a la atmósfera puede generar malos olores.</li> <li>• Los impactos sonoros son nulos o reducidos en el caso de que se tenga que bombear las aguas a tratar.</li> <li>• A nivel visual el impacto se minimiza al construirse los RAFA enterrados, mientras que las lagunas facultativas pueden presentar un aspecto positivo</li> </ul>
Características del terreno	Terrenos llanos, fáciles de excavar y un nivel freático bajo
Costos de construcción	Disminuye los costos de construcción en función que aumentan los habitantes servidos, hasta los 20 000 hab.
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los porcentajes de costos.

*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua* CENTA (p.335 - 360), CENTA, 2021.

Este tipo de sistema conformado por un RAFA presenta ventajas y desventajas (Tabla 31) que fueron utilizadas como guía para la evaluación del tratamiento.

**Tabla 31.** Ventajas y desventajas de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).

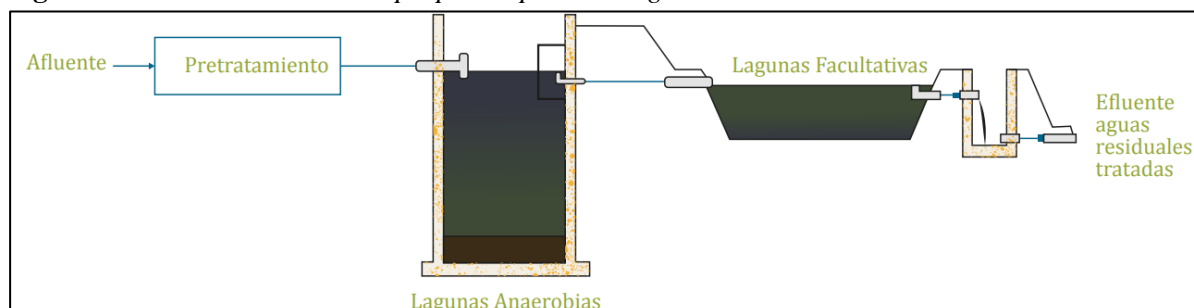
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los requisitos de superficie para la construcción son bajos.</li> <li>• Nulos o bajos requisitos de energía.</li> <li>• Se generan lodos estabilizados y en menor cantidad que los tratamientos aerobios.</li> <li>• Genera biogás aprovechable.</li> <li>• Carece de partes móviles en el interior que puedan presentar averías.</li> <li>• No necesita extracción frecuente de lodos, debido a que se estabilizan y almacenan en el reactor.</li> <li>• Bajos costos de construcción y operación.</li> <li>• Se puede aplicar tanto para pequeñas y grandes poblaciones.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En función de los criterios de vertido, es necesario un postratamiento.</li> <li>• Baja capacidad de eliminación de nutrientes y organismos patógenos.</li> <li>• La puesta en operación es lenta y compleja.</li> <li>• No es recomendable el uso en temperaturas medias del agua en el mes más frío inferiores a 15°C.</li> <li>• El proceso es sensible a la presencia de tóxicos como metales pesados.</li> <li>• Operación y mantenimiento más compleja que tecnologías extensivas y los FAFA.</li> <li>• Al no operar correctamente, puede generar malos olores y emisiones de gases de efecto invernadero.</li> </ul>

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.361), CENTA, 2021.

### 3. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización es un tratamiento que consta de varias balsas dispuestas en serie, compuestas de lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración. En este tipo de tratamiento se imita el proceso natural de purificación en los cuerpos de agua a través de la combinación progresiva de ambiente con y sin oxígeno disuelto (CENTA, 2021). La línea propuesta para las lagunas de estabilización consta de un pretratamiento y lagunas facultativas posterior a las lagunas anaerobias (Figura 31).

**Figura 31.** Línea de tratamiento propuesta para las lagunas de estabilización.



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.388), CENTA, 2021.

Este sistema de tratamiento a diferencia del RAFA, es más flexible a las variaciones de caudales, aplicándolo en poblaciones con sistema de alcantarillado unitario o separativo, por lo

que lo convierte en un sistema más idóneo para el barrio Guaguayme Alto. El resto de características se presentan en la Tabla 32.

**Tabla 32.** Características del sistema de tratamiento de lagunas de estabilización.

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	Conforme desciende la temperatura, disminuye la eficiencia de remoción. Es recomendable aplicar esta tecnología con temperaturas del agua a tratar en el mes más frío, sobre los 15°C
Flexibilidad	Debido a los elevados tiempos de retención hidráulica, las lagunas de estabilización pueden afrontar las variaciones de caudal y carga
Lodos generados	Presenta una generación de lodos de 0,11 l/hab/d en poblaciones de hasta 1 000 hab.
Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las labores de operación y mantenimiento son: inspecciones rutinarias, limpieza de las etapas de pretratamiento, retirada de flotantes en las lagunas, toma de muestras para el control de procesos, extracción periódica de los lodos acumulados en el fondo de las lagunas y el mantenimiento de la infraestructura.</li> <li>• No requiere de personal cualificado ya que estas actividades carecen de complejidad.</li> <li>• La actividad compleja es la retirada periódica de lodos, para lo que se necesita equipo específico</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El impacto negativo principal es la generación de malos olores, esta generación se minimiza si la concentración de sulfatos es inferior a 300 mg/l.</li> <li>• Se generan gases de efecto invernadero, pero este impacto se minimiza con la captación el biogás.</li> <li>• La proliferación de mosquitos se minimiza con una correcta operación y mantenimiento.</li> <li>• Un buen diseño de lagunas, produce un impacto positivo</li> </ul>
Características del terreno	Terrenos fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y con un nivel freático bajo. El poder disponer de pendientes moderadas es una ventaja
Costos de construcción	Para poblaciones pequeñas, los costos de construcción aumentan en función que disminuye la población servida
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los porcentajes de costos.

*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.388 - 411), CENTA, 2021.

La Tabla 33 presentan las ventajas y desventajas que se obtuvieron de línea de tratamiento de lagunas de estabilización. Es importante destacar que este análisis busca identificar los puntos fuertes y débiles de la tecnología, con el que se logró una evaluación objetiva y precisa de su eficacia y eficiencia en el tratamiento de agua residual.

**Tabla 33.** Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización.

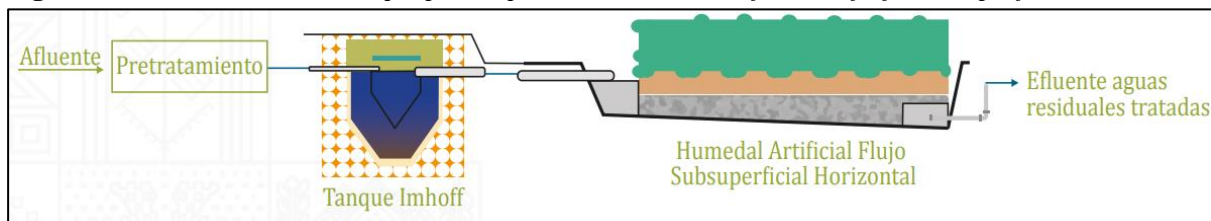
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de construcción.</li> <li>• Si el agua residual llega por gravedad, el consumo energético es nulo.</li> <li>• Ausencia de averías electromecánicas.</li> <li>• Mantenimiento sencillo.</li> <li>• Escasa producción de lodos.</li> <li>• Buena integración ambiental.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevados requisitos de terreno para su construcción.</li> <li>• Su construcción puede verse desaconsejada en zonas frías o de baja radiación solar.</li> <li>• Generación de olores desagradables en las lagunas anaerobias, aunque estos pueden verse minimizados si se opera correctamente.</li> <li>• Posible proliferación de mosquitos.</li> <li>• Pérdidas de agua por evaporación y aumento de salinidad.</li> <li>• Elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en los efluentes finales, por la proliferación de microalgas.</li> <li>• Extracción de lodos acumulados en el fondo de las lagunas es compleja.</li> <li>• Riesgo de contaminación de acuíferos.</li> <li>• En las lagunas anaerobias se emite metano a la atmósfera, salvo que se cubran.</li> </ul>

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.411 - 412), CENTA, 2021.

#### 4. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal/vertical

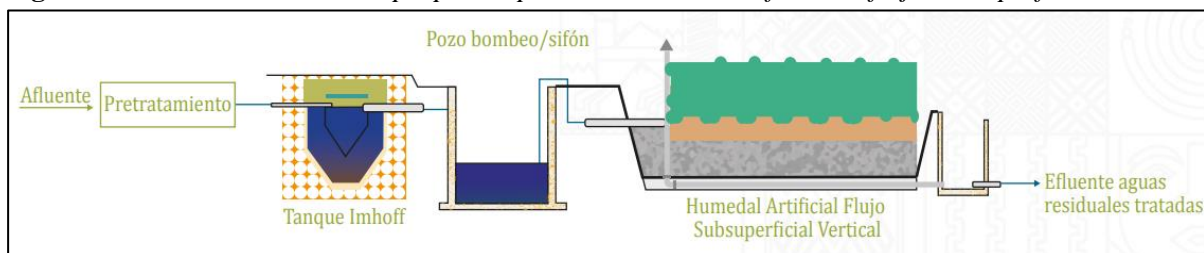
Los humedales artificiales son un tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que emulan los procesos de eliminación de contaminantes que ocurren en las zonas húmedas naturales. En este caso, se propuso dos líneas de tratamiento que cuentan con un pretratamiento y un tanque Imhoff como tratamiento primario, la diferencia entre las dos líneas fue que la primera consistió en un tratamiento con un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Figura 32), y para la segunda línea se contó con un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (Figura 33).

**Figura 32.** Línea de tratamiento propuesta para un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.430), CENTA, 2021.

**Figura 33.** Línea de tratamiento propuesta para un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.



Nota. Tomado de Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA (p.431), CENTA, 2021.

Este tipo de tratamiento de aguas residuales presenta pocos impactos ambientales negativos y fácil operación y mantenimiento, por lo que no se requiere personal cualificado. De igual manera, en la Tabla 34 se desglosan las características de estas líneas de tratamiento tanto para el flujo horizontal y vertical.

**Tabla 34.** Características del sistema de tratamiento de humedales artificiales.

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsoperficial Horizontal/Vertical</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	Pueden operar correctamente en climas fríos, aunque, conforme aumenta la temperatura, disminuyen los requisitos de superficie.
Flexibilidad	Presentan poca capacidad de respuesta a las sobrecargas hidráulicas/orgánica que se prolongan con el tiempo, esta capacidad es mayor en los de flujo subsuperficial horizontal
Lodos generados	Presenta una generación de 0,29 l/hab/d en una población de 1 000 hab.
Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las labores de operación y mantenimiento son: inspecciones rutinarias, limpieza de las etapas de pretratamiento, verificación del correcto reparto de las aguas a tratar, toma de muestras para el control del proceso depurativo, extracción periódica de los lodos acumulados en el tratamiento primario, siega anual de la vegetación implantada y mantenimiento de la obra civil.</li> <li>No requiere de personal cualificado ya que estas actividades carecen de complejidad.</li> <li>En el caso de que se requiera bombeo para la alimentación intermitente de los humedales de flujo vertical, se requiere mantenimiento de los equipos necesarios.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el tratamiento primario si no hay una correcta operación, puede ser fuente de malos olores.</li> <li>El ruido es nulo o muy reducido en caso de tener que bombear el agua.</li> <li>En el aspecto visual, los impactos son positivos, por la integración ambiental de este tipo de tecnología.</li> </ul>
Características del terreno	Terrenos fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y nivel freático bajo

Costos de construcción	de	Presenta un comportamiento habitual en función de la economía a escala, disminuyendo los costes de construcción conforme aumentan los habitantes servidos
Costos de operación y mantenimiento		Presentan similitud en función de costos y operación, entre mayor es la población servida, menor es el costo

*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.431 - 458), CENTA, 2021.

La Tabla 35 muestra los pros y los contras obtenidos a partir del análisis de un sistema de tratamiento de aguas residuales basado en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal/vertical. Este análisis se llevó a cabo con el objetivo de identificar las fortalezas y debilidades de la tecnología, lo que permitió realizar una evaluación objetiva y precisa de su efectividad y eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.

**Tabla 35.** *Ventajas y desventajas de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal/vertical.*

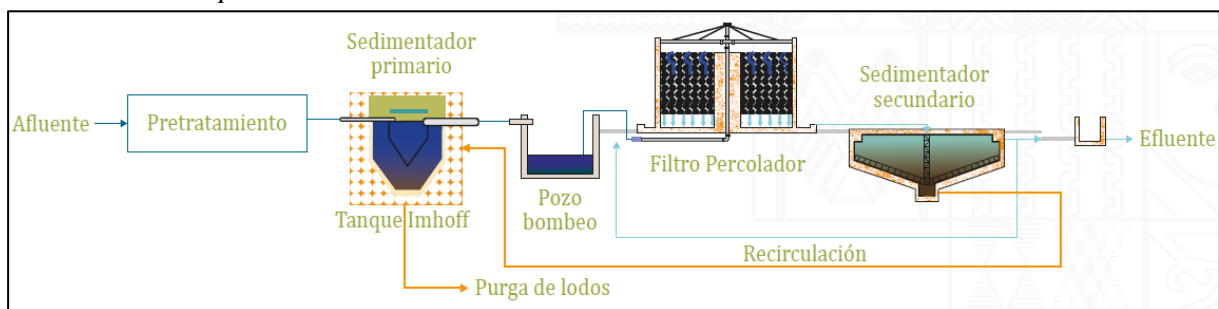
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sencillez operativa.</li> <li>• Consumo energético nulo o muy bajo.</li> <li>• Bajos costos de operación y mantenimiento.</li> <li>• Aprovechamiento de biomasa vegetal generada.</li> <li>• Mínima producción de olores.</li> <li>• Perfecta integración al medio natural.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser una tecnología extensiva, requiere más superficie de terreno.</li> <li>• Los humedales de flujo subsuperficial horizontal pueden presentar un riesgo colmatación del sustrato, si la instalación recibe vertidos anómalos que no queden retenidos en tratamientos previos.</li> <li>• Pueden incrementarse los costos de construcción si el material disponible localmente no es el adecuado para el sustrato filtrante.</li> <li>• Presentan pérdidas de agua por evapotranspiración, incrementando la salinidad de los efluentes tratados, comprometiendo su reúso posterior.</li> <li>• Si no se quema el biogás producido en el tanque Imhoff, se emite metano a la atmósfera.</li> </ul>

*Nota.* Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.458 - 459), CENTA, 2021.

## 5. Filtros percoladores

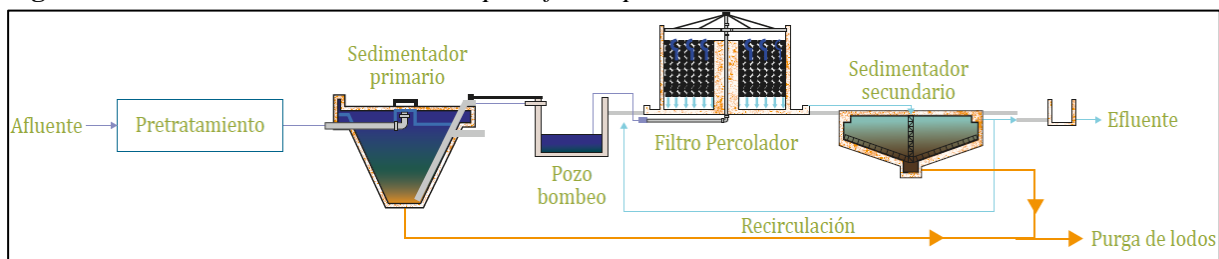
La línea de tratamiento propuesta consta de dos alternativas respecto al tratamiento primario, la primera alternativa cuenta con un tanque Imhoff, utilizado para poblaciones menores a 20 000 hab (Figura 34). La segunda versión consta de un RAFA como tratamiento primario, existiendo una recirculación de lodos generados en el sedimentador primario hacia el RAFA para su estabilización (Figura 35).

**Figura 34.** Línea de tratamiento propuesta para los filtros percoladores operado con un tanque Imhoff como tratamiento primario.



Nota. Tomado de Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA (p.501), CENTA, 2021.

**Figura 35.** Línea de tratamiento clásica para filtros percoladores.



Nota. Tomado de Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA (p.501), CENTA, 2021.

La línea de tratamiento con filtros percoladores al igual que el FAFA, presenta poca flexibilidad a las variaciones del caudal, por lo que no es recomendable su aplicación en sistemas de alcantarillado unitarios. La Tabla 36 presenta la descripción de las características de la línea de tratamiento.

**Tabla 36.** Características del sistema de tratamiento de filtros percoladores.

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + Tratamiento Primario + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	Disminuyen los rendimientos de depuración, conforme la temperatura baja. No es recomendable su uso para temperaturas medias del agua en el mes más frío por debajo de los 15°C
Flexibilidad	Poco flexible en cuanto a las variaciones de caudal a tratar. Es mejor su uso en redes de alcantarillado separados y no combinados. La segunda versión presenta la capacidad de soportar tóxicos eventuales y puntas de caudal y carga
Lodos generados	La primera versión (Figura 34) presenta una generación de 0,37 l/hab/d en una población de 1 000 hab, mientras que la segunda (Figura 35) es de 0,21 l/hab/día



Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la primera alternativa, la complejidad de operación y mantenimiento dependerá del grado de equipamiento electromecánico.</li> <li>• En la segunda versión, los equipos electromecánicos utilizados se limitan al bombeo de la alimentación del RAFA en caso de que este no se encuentre enterrado, por ende, las labores de operación y mantenimiento presentan cierta complejidad, especialmente en la puesta en marcha y en el control de las reacciones vía anaerobia, por lo que se requiere personal familiarizado con este tipo de tecnología.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La liberación de biogás genera malos olores, por lo que es necesaria la quema del mismo.</li> <li>• Los impactos sonoros son nulos o bajos en caso de requerir bombeo.</li> <li>• El impacto visual se puede minimizar si el RAFA se lo construye enterrado para evitar bombeos de alimentación.</li> <li>• Respecto a la primera versión, el impacto visual es alto, dado que los filtros no pueden enterrarse.</li> </ul>
Características del terreno	Fáciles de excavar y con un nivel freático bajo y somero en el caso de la primera versión
Costos de construcción	En pequeñas poblaciones, los costos aumentan en función que disminuye la población servida
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los costos

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.516 - 567), CENTA, 2021.

Se desarrolló las ventajas y desventajas de la línea de tratamiento (Tabla 37) para su correcto análisis y evaluación en el desempeño como tratamiento de las aguas residuales.

**Tabla 37.** *Ventajas y desventajas de los filtros percoladores.*

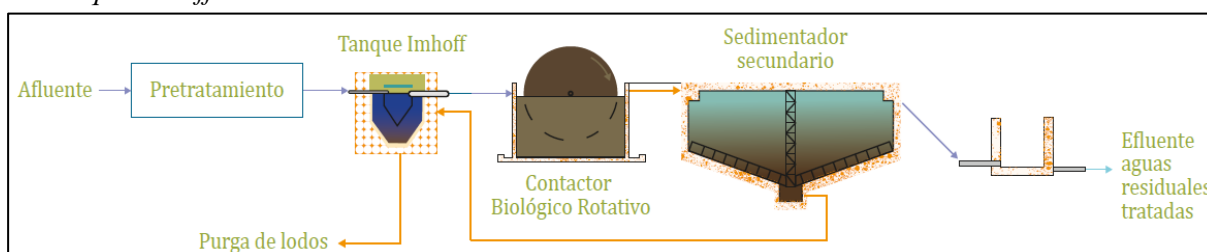
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos requisitos de superficie para construcción.</li> <li>• Costos de operación y mantenimiento inferiores a la aireación extendida.</li> <li>• Operación y mantenimiento más simple en comparación de la aireación extendida.</li> <li>• Buena tolerancia a sobrecargas hidráulicas puntuales en el caso de la primera versión.</li> <li>• Buen comportamiento frente a choques tóxicos y aguas residuales diluidas en la primera versión.</li> <li>• Bajo nivel de ruido.</li> <li>• Robustez de las instalaciones.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En comparación de los sistemas extensivos, suelen requerir un mayor número de equipos electromecánicos, que requieren energía y mantenimiento más complejo y costos.</li> <li>• Generación de lodos sin estabilizar si se emplean sedimentadores primarios.</li> <li>• Menos flexible que los procesos de aireación extendida.</li> <li>• Deficiente comportamiento ante aguas residuales cargadas en el caso de la primera alternativa.</li> <li>• Presentan una mala integración paisajística.</li> <li>• Se emite metano a la atmósfera si no se quema el biogás producido.</li> </ul>

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.568), CENTA, 2021.

## 6. Contactores Biológicos Rotativos (CBR)

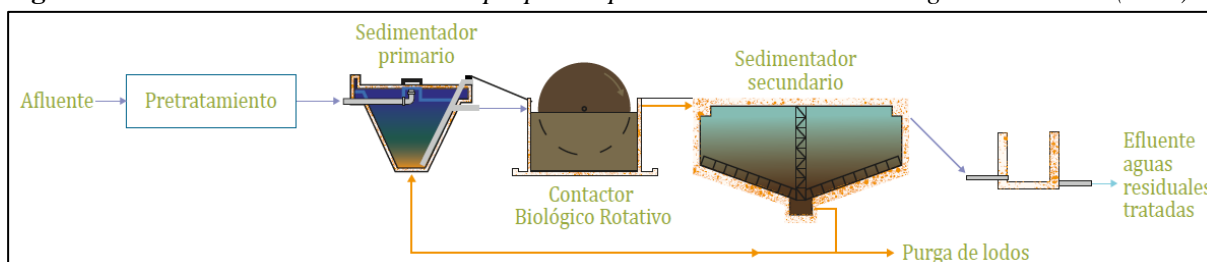
Cuenta con dos alternativas, la primera se usa como tratamiento primario un tanque Imhoff, en donde los lodos que se extraen en el sedimentador secundario se recirculan al tanque para su estabilización, o estos se estabilizan en frío en lagunas anaerobias; esta versión es utilizada en climas fríos y secos (Figura 36).

**Figura 36.** Línea de tratamiento propuesta para los Contactores Biológicos Rotativos (CBR) operando un Tanque Imhoff en cabecera.



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.574), CENTA, 2021.

**Figura 37.** Línea de tratamiento clásica propuesta para los Contactores Biológicos Rotativos (CBR).



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.573), CENTA, 2021.

La segunda versión, consta con un RAFA como tratamiento primario, en los que se recirculan los lodos generados en el sedimentador secundario, para su estabilización (Figura 37). Las dos líneas presentan características las cuales se detallan en la Tabla 38.

**Tabla 38.** Características del sistema de tratamiento de Contactores Biológicos Rotativos (CBR).

Línea de tratamiento: Pretratamiento + Tratamiento Primario + CBR + Sedimentador Secundaria	
Características	Descripción
Clima y Altitud	La temperatura tiene gran influencia en los CBR, disminuyendo su porcentaje de depuración conforme desciende este parámetro
Flexibilidad	Los CBR soportan las variaciones de caudal, siempre y cuando el TRH se mantenga sobre el mínimo necesario

Lodos generados	Presenta una generación de 0,37 l/hab/d en una población de 1 000 hab en la primera versión, mientras que para la segundo es de 0,21 l/hab/d.
Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La complejidad dependerá de los equipos electromecánicos que tenga la línea de tratamiento.</li> <li>• La operación de los CBR no presenta extraña dificultad, sin embargo, el hecho de contar con equipos electromecánicos, presenta su correspondiente mantenimiento preventivo y correctivo, por lo que se necesita personal cualificado y en algunos casos, asistencia técnica de empresas externas</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La liberación de biogás genera malos olores.</li> <li>• En los CBR la generación de malos olores es mínima si las cargas orgánicas se ajustan a las recomendadas y si la instalación se mantiene ligeramente ventilada.</li> <li>• El nivel de ruido es bajo, debido al bajo número de revoluciones a la que giran los rotores.</li> <li>• EL impacto visual es reducido dado el tamaño de las instalaciones y debido a que gran parte de su estructura se encuentra enterrada.</li> </ul>
Características del terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fáciles de excavar.</li> <li>• Con un nivel freático profundo y que permitan que, en la mayor parte del proceso, las aguas a tratar circulen por gravedad.</li> </ul>
Costos de construcción	En pequeñas poblaciones, los costos aumentan en función que disminuye la población servida
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los costos

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.586 - 613), CENTA, 2021.

Al igual que las demás líneas de tratamiento propuestas, también se obtuvieron las ventajas y desventajas que presentan los Contactores Biológicos Rotativos (Tabla 39).

**Tabla 39.** *Ventajas y desventajas de los Contactores Biológicos Rotativos (CBR).*

<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy bajos requisitos de superficie para su construcción en comparación de tecnologías extensivas.</li> <li>• Menores requisitos de superficie que otras tecnologías extensivas.</li> <li>• Costos de operación y mantenimiento inferiores a las Aireaciones Extendidas.</li> <li>• Labores de operación y mantenimiento más simples en comparación con la Aireación Extendida.</li> <li>• Buen comportamiento frente a choques tóxicos y aguas residuales diluidas en el caso de la primera versión.</li> <li>• Facilidad de construcción gradual.</li> <li>• Al ser una infraestructura cerrada, la temperatura se conserva alta, teniendo mejores rendimientos de depuración en temporadas frías.</li> <li>• Muy bajo nivel de ruido.</li> <li>• Escaso impacto visual.</li> </ul>
-----------------	---

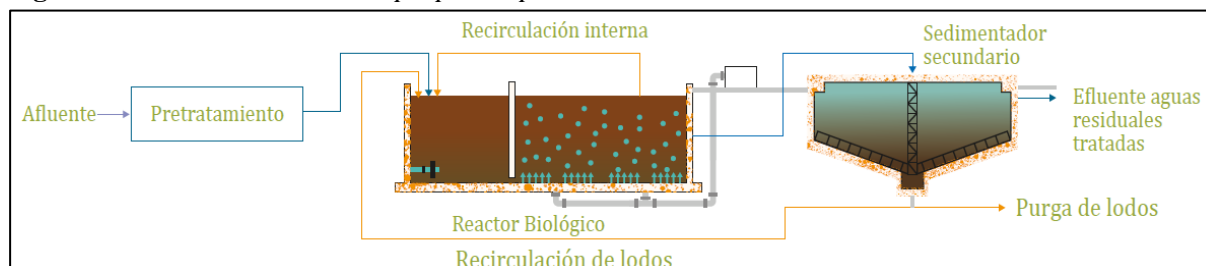
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de acudir a empresas especializadas a la hora de su construcción.</li> <li>• Costos de construcción elevados, especialmente por los rotores.</li> <li>• Instalación mecánica relativamente compleja.</li> <li>• Con respecto a los tratamientos extensivos, necesita un mayor número de equipos electromecánicos, consumiendo más energía y requiriendo una operación más compleja y costosa.</li> <li>• Las averías de los rotores son costosas de reparar.</li> <li>• Deficiente comportamiento frente a aguas residuales cargadas en el caso de la primera versión.</li> <li>• Menos flexible que los procesos de Aireación Extendida y Filtros Percoladores.</li> <li>• Si no se quema el biogás, se emite metano a la atmósfera.</li> </ul>
--------------------	---

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.614 - 615), CENTA, 2021.

## 7. Aireación extendida

La aireación extendida es un tratamiento de aguas residuales mediante vía aerobia. La línea de tratamiento que se propuso consta de un pretratamiento y un sedimentador secundario, actuando como tratamiento primario la aireación extendida (Figura 38).

**Figura 38.** Línea de tratamiento propuesta para la Aireación Extendida.



Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.650), CENTA, 2021.

La línea de tratamiento que utiliza la aireación extendida presenta una alta complejidad en la operación y mantenimiento, por lo que se requeriría de personal cualificado (Tabla 40), convirtiendo el tratamiento en poco idóneo para el sector.

**Tabla 40.** Características de la línea de tratamiento.

<b>Línea de tratamiento: Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Clima y Altitud	La temperatura interviene decisivamente, influyendo en la necesidad de oxígeno y la solubilidad del mismo en el agua. Bajas temperaturas afectan negativamente a procesos de nitrificación

Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el TRH está entre 18 - 36 horas soporta bien las sobrecargas puntuales de caudal y carga, siempre y cuando exista buena aireación.</li> <li>• La sedimentación secundaria es sensible a sobrecargas hidráulicas.</li> <li>• La tecnología presenta un buen comportamiento frente a las variaciones estacionales de los caudales y cargas a tratar.</li> </ul>
Lodos generados	Presenta una generación de 2,73 l/hab/d en una población de 1 000 habitantes.
Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dada la cantidad y variedad de parámetros a controlar, presenta una mayor complejidad de operación, necesitando personal cualificado con gran grado de dedicación.</li> <li>• Los equipos electromecánicos necesitan técnicos cualificados para su mantenimiento.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La generación de malos olores es mínima si se opera y mantiene correctamente.</li> <li>• Presenta un impacto sonoro debido a los equipos de aireación, dicho impacto se puede minimizar recurriendo al aislamiento o insonorización de los equipos que generan ruido.</li> <li>• El impacto visual se ve reducido si se entierra parte de los reactores y los sedimentadores secundarios.</li> </ul>
Características del terreno	Fáciles de excavar, con un nivel freático profundo y que permitan que, en la mayor parte del proceso, las aguas a tratar circulen por gravedad
Costos de construcción	En pequeñas poblaciones, los costos aumentan en función que disminuye la población servida
Costos de operación y mantenimiento	A medida que crece la población servida, disminuyen los costos

Nota. Tomado de *Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA* (p.650 - 669), CENTA, 2021.

De igual manera, se desarrolló sus ventajas y desventajas (Tabla 41), lo cual sirvió de guía para la correcta evaluación de la línea de tratamiento en la matriz de decisión.

**Tabla 41.** *Ventajas y desventajas de la aireación extendida.*

<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy bajos requisitos de superficie para su construcción en comparación de tratamientos extensivos</li> <li>• No requiere tratamiento primario</li> <li>• De poderse controlar los diferentes parámetros, presenta gran versatilidad</li> <li>• Posibilidad de alcanzar altos rendimientos de eliminación de nitrógeno total</li> <li>• Posibilidad de eliminar fósforo por vía biológica</li> <li>• Los lodos generados presentan un elevado grado de estabilización</li> <li>• Buen comportamiento frente a aguas residuales concentradas</li> <li>• Si la operación y mantenimiento es correcta, los niveles de olores son bajos</li> </ul>
-----------------	--

<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevados costos de operación</li> <li>• Requiere atención continua por personal especializado para su operación y mantenimiento</li> <li>• Elevada generación de lodos</li> <li>• La sedimentación secundaria es sensible a sobrecargas hidráulicas</li> <li>• Mal comportamiento frente a aguas residuales diluidas</li> <li>• Si no se toman medidas de amortiguamiento, genera ruidos</li> </ul>
--------------------	--

### 7.2.3. Eficacia de remoción

**Tabla 42.** Porcentajes de eliminación de contaminantes para las diferentes líneas de tratamiento.

Línea de tratamiento	SS (%)	DBO5 (%)	DQO (%)	NT (%)	PT (%)	Coliformes fecales (u.log.)
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	70 - 80	75 - 85	70 - 80	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	70 - 80	80 - 90	75 - 85	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas	70 - 80	75 - 85	70 - 80	20 - 30	10 - 15	2 - 3
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario	85 - 95	85 - 90	80 - 85	80 - 85	20 - 30	1

La caracterización del agua residual del barrio Guaguayme Alto, presentó resultados en los que parámetros de sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub> y aceites y grasas, exceden los límites permisibles según la normativa.

**Tabla 43.** *Tabla resumen de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Parámetro	Unidad	Límite Máximo permisible
Sólidos suspendidos	mg/l	80
DBO <sub>5</sub>	mg/l	50
DQO	mg/l	100
NT	mg/l	50
PT	mg/l	10
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2 000

En lo referente a las exigencias del efluente tratado, las líneas de tratamiento presentan porcentajes altos de depuración en cuanto a los parámetros que exceden los límites permisibles, exhibiendo un grado de descontaminación (Tabla 44) que permite ubicar las concentraciones dentro de lo exigido en cuanto a la calidad (Tabla 43). Por tal motivo, todos los tratamientos cumplieron con el criterio de la eficacia de remoción.

**Tabla 44.** *Concentraciones reducidas acorde al porcentaje de remoción, en mg/l.*

	Concentraciones del agua residual					
	SS	DBO <sub>5</sub>	DQO	NT	PT	Coliformes fecales (u.log.)
<b>Línea de tratamiento</b>	<b>100,24</b>	<b>69,88</b>	<b>85,34</b>	<b>24,94</b>	<b>4</b>	<b>7</b>
	Concentraciones reducidas					
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	30,07	17,47	25,60	22,45	3,6	5
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	30,07	13,97	21,33	22,45	3,6	5
Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas	30,07	17,47	25,60	19,95	3,6	5
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	10,02	6,98	17,06	19,95	3,2	6
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	10,02	6,98	17,06	19,95	3,2	6
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	15,04	10,48	17,06	19,95	3,2	6

Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	15,04	10,48	17,06	19,95	3,6	6
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	15,04	10,48	17,06	19,95	3,2	6
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	15,04	10,48	17,06	19,95	3,6	6
Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario	15,04	10,48	17,06	4,99	3,2	6

Para obtener la obtención de las concentraciones reducidas, se consideró los valores críticos (mínimos) de los intervalos de porcentajes de remoción de contaminantes de las diferentes líneas de tratamientos expuestos en la Tabla 42. Especialmente para el caso de los sólidos suspendidos y DBO5, todas las líneas de tratamiento presentaron remociones llegando a concentraciones dentro de los límites permisibles, en el caso de los coliformes fecales se optó por considerar la concentración esperada para pequeñas comunidades, que de igual manera todas las líneas de tratamiento presentaron porcentajes de remoción idóneas, haciendo innecesario la implementación de un sistema de desinfección. Para el resto de parámetros no hubo problema ya que sus concentraciones estaban debajo de los límites permisibles.

Para el entendimiento del análisis de cada línea de tratamiento, se presentan las abreviaturas de cada sistema (Tabla 45).

**Tabla 45.** *Abreviaturas de las líneas de tratamiento.*

<b>Línea de tratamiento</b>	<b>Abreviatura</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	<b>Línea 1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	<b>Línea 2</b>
Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas	<b>Línea 3</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	<b>Línea 4.1</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	<b>Línea 4.2</b>
Pretratamiento + Tanque Imhoff+ Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	<b>Línea 5.1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria	<b>Línea 5.2</b>



Pretratamiento + Tanque Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	<b>Línea 6.1</b>
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria	<b>Línea 6.2</b>
Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario	<b>Línea 7</b>

**Tabla 46.** Comportamiento de las líneas de tratamiento en función del nivel de concentración de materia orgánica.

Tipo de agua residual	Línea de tratamiento		
	Muy adecuada	Adecuada	Menos adecuada
Contaminación fuerte (500-700 mg/l de DBO5)	Línea 2 / Línea 7 / Línea 5,2 / Línea 6,2	Línea 4,2 / Línea 1 / Línea 5,1 / Línea 6,1	Línea 3 / Línea 4,1
Contaminación mediana (300-500 mg/l de DBO5)	<b>Todas las líneas de tratamiento son adecuadas</b>		
Contaminación débil (<150 mg/l de DBO5)	Línea 3 / Línea 4,1 / Línea 4,2 / Línea 5,1 / Línea 6,1	Línea 1	Línea 7 / Línea 2 / Línea 5,2 / Línea 6,2

En la Tabla 46 se presenta el comportamiento de las líneas de tratamiento frente a la concentración de materia orgánica en las aguas residuales. Tomando en cuenta que la concentración de DBO5 del barrio Guaguayme Alto, en de la tabla se ubica dentro de contaminación débil, siendo los tratamientos extensivos los más adecuados para tratar este tipo de contaminación, que, además, es un parámetro que excede los límites permisibles dentro de la normativa.

**Tabla 47.** Tolerancia de las líneas de tratamiento a las variaciones de caudal y carga

	Respuesta a variaciones de caudal	Respuesta a variaciones de carga
Muy buena	Línea 3 / Línea 4,1	Línea 7 / Línea 3 / Línea 2 / Línea 5,2 / Línea 6,2
Buena	Línea 4,2 / Línea 7	Línea 1 / Línea 5,1 / Línea 6,1
Regular	Línea 5,1 / Línea 1 / Línea 6,1 / Línea 2 / Línea 5,2 / Línea 6,2	Línea 4,1 / Línea 4,2

Existen líneas de tratamiento que toleran de mejor y menor manera las variaciones de caudal y carga tal y como se muestra en la Tabla 47, una baja tolerancia puede repercutir en costos, debido a la implementación de más infraestructuras para atenuar estas variaciones.

#### 7.2.4. Terrenos disponibles

El terreno seleccionado para el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, cuenta con un espacio aproximado de 670 m<sup>2</sup>. CENTA (2021) presenta estimaciones de valores por habitante de superficie requerida por cada línea de tratamiento, se multiplicó cada valor presentado por el número de habitantes proyectados del barrio Guaguayme Alto, obteniendo un valor de referencia de la superficie total requerida (Tabla 48) para la selección del sistema de tratamiento.

**Tabla 48.** Superficie requerida (m<sup>2</sup>) para poblaciones de hasta 1 000 habitantes.

Línea de tratamiento	Partidas	m <sup>2</sup>	Línea de tratamiento	Partidas	m <sup>2</sup>
Línea 1	Línea de aguas	655,5	Línea 5.1 (soporte áridos)	Línea de aguas	207
	Línea de lodos	65,55		Línea de lodos	58,65
	<b>Superficie total</b>	<b>721,05</b>		<b>Superficie total</b>	<b>265,65</b>
Línea 2	Línea de aguas	648,6	Línea 5.2 (soporte plástico)	Línea de aguas	144,9
	Línea de lodos	31,05		Línea de lodos	37,95
	<b>Superficie total</b>	<b>679,65</b>		<b>Superficie total</b>	<b>182,85</b>
Línea 3	Línea de aguas	593,4	Línea 5.2 (soporte áridos)	Línea de aguas	151,8
	Línea de lodos	48,3		Línea de lodos	37,95
	<b>Superficie total</b>	<b>641,7</b>		<b>Superficie total</b>	<b>189,75</b>
Línea 4.1	Línea de aguas	503,7	Línea 6.1	Línea de aguas	162,15
	Línea de lodos	48,3		Línea de lodos	58,65
	<b>Superficie total</b>	<b>552</b>		<b>Superficie total</b>	<b>220,8</b>
Línea 4.2	Línea de aguas	310,5	Línea 6.2	Línea de aguas	169,05
	Línea de lodos	48,3		Línea de lodos	37,95
	<b>Superficie total</b>	<b>358,8</b>		<b>Superficie total</b>	<b>207</b>
Línea 5.1 (soporte plástico)	Línea de aguas	172,5	Línea 7	Línea de aguas	172,5
	Línea de lodos	58,65		Línea de lodos	79,35
	<b>Superficie total</b>	<b>231,15</b>		<b>Superficie total</b>	<b>251,85</b>

En la Tabla 46 se presenta una estimación de la superficie requerida para cada tratamiento, considerando que los valores están expresados en m<sup>2</sup>/hab. Las líneas 1, 2 y 3, requieren una mayor cantidad de superficie en comparación con los demás tratamientos, sobrepasando incluso en las dos primeras líneas el terreno disponible.

En lo que respecta a las características del terreno, según el GAD Parroquial de Guadalupe (2019), gran parte del territorio de Guadalupe presenta niveles freáticos altos, dada la cercanía de los poblados a las riberas del río, abarcando un 88% de dichas poblaciones, sin embargo, Guaguayme Alto es un barrio que no presenta este tipo de característica, dada la lejanía al río, a una distancia de 1 473 m aguas abajo siguiendo el curso de la quebrada.

Guaguayme alto se encuentra en un tramo que presenta bajo riesgo de inundación frente a las altas precipitaciones durante el año.

En un mayor porcentaje, presenta alfisoles, entisoles e inceptisoles, tipos de suelos que no presentan problema a la hora del movimiento de tierra para algunos tratamientos, ni representan dificultad a la hora de excavar. El terreno presenta una pendiente del 7% lo cual favorece a algunas líneas de tratamiento, evitando el bombeo.

### 7.2.5. Características medioambientales

En función de los malos olores generados (Tabla 49), las líneas de tratamiento que presentan etapas anaerobias, cuentan con un mayor riesgo de producir olores desagradables en caso de no operar correctamente. Se agrupó los diferentes tratamientos según el riesgo de generar malos olores.

**Tabla 49.** *Riesgo de emisión de malos olores de las líneas de tratamiento.*

Riesgo de emisión de malos olores	Línea de tratamiento
Alto	Línea 1 / Línea 2 / Línea 3 / Línea 6,2 / Línea 5,2
Medio	Línea 5,1 / Línea 6,1 / Línea 4,1 / Línea 4,2
Bajo	Línea 7

Al igual que los malos olores generados, se agrupó (Tabla 50) a las líneas de tratamiento según el riesgo de generar ruidos, dado que hay tratamientos que necesitan equipos electromecánicos y otros que no o en un menor grado.

**Tabla 50.** *Riesgo de emisión de ruidos en las diferentes líneas de tratamiento.*

Riesgo de emisión de ruidos	Línea de tratamiento
Alto	Línea 7
Medio	Línea 5,1 / Línea 6,2 / Línea 5,2 / Línea 6,1
Bajo	Línea 1 / Línea 2 / Línea 3 / Línea 4,1 / Línea 4,2

Por último, las diferentes líneas de tratamiento generan un impacto visual positivo o negativo (Tabla 51), este último puede verse minimizado para los diferentes tratamientos en función de la posibilidad de disponerse enterrados o semienterrados. Se agrupó los diferentes tratamientos según el grado de poder integrarse al entorno.

**Tabla 51.** *Grado de integración ambiental de las líneas de tratamiento.*

Grado de integración paisajística	Línea de tratamiento
Buena	Línea 3 / Línea 4,1 / Línea 4,2
Moderada	Línea 1 / Línea 2 / Línea 6,1 / Línea 6,2 / Línea 7
Complicada	Línea 5,1 / Línea 5,2

### 7.2.6. Generación de lodos

**Tabla 52.** *Generación de lodos para las diferentes líneas de tratamiento.*

Generación de lodos (m <sup>3</sup> /año) con 1 000 habitantes									
Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4,1	Línea 4,2	Línea 5,1	Línea 5,2	Línea 6,1	Línea 6,2	Línea 7
25	10	9	18	18	23	13	23	13	33

La generación de lodos en el tratamiento de aguas residuales (Tabla 52), es un aspecto que debe considerarse, en función de la cantidad y el grado de estabilidad resultante de las diferentes líneas de tratamiento, debido a que es un aspecto que puede repercutir en los costos. Según la cantidad de lodos generados por cada línea de tratamiento, obtenida de la metodología guía, siendo el de aireación extendida el tratamiento que genera más cantidad de lodo.

Como se ha mencionado, los lodos en exceso generados, se les debe dar tratamiento con la finalidad de reducir su volumen mediante espesamiento, disminuir el conflicto de putrefacción mediante la estabilización y con la deshidratación disminuir los riesgos sanitarios en su manejo y transporte (CENTA, 2021)

Las diferentes líneas de tratamiento propuestas requieren tratamientos de lodos acorde a la Tabla 53.

**Tabla 53.** *Tratamiento de lodos para las líneas de tratamiento propuestas.*

Líneas de tratamiento	Espesamiento	Estabilización	Deshidratación
Línea 1	NO	NO	SÍ
Línea 2	NO	NO	SÍ
Línea 3	NO	NO	SÍ
Línea 4.1	NO	NO	SÍ
Línea 4.2	NO	NO	SÍ
Línea 5.1	NO	NO	SÍ
Línea 5.2	NO	NO	SÍ
Línea 6.1	NO	NO	SÍ
Línea 6.2	NO	NO	SÍ
Línea 7	NO	NO	SÍ

Al ser líneas de tratamiento aplicables en comunidades pequeñas, las propuestas generan lodos ya estabilizados al contar con tratamientos anaerobios en cada una de ellas, por tanto, el único tratamiento aplicable a este residuo es su deshidratación. En el caso de la aireación

extendida, según la guía, se debe aplicar tratamiento de espesamiento a los lodos en poblaciones mayores a 20 000 habitantes, lo cual no es el caso en este proyecto.

### 7.2.7. Operación y mantenimiento

**Tabla 54.** Clasificación de las diferentes líneas de tratamiento en función de la complejidad de operación y mantenimiento.

Complejidad	Líneas de tratamiento
Muy baja	Línea 1 / Línea 3 / Línea 4,1
Baja	Línea 4,2
Media	Línea 2 / Línea 5,1 / Línea 5,2 / Línea 6,1 / Línea 6,2
Alta	Línea 7

Se utilizó la agrupación que presenta la guía CENTA (2021), en la cual se clasifica a las líneas de tratamiento según la complejidad de su operación y mantenimiento (Tabla 52).

### 7.2.8. Costos de construcción, operación y mantenimiento

CENTA (2021) presenta tablas que contienen los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento de cada una de las líneas de tratamiento propuestas. Estos costos se presentan por habitante por año y sirvieron como referencia para la selección de la línea de tratamiento adecuada. Para obtener un valor neto, se multiplicaron estos costos por el número de habitantes proyectados en el barrio Guaguayme Alto y se muestran en las Tablas 55 y 56. Según la misma bibliografía consultada, se otorgó mayor importancia de considerar los costos a largo plazo, especialmente en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, para garantizar una inversión sostenible y rentable en el tiempo.

Los costos de construcción (Tabla 55) fueron obtenidos en base a dimensionamientos básicos y elaborados de manera genérica según CENTA (2021), pero constituyen una herramienta útil como guía para la selección de un sistema de tratamiento. Las líneas 3 y 4,2 que corresponden a sistemas de tratamiento de lagunas anaerobias y humedal artificial de flujo subsuperficial vertical respectivamente, presentan los valores más bajos en cuanto a su implementación, mientras que la línea 7 que corresponde al tratamiento de aireación extendida resulta ser el sistema más costoso en cuanto a su construcción.

**Tabla 55.** Costos de construcción para los tratamientos hasta 1 000 habitantes.

Líneas de tratamiento	Unidades	Costos de construcción (USD)
Línea 1	Línea de aguas	64 611,6
	Línea de lodos	18 222,9
	<b>Costo total de construcción</b>	<b>82 834,5</b>

Línea 2	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	53 116,2 9 539,25 <b>67 171,5</b>
Línea 3	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	35 393,55 14 055,3 <b>49 448,85</b>
Línea 4.1	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	39 309,3 16 114,95 <b>55 424,25</b>
Línea 4.2	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	34 337,85 16 114,95 <b>50 452,8</b>
Línea 5.1 (soporte plástico)	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	83 386,5 16 867,05 <b>100 205,25</b>
Línea 5.1 (soporte áridos)	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	86 098,2 16 867,05 <b>102 965,25</b>
Línea 5.2 (soporte plástico)	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	75 254,85 11 095,2 <b>86 350,05</b>
Línea 5.2 (soporte áridos)	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	79 218,9 11 095,2 <b>90 314,1</b>
Línea 6.1	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	79 218,9 16 867,05 <b>96 172,2</b>
Línea 6.2	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	73 347 11 095,2 <b>84 442,2</b>
Línea 7	Línea de aguas Línea de lodos <b>Costo total de construcción</b>	101 461,05 21 538,35 <b>122 999,4</b>

En cuanto a los costos de Operación y Mantenimiento (Tabla 56), las primeras líneas de tratamiento, presentan costos bajos de operación en relación a las demás, siendo esto un aspecto favorable a las condiciones del barrio Guaguayme Alto. Mientras que el tratamiento de aireación extendida es el más costoso en cuanto a su operación y mantenimiento a diferencia de las demás líneas de tratamiento propuestas.

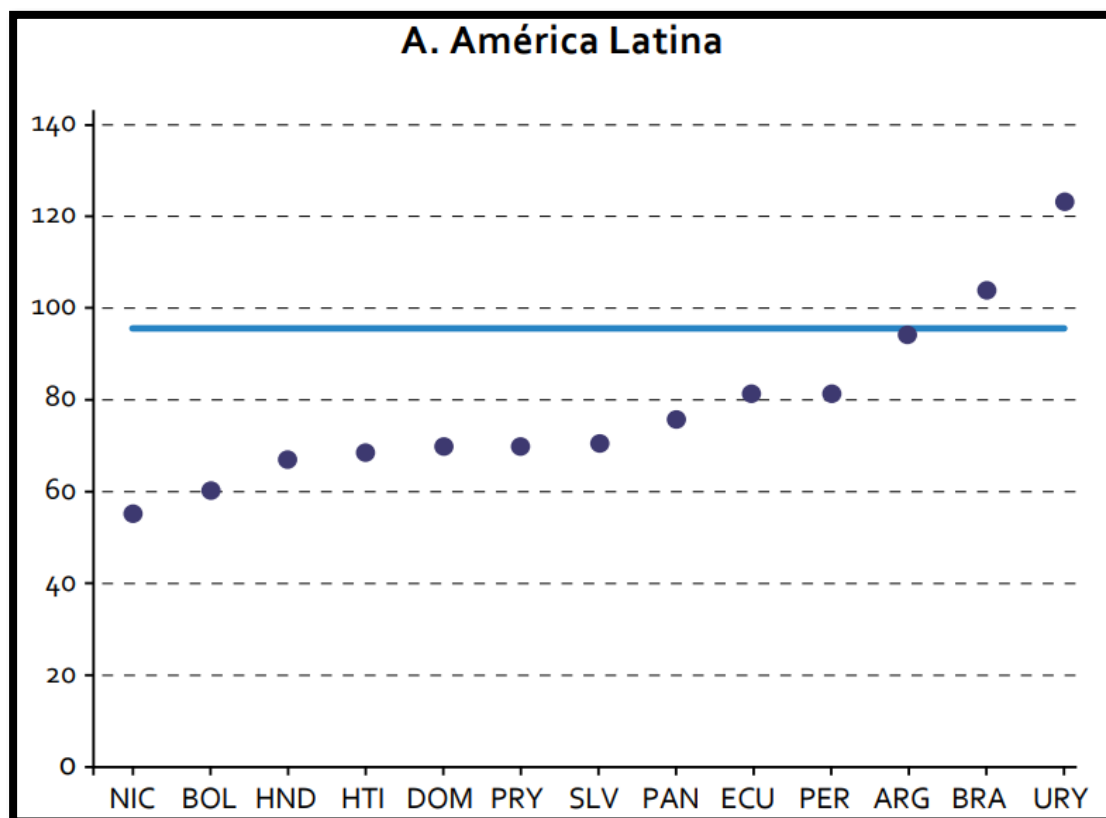
**Tabla 56.** Costos de operación y mantenimiento de las distintas líneas de tratamiento hasta 1 000 habitantes.

Líneas de tratamiento	Unidades	Costos de construcción (USD)
Línea 1	<b>Costo total de OyM</b>	<b>3 663,9</b>
Línea 2	<b>Costo total de OyM</b>	<b>4 398,75</b>

Línea 3	<b>Costo total de OyM</b>	<b>3 636,3</b>
Línea 4.1	<b>Costo total de OyM</b>	<b>3 543,15</b>
Línea 4.2	<b>Costo total de OyM</b>	<b>3 519</b>
Línea 5.1 (soporte plástico)	<b>Costo total de OyM</b>	<b>5 212,95</b>
Línea 5.1 (soporte áridos)	<b>Costo total de OyM</b>	<b>5 281,95</b>
Línea 5.2 (soporte plástico)	<b>Costo total de OyM</b>	<b>5 064,6</b>
Línea 5.2 (soporte áridos)	<b>Costo total de OyM</b>	<b>5 126,7</b>
Línea 6.1	<b>Costo total de OyM</b>	<b>6 082,35</b>
Línea 6.2	<b>Costo total de OyM</b>	<b>5 333,7</b>
Línea 7	<b>Costo total de OyM</b>	<b>7 320,9</b>

Es importante destacar que las tablas fueron elaboradas con base en los precios de Bolivia. No obstante, de acuerdo con el Programa de Comparación Internacional (PCI), una iniciativa estadística que recopila información sobre precios comparables en las economías de los países participantes, Bolivia y Ecuador presentan una similitud en cuanto al índice de nivel de precios (Figura 39). Este índice se encuentra por debajo del promedio anual mundial (CEPAL, 2017)

**Figura 39.** Índice de nivel de precios del PIB (Mundo = 100).



Desde un punto de vista económico, Bolivia y Ecuador se enfrentan a similares desafíos en términos de precios. Ambas economías tienen índices de nivel de precios por debajo del promedio mundial, lo que sugiere una presión inflacionaria moderada y un potencial de crecimiento económico limitado. En la sección de precios en el PCI, se consideró un apartado de construcción que cuenta con tres encabezados: construcciones residenciales, construcciones no residenciales y obras de ingeniería civil, en donde se incluyen materiales, alquiler de equipos y mano de obra (CEPAL, 2017)

### **7.2.9. Criterios limitantes**

Luego de haber establecido los criterios de selección, se consideró como criterios limitantes, la **eficiencia de remoción** y la **operación y mantenimiento**, siendo estos limitantes para algunas alternativas de tratamiento.

- **Eficiencia de remoción**

Si bien, todos los tratamientos cumplen con la calidad de vertido, algunos no son tolerantes a las variaciones de caudal y carga. En función de las características descritas de cada tratamiento, plasmadas en sus respectivas tablas, la flexibilidad de operación, limita el uso de algunas líneas de tratamiento en la zona de estudio, debido al sistema de alcantarillado unitario con el que cuenta el barrio Guaguayme Alto.

Las líneas de tratamiento fueron descartadas para la selección del sistema adecuado, ya que, para las mismas es recomendable su operación en sistemas de alcantarillados que recolectan las aguas residuales domésticas y las aguas lluvia por separado, debido a las variaciones de caudal. En este sentido, las líneas de tratamiento descartadas fueron:

- Pretratamiento + Tanque Imhoff + FAFA + Lagunas Facultativas
- Pretratamiento + Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria

- **Operación y mantenimiento**

Para pequeñas poblaciones, la operación y mantenimiento de una PTAR resulta ser un limitante, debido a la nula o baja disponibilidad de recursos y personal cualificado, debido a ello es recomendable utilizar tecnologías poco complejas y de sencillo mantenimiento.

La complejidad ya descrita para la línea de tratamiento propuesta para la aireación extendida, resulta ser mayor en comparación a los otros tratamientos, dado que hay que



controlar parámetros como el nivel de oxígeno, concentración de biomasa en los reactores biológicos, porcentaje y corriente de circulación de los lodos generados, desarrollo de microorganismos indeseables, etc, y considerando que, para el mantenimiento de los equipos, es necesario de técnicos cualificados. Debido a esto, se descartó la siguiente línea de tratamiento:

- Pretratamiento + Aireación Extendida + Sedimentador Secundario

### 7.2.10. Matrices de decisión

**Tabla 57.** *Tabla resumen de la selección del tratamiento adecuado.*

Tabla resumen comparativa entre las diferentes líneas de tratamiento							
Criterios de selección	Línea 2	Línea 3	Línea 4.1	Línea 4.2	Línea 5.1	Línea 6.1	Línea 6.2
<b>A. EFICACIA DE REMOCIÓN</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>9</b>
A.1 Calidad exigida a los efluentes tratados	1	5	5	5	5	5	1
A.2 Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5	5	5	5	5	5	5
A.3 Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3	5	3	3	3	3	3
<b>B. TERRENOS DISPONIBLES</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
B.1 Superficie disponible	1	3	5	5	5	5	5
B.2 Características constructivas de los terrenos	5	5	5	5	5	5	5
<b>C. CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
C.1 Temperatura	5	5	5	5	3	5	5
C.2 Pluviometría	1	3	3	3	5	5	5
<b>D. IMPACTOS AMBIENTALES</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>10</b>
D.1 Producción de malos olores	3	1	3	3	3	3	1
D.2 Generación de gases de efecto invernadero	3	3	3	3	3	3	3
D.3 Generación de ruidos	5	5	5	5	3	3	3
D.4 Impacto visual	3	5	5	5	1	3	3
<b>E. GENERACIÓN DE LODOS</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
E.1 Cantidad de lodos generados	5	5	3	3	3	3	3
E.2 Estabilidad de lodos generados	5	5	5	5	5	5	5
<b>F. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
F.1 Requerimiento de personal cualificado	1	3	5	5	3	3	3
F.2 Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3	3	3	3	3	1	1
<b>G. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
G.1 Costos de construcción	5	5	5	5	3	3	3
G.2 Costos de operación y mantenimiento	3	5	5	5	3	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>83</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>69</b>	<b>73</b>	<b>67</b>

Una vez llevado a cabo el proceso de selección, se obtuvo una valoración global de cada tratamiento en función de los criterios de selección (Tabla 57), en donde se le asignó un mayor valor de ponderación a los impactos ambientales que pueda generar la tecnología, seguido de las características del lugar, los costos tanto de construcción como de operación y mantenimiento y la complejidad del mismo. Las matrices de decisión para cada línea de tratamiento se encuentran en el Anexo 7.

Las líneas de tratamiento de tratamiento que obtuvieron una mayor calificación son las que constan de un tanque Imhoff como tratamiento primario y como tratamiento secundario un humedal artificial de flujo subsuperficial tanto horizontal como vertical, siendo su puntuación igual para las dos líneas.

Para el diseño de la línea de tratamiento, se consideró al humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, debido a que, dentro de los inconvenientes descritos, el de flujo horizontal presenta riesgos de colmatación del sustrato por los sólidos suspendidos o grasas que no puedan quedar retenidos en procesos previos, considerando que estos dos parámetros son los que exceden los límites permisibles. Además, el de flujo horizontal requiere una mayor cantidad de terreno para su implementación, el humedal de flujo vertical requiere menor tiempo de retención hidráulica, ofreciendo una mayor velocidad de procesamiento de las aguas residuales y resulta menos costoso en cuanto a la construcción y mantenimiento.

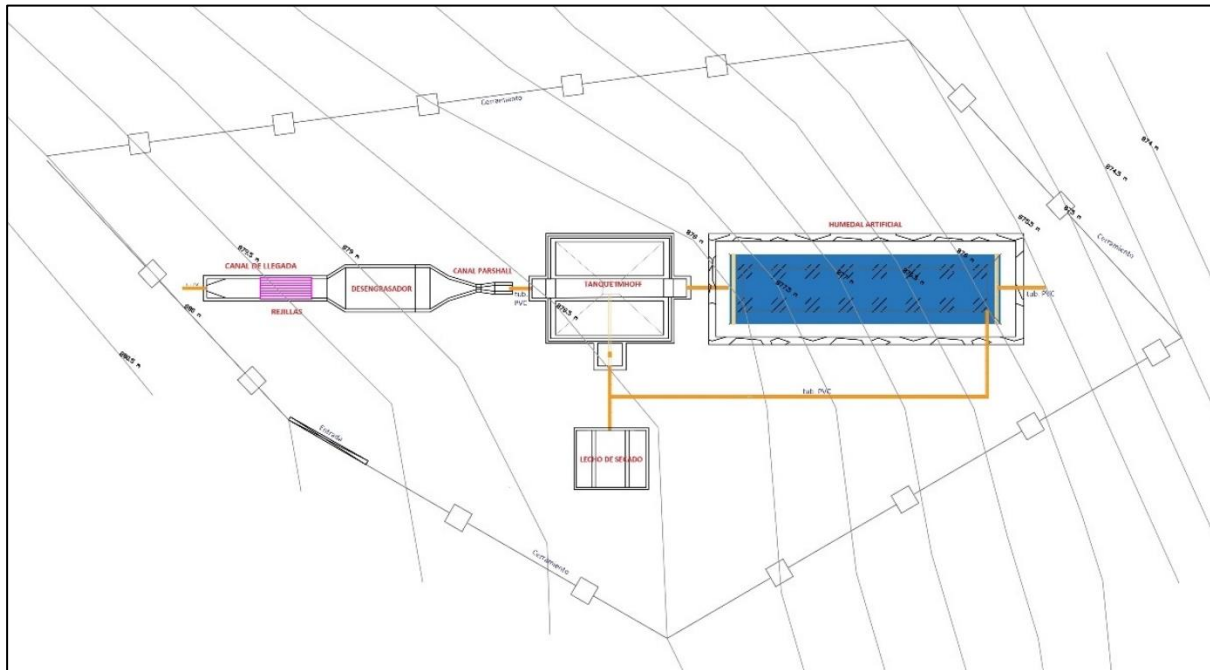
Se consideró una geomembrana de polietileno de alta densidad en la construcción del humedal para proporcionar una barrera de contención para evitar la filtración o contaminación de las aguas subterráneas, permitiendo también mantener la integridad del sistema y controlar la calidad del agua en el humedal. El tamaño de la geomembrana debe extenderse más allá de los bordes del humedal para permitir la fijación a los bordes.

### **7.3. Diseño del tratamiento adecuado.**

De acuerdo al tratamiento idóneo para el sector (Figura 40), la línea cuenta con un canal de llegada que cumple la función de recibir y transportar las aguas residuales a los tratamientos del sistema. Un proceso de rejillas para retener objetos de gran tamaño y evitar que lleguen al proceso de tratamiento, ayudando también a la obstrucción de tuberías y tratamientos previos. Un desengrasador para la eliminación y separación de líquidos y grasas que flotan en la superficie del agua residual antes de su tratamiento. Cuenta con un canal Parshall antes del tratamiento primario para la medición del caudal del agua residual para que estas puedan ser procesadas adecuadamente. Como tratamiento primario un tanque Imhoff para la retención de

sólidos y sedimentos y reducción de contenido de materia orgánica. Un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical como tratamiento secundario, debido a que es una buena opción para tratar aguas residuales en pequeñas comunidades y finalmente un lecho de secado para acelerar el proceso de evaporación y secado de los lodos generados en el tratamiento a través de la exposición de la luz solar y flujo de aire.

**Figura 40.** Línea de tratamiento propuesta para el diseño.



Dado que los límites permisibles son cumplidos en el tratamiento de aguas residuales, el sistema propuesto no requiere necesariamente un proceso de desinfección adicional para la eliminación o inactivación de patógenos, A esto se añade también que agregar un proceso extra requeriría una mayor inversión en términos de espacio y costos de mantenimiento.

### 7.3.1. Pretratamiento

Dentro del sistema propuesto, el proceso de pretratamiento cuenta con varias operaciones como: el canal de llegada, cribado, desengrasado y canal tipo Parshall. Los planos del pretratamiento se presentan en el Anexo 8, Figura 49.

- **Canal de llegada**

Las dimensiones del caudal de llegada se exponen en la Tabla 58. Es común ubicar las rejas en el canal de llegada, por tal motivo el ancho del canal fue de 30 cm y la altura de 31 cm. Debido al pequeño caudal del agua residual, se consideró un largo del canal de 1 m, con la finalidad de ubicar las rejas.

### **Coefficiente de Manning**

$$K = \frac{0,00084 \text{ m}^3/\text{s} * 0,016}{0,3\text{m}^{8/3} * 5^{1/2}}$$

$$K = \frac{0,00084 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,016}{0,3\text{m}^{8/3} * 5^{1/2}}$$

$$K = 0,0015$$

### **Velocidad del agua en el canal**

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0,016} * 0,0039 \text{ m}^{1/2} * 5^{1/2}$$

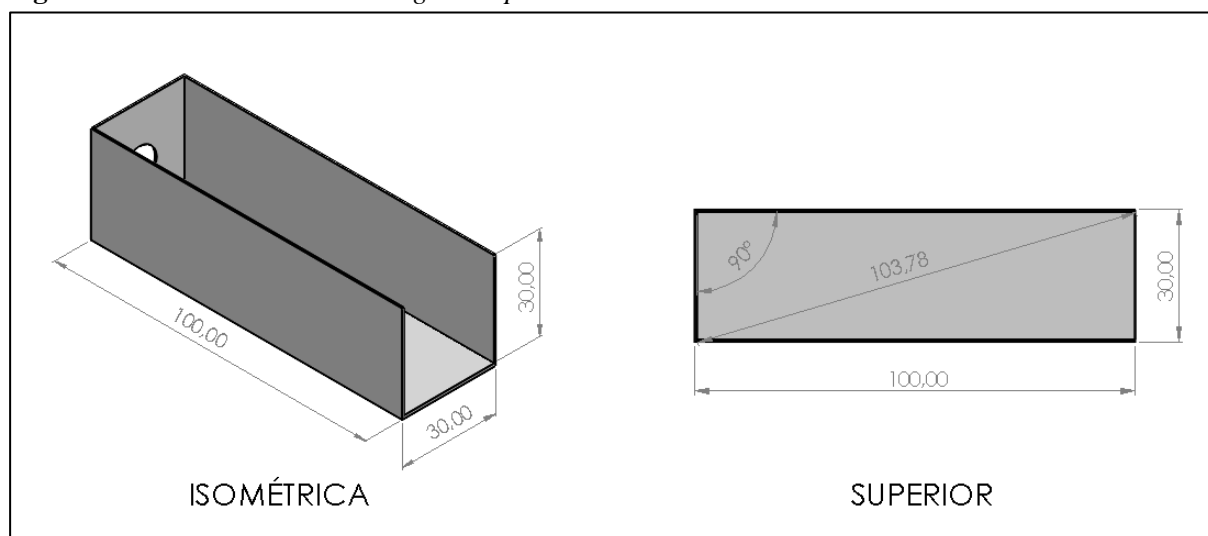
$$V = 0,34 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua en el canal no sobrepasa los 10 m/s que es la velocidad máxima que puede soportar un canal de hormigón.

**Tabla 58.** *Valores de diseño para el canal de llegada de la planta de tratamiento.*

<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Origen</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho	Calculado	30	cm
Altura total	Calculado	31	cm
Largo	Calculado	1	m
Coefficiente de Manning	Calculado	0,0015	-
Velocidad	Calculado	0,34	m/s
Pendiente	Asumida	5	%

**Figura 41.** Diseño del canal de llegada expresado en centímetros.



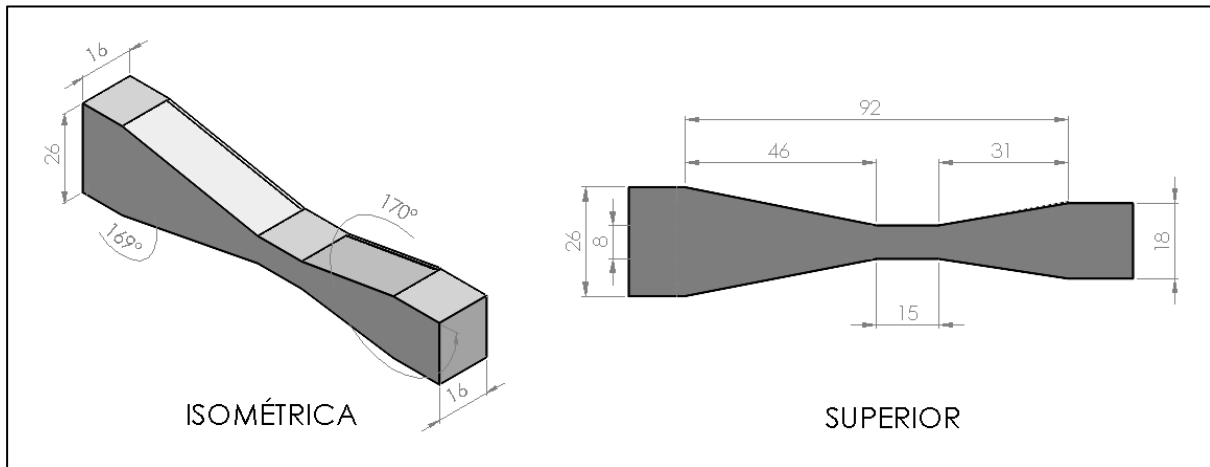
- **Medidor de caudal tipo Parshall**

Las dimensiones del canal tipo Parshall (Tabla 59) se las obtuvieron a partir de las recomendaciones en función de los caudales.

**Tabla 59.** Valores de diseño para el canal Parshall de la planta de tratamiento.

Parámetro de diseño	Origen	Valor	Unidad
Ancho de garganta	Tabla 78	8	cm
Longitud paredes sección convergente (A)	Tabla 80	47	cm
Longitud sección convergente (B)	Tabla 80	46	cm
Ancho de salida (C)	Tabla 80	18	cm
Ancho entrada sección convergente (D)	Tabla 80	26	cm
Profundidad total (E)	Tabla 80	38	cm
Longitud de la garganta (F)	Tabla 80	15	cm
Longitud de la sección divergente (G)	Tabla 80	31	cm
Longitud paredes sección divergente (K')	Tabla 80	3	cm
Diferencia de elevación entre salida y cresta (N)	Tabla 80	6	cm

**Figura 42.** Diseño del medidor del caudal tipo Parshall en centímetros.



### 7.3.1.1. Cribado

Área libre al paso del agua

$$Al = \frac{Q}{V_b}$$

$$Al = \frac{0,00084 \frac{m^3}{s}}{0,3 \frac{m}{s}}$$

$$Al = 0,0028 m^2$$

Longitud de las barras

$$L_b = \frac{Hs}{\sin \alpha}$$

$$L_b = \frac{0,3 m}{\sin 45}$$

$$L_b = 0,42 m$$

Número de barras

$$n = \left( \frac{b}{e + S} \right) - 1$$

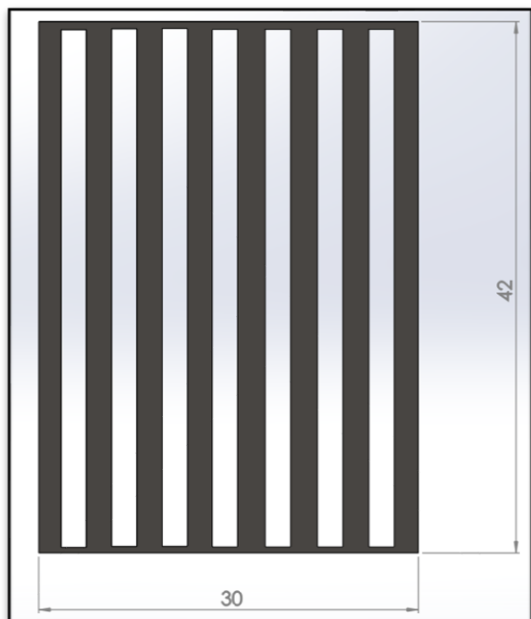
$$n = \left( \frac{0,3 m}{0,025 m + 0,015 m} \right) - 1$$

$$n = 7$$

**Tabla 60.** Valores de diseño para el cribado de la planta de tratamiento.

Parámetro de diseño	Origen	Valor	Unidad
Área libre al paso del agua	Calculado	0,28	cm <sup>2</sup>
Longitud de las barras	Calculado	42	cm
Número de barras	Calculado	7	-
Ancho	Calculado	30	cm

**Figura 43.** Diseño del cribado en centímetros.



- **Desengrasador**

Para el dimensionamiento del desengrasador se realizó en función del caudal de diseño y del caudal máximo de las aguas residuales, donde se consideraron los resultados en función del máximo caudal.

**Área del desengrasador**

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

$$A = \frac{0,0026 \frac{m^3}{s}}{0,004 \frac{m^3}{s * m^2}}$$

$$A = 0,64 m^2$$

**Ancho del desengrasador**

$$B = \left( \frac{A}{1,5} \right)^{0.5}$$

$$B = \left( \frac{0,64 \text{ m}^2}{1,5} \right)^{0.5}$$

$$B = 0,65 \text{ m}$$

**Longitud del desengrasador**

$$L = \text{Relación } \frac{L}{b} * B$$

$$L = 1,5 * 0,65 \text{ m}$$

$$L = 0,98 \text{ m}$$

**Altura del desengrasador**

$$H = \frac{Tr * Q}{B * L}$$

$$H = \frac{180 \text{ s} * 0,0026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,65 \text{ m} * 0,98 \text{ m}}$$

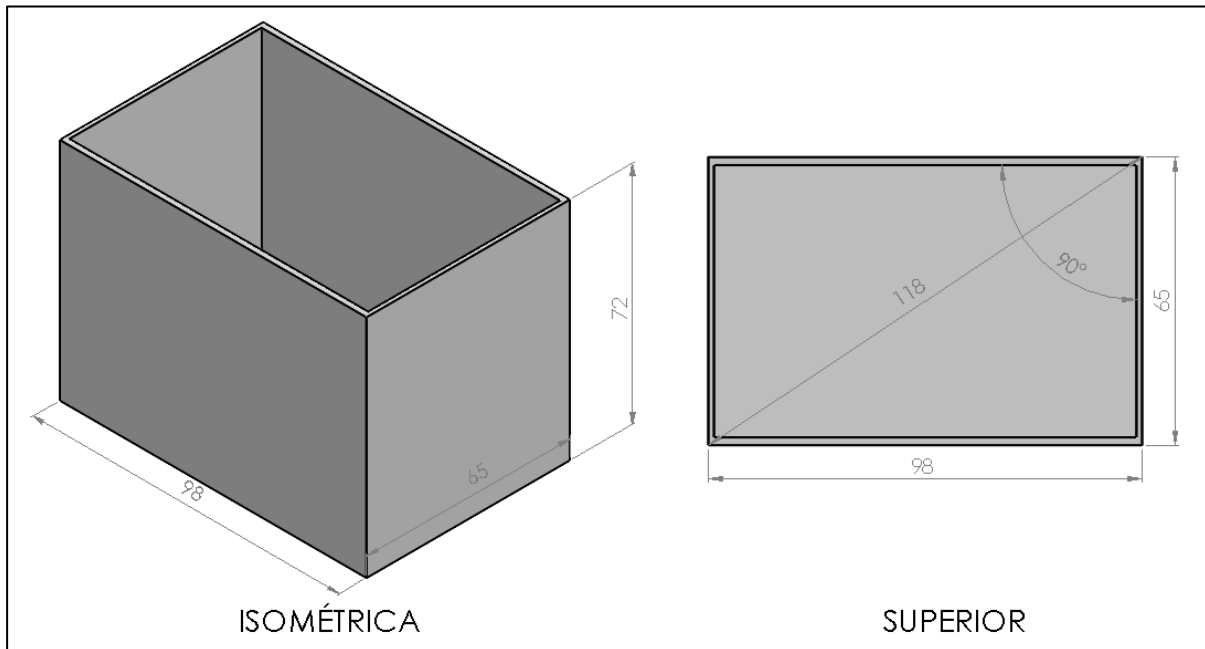
$$H = 0,72 \text{ m}$$

**Tabla 61.** Valores de diseño para el desengrasador de la planta de tratamiento.

Parámetro de diseño	Origen	Valor	Unidad
Área	Calculado	6424	cm <sup>2</sup>
Ancho	Calculado	65	cm
Longitud	Calculado	98	cm
Altura	Calculado	72	cm



Figura 44. Diseño del desengrasador de la PTAR en centímetros.



### 7.3.2. Tratamiento primario

- **Tanque Imhoff**

De igual manera que en el desengrasador, para obtener las dimensiones del tanque Imhoff, se utilizó el caudal máximo de las aguas residuales debido a que va en función de la carga superficial.

#### Área del sedimentador

$$As = \frac{Q_{max}}{C_s}$$

$$As = \frac{9,25 \frac{m^3}{h}}{1,7 \frac{m^3}{m^2 h}}$$

$$As = 5,44 m^2$$

#### Volumen del sedimentador

$$Vs = R * Q_{max}$$

$$Vs = 2 h * 9,25 \frac{m^3}{h}$$

$$Vs = 18,50 m^3$$

### Ancho de la zona de sedimentación

$$B = \sqrt{\frac{As}{\text{relación} \frac{L}{B}}}$$

$$B = \sqrt{\frac{5,44 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B = 1,35 \text{ m}$$

### Largo de la zona de sedimentación

$$L = \frac{As}{B}$$

$$L = \frac{5,44 \text{ m}^2}{1,35 \text{ m}}$$

$$L = 4,04 \text{ m}$$

### Altura del fondo del sedimentador

$$Hf = \text{tg}(\alpha) * \frac{B}{2}$$

$$Hf = \text{tg}(50) * \frac{1,35 \text{ m}}{2}$$

$$Hf = 0,80 \text{ m}$$

### Altura total del sedimentador

$$H_T = B_L + Hf + H$$

$$H_T = 0,3 \text{ m} + 0,80 \text{ m} + 1,5 \text{ m}$$

$$H_T = 2,60 \text{ m}$$

### Volumen de almacenamiento y digestión

$$Vd = \frac{70 \text{ l/hab} * P * fcr}{1000}$$

$$Vd = \frac{70 \frac{\text{l}}{\text{hab}} * 345 \text{ hab} * 0,5}{1000}$$

$$Vd = 12,08 \text{ m}^3$$

### **Ancho del tanque Imhoff**

$$B_{im} = B + 2(E_{el}) + 2(E_{sed})$$

$$B_{im} = 1,35 \text{ m} + 2(0,15 \text{ m}) + 2(0,6 \text{ m})$$

$$B_{im} = 3 \text{ m}$$

Debido a las paredes dentro del tanque que corresponden al sedimentador, al valor calculado del ancho del tanque se le añadirán 15 cm para no ocupar espacio de los bordes libres o del ancho del sedimentador.

### **Superficie libre**

$$S(\%) = \frac{2 * E_{sed} * L}{B_{im} * L}$$

$$S(\%) = \frac{2 * 0,6 \text{ m} * 4,04 \text{ m}}{3 \text{ m} * 4,04 \text{ m}}$$

$$S(\%) = 0,42$$

Se obtuvo un valor del 42%, el cual es un valor recomendable debido a que supera el 30%, permitiendo una adecuada circulación de aire y favorece la difusión de oxígeno en la masa de líquido residual. Esto ayuda a promover la actividad de los microorganismos que se encargan de la degradación de los residuos, lo que a su vez contribuye a una mayor eficiencia en el tratamiento del agua residual. Además, una superficie libre mayor al 30% permite una fácil inspección y limpieza del tanque.

### **Altura del fondo del digester**

$$H_{(FD)} = \frac{B_{im}}{2} * \text{tg}(\alpha)$$

$$H_{(FD)} = \frac{3 \text{ m}}{2} * \text{tg}(0,52)$$

$$H_{(FD)} = 0,80 \text{ m}$$

### **Altura total del tanque Imhoff**

$$H_{(TI)} = ht + H_{dig} + H_{(FD)} + D_{sed}$$

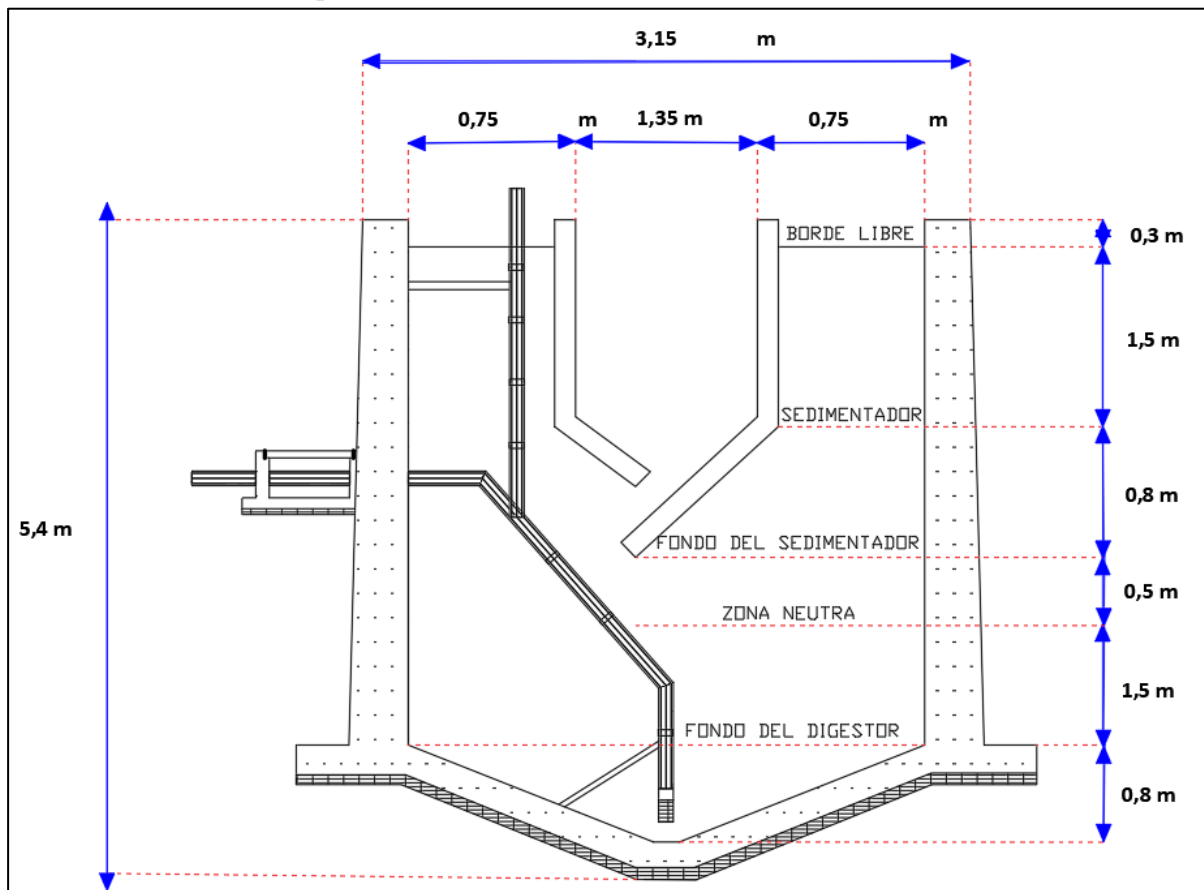
$$H_{(TI)} = 2,6 \text{ m} + 1,5 \text{ m} + 0,8 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$H_{(TI)} = 5,41 \text{ m}$$

**Tabla 62.** Valores de diseño para el Tanque Imhoff de la planta de tratamiento.

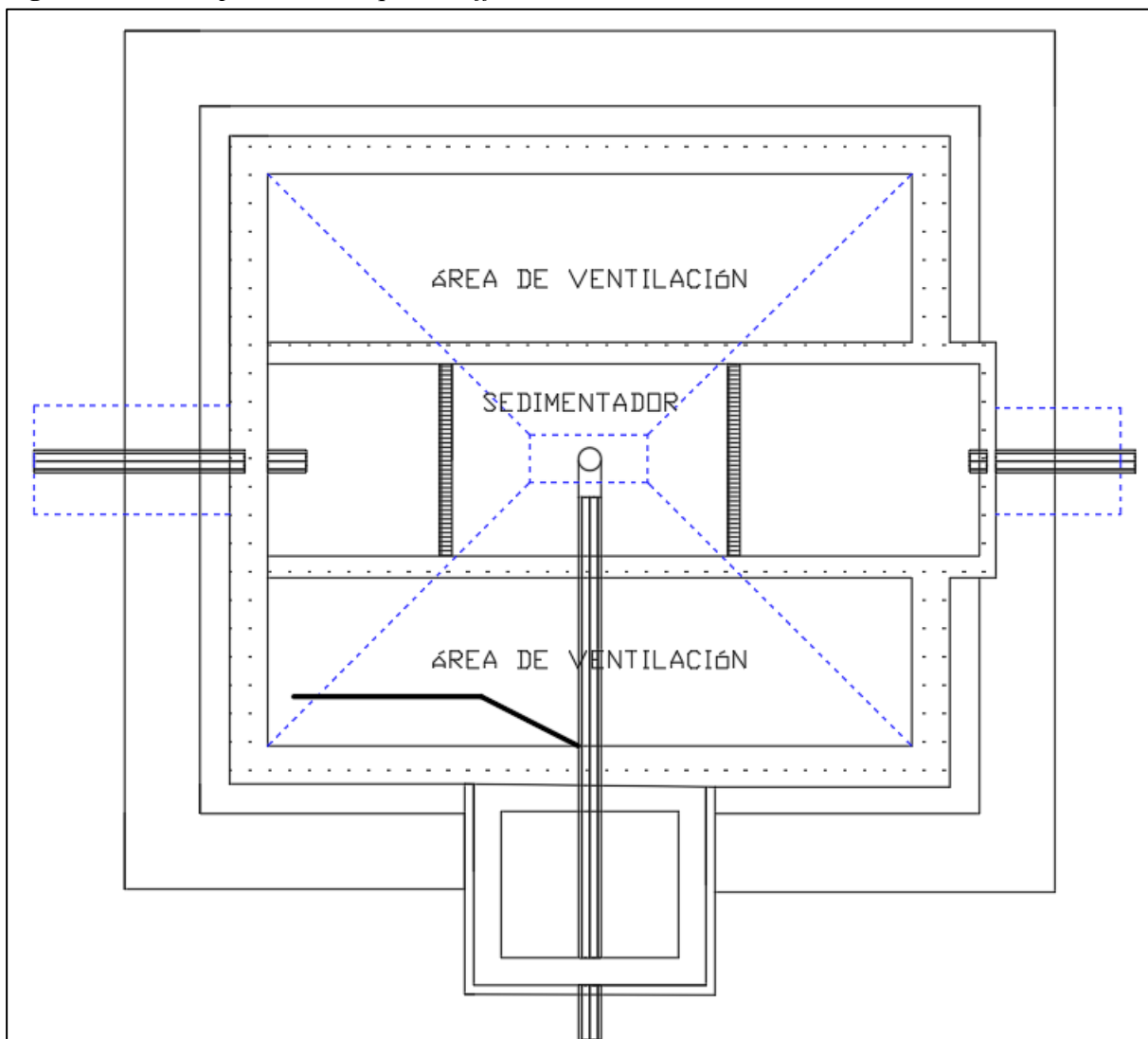
Parámetro de diseño	Origen	Valor	Unidad
Área del sedimentador	Calculado	5,44	m <sup>2</sup>
Ancho de la zona de sedimentación	Calculado	1,35	m
Largo de la zona de sedimentación	Calculado	4,04	m
Profundidad de la zona de sedimentación	Calculado	1,50	m
Volumen	Calculado	18,50	m <sup>3</sup>
Ángulo del fondo del sedimentador	Calculado	87	radianes
Altura del fondo del sedimentador	Calculado	0,80	m
Altura total del sedimentador	Calculado	2,60	m
Volumen de almacenamiento y digestión	Calculado	12,08	m <sup>3</sup>
Ancho del tanque Imhoff	Calculado	3,15	m
Altura del fondo del digestor	Calculado	0,80	m
Altura total del tanque Imhoff	Calculado	5,41	m

**Figura 45.** Diseño del tanque Imhoff para tratamiento primario.



Durante la digestión anaerobia que ocurre en el digestor (Figura 45) los microorganismos descomponen la materia orgánica, liberando gases como metano, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, para evitar que estos gases se acumulen en el tanque, el área de ventilación (Figura 46) proporciona un flujo de aire, que ayuda a promover la digestión anaerobio y evita la acumulación de los gases generados. La ventilación dentro de un tanque Imhoff ayuda a reducir los olores desagradables. El Anexo 8, Figura 50 presenta el plano del Tanque Imhoff, mientras que en este apartado se expone una representación del tanque.

**Figura 46.** Vista superior del tanque Imhoff.



### 7.3.3. Tratamiento secundario

- **Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical**

En este apartado para el dimensionamiento del humedal, se asumieron valores similares a los calculados. Los planos del humedal se presentan en el Anexo 8, Figura51.

### Área del humedal artificial

$$As = 1m^2 * h. e.$$

$$As = 1m^2 * 85$$

$$As = 85 m^2$$

### Tiempo de retención hidráulica

$$t = \frac{n * h * A_s}{Q}$$

$$t = \frac{0,35 * 0,6 m * 85 m^2}{72,58 \frac{m^3}{d}}$$

$$t = 0,19 \text{ días}$$

### Ancho del humedal artificial

$$W = \frac{1}{h} * \left( \frac{Q * A_s}{m * k_s} \right)^{0.5}$$

$$W = \frac{1}{0,6 m} * \left( \frac{72,58 \frac{m^3}{d} * 85 m^2}{1 * \frac{914,10 \frac{m^3}{m^2}}{d}} \right)^{0.5}$$

$$W = 3,76 m$$

### Largo del humedal artificial

$$L = \frac{A_s}{W}$$

$$L = \frac{85 m^2}{3,76 m}$$

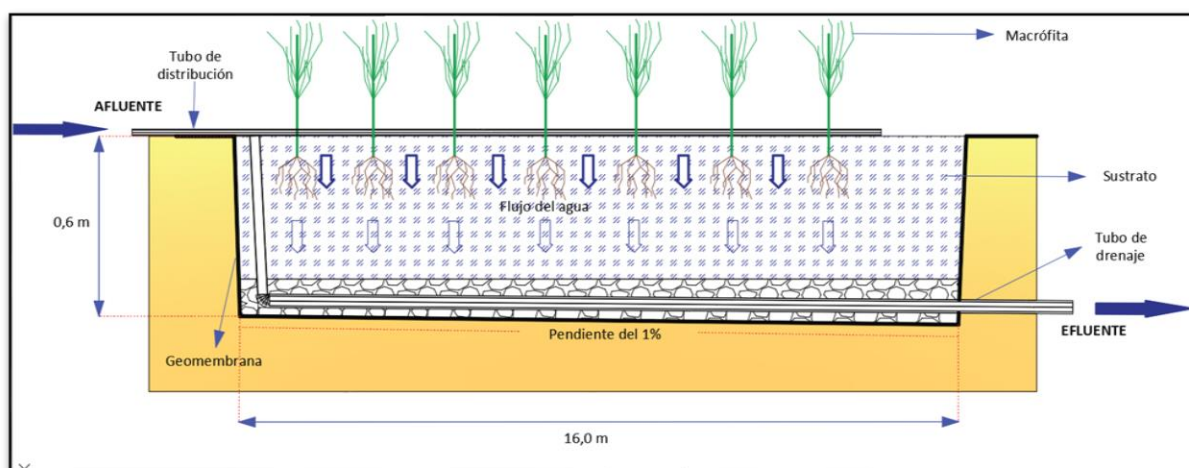
$$L = 17,03 m$$

**Tabla 63.** Valores de diseño para el humedal artificial de flujo subsuperficial de la planta de tratamiento.

Parámetro de diseño	Valor		Unidades
	Calculado	Asumido	
Área superficial del humedal	85	64	m <sup>2</sup>
Tiempo de retención hidráulica	0,25	0,19	días
Ancho del humedal	4,33	4	m
Largo del humedal	19,63	16	m

Se obtuvo un valor de 4,33 para el ancho del humedal y 19,63 m para el largo, pero se consideró una relación 4:1 tal y como se recomienda en lo expuesto en la metodología, debido a que los valores obtenidos son similares a la relación (Tabla 63). Por ende, se asumió valores de 4 m de ancho y 16 m de largo, donde se obtuvo un tiempo de retención hidráulica de 0,19 días que equivale a 4,56 horas.

**Figura 47.** Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.



#### 7.3.4. Tratamiento de lodos

Los tanques Imhoff no están diseñados específicamente para la generación de lodos y las cantidades que se generan son estabilizadas por procesos biológicos que se producen en el fondo, por otro lado, el humedal artificial subsuperficial de flujo vertical a diferencia de algunos otros métodos de tratamiento de aguas residuales, no produce lodos en grandes cantidades, ya que el material filtrante actúa como soporte para los microorganismos que se encargan de la degradación de los contaminantes, y no hay una acumulación significativa de lodos. Por tal motivo el tratamiento de lodos sólo consistió en el secado al aire libre.

- **Secado de lodos**  
Carga de sólidos

$$C = Q * SS * 0,0864$$

$$C = 72,58 \frac{m^3}{d} * \frac{100,24mg}{l} * 0,0864$$

$$C = 0,63 \text{ kg SS/día}$$

El valor obtenido de la carga se la dividió para 1 000 para obtener el valor en kilogramos de sólidos suspendidos.

#### **Masa de sólidos que conforman los lodos**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$Msd = \left(0,5 * 0,7 * 0,5 * 0,63 \text{ kg} \frac{SS}{\text{día}}\right) + \left(0,5 * 0,3 * 0,63 \text{ kg} \frac{SS}{\text{día}}\right)$$

$$Msd = 0,20 \text{ kg SS/día}$$

#### **Volumen diario de sólidos digeridos**

$$Vld = \frac{Msd}{plodo * \left(\% \text{ de } \frac{\text{sólidos}}{100}\right)}$$

$$Vld = \frac{Msd}{plodo * \left(\% \text{ de } \frac{\text{sólidos}}{100}\right)}$$

$$Vld = \frac{0,20 \text{ kg} \frac{SS}{\text{día}}}{1,04 \frac{kg}{l} * (0,8)}$$

$$Vld = 2,24 \text{ l/día}$$

#### **Área del lecho de secado**

$$Als = Pd * Dp$$

$$Als = 345 \text{ hab} * 0,0031 \text{ hab/m}^2$$

$$Als = 1,06 \text{ m}^2$$



**Tabla 64.** Valores de diseño para el secado de lodos de la planta de tratamiento.

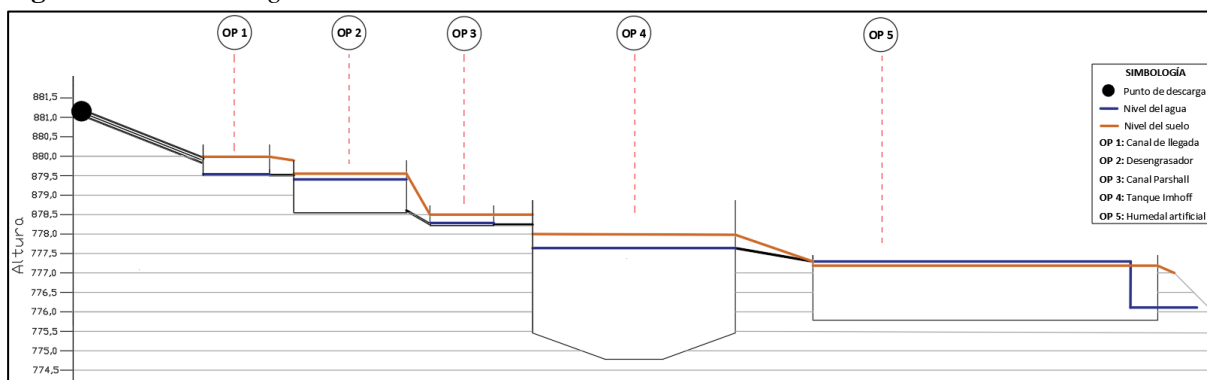
Parámetro de diseño	Origen	Valor	Unidad
Carga de sólidos	Calculado	0,63	Kg SS/día
Volumen diario de sólidos digeridos	Calculado	2,46	l/día
Área del lecho de secado	Calculado	1	m <sup>2</sup>

El diseño del lecho de secado de lodos del tratamiento se encuentra en la Figura 52 expuesta en el Anexo 8.

### 7.3.5. Nivel del agua en el sistema de tratamiento

El terreno al presentar una pendiente del 7% se aprovechó el desnivel para la ubicación de las operaciones del sistema de tratamiento (Figura 48), en función de que el agua residual fluya a través el sistema por ayuda de la gravedad. La diferencia de altura entre cada operación del tratamiento, permite garantizar un funcionamiento adecuado y eficiencia óptima de cada etapa de tratamiento. Para lograr que el agua fluya por medio de gravedad, se debe considerar que el sistema tenga una pendiente adecuada, en esa ocasión, el terreno lo permite; se evitó cambios bruscos del flujo del agua dentro del sistema para evitar la disminución del flujo del agua y obstrucciones

**Figura 48.** Nivel del agua dentro del sistema de tratamiento.



### 7.3.6. Obras complementarias

La planta de tratamiento de aguas residuales dispondrá de obras que complementarán a la infraestructura de depuración, las cuales se consideran necesarias para el correcto funcionamiento de la PTAR.

- **Edificio de control**

Para el manejo de la PTAR se situará una edificación de 200 m<sup>2</sup> que contará con un cuarto de control de los procesos de la PTAR, baños y vestidores.

- **Cerramiento perimetral**

Con la finalidad de garantizar la seguridad de la PTAR, se construirá un cerramiento que rodee toda el área de operación, conformada de malla de 50 mm de ancho de rombo y dos metros de alto

### 7.3.7. Valorización de impactos ambiental

**Tabla 65.** Matriz de importancia de los impactos generados por la implementación de la planta de tratamiento.

<b>MATRIZ DE IMPORTANCIA DE RELACIÓN CAUSA Y EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL BARRIO GUAGUAYME ALTO</b>		FASE DE CONSTRUCCIÓN					FASE DE FUNCIONAMIENTO			FASE DE ACTUALIZACIÓN			PROMEDIO	NATURALEZA
		Retiro de vegetación	Instalación de bodega	Excavación	Movilización de materiales y equipos	Construcción de la planta	Operación del sistema	Inspección de la planta	Exposición a agentes biológicos	Evaluación de la planta	Actualización de equipos y sistemas	Optimización del proceso de tratamiento		
COMPONENTE	FACTORES													
Suelo	Calidad del suelo	-28	-19	-31					-14	-19		-22	-	
Agua	Calidad del agua					-31	-31	-24	-39		-22	-17	-27	-
Aire	Calidad del aire			-20		-26			-19	-17	-24	-20	-21	-
	Presión sonora	-13		-23	-22	-44	-41			-13	-20		-25	-
Biótico	Vegetación	-20		-20		-20							-20	-
	Especies amenazadas	-17		-17		-17							-17	-
Percepción natural	Vistas, paisajes	-17				-19							-20	-
Seguridad y salud	Salud y seguridad laboral	-15	-14	-27	-19	-19			-23	-19	-14		-19	-
Social	Vida cotidiana					-32							-32	-
Economía	Empleo	21	16	38	17	45	29	29	29	21	21	21	+26	+
<b>PROMEDIO</b>		19	16	25	19	28	34	27	28	17	20	19	<b>23</b>	

En la Tabla 65 se puede observar la interacción entre las actividades de las tres fases y los factores ambientales, los valores obtenidos según la importancia, presentó impactos moderados, positivos y compatibles según la Tabla 66.

**Tabla 66.** *Tabla de valorización de impactos.*

TIPO	VALOR
Positivo	+
Compatible	13 - 25
Moderado	25 - 50
Severo	50 - 75
Crítico	>75

La mayor cantidad de impactos identificados en las tres fases son compatibles, es decir, que no tienen influencia importante, estos presentaron valores entre 13 y 25, encontrándose más en la fase de construcción (Tabla 67). En cuanto al componente de economía, todas las actividades del proyecto son positivas debido a la generación de empleo que se produce. Al no haber una fase de abandono ni desmontaje de la infraestructura, no existen actividades relaciones a la restauración del paisaje, sin embargo, el sector seguirá contando con el tratamiento de las aguas residuales.

**Tabla 67.** *Tabla resumen de identificación de impactos.*

Jerarquización	Fase de construcción		Fase de funcionamiento		Fase de actualización	
	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje
Positivos	5	17%	3	33%	3	21%
Compatible	17	59%	3	33%	11	79%
Moderado	7	24%	3	33%	0	0%
Severo	0	0%	0	0%	0	0%
Crítico	0	0%	0	0%	0	0%
<b>Total</b>	29	100%	9	100%	14	100%

### 7.3.8. Plan de Manejo Ambiental

El plan de manejo ambiental cuenta con las medidas de prevención, mitigación y remediación que deberán ser incorporadas durante las diferentes actividades del proyecto. EL PMA presenta medidas para evitar que el medio ambiente sea afectado negativamente, de igual manera, la población que se encuentra dentro del área de influencia, además de las personas que desarrollarán las actividades de construcción. Los planes de manejo aplicables son los siguientes:

**Tabla 68.** Plan de Prevención y Mitigación de Impactos para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS</b> <b>PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales generados en la fase de construcción de la planta de tratamiento <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Aire	<b>Presión sonora:</b> Incremento de niveles de ruido y vibraciones por el uso de maquinaria	<b>Control de ruido:</b> La maquinaria debe contar con la revisión vehicular Los trabajadores deben operar en horarios diurnos	Cantidad de certificados vehiculares Horarios de trabajo	Certificados Fotografías y registro de horarios	Supervisión del proyecto para dar cumplimiento a lo propuesto	No aplica
Aire	<b>Calidad del aire:</b> Deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases y material particulado	<b>Control de emisiones:</b> Dar mantenimiento a la maquinaria a usarse Utilizar lonas en las volquetas para el transporte de material	Número de mantenimientos a la maquinaria Cantidad en metros de lona utilizada	Control de mantenimiento vehicular Registro fotográfico	El control se realizará al menos dos veces durante la etapa de construcción	No aplica
Suelo y agua	<b>Calidad del suelo:</b> Afectación por retiro de cobertura vegetal <b>Calidad del agua:</b> Afectación de la calidad del agua por actividades de construcción	Construcción de la planta de tratamiento  Instalar sistemas para la conducción y control de escorrentía. Utilizar lona para recubrir material excedente	Volumen de material desalojado	Informe de visitas de campo Fotografías	Avanzar con la construcción de la planta de tratamiento. Llevar a cabo los canales para el control de escorrentía	Costo indirecto
Biótico	Eliminación de cobertura vegetal  Perturbación de hábitats naturales	Restringir el desbroce únicamente en el área que se va a construir la planta de tratamiento	Área intervenida	Registro fotográfico del área intervenida	Los trabajos de limpieza se limitan únicamente al terreno indispensable para la construcción	No aplica

**Tabla 69.** Plan de Manejo de Desechos para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE MANEJO DE DESECHOS</b> <b>PROGRAMA DE MANEJO DE DESCHOS</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Garantizar el manejo integral y adecuado de los residuos que se lleguen a generar en la fase de construcción de la Planta de Tratamiento <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Suelo	Contaminación y alteración de la calidad por la incorrecta disposición de los residuos generados	El manejo adecuado de los desechos consiste en mantener una secuencia integral desde su generación hasta la disposición final	Volumen de residuos trasladados	Certificados Fotografías Registro de horarios Factura de compra de recipientes	El material resultado de excavación será trasladado al lugar designado  Todo tipo de residuo generado será recolectado diferenciadamente según su naturaleza	\$700
Agua	Contaminación de aguas superficiales por mala disposición de residuos líquidos durante la etapa de construcción	Adecuada gestión de residuos líquidos generados en la etapa de construcción	Número de mantenimientos a la maquinaria Cantidad en metros de lona utilizada	Número de letrinas móviles instaladas	Utilización de baños portátiles para las necesidades de uso en campo	\$1 200
<b>TOTAL</b>						\$1 900

**Tabla 70.** Plan de Comunicación y Capacitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS</b> <b>PROGRAMA DE RELACIONES COMUNITARIAS</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Informar a los grupos de interés sobre las actividades y avances del proyecto durante la fase de construcción <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Sociocultural	Compromisos con la comunidad por la construcción del proyecto	Socialización previa y durante la construcción de la planta de tratamiento de las actividades a realizar	Número de asistentes a los talleres	Invitaciones Registro de participantes	Se va a dar a conocer sobre las obras a ejecutarse a los grupos de interés y de ser necesario, recolectar sugerencias	\$520
Economía	Generación de empleo	<b>Contratación de mano de obra local</b> Oportunidad de trabajo a personas interesadas	Número de personas contratadas	Registro de contratos	La prioridad de contratación de mano de obra da preferencia a las personas dentro del área de influencia	No aplica
<b>TOTAL</b>						\$520

**Tabla 71.** Plan de Relaciones Comunitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS</b> <b>PROGRAMA DE RELACIONES COMUNITARIAS</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Informar a los grupos de interés sobre las actividades y avances del proyecto durante la fase de construcción <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Sociocultural	Compromisos con la comunidad por la construcción del proyecto	Socialización previa y durante la construcción de la planta de tratamiento de las actividades a realizar	Número de asistentes a los talleres	Invitaciones Registro de participantes	Se va a dar a conocer sobre las obras a ejecutarse a los grupos de interés y de ser necesario, recolectar sugerencias	\$520
Economía	Generación de empleo	<b>Contratación de mano de obra local</b> Oportunidad de trabajo a personas interesadas	Número de personas contratadas	Registro de contratos	La prioridad de contratación de mano de obra da preferencia a las personas dentro del área de influencia	No aplica
<b>TOTAL</b>						\$520



**Tabla 72.** Plan de Contingencias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE CONTINGENCIAS PROGRAMA DE CONTINGENCIAS</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Prevenir la ocurrencia de contingencias por negligencia o evento fortuito durante la fase de construcción del proyecto <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Salud y Seguridad	<b>Seguridad y salud laboral</b> Riesgos a la salud y seguridad por ambientes de trabajo inapropiado  <b>Vida cotidiana</b> Conflictos con la comunidad por las molestias ocasionadas durante la etapa de construcción	Integrar un plan de contingencias. En el caso de que exista una persona herida, se le aplicará primeros auxilios o trasladarla al centro de salud más cercano	Número de contingencias ocurridas	Documentos de registro de elaboración del plan de contingencias	El plan de contingencias establece procedimientos para hacer frente a emergencias, así como fenómenos naturales ocurridos, con el fin de controlar o minimizar los impactos suscitados	\$700
<b>TOTAL</b>						\$700

**Tabla 73.** Plan de Relaciones Comunitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<p align="center"><b>PLAN DE SALUD OCUPACIONAL</b> <b>PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL</b></p>						
<p><b>OBJETIVO:</b> Establecer medidas respecto a la prevención de riesgos de accidentes de trabajo durante la construcción y operación de la Planta de Tratamiento</p>						
<p><b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto</p>						
<p><b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe</p>						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Salud y Seguridad	Accidentes laborales hacia los trabajadores del proyecto	Proveer a los trabajadores el uso de equipos y disponer un botiquín de primeros auxilios e implementos de protección laboral	Número de equipos de protección entregados a los trabajadores	Actas de entrega Registros fotográficos	Será aplicable la normativa de seguridad y salud laboral vigente y aplicable	\$4 000
	Señalética	El sitio de construcción deberá estar delimitado por barandas reflectivas y señalización	Número de señaléticas colocadas dentro del lugar	Registros fotográficos	Directrices para que las operaciones constructivas sean conducidas de acuerdo a las normas relativas a la seguridad y salud de los trabajadores	\$1 000
<b>TOTAL</b>						\$5 000

**Tabla 74.** Plan de Monitoreo y Seguimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<p align="center"><b>PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO</b> <b>PROGRAMA DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO</b></p>						
<p><b>OBJETIVO:</b> Establecer los procedimientos necesarios que permitan monitorear y controlar el cumplimiento de las actividades previstas en el PMA durante la fase operación de la Planta de Tratamiento</p>						
<p><b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto</p>						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Suelo y agua	Contaminación de los recursos naturales	Monitoreo de agua y suelo	Monitoreo de la calidad del agua en el punto de descarga de la PTAR Número de monitoreos de calidad del suelo	Informes de laboratorio	Corresponde al seguimiento de la calidad del agua y suelo a los sitios de obra, que son vulnerables contaminantes durante el proceso constructivo	\$5 000
Biótico	Alteración de la cobertura vegetal Afectación a especies	Realizar estudios para comprobar si existe alteración en la flora y fauna	Número de muestreos realizados	Resultados obtenidos	Se llevará a cabo muestreos de flora y fauna para establecer si se han presentado cambios en las condiciones del componente biótico	\$1 500
Seguimiento y monitoreo del PMA	Incumplimiento del Plan de Manejo Ambiental	Vigilar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental	100% de las medidas cumplidas	Resultados de laboratorio Facturas Registros fotográficos Registro de participantes	Seguimiento del PMA para evitar la contaminación de los componentes bióticos y abióticos del lugar	\$1 200
<b>TOTAL</b>						\$7 700

**Tabla 75.** Plan de Rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE REHABILITACIÓN</b> <b>PROGRAMA DE REHABILITACIÓN</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Habilitar el lugar intervenido luego de la etapa de construcción <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Medio perceptual	Alteración del lugar debido a las actividades de construcción	Restaurar el área intervenida	Número de especies sembradas Número de metros cuadrados rehabilitados	Factura de plantas adquiridas Registro fotográfico	Rehabilitación y recuperación de suelos, restauración vegetal	\$500
<b>TOTAL</b>						\$500

**Tabla 76.** Plan de Abandono, Cierre y Entrega del área de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>PLAN DE CIERRE Y ACTUALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b> <b>PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b>						
<b>OBJETIVO:</b> Establecer medidas técnicas y ambientales para la actualización de la Planta de Tratamiento una vez que haya culminado su vida útil <b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales, sector Guaguayme Alto <b>RESPONSABLE:</b> GAD Parroquial de Guadalupe						
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	COSTOS
Biótico/abiótico	Cumplimiento de vida útil de la Planta de Tratamiento	Repotenciación de la Planta de Tratamiento Evaluación de la PTAR para actualizar el sistema Optimización de procesos Pruebas y ajustes finales	Buena eficiencia en la medida propuesta para la repotenciación de la PTAR Evaluación ambiental inicial	Informe técnico Registro fotográfico	Se ajusta el proceso de tratamiento para alargar su tiempo de vida útil	Costo indirecto

#### 7.4. Presupuesto

El costo es un apartado importante en la selección y construcción de cualquier tipo de tipo de construcción. En este apartado se presenta una aproximación del costo de implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales (Tabla 77). Para obtener el aproximado del presupuesto, se consideró únicamente las actividades y materiales principales para la construcción, descartando la mano de obra, calidad de materiales, transporte, etc.

Respecto a la limpieza, desbroce y nivelación del terreno, para la estimación de la cantidad se basó en lo expuesto en la Figura 11, donde se presenta el área disponible para la implementación del sistema de tratamiento. Para la malla de cerramiento y cerramiento provisional se estimó con el cerramiento presentando en la Figura 40, donde presentó una longitud aproximada de 100 m. Para evitar la infiltración en el humedal se consideró una geomembrana de polietileno de alta densidad, debido a su resistencia y con larga vida útil, para su cantidad se basó en el área del humedal más un añadido para poder sujetarla. El enlucido del tratamiento consta de la aplicación de capas de un mortero en las superficies del sistema.

**Tabla 77.** Presupuesto aproximado del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Limpieza y desbroce manual del terreno	m <sup>2</sup>	650	2,11	1 371,5
Nivelación del terreno	m <sup>2</sup>	650	4,27	2 775,5
Excavación de tierra para infraestructuras	m <sup>3</sup>	100	2,45	245
Cerramiento provisional	m	100	42,76	4276
Geomembrana	m <sup>2</sup>	70	9,7	679
Desalojo de materiales	m <sup>3</sup>	120	10,78	1 293,6
Arena fina	m <sup>3</sup>	20	14	280
Grava fina	m <sup>3</sup>	30	18	540
Piedra bola grande	m <sup>2</sup>	50	20	1 000
Acero de refuerzo $f_y = 4\ 200\ \text{kg/m}^2$	kg	600	9,58	5748
Enlucido + impermeabilizante	m <sup>2</sup>	70	10	700
Puerta metálica	u	1	300	300
Malla de cerramiento	m	100	6	600
Rejillas	u	1	49,58	49,58
Cemento	u	40	8,5	340
Encofrado de pozo	m <sup>2</sup>	60	40,18	2 410,8
Encofrado para bordillos	m	100	59,66	5966
Canalización PVC 160 mm	m	40	12,24	489,6
			<b>Subtotal</b>	29 064,58
			<b>I.V.A. 12%</b>	3 487,7496

<b>Total</b>	<b>32 552,33</b>
--------------	------------------

El valor aproximado de la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio Guaguayme Alto es de 32 552,33 dólares. Para los valores y rubros se consideró los precios locales y de la lista de precios de materiales de construcción para el año 2023.

## 7. Discusión

Las aguas residuales domesticas son aquellos que provienen de los hogares, resultado de las diferentes actividades y metabolismo humano. La descarga de las mismas a cuerpos de agua sin algún tratamiento previo, puede tener un impacto negativo en dicho cuerpo receptor.

Las concentraciones de SS, N, P y grasas que se obtuvieron, se encuentran dentro de los rangos de 50 - 350 mg/l para SS, 20 – 60 mg/l de N y 1 – 10 mg/l para P, expuestos por el Ministerio del Ambiente para pequeñas poblaciones, mientras que las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO son menores, ya que se obtuvieron resultados de 69,88 mg/l y 85,34 mg/l respectivamente. Gustavo et al., (2021) presentan en su trabajo realizado en la parroquia Calceta de la provincia de Manabí, concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO de 74 mg/l y 130,59 mg/l respectivamente, las cuales también son inferiores a los rangos típicos. Guaguayme Alto al ser una pequeña comunidad, pudieron haber afectado diversos factores para las bajas concentraciones de los diversos parámetros, como el caudal y sistema unitario pueden contribuir a la dilución de las concentraciones de contaminantes, de igual manera al haberse realizado el muestreo durante 4 días y la escasez de industrias son factores que pueden alterar a los resultados y por tal motivo, las concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles.

Gustavo et al., (2021) exponen en su trabajo realizado en la Parroquia Santiago de Calpi del cantón Riobamba, resultados de DQO de 368,33 mg/l y DBO<sub>5</sub> de 287,66 mg/l, valores superiores a los obtenidos en el presente estudio. A diferencia de este estudio realizado, ellos realizaron el muestreo durante siete días, con puntos de descarga diferentes, obteniendo concentraciones por día y por hora. La parroquia Santiago de Calpi se dedica principalmente a la agricultura, cuenta con agua entubada y una población mayor a la de Guaguayme Alto; sin embargo, el índice de biodegradabilidad obtenido fue de 0,8 el cual es similar al obtenido por parte de los autores mencionados que fue de 0,78. Estos valores indican que el agua residual tiene alta biodegradabilidad facilitando el uso de tratamientos biológicos, obtener estos valores es común en comunidades pequeñas que llevan un estilo de vida en donde producen grandes cantidades de residuos orgánicos y no hay presencia de industrias.

El caudal que se estimó para el sector fue de 0,24 l/s, resultó inferior al aforado de 0,84 l/s. Guaguayme Alto es una zona que cuenta con una tarifa reducida de pago por el consumo de agua, pudiendo aumentar así el consumo de agua por parte de los habitantes, razón que pudo



influir en el caudal superior al estimado. De igual manera, CENTA, (2021) se menciona que la dotación de agua se ve influenciada por las características climáticas y geográficas de una zona, en lugares en donde la temperatura varía de entre 14,5°C y 31,2°C y presentan una gradiente altitudinal de hasta 800 m.s.n.m. sus resultados muestran un mayor uso del agua por la población a diferencia de temperaturas más bajas y altitudes mayores. La temperatura medida en el sector fue de 24,53 °C encontrándose dentro del rango mencionado, pudiendo influir en el consumo del agua en el barrio, por lo que se obtuvieron datos de caudales mayores a los que se estimó.

Para la elección del tratamiento adecuado en el sector, se consideró diversos criterios donde se seleccionó la línea de tratamiento en función de las condiciones del lugar. El sistema consta de un pretratamiento, un tanque Imhoff, un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical y un secado de lodos. Sáenz y Correa, (2017) en su estudio realizado en el sitio de San José de la parroquia Bellavista en la provincia de Machala, consideraron como alternativas de tratamiento que se adapten a características particulares de zonas rurales, un tanque séptico, filtro anaerobio, un sistema anaerobio de flujo ascendente y sistemas de lagunas de estabilización. En este caso, tomaron como criterio de selección las características del suelo del lugar, donde seleccionaron un Sistema Anaerobio de Flujo Ascendente como tratamiento idóneo, complementando la decisión con la moderada operación y mantenimiento del tratamiento. Sin embargo, en este trabajo se seleccionó el humedal artificial debido a su bajo costo de construcción y mantenimiento en comparación con otras tecnologías, su bajo impacto ambiental, su capacidad de adaptación a las condiciones locales y su alta eficiencia de eliminación de contaminantes como materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos, vuelve a este tratamiento idóneo para el sector de Guaguayme Alto.

Dentro de las alternativas de tratamiento, también se consideró un Sistema Anaerobio de Flujo Ascendente y un sistema de lagunas. La primera alternativa mencionada se descartó a pesar de que presentó buenos resultados en la caracterización de la misma, dado que no es recomendable usarla en sectores con sistemas de alcantarillado unitarios. El sistema de lagunas no se seleccionó por el tamaño de terreno que se requiere para su construcción y los aspectos ambientales negativos que puede generar, como malos olores y proliferación de vectores.

Carvajal Rowan et al., (2018) presentan un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical como alternativa óptima para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, en un estudio realizado en la comunidad de Mizque, Bolivia. Los autores tomaron

en cuenta para la selección, criterios similares a los que se consideró en el presente estudio, los tratamientos que evaluaron fueron un humedal artificial, tanque Imhoff y lagunas de estabilización. Al igual que en este estudio, los autores consideran como alternativa el flujo vertical sobre el horizontal, ya que mencionan que este último posee más posibilidades de generar malos olores.

La pendiente de un lugar influye en la ubicación de las etapas del tratamiento seleccionado. En este caso, el terreno presentó una pendiente del 7% en una longitud de 65 metros, lo que lo volvió idóneo para la ubicación del sistema de sur a norte, facilitando el flujo del agua por medio de la gravedad desde el punto de entrada hasta el punto de salida del tratamiento. La ubicación de las diferentes etapas del tratamiento favoreció a evitar la necesidad de bombear las aguas residuales.

Las dimensiones del sistema de tratamiento no requirieron mucha profundidad para su ubicación, sin embargo, el tanque Imhoff al ser una infraestructura grande es la que mayor profundidad requiere, pero esto no representa ningún problema debido a la profundidad del nivel freático y la poca pendiente existente. Esta infraestructura al estar completamente enterrada puede presentar problemas para el acceso al mantenimiento y limpieza, la presión del suelo sobre el tanque puede reducir su vida útil, por tal motivo, se decidió no enterrar por completo el tanque.

Se eligió una relación largo ancho de 4:1 para el humedal artificial sobre las relaciones 2:1 y 3:1, porque la proporción 4:1 permite maximizar el tiempo de retención del agua en el humedal, favoreciendo a la eliminación de contaminantes. El humedal al presentar una mayor longitud, el agua circula más lentamente, permitiendo que los procesos biológicos tengan lugar de manera más efectiva. Mena-Sanz (2008) menciona relaciones de hasta 10:1 pero estas proporciones presentan inconvenientes de colmatación, llegando a desbordarse el agua del humedal, por tal motivo recomiendan relaciones de hasta 4:1, la cual se utilizó para el diseño en el presente Trabajo de Titulación.

## 8. Conclusiones

- El análisis de coherencia es fundamental para identificar discrepancias entre los datos estimados y los medidos en campo, lo que permite detectar posibles errores en el diseño o en la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales. La presencia de diferencias significativas puede deberse a diversas causas, como errores en la toma de muestras, en la medición de caudales, en la calibración de equipos o en el cálculo de parámetros, entre otros. Por lo tanto, es importante realizar un análisis de coherencia para evaluar la calidad de los datos y asegurar que el sistema de tratamiento funcione de manera eficiente y sostenible. En caso de identificar errores, se pueden tomar medidas correctivas para mejorar la precisión de los datos y garantizar el adecuado tratamiento de las aguas residuales.
- Luego de realizar un análisis detallado y riguroso sobre las diferentes opciones de tratamiento de aguas residuales para comunidades pequeñas, se llegó a la conclusión de que un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical sería la opción más adecuada al presentar ventajas en términos de eficiencia, bajo costo, bajo mantenimiento, y sostenibilidad ambiental y social. Además, se comprobó que la elección del tratamiento de aguas residuales adecuado no solo depende de su eficacia técnica, sino también de factores sociales, culturales y económicos, como la aceptabilidad de la comunidad, la accesibilidad, el costo y la disponibilidad de recursos. En resumen, el estudio demuestra la importancia de considerar múltiples factores en la selección de un tratamiento de aguas residuales adecuado para una comunidad pequeña, y enfatiza la necesidad de adoptar un enfoque integral que tenga en cuenta tanto los aspectos técnicos como los sociales y ambientales para garantizar un tratamiento eficiente y sostenible de las aguas residuales en las comunidades.
- Concluyo que el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo y crítico que requiere una evaluación detallada de los parámetros del agua residual, la capacidad del suelo y los factores ambientales, sociales y económicos, debe ser un enfoque integral y colaborativo que tenga en cuenta las necesidades y características específicas de cada comunidad y de su entorno.

## **9. Recomendaciones**

- Se debe considerar la frecuencia y duración del muestreo, ya que estos factores pueden afectar la precisión de los resultados. Para obtener una muestra representativa, se recomienda realizar muestreos regulares en diferentes períodos de tiempo.
- En caso de desconocer las variaciones de caudal y cargas contaminantes de un sector, se debe muestrear mínimo durante 8 horas en intervalos de 30 minutos durante el día, que, por lo general es cuando la población hace mayor uso del agua. En el caso de ser posible, lo recomendable es realizar muestreos durante las 24 horas del día.
- Para la selección de un tratamiento adecuado se recomienda identificar las características específicas de la comunidad y del agua residual que se va a tratar, tales como el caudal, las concentraciones de contaminantes y las condiciones ambientales. Esto permitirá seleccionar el tratamiento adecuado para la situación particular.
- Es importante involucrar a la comunidad en el proceso de selección del tratamiento y fomentar la educación ambiental para crear conciencia sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y la conservación del medio ambiente.

## 10. Bibliografía

- (IMTA), C. de T. H. (2001). *Canal Parshall.Pdf*.
- Aguamarket. (2021). Velocidad de Paso, Rejas. <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=4412>
- Amabilis-Sosa, L. E., Siebe, C., Moeller-Chávez, G., y Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. del C. (2016). Remoción de mercurio por *Phragmites australis* empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(1), 47–53.
- Ángeles, G. A. M. de los. (2015). *DISPONIBILIDAD Y USO DE AGUA EN DOS COMUNIDADES RURALES Gil Antonio María de los Angeles 1*.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Iusrectusecart*, 449, 1–219. <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). Código Orgánico Del Ambiente. *Registro Oficial Suplemento* 983, 1–92. [http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PROCU\\_CODIGO\\_ORGANICO\\_ADMINISTRATIVO.pdf](http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PROCU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf)
- Báez, C. (2016). *Desarrollan sistema de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades*. Fondo Para La Comunicación y La Educación Ambiental A.C. <https://agua.org.mx/desarrollan-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-pequenas-comunidades/>
- Barreto, P., Espinoza, G., y Leyva, M. (2010). Protocolo De Monitoreo De Agua. *Revista Mexicana De Ingenieros Químicos*, 1(2), 1–39. <http://www.nuevalegislacion.com/files/susc/cdj/conc/M2-SAPc-06.pdf>
- Camacho, J. V. (2001). *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas* (Issue 122). Univ de Castilla La Mancha.
- Carvajal Rowan, A., Zapattini Irala, C., y Quintero Zamora, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología Para El Desarrollo*, 0(5), 88–108. <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744>
- CELEC EP. (2014). Plan de Manjeo Ambeintal. *Geenleaf Ambeintal Company*, 211. [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/EIA/cap10\\_se\\_el\\_in](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/cap10_se_el_in)

ga.pdf

- CEUPE. (2017). *Precipitación química*.
- Comisión Económica para América Latina y El Caribe, B. M. (2017). *Programa de Comparación Internacional: ronda 2017 para América Latina y el Caribe Documento metodológico Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL*.
- CONAGUA. (2010). Volumen 26 Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- Cortéz, F., Treviño, A., y Tomasini, A. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*.
- CPE INEN 5, N. T. E. (2018). Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para. *Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*, 9, 186.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., y Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.
- Díaz-Díaz, M. A., Rivas-Trasancos, L., Fernández-Rangel, D., Salazar-Alemán, D., y Miller-Palmer, S. (2018). Tratamiento de aguas residuales oleosas mediante flotación por aire disuelto. *Centro de Investigación Del Petróleo*, 256–270.
- Dufrense, C. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.
- Eddy, M. y. (1996). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. In *Nuevos sistemas de comunicación e información*.
- EPA. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial. *United States Environmental Protection Agency, (Us Epa)*., 13.
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2022). *Estructuras de conducción del agua*. [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6708s/x6708s08.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm)
- Fernández, R. (2016). Pretratamientos / Aguas. *Escuela de Organización Industrial*.
- Franco, A., y Rosel, A. (2002). *Curso Internacional " GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES " 25 al 27 de setiembre de 2002*.
- Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del agua Consejería de Agricultura, Ganadería, P. y D. S. (2021). *Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales*.

- Gandarillas R., V., Saavedra, O., Escalera, R., y Montoya, R. (2017). Revisión De Las Experiencias En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Mediante Reactores Uasb En Cochabamba-Bolivia Comparadas Con Las De Latinoamérica, India Y Europa. *Investigacion y Desarrollo*, 17(1), 83–98. <https://doi.org/10.23881/idupbo.017.1-7i>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Guadalupe. (2019). *Plan De Desarrollo Y Territorial de Guadalupe*. 1–277.
- Gobierno Municipal del cantón Zamora. (2021). *Ordenanza De Gestión Del Servicio De Agua Potable Y Saneamiento En El Cantón Zamora*. 1–18.
- Guadalupe, G. A. descentralizado P. de. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Guadalupe 2015-2019. *Parroquia Guadalupe*. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1960138300001\\_PDO\\_T\\_GUADALUPE\\_FINAL\\_\(Listo\)\\_30-10-2015\\_19-23-38.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1960138300001_PDO_T_GUADALUPE_FINAL_(Listo)_30-10-2015_19-23-38.pdf)
- Gustavo, J., Sánchez, C., Estefanía, J., y Solórzano, C. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros ( Eisenia foetida ) en aguas residuales domésticas para zonas rurales*. 80–99.
- Hernández Munoz, A., Hernández Lehmann, A., y Galán Martínez, P. (2004). *Manual De Depuración Uralita* (p. 429). [www.parainfo.es](http://www.parainfo.es)
- Inen. (1997). Código De Practica Para El Diseño De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas Y Residuos Líquidos En El Área Rural. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2, 50. [https://archive.org/details/ec.cpe.5.9.2.1997/page/n1/mode/2up%0Ahttps://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5-parte9.2-1.pdf%0Ahttps://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5-parte9.2-1.pdf](https://archive.org/details/ec.cpe.5.9.2.1997/page/n1/mode/2up%0Ahttps://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9.2-1.pdf%0Ahttps://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9.2-1.pdf)
- INEN 2169. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras. *Instituto Ecuatoriano De Normalización*, 26. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>
- INEN 2266. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2266 : 2013 Primera revisión: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO. Primera Ed,* 1–20. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>

- Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). Protocolo de Toma de Muestras de Agua Residual. *Www.Defensa.Gob*, 10.
- Jaramillo, M., Agudelo, R., y Peñuela, G. (2016). *Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales contruidos de flujo subsuperficial horizontal Optimization of wastewater treatment from a flower crops using a.* <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n1a03>
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador. Siembra y producción de pasturas. In *Nucl. Phys.* (1ra Edició, Vol. 13, Issue 1).
- Ley Orgánica de Salud. (2015). Ley Órgánica de Salud del Ecuador. *Plataforma Profesional de Investigacion Jurídica, Registro O*, 13. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD4.pdf>
- Lozano-rivas, I. W. A. (2012). *FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES.*
- Mena-Sanz, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. *CONAMA - Alquimia Soluciones Ambientales - España*, 25.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2015). Revisión y Actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Deacraga de Efluentes: Recurso Agua. *Registro Oficial No. 387, 97*, 1–40. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales (Systematization of wastewater treatment and reuse).*
- Montsoriu, T., y de Dios, J. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* Metcalf y Eddy.
- Noyola, A., Morgan, J., y Guereca, L. (2013). Selección de Tecnologías Para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales GUÍA DE APOYO PARA CIUDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS. In *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales.* <http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- Orellana, J. (2005). *Conducción de liquidos residuales.* 1–72.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA, 10(2)*, 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Peña, S., Mayorga, J., y Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales



- de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). *Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 161–168.
- Proaño, R. S. (2021). Generalidades sobre el agua en las comunidades rurales. *ARA LA GENTE*.
- Quito, E. M. de A. y A. P. de. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q*.
- Ramalho, R. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Ramirez, C. A. S. (2021). Calidad del agua: Evaluación y Diagnóstico. In *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula* (Vol. 4, Issue 7).  
<https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>
- Rivera, P., Chávez, R., y Salinas, F. R. (2018). Avances y limitantes en el tratamiento del agua residual del estado de Zacatecas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(1), 113–123.  
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-08>
- Rodríguez, J. J., Martín, I., Betancort, J. R., Peñate, B., Pidre, J. R., y Sardon, N. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. M. In *Manual*. <http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>
- Rodríguez, J. P., García, A., y Pinzón, J. P. (2015). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*. 19(46), 149–164.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a02>
- Rodríguez, L. (2020). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes*. Gestion Del Agua ETSII - UPM.
- Romero, J. A. R. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño* (p. 1233).
- Romero Zúñiga, L. E. (2001). Control de procesos. In *Ingeniería Química* (Vol. 33, Issue 377).  
<https://doi.org/10.17345/9788484241027>
- Sáenz, R. tinoco, y Correa, J. E. (2017). *Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Un Sistema Anaerobio Para Comunidades Rurales* (Vol. 2, pp. 68–70).
- Salud, O. P. de la. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*.
- Sandoval-Herazo, M., Nani, G., Sandoval, L. C., Rivera, S., Fernandez-Lambert, G., y Alvarado-Iassman, A. (2020). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES PARCIALMENTE SATURADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS*. June.

- Secretaría del Agua. (2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos. *Registro Oficial Suplemento N° 305*, 68. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12114/623>
- Serrano, E. (2005). Control de la deficiencia de nutrientes en un proceso de depuración biológica. *Tecnología Del Agua*, 25(265), 72–78.
- Soya, M. (1998). Evaluación del requerimiento de nitrógeno y Fósforo en Sistemas de Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales. In *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (Vol. 6, Issue 0, pp. 65–75).
- Synertech. (2020). *Oxidación química y avanzada para aguas residuales industriales*. <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/oxidacion-quimica-y-avanzada-para-aguas-residuales-industriales>
- Tobergte, D. R., y Curtis, S. (2013). Guía metodologica para el desarrollo del Estudio de Caracterizacion de Residuos Solidos Municipales (EC-RSM). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Torres-Degro, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matematico lineal, geometrico y exponencial. *CIDE Digital (Etapa I)*, 2(1), 143–162. <http://journals.upr.edu/index.php/cidedigital/article/view/11774>
- Torres, P. (2013). Perspectivas Del Tratamiento Anaerobio De Aguas Residuales Domésticas En Países En Desarrollo (Perspectives of Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Developing Countries). *Revista EIA*, 9(18), 115–129. <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/264>
- Vargas, A., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., y Núñez, D. (2020). *Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia Biological system analysis for domestic wastewater treatment in Colombia*. 28, 315–322.
- Vidal, G., y Araya, F. (2014). *Las Aguas servidas y su depuración en zonas rurales: Situación Actual y Desafíos*.
- Zurita-mart, F., Castellanos-hern, O. A., y Rodr, A. (2011). *El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de méxico\* municipal wastewater treatment in rural communities in mexico*. 139–150.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Fase de campo del trabajo de investigación.

 A photograph showing a concrete pipe discharging water into a rocky stream. The stream is surrounded by dense green vegetation and trees.	 A close-up photograph of a pipe's outlet with water flowing out. A white bucket is placed below the pipe to catch the water, and a person's hand is visible near the bucket.	 A photograph of a person standing on a concrete structure, holding a white bucket to collect a sample of water from a pipe. The background shows a rocky stream and dense vegetation.
<p><b>Foto 1. Punto de descarga del sistema de alcantarillado.</b></p>	<p><b>Foto 2. Aforo del caudal.</b></p>	<p><b>Foto 3. Toma de muestras del agua residual.</b></p>



Foto 4. Repetición de aforo.



Foto 5. Lavado del sensor del multiparámetro con agua destilada.



Foto 6. Determinación de la temperatura y pH.



**Foto 7. Llenado del recipiente para las muestras simples.**



**Foto 10. Almacenamiento en hielo de muestras simples.**

**Foto 8. Recipiente de las muestras simples con hora de muestreo.**



**Foto 11. Conformación de la muestra compuesta con un volumen de 5 litros.**

**Foto 9. Etiquetado de recipientes para las muestras compuestas.**



**Foto 12. Multiparámetro sension 156 marca HACH.**



**Foto 13. Estación Total Sokkia Set 610.**



**Foto 14. Georreferenciación con levantamiento anterior del barrio.**



**Foto 15. Punto de ubicación de la estación total para el levantamiento.**



**Foto 16. Montaje realizado de la estación total.**



**Foto 17. Levantamiento topográfico del lugar**



**Foto 18. Levantamiento topográfico del lugar.**

## Anexo 2. Referencias de diseño para medidor Parshall

**Tabla 78.** Límite de aplicación medidores Parshall con descarga libre.

W GARGANTA		CAPACIDAD L/S	
pulg.	cm.	Mínimo	Máximo
3	7,6	0,9	53,8
6	15,2	1,5	110,4
9	22,9	2,6	251,9
1	30,5	31	455,6
1,5	45,7	4,3	696,2
2	61	11,9	936,7
3	91,5	17,3	1426,3
4	122	36,8	1921,5
5	152,5	62,8	2422
6	183	74,4	2929
7	213,5	115,4	3440
8	244	130,7	3950
10	305	220	5660

**Tabla 79.** Valores de los coeficientes  $K$  y  $n$  en función de  $W$ .

W		n	K	
Pulg. , pies	m		U. métricas	U. inglesas
3"	0,076	1,547	0,176	0,0992
6"	0,152	1,58	0,381	2,06
9"	0,229	1,53	0,535	3,07
1"	0,305	1,522	0,69	4,00
1 <sup>1/2</sup> "	0,457	1,538	1,054	6,00
2"	0,61	1,55	1,426	8,00
3"	0,915	1,566	2,182	12,00
4"	1,22	1,578	2,935	16,00
5"	1,525	1,587	3,728	20,00
6"	1,83	1,595	4,515	24,00
7"	2,135	1,601	5,306	28,00
8"	2,44	1,606	6,101	32,00



**Tabla 80.** Dimensiones típicas de medidores Parshall en cm.

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> '	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

### Anexo 3. Valores obtenidos en las cuatro jornadas de muestreo

**Tabla 81.** Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día lunes.

Hora	Muestra	Tiempo (s)	Promedio tiempo (s)	Caudal (l/s)	Temperatura (°C)	pH
5:00	1°	90,95	92,813	0,165	24,20	6,96
		92,78				
		94,71				
5:30	2°	82,9	75,553	0,202	24,30	7,13
		77,96				
		65,8				
6:00	3°	73,5	67,403	0,227	24,00	7,24
		69,95				
		58,76				
6:30	4°	43,69	44,723	0,342	24,20	7,22
		48,72				
		41,76				
7:00	5°	26,92	26,787	0,570	24,50	6,93
		25,14				
		28,3				
7:30	6°	36,52	36,617	0,417	24,00	7,07
		38,77				
		34,56				
8:00	7°	42,04	41,687	0,366	24,50	7,01
		42,24				
		40,78				
8:30	8°	28,84	28,663	0,533	24,30	6,98
		27,72				
		29,43				
9:00	9°	15,92	20,930	0,730	24,40	6,92
		24,12				
		22,75				
9:30	10°	39,48	39,910	0,383	24,40	7,09
		40,69				
		39,56				
10:00	11°	44,05	45,790	0,334	24,50	6,90
		46,54				
		46,78				
10:30	12°	40,78	40,780	0,375	24,60	6,96
		42,8				
		38,76				
11:00	13°	32,85	33,890	0,451	24,50	6,75
		35,26				
		33,56				
11:30	14°	36,94	30,867	0,495	24,40	6,72
		28,89				
		26,77				
12:00	15°	31,96	30,843	0,495	24,20	6,80
		32,68				
		27,89				
12:30	16°	29,51	30,603	0,499	24,40	6,84
		31,47				
		30,83				
13:00	17°	20,91	20,390	0,749	24,20	6,64
		19,52				
		20,74				

**Tabla 82.** Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día martes.

Hora	Muestra	Tiempo (s)	Promedio tiempo (s)	Caudal (l/s)	Temperatura (°C)	pH
11:30	1°	34,67	31,233	0,489	24,50	7,04
		25,89				
		33,14				
12:00	2°	48,56	49,227	0,310	24,00	6,77
		53,78				
		45,34				
12:30	3°	45,66	43,573	0,351	24,90	7,07
		42,83				
		42,23				
13:00	4°	34,7	34,597	0,442	24,70	6,92
		37,63				
		31,46				
13:30	5°	22,51	22,920	0,666	24,60	6,77
		25,36				
		20,89				
14:00	6°	21,59	20,303	0,752	24,50	6,70
		19,77				
		19,55				
14:30	7°	18,6	18,287	0,835	24,50	6,83
		17,89				
		18,37				
15:00	8°	20,42	20,410	0,748	24,50	6,59
		22,03				
		18,78				
15:30	9°	11,15	12,633	1,209	24,40	6,67
		13,98				
		12,77				
16:00	10°	18,24	19,283	0,792	24,20	6,52
		20,68				
		18,93				
16:30	11°	23,35	24,267	0,629	24,20	6,53
		27,62				
		21,83				
17:00	12°	24,24	24,403	0,626	24,20	6,40
		25,36				
		23,61				
17:30	13°	18,21	18,630	0,820	24,10	6,81
		16,15				
		21,53				
18:00	14°	21,46	20,507	0,745	24,10	6,55
		23,72				
		16,34				
18:30	15°	16,13	17,043	0,896	24,40	6,69
		19,27				
		15,73				
19:00	16°	17,44	17,923	0,852	24,40	6,48
		19,8				
		16,53				
19:30	17°	13,63	14,143	1,080	24,40	6,40
		13,56				
		15,24				

**Tabla 83.** Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día sábado.

Hora	Muestra	Tiempo (s)	Promedio tiempo (s)	Caudal (l/s)	Temperatura (°C)	pH
11:30	1°	10,23	9,393	1,626	25,90	6,43
		8,59				
		9,36				
12:00	2°	7,25	9,377	1,629	25,00	6,25
		9,9				
		10,98				
12:30	3°	14,48	12,960	1,179	25,50	6,56
		12,1				
		12,3				
13:00	4°	15,25	15,077	1,013	25,00	6,18
		14,09				
		15,89				
13:30	5°	20,75	20,243	0,755	24,90	6,57
		18,56				
		21,42				
14:00	6°	20,86	20,393	0,749	24,80	6,35
		20,55				
		19,77				
14:30	7°	18,42	18,193	0,840	24,70	6,51
		19,43				
		16,73				
15:00	8°	19,53	20,663	0,739	24,80	6,34
		22,34				
		20,12				
15:30	9°	17,48	16,793	0,910	24,70	6,69
		16,56				
		16,34				
16:00	10°	23,66	22,087	0,692	24,60	6,27
		20,73				
		21,87				
16:30	11°	16,76	16,903	0,904	24,50	6,56
		15,73				
		18,22				
17:00	12°	19,6	18,167	0,841	24,10	6,42
		16,34				
		18,56				
17:30	13°	25,71	24,133	0,633	24,10	6,63
		22,56				
		24,13				
18:00	14°	25,77	24,927	0,613	24,00	6,56
		25,13				
		23,88				
18:30	15°	27,31	23,433	0,652	24,20	6,43
		22,56				
		20,43				
19:00	16°	17,2	16,500	0,926	24,10	6,49
		15,43				
		16,87				
19:30	17°	12,56	13,823	1,105	24,00	6,63
		14,78				
		14,13				

**Tabla 84.** Datos obtenidos en la jornada de muestreo del día domingo.

Hora	Muestra	Tiempo (s)	Promedio tiempo (s)	Caudal (L/s)	Temperatura (°C)	pH
11:30	1°	17,72	18,880	0,809	25,50	6,66
		18,98				
		19,94				
12:00	2°	24,36	24,300	0,629	25,80	6,27
		24,5				
		24,04				
12:30	3°	21,5	20,790	0,735	25,20	6,30
		21,31				
		19,56				
13:00	4°	28,62	22,190	0,688	24,90	6,45
		18,79				
		19,16				
13:30	5°	20,54	20,417	0,748	25,00	6,52
		20,05				
		20,66				
14:00	6°	19,78	19,210	0,795	24,90	6,53
		18,88				
		18,97				
14:30	7°	18,91	19,847	0,770	24,80	6,52
		20,58				
		20,05				
15:00	8°	23,79	24,813	0,616	24,80	6,60
		24,91				
		25,74				
15:30	9°	21,65	22,447	0,681	24,80	6,66
		22,92				
		22,77				
16:00	10°	23,77	22,893	0,667	24,80	6,59
		19,97				
		24,94				
16:30	11°	32,93	34,070	0,448	24,90	6,94
		32,91				
		36,37				
17:00	12°	30,65	29,117	0,525	24,80	6,79
		29,53				
		27,17				
17:30	13°	33,53	34,873	0,438	24,70	6,80
		35,66				
		35,43				
18:00	14°	35,42	27,960	0,546	24,70	6,69
		22,8				
		25,66				
18:30	15°	34,3	35,027	0,436	24,40	6,79
		35,39				
		35,39				
19:00	16°	21,65	25,223	0,606	24,30	6,69
		25,35				
		28,67				
19:30	17°	20,29	18,680	0,818	24,30	6,67
		14,39				
		21,36				

**Anexo 4.** Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales

**Tabla 85.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.


Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
<u>Aceites y grasas</u>	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	Ba	mg/l	2
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2 000
Color real	Color real	mg/l	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
<u>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</u>	DBO5	mg/l	50
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100
Estaño	Sn	mg/l	5
Floururos	F	mg/l	5
Fósforo total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2

Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos suspendidos totales	SSt	mg/l	80
Sólidos totales	St	mg/l	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C	mg/l	< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1





Tabla 87. Resultado del análisis de la segunda muestra.

 <b>IHTALAB</b> Laboratorio de Calidad de Agua	<b>LABORATORIO PARA DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL</b> <b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b> CODIGO: F01-PG19			
	INFORME No.	OA-21-111	Fecha de Emisión del Informe:	2022-01-03
CLIENTE:	Anderson Fabian Zapata Jara		RUC:	1104229867
DIRECCION:	Loja		TELEFONOS:	0986696334
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA	
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Guaguayme Alto			
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB ( ) CLIENTE (X) OTRO ( )	
Fecha de Recolección de muestras:	2021-12-07	Hora recolección:	N/A	
Fecha de Recepción de muestras:	2021-12-08	Hora recepción:	22:20:00	
Fecha de Inicio de Ensayos:	2021-12-08	Fecha Fin de Ensayos:	2022-01-05	

Quando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información ahí contenida

**RESULTADO ANALISIS DE AGUA**

AA	Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA		
				Resultados 21-111	Valores máximos permisibles <sup>1</sup>	Limite de cuantificación
	Nitrógeno Total Kjendahl	APHA 4500 - Norg D	mg/l	14.5	60	1 - 150 mg/L
	Amonio	EPHA 350	mg/l	10.5	N/A	0.1 - 50 mg/L
	Nitratos	APHA 4500 - NO3 E	mg/l	13.6	N/A	1 - 300 mg/L
	Nitrógeno Total Suspendido	APHA 4500 - N C	mg/l	3.36	N/A	N/A
	Nitrógeno Total Soluble	APHA 4500 - N C	mg/l	26.5	N/A	N/A
	Fósforo Total	APHA 4500 - PC	mg/l	4.2	15	1 - 150 mg/L
	Sólidos Totales	APHA 2540 D	mg/l	270	1600	150 - 46000 mg/L
	Sólidos Sedimentables	APHA 2540 F	ml/l	0.5	20	0.1 - 1000 ml/L
	Sólidos Totales Disueltos	APHA 2510 A	mg/l	208	N/A	100 - 3000 mg/L
	Sólidos Suspendidos	HACH 8006	mg/l	76.3	N/A	30 - 750 mg/L
	Sólidos Suspendidos Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	64.4	N/A	10 - 100 mg/L
	Sólidos Suspendidos No Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	12	N/A	10 - 100 mg/L
	Turbidez	APHA 2130 B	NTU	22.1	N/A	0.1 - 1000 NTU
	Alcalinidad	APHA 2320 B	mgCaCO <sub>3</sub> /l	350	N/A	10 - 1000 mg/L
	Aceites y Grasas	APHA 5520 C	mg/l	40	70	0.1 - 500 mg/L
	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	24	250	N/A
	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	56	250	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	30	500	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	69	500	N/A

<b>NOTAS:</b>	
Ensayos realizados bajo la norma ISO 17025	1: Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO, DEL LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL TULSMA.
Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:







Firmado electrónicamente por  
**CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS**

Azogues, martes 4 de enero de 2022



Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce  
 Azogues - Ecuador  
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296  
 Mail: ihta.azogues@gmail.com


Tabla 88. Resultado del análisis de la tercera muestra.

 <b>IHTALAB</b> <small>Laboratorio de Calidad de Agua</small>		<b>LABORATORIO PARA DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL</b> <b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b> CODIGO: F01-PG19				
INFORME No.	OA:21-108	Fecha de Emisión del Informe:	2022-01-03	Revisión 02		
CLIENTE:	Anderson Fabian Zapata Jara		RUC:	1104229867		
DIRECCION:	Loja		TELEFONOS:	0986696334		
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA			
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Guaguayme Alto					
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB ( )	CLIENTE (X)	OTRO ( )	
Fecha de Recolección de muestras:	2021-12-04	Hora recolección:	N/A			
Fecha de Recepción de muestras:	2021-12-06	Hora recepción:	22:20:00			
Fecha de Inicio de Ensayos:	2021-12-06	Fecha Fin de Ensayos:	2022-01-03			
<b>RESULTADO ANALISIS DE AGUA</b>						
AA	Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA		
				Resultados 21-108	Valores máximos permisibles <sup>1</sup>	Límite de cuantificación
	Nitrógeno Total Kjendahl	APHA 4500 - Norg D	mg/l	11,5	60	1 - 150 mg/L
	Amonio	EPHA 350	mg/l	8,79	N/A	0.1 - 50 mg/L
	Nitratos	APHA 4500 - NO3 E	mg/l	10,6	N/A	1 - 300 mg/L
	Nitrógeno Total Suspendido	APHA 4500 - N C	mg/l	1,15	N/A	N/A
	Nitrógeno Total Soluble	APHA 4500 - N C	mg/l	20,1	N/A	N/A
	Fósforo Total	APHA 4500 - PC	mg/l	3,5	15	1 - 150 mg/L
	Sólidos Totales	APHA 2540 D	mg/l	330	1600	150 - 46000 mg/L
	Sólidos Sedimentables	APHA 2540 F	ml/l	0,3	20	0.1 - 1000 ml/L
	Sólidos Totales Disueltos	APHA 2510 A	mg/l	240	N/A	100 - 3000 mg/L
	Sólidos Suspendidos	HACH 8006	mg/l	95,5	N/A	30 - 750 mg/L
	Sólidos Suspendidos Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	50,1	N/A	10 - 100 mg/L
	Sólidos Suspendidos No Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	45,5	N/A	10 - 100 mg/L
	Turbidez	APHA 2130 B	NTU	40,2	N/A	0.1 - 1000 NTU
	Alcalinidad	APHA 2320 B	mgCaCO <sub>3</sub> /l	350	N/A	10 - 1000 mg/L
	Aceites y Grasas	APHA 5520 C	mg/l	41	70	0.1 - 500 mg/L
	Demanda Bloquímica de oxígeno (DBOS) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	27	250	N/A
	Demanda Bloquímica de oxígeno (DBO5) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	42	250	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	33	500	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	48	500	N/A
<b>NOTAS:</b>						
Ensayos realizados bajo la norma ISO 17025		1: Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO, DEL LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL TULSMA.				
Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado						
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.		Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.				
<b>Observaciones:</b>						
		<b>Informe aprobado y autorizado por:</b>   Firmado digitalmente por <b>CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS</b> Azogues, martes 4 de enero de 2022				



Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce  
 Azogues - Ecuador  
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296  
 Mail: ihta.azogues@gmail.com

Tabla 89. Resultado del análisis de la cuarta muestra.

 <b>IHTALAB</b> Laboratorio de Calidad de Agua		<b>LABORATORIO PARA DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL</b> <b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b> CODIGO: F01-PG19			
INFORME No.	OA21-109	Fecha de Emisión del Informe:	2022-01-03	Revisión 02	
CLIENTE:	Anderson Fabian Zapata Jara		RUC:	1104229867	
DIRECCION:	Loja		TELEFONOS:	0986696334	
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA		
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Guaguayme Alto				
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB ( )	CLIENTE (X)	OTRO ( )
Fecha de Recolección de muestras:	2021-12-05	Hora recolección:	N/A		
Fecha de Recepción de muestras:	2021-12-06	Hora recepción:	22:20:00		
Fecha de Inicio de Ensayos:	2021-12-06	Fecha Fin de Ensayos:	2022-01-03		

Cuando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información ahí contenida

**RESULTADO ANALISIS DE AGUA**

AA	Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA		
				Resultados 21-109	Valores máximos permisibles <sup>1</sup>	Límite de cuantificación
	Nitrógeno Total Kjendahl	APHA 4500 - Norg D	mg/l	13.5	60	1 - 150 mg/L
	Amonio	EPHA 350	mg/l	11.2	N/A	0.1 - 50 mg/L
	Nitratos	APHA 4500 - NO3 E	mg/l	8.2	N/A	1 - 300 mg/L
	Nitrógeno Total Suspendido	APHA 4500 - N C	mg/l	1.3	N/A	N/A
	Nitrógeno Total Soluble	APHA 4500 - N C	mg/l	20.1	N/A	N/A
	Fósforo Total	APHA 4500 - PC	mg/l	3.3	15	1 - 150 mg/L
	Sólidos Totales	APHA 2540 D	mg/l	320	1600	150 - 46000 mg/L
	Sólidos Sedimentables	APHA 2540 F	ml/l	0.45	20	0.1 - 1000 ml/L
	Sólidos Totales Disueltos	APHA 2510 A	mg/l	200	N/A	100 - 3000 mg/L
	Sólidos Suspendidos	HACH 8006	mg/l	135	N/A	30 - 750 mg/L
	Sólidos Suspendidos Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	55.2	N/A	10 - 100 mg/L
	Sólidos Suspendidos No Volátiles	APHA 2540 E	mg/l	80	N/A	10 - 100 mg/L
	Turbidez	APHA 2130 B	NTU	45	N/A	0.1 - 1000 NTU
	Alcalinidad	APHA 2320 B	mgCaCO <sub>3</sub> /l	321	N/A	10 - 1000 mg/L
	Aceites y Grasas	APHA 5520 C	mg/l	45	70	0.1 - 500 mg/L
	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	28	250	N/A
	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	45	250	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Soluble	APHA 5220 D	mg/l	35	500	N/A
	Demanda Química de oxígeno (DQO) Suspendida	APHA 5220 D	mg/l	49	500	N/A

<b>NOTAS:</b>	
Ensayos realizados bajo la norma ISO 17025	1: Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO, DEL LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL TULSMA.
Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:




Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS**

Azogues, martes 4 de enero de 2022



Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce  
 Azogues - Ecuador  
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296  
 Mail: ihta.azogues@gmail.com

## Anexo 6. Referencia de cargas contaminantes y concentraciones

**Tabla 86.** Concentraciones de aguas residuales en pequeñas comunidades.

Parámetro	Andalucía	Canarias	MAE (2002)
Sólidos en suspensión (mg/l)	300-500	350-3300	50-350
DBO5 (mg/l)	400-600	480-1500	100-400
DQO (mg/l)	800-1200	1200-4500	200-1000
Nitrógeno (mg N/l)	50-100	60-160	20-60
Fósforo (mg P/l)	10-20	20-65	1-10
Grasas (mg/l)	50-100	60-120	40-150
Coliformes Totals (ufc/100 ml)	$10^7 - 10^8$	$10^6 - 10^7$	$10^7$

**Tabla 87.** Concentraciones de diferentes parámetros en aguas residuales.

	Contaminación fuerte	Contaminación media	Contaminación débil
Sólidos en suspensión (mg/L)	350	220	100
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
COT (mg/L)	290	160	80
N <sub>T</sub> (mg N/L)	85	40	20
N <sub>orgánico</sub> (mg N/L)	35	15	8
N <sub>amoniaco</sub> (mg N/L)	50	25	12
P <sub>T</sub> (mg P/L)	15	8	4
P <sub>orgánico</sub> (mg P/L)	5	3	1
P <sub>inorgánico</sub> (mg P/L)	10	5	3
Coliformes totales (NMP/100 mL)	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^8$	$10^6 - 10^7$
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$10^6 - 10^8$	$10^6 - 10^7$	$10^5 - 10^6$

**Anexo 7.** Matrices de decisión de cada línea de tratamiento propuesta

**Tabla 88.** Modelo de matriz de decisión.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Criterios evaluados	CALIFICACION 0 = deficiente 1 = baja 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados			
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar			
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga			
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D			
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible			
2,2		Características constructivas de los terrenos			
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D			
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura			
3,2		Pluviometría			
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D			
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores			
4,2		Generación de gases de efecto invernadero			
4,3		Generación de ruidos			
4,4		Impacto visual			
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D			
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados			
5,2		Estabilidad de lodos generados			
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D			
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado			
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico			
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D			
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción			
7,2		Costos de operación y mantenimiento			
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D			
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			

**Tabla 89.** Matriz de decisión para la línea de tratamiento de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = deficiente 1 = baja 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	1		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,6	9
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	1		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	6
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	1		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	3		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	5		
4,4		Impacto visual	3		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,7	14
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	5		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	1		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,4	6
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	5		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	3		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			66

**Tabla 90.** Matriz de decisión para la línea de tratamiento de lagunas de estabilización.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	5		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	5		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		1	15
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	3		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	3		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	1		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	5		
4,4		Impacto visual	5		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,7	14
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	5		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	3		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	5		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	5		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	15
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			83

**Tabla 91.** Matriz de decisión para la línea de tratamiento de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal  Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	5		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,9	13
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	5		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	3		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	3		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	5		
4,4		Impacto visual	5		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,8	16
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	3		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	5		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	5		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	5		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	15
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			86



**Tabla 92.** Matriz de decisión para la línea de tratamiento de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Tanque Imhoff + Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical  Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	5		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,9	13
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	5		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	3		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	3		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	5		
4,4		Impacto visual	5		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,8	16
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	3		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	5		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	5		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	5		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	15
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			86

**Tabla 93.** Matriz de decisión para la línea de tratamiento de Filtros Percoladores.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Tanque Imhoff+ Filtros Percoladores + Sedimentación Secundaria Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	3		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,73333	11
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	5		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	3		
3,2		Pluviometría	5		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	12
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	3		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	3		
4,4		Impacto visual	1		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,5	10
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	3		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	3		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	3		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	3		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	3		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			69

**Tabla 94.** Matriz de decisión para línea de tratamiento para Contactores Biológicos Rotativos con un Tanque Imhoff como tratamiento primario.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Tanque Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria Criterios evaluados	CALIFICACIÓN 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	5		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,9	13
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	5		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	5		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	15
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	3		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	3		
4,4		Impacto visual	3		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,6	12
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	3		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	3		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	1		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,4	6
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	3		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	3		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			73

**Tabla 95.** Matriz de decisión para una línea de tratamiento de Contactores Biológicos Rotativos con Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente como tratamiento primario.

	A	B	C	D	E
#	%	Proceso evaluado: Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentador Secundaria Criterios evaluados	CALIFICACION 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	C/total	D*A
1	15	EFICACIA DE REMOCIÓN			
1,1		Calidad exigida a los efluentes tratados	1		
1,2		Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	5		
1,3		Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3		
1,4		Sumar y dividir entre 15. Anotar en casilla D		0,6	9
2	10	TERRENOS DISPONIBLES			
2,1		Superficie disponible	5		
2,2		Características constructivas de los terrenos	5		
2,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	10
3	15	CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES			
3,1		Temperatura	5		
3,2		Pluviometría	5		
3,4		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		1	15
4	20	IMPACTOS AMBIENTALES			
4,1		Producción de malos olores	1		
4,2		Generación de gases de efecto invernadero	3		
4,3		Generación de ruidos	3		
4,4		Impacto visual	3		
4,5		Sumar y dividir entre 20. Anotar en casilla D		0,5	10
5	10	GENERACIÓN DE LODOS			
5,1		Cantidad de lodos generados	3		
5,2		Estabilidad de lodos generados	5		
5,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,8	8
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
6,1		Requerimiento de personal cualificado	3		
6,2		Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	1		
6,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,4	6
7	15	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
7,1		Costos de construcción	3		
7,2		Costos de operación y mantenimiento	3		
7,3		Sumar y dividir entre 10. Anotar en casilla D		0,6	9
8	100	SUMA DE LOS VALORES DE LA COLUMNA E			67

Anexo 8. Planos del sistema de tratamiento

Figura 49. Pretratamiento del sistema.

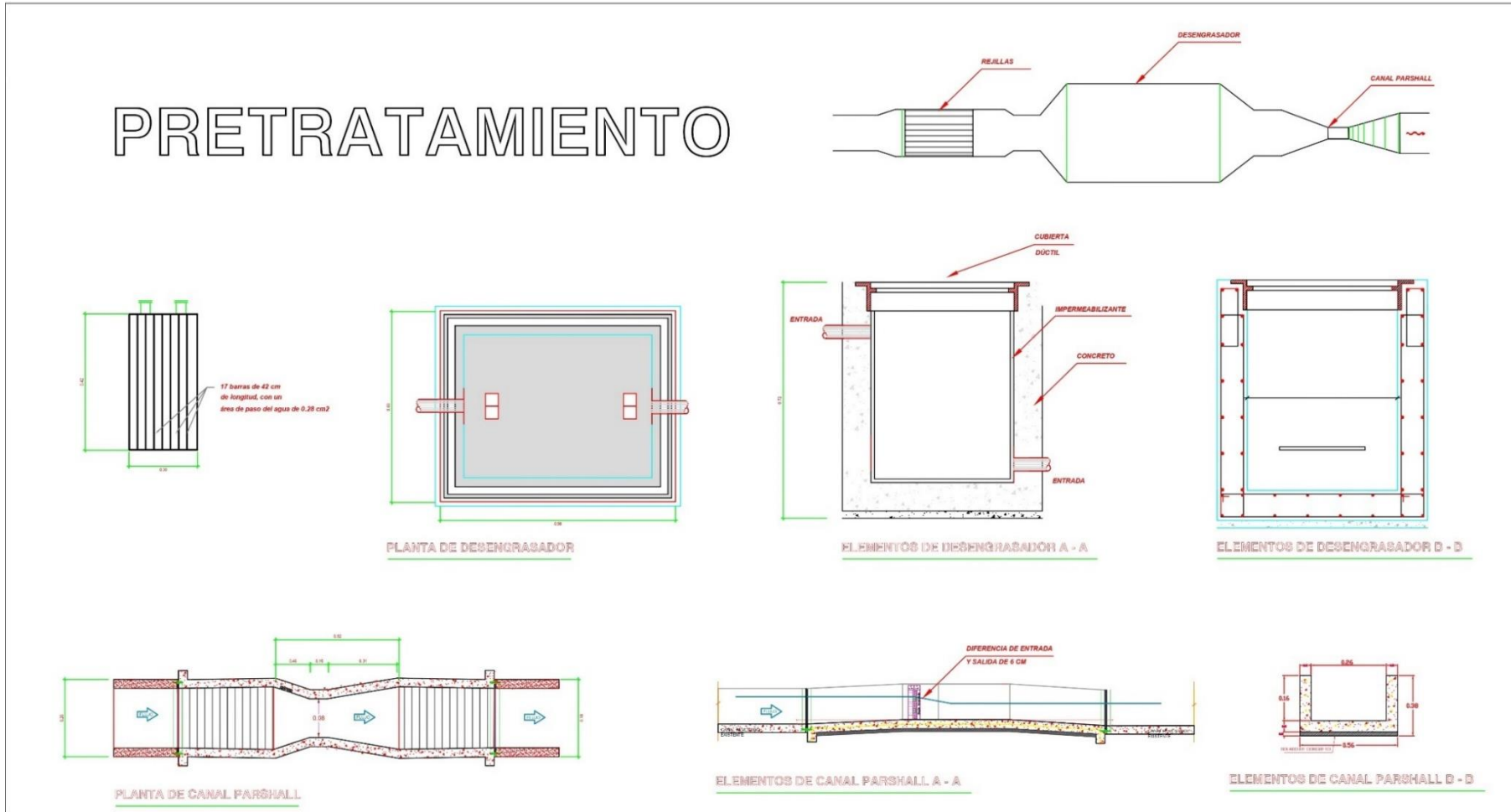




Figura 51. Diseño del tratamiento secundario.

# HUMEDAL ARTIFICIAL

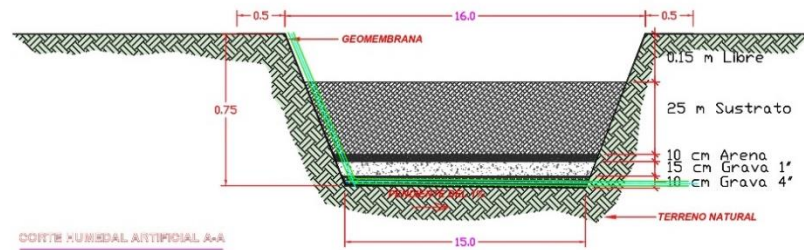
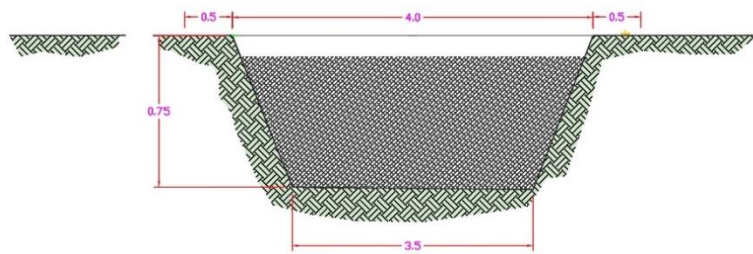
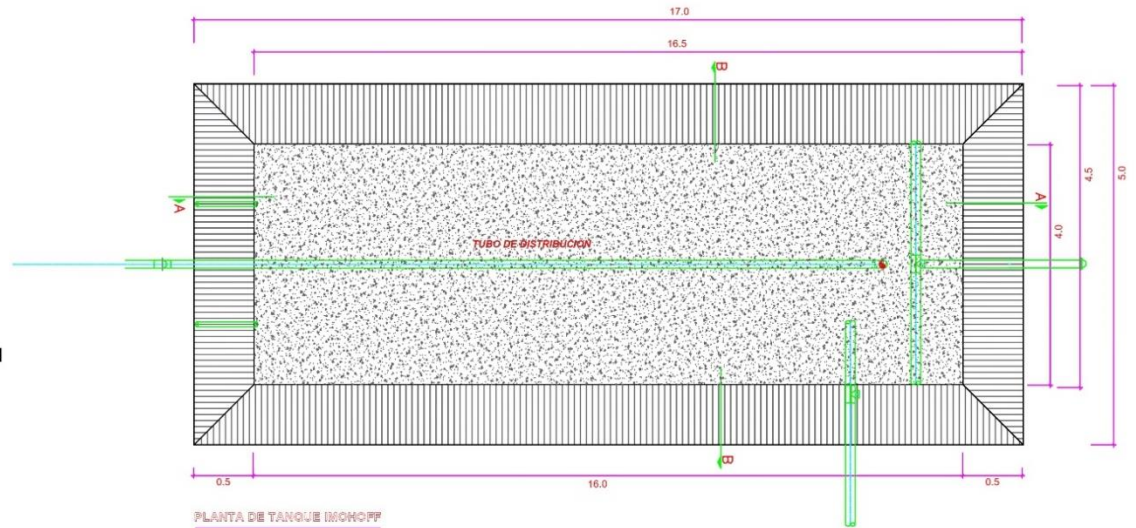
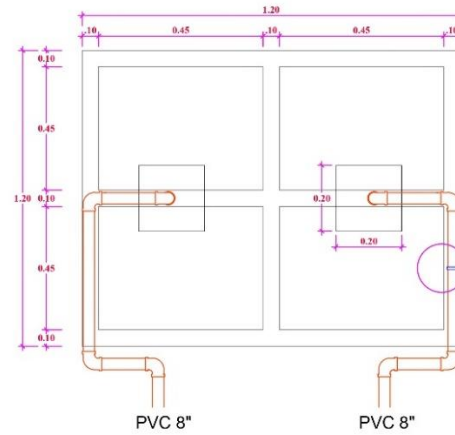


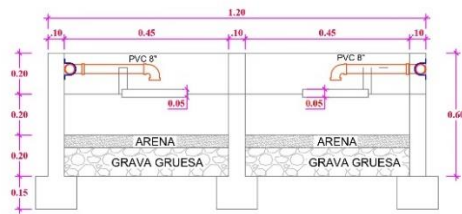
Figura 52. Diseño de lecho de secado.

# LECHO DE SECADO



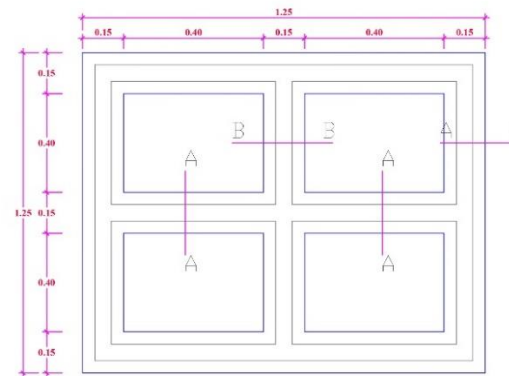
PLANTA DE LECHO DE SECADO

ESC. : 1/50



ELEMENTOS DE LECHO DE SECADO CORTE A - A

ESC. : 1/50



PLANTA DE CIMENTACIÓN

ESC. : 1/50



## Anexo 9. Certificación de traducción del resumen

Romero Ajila Guilda Nuri  
WhatsApp: 0993574347  
Zamora-Ecuador

Zamora, 16 de Agosto, 2023

La suscrita Guilda Nuri Romero Ajila Licenciada en Ciencias de la Educación especialidad IDIOMA INGLÉS a petición de la parte interesada y en forma legal.

### CERTIFICA:

Que la traducción del documento adjunto solicitado por el **Sr. Anderson Fabián Zapata Jara** con cédula de ciudadanía: 1104229867 cuyo tema de investigación se titula: **"Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio Guaguayme Alto del cantón Zamora"** ha sido realizado y aprobado por mi persona: Lic. Guilda Nuri Romero Ajila, Docente en Enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera.

El apartado del Abstract es una traducción textual del resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento hacer el uso legal necesario.



Guilda Nuri Romero Ajila  
Docente de Inglés