

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para una empresa productora de sacos**

Trabajo en modalidad de Megaproyecto presentado por Maria Ximena Figueroa de la Torre, Jose Andrés Barillas Trennert, Gabriela Barillas Basterrechea, Jarileen Jamileth Rucal León, para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química; y Daniela Isabel Sarti Maldonado para optar al grado académico de Licenciada en Psicopedagogía

Guatemala,  
2019



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para una empresa productora de sacos**

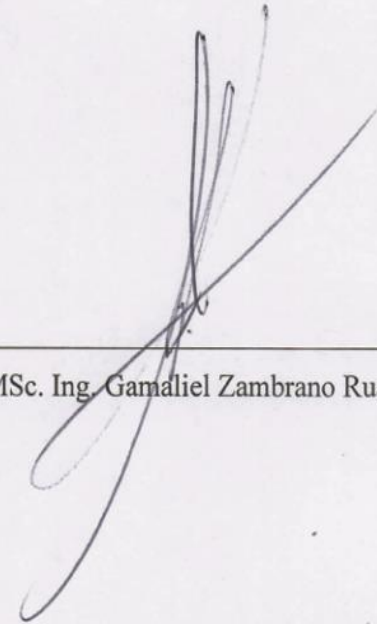
Trabajo en modalidad de Megaproyecto presentado por Maria Ximena Figueroa de la Torre, Jose Andrés Barillas Trennert, Gabriela Barillas Basterrechea, Jarileen Jamileth Rucal León, para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química; y Daniela Isabel Sarti Maldonado para optar al grado académico de Licenciada en Psicopedagogía

Guatemala,  
2019

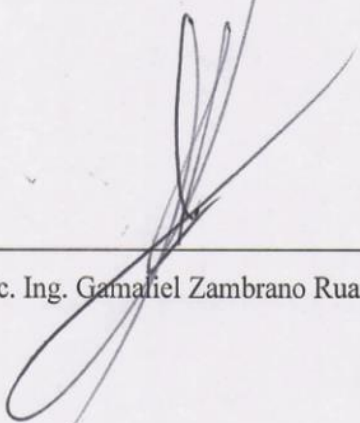


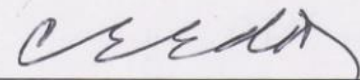
Vo. Bo.:

(f)   
Inga. Frances Recari Fernández

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

Directores de los estudiantes que participaron en el Megaproyecto:

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

(f)   
Licda. Carlota Escobar de Dávila

Fecha de aprobación: Guatemala, 28 de noviembre de 2019

## PREFACIO

La elaboración de este megaproyecto fue un reto, ya que fue necesario trabajar directamente con la empresa, con el objetivo de proveerles con una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proporcionó la oportunidad de trabajar en equipo y poder proponer una propuesta de solución de un problema real en la industria.

También fue una experiencia retadora el ponerse de acuerdo con todos los compañeros del grupo ya que se fueron corrigiendo algunos aspectos y se necesitaba del apoyo de todos para establecer lo que se quería lograr. Fue agradable también abrirse a otros campos que no eran de la carrera para aprender de otros temas diversos.

Gracias a los padres de familia que nos apoyaron incondicionalmente durante todo el proceso. Así como al Ing. Cristián Rossi, Ing. Jaime Rosales, Ing. Luis Nuñez, Lic. Luis Roberto de León, Ing. Frances Recari, Ing. Gamaliel Zambrano y a todo el departamento de Ingeniería Química por su apoyo en asesoramiento y revisiones del proyecto.

# ÍNDICE

<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>A. Objetivo general de megaproyecto .....</b>	<b>3</b>
<b>B. Objetivos generales de los módulos .....</b>	<b>3</b>
<b>C. Objetivos específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>IV. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
<b>Módulo 1:.....</b>	<b>7</b>
A. Acuerdo gubernativo.....	7
B. Aguas negras.....	8
C. Proyección de la demanda de agua .....	11
D. Tratamiento de agua residual .....	13
E. Diseño de una del tratamiento preliminar y primario .....	14
<b>Módulo 2:.....</b>	<b>30</b>
A. Tratamiento de aguas residuales .....	30
1. Tipos de tratamientos .....	30
B. Características del agua residual .....	31
C. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	32
D. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	32
E. Relación DQO/DBO <sub>5</sub> .....	33
F. Tratamiento secundario.....	34
G. Rol de los microorganismos en el tratamiento de aguas residuales .....	34

H.	Cinética del crecimiento microbiano en tratamiento secundario .....	35
I.	Tratamiento anaerobio .....	36
J.	Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB o RAFA) .....	37
K.	Tratamiento aerobio .....	41
L.	Tratamiento de lodos activados .....	42
M.	Tanque de aireación .....	42
N.	Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).....	43
O.	Tratamiento terciario.....	43
P.	Porcentaje de remoción.....	46
Q.	Normas y marcos legales .....	47
R.	Manuales .....	47
1.	Manual de operaciones .....	48
2.	Manual de mantenimiento.....	48
<b>Módulo 3:.....</b>		<b>49</b>
A.	Tratamiento de aguas residuales .....	49
B.	Desinfección .....	50
C.	Hipoclorito de calcio.....	56
D.	Hipoclorito de sodio.....	57
E.	Dióxido de cloro .....	60
<b>Módulo 4:.....</b>		<b>74</b>
<b>Módulo 5:.....</b>		<b>95</b>
A.	Aprendizaje .....	95
B.	Andragogía.....	97
C.	Educación ambiental.....	99
1.	Definición .....	99
2.	Objetivos de la Educación Ambiental.....	100
3.	Características .....	101
4.	Principios de la Educación Ambiental.....	102
D.	Capacitación laboral.....	102

1. Definición .....	102
2. Proceso de capacitación .....	103
3. Ciclo de Deming .....	104
4. Teoría de la Motivación Humana .....	106
E. Actitud.....	108
<b>V. ANTECEDENTES.....</b>	<b>110</b>
<b>A. Trabajos previos.....</b>	<b>110</b>
<b>B. Contexto de la empresa .....</b>	<b>111</b>
<b>VI. METODOLOGÍA .....</b>	<b>126</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>126</b>
<b>B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>130</b>
<b>C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>138</b>
<b>D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>144</b>
<b>E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos .....</b>	<b>149</b>
A. Pregunta de investigación .....	149
B. Hipótesis .....	150
C. Diseño de investigación .....	150
D. Variables .....	150
E. Población, muestra y unidad de análisis .....	152

F. Análisis estadístico.....	152
G. Técnicas e instrumentos .....	152
H. Validación .....	153
I. Procedimiento .....	154
J. Consideración ética.....	154
K. Alcances .....	155
L. Limitaciones.....	155
M. Asesor del trabajo de graduación .....	155
<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>156</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos. ....</b>	<b>156</b>
<b>B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>166</b>
<b>C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>175</b>
<b>D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>181</b>
<b>E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos .....</b>	<b>186</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>199</b>
<b>VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>207</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>207</b>

<b>B.Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>221</b>
<b>C.Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>225</b>
<b>D.Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>231</b>
<b>E.Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos .....</b>	<b>238</b>
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>242</b>
<b>X.RECOMENDACIONES.....</b>	<b>246</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>248</b>
<b>XII. ANEXOS.....</b>	<b>256</b>
<b>Datos originales .....</b>	<b>256</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>256</b>
<b>B.Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>258</b>
<b>C.Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>262</b>
<b>D.Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>262</b>
<b>E.Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos .....</b>	<b>267</b>
<b>A.Observación directa .....</b>	<b>267</b>

B. Entrevista Jefe de Recursos Humanos .....	268
C. Estudio sociodemográfico.....	269
D. Diagnóstico de necesidades .....	270
E. Postest .....	271
F. Consentimiento informado .....	272
G. Plan de capacitación .....	272
H. Programa de capacitación.....	276
Cálculos de muestra .....	286
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>286</b>
<b>B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>299</b>
<b>C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>312</b>
a. Bomba centrífuga.....	323
b. Bomba dosificadora .....	328
<b>D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>328</b>
<b>Datos calculados .....</b>	<b>335</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>335</b>
<b>B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>348</b>

<b>C.Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>358</b>
<b>D.Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>359</b>
<b>Manuales de operación, limpieza y mantenimiento.....</b>	<b>361</b>
<b>A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>361</b>
<b>B.Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos .....</b>	<b>370</b>
<b>C.Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006. ....</b>	<b>384</b>
<b>D.Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias</b>	<b>389</b>
1. Operación.....	389
2. Mantenimiento .....	392
Dibujos técnicos de los equipos .....	393
Válvula de vástago.....	399
Imágenes de metodología .....	403
Análisis microbiológico del agua de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala. ....	407
<b>E. Recuento de coliformes fecales, UFC, en las placas petrifilm. ....</b>	<b>408</b>
<b>F. Procedimiento para recuento de coliformes en placas petrifilm .....</b>	<b>411</b>
<b>XIII. GLOSARIO.....</b>	<b>414</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros permisibles de descarga de agua residual a alcantarillado público .....	8
Cuadro 2. Parámetros de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual .....	16
Cuadro 3. Material retenido utilizando rejillas .....	17
Cuadro 4. Tiempo de retención y caudal de entrada para trampas de grasas .....	19
Cuadro 5. Tamaños de partícula, número de Reynolds, régimen de flujo y la ley aplicable para la velocidad de sedimentación .....	24
Cuadro 6. Niveles de tratamiento de agua residual.....	31
Cuadro 7. Criterios de diseño recomendados para un reactor anaerobio de flujo ascendente .....	40
Cuadro 8. Eliminación de constituyentes por operaciones y procesos en tratamiento terciario .....	44
Cuadro 9. Resumen del desempeño de filtros percoladores en el tratamiento de aguas residuales.....	46
Cuadro 10. Características a tomar en cuenta a la hora de tener una planta de tratamiento de agua. ....	50
Cuadro 11. Efectividad para producir la mortalidad deseada .....	56
Cuadro 12. Estabilidad de soluciones de hipoclorito de sodio, a 25 °C.....	58
Cuadro 13. Residuales de cloro necesarios conforme a su pH. ....	59
Cuadro 14. Toxicidades para los diferentes desinfectantes. ....	61
Cuadro 15. Efectividad de los diferentes desinfectantes para los distintos patógenos. ....	63
Cuadro 16. Propiedades de los productos .....	63
Cuadro 17. Rango de precios del desinfectante .....	64
Cuadro 18. Tiempo requerido para cada logaritmo de reducción de concentración, utilizando cloro como desinfectante. ....	68

Cuadro 19. Gravedad específica y concentración de cloro libre disponible para las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio. ....	69
Cuadro 20. Valores típicos para la energía de activación para diferentes compuestos de cloro. ....	70
Cuadro 21. Niveles máximos de desinfectante residual (MRDL) .....	71
Cuadro 22. Dosis típica de cloro para los diferentes tipos de agua, con un tiempo de contacto de 30 minutos. ....	71
Cuadro 23. Dosis de cal típicas para mantener un pH de 12 por 2 horas y lograr la estabilización.....	76
Cuadro 24. Valores típicos de Y y kd. ....	79
Cuadro 25. Tiempos de retención sugeridos para un digestor anaerobio .....	80
Cuadro 26. Destrucción de sólidos volátiles .....	81
Cuadro 27. Límites máximos permisibles de valores de propiedades fisicoquímicas que no se deben exceder para la disposición final. ....	88
Cuadro 28. Ventajas y desventajas de bomba de diafragma.....	91
Cuadro 29. Usos del biogás producido en el digestor anaerobio y descripción .....	92
Cuadro 30. Consideraciones para el aprendizaje .....	96
Cuadro 31. Características de la Educación Ambiental. ....	101
Cuadro 32. Caudal de la demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018 .....	112
Cuadro 33. Caracterización de las aguas residuales de la empresa de sacos .....	113
Cuadro 34. Medición más reciente de los parámetros de aguas residuales pedidos por el acuerdo gubernativo 236-2006. ....	124
Cuadro 35. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de DQO .....	133
Cuadro 36. Reactivos para la determinación de DQO .....	133
Cuadro 37. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de Nitrógeno.....	134

Cuadro 38. Reactivos para la determinación de Nitrógeno .....	134
Cuadro 39. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de Fósforo .....	135
Cuadro 40. Reactivos para la determinación de Fósforo .....	136
Cuadro 41. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de DBO5 .....	137
Cuadro 42. Reactivos para la determinación de DBO5 .....	137
Cuadro 43. Reactivos utilizados en la experimentación. ....	138
Cuadro 44. Equipo y cristalería utilizada en la experimentación .....	139
Cuadro 45. Datos de equipo utilizado para realizar pruebas experimentales .....	144
Cuadro 46. Variables independientes y sociodemográficas de estudio. ....	151
Cuadro 47. Variables dependientes de estudio. ....	151
Cuadro 48. Valor máximo de agua residual de la empresa de las 5 áreas de descarga denominadas como: laminadora 3, pozo de absorción, fosa séptica, chillers y extrusión. .	156
Cuadro 49. Proyección de caudal de agua potable y residual proyectada para el 2030 utilizando un factor de conversión del 14% de agua potable a residual .....	157
Cuadro 50. Especificaciones del sistema de rejillas para el tratamiento preliminar .....	158
Cuadro 51. Especificaciones de la trampa de grasas para el tratamiento preliminar .....	159
Cuadro 52. Especificaciones del tanque de captación de flujo .....	160
Cuadro 53. Especificaciones del tanque sedimentador primario rectangular del tratamiento primario.....	161
Cuadro 54. Porcentajes promedio de reducción de los parámetros estudiados con tratamiento de enzimas para agua residual de tipo ordinario .....	166
Cuadro 55. Valores calculados obtenidos de los parámetros al utilizar un tratamiento de enzimas, el reactor anaerobio de flujo ascendente y el filtro percolador propuesto .....	167
Cuadro 56. Parámetros de diseño para el reactor anaerobio de flujo ascendente .....	169
Cuadro 57. Parámetros operativos para el reactor anaerobio de flujo ascendente.....	170

Cuadro 58. Dimensionamiento de la bomba centrífuga para trasladar el caudal de tratamiento primario hasta el reactor UASB .....	171
Cuadro 59. Parámetros de diseño para el filtro percolador.....	172
Cuadro 60. Especificaciones del medio filtrante .....	174
Cuadro 61. Comparación pareada para la ponderación de cada uno de los criterios tomados en cuenta para elección del desinfectante. ....	175
Cuadro 62. Matriz cualitativa para la selección del desinfectante.....	175
Cuadro 63. Dimensiones y materiales del tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio. ....	180
Cuadro 64. Dimensiones y material del tanque de contacto entre el agua residual y el hipoclorito de sodio.....	180
Cuadro 65. Características de la bomba peristáltica elegida, para cumplir con la demanda diaria de hipoclorito de sodio. La bomba peristáltica va a estar operando las 24 horas del día, los 7 días a la semana. ....	181
Cuadro 66. Dimensionamiento de la bomba centrífuga para poder trasladar el agua desde el tanque de tratamiento terciario de aguas residuales hasta el tanque de tratamiento cuaternario de aguas residuales.....	181
Cuadro 67. Dimensiones y parámetros de operación del digestor anaerobio de lodos semicontinuo .....	183
Cuadro 68. Cantidad de metano producida en digestor anaerobio, reactor UASB y energía contenida.....	184
Cuadro 69. Equipos necesarios para la purificación del gas.....	184
Cuadro 70. Comparación de nutrientes del lodo de la fosa séptica en relación a otros abonos .....	185
Cuadro 71. Dimensiones y parámetros de operación del patio de secado de lodos.....	185
Cuadro 72. Observación directa, funcionamiento actual de planta .....	187

Cuadro 73. Entrevista semiestructurada, dirigida a la gerente de Recursos Humanos .....	187
Cuadro 74. Estudio sociodemográfico .....	188
Cuadro 75. Plan de capacitación para elaboración de taller. ....	192
Cuadro 76. Distribución binomial de probabilidad.....	196
Cuadro 77. Resultados prueba de signos. ....	197
Cuadro 78. Datos de prueba de signos.....	199
Cuadro 79. Datos de edad con punteo de pregunta: ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual?.....	201
Cuadro 80. Resultados pregunta con edad. ....	203
Cuadro 81. Datos de edad con punteo pregunta 4. ....	205
Cuadro 82. Resultados de pregunta cuatro con edad. ....	206
Cuadro 83. Caudal de agua residual de junio y diciembre del 2018 medido por una empresa externa para 3 áreas de descarga de agua residual .....	256
Cuadro 84. Variación de flujo de agua residual promedio respecto al tiempo para las áreas denominadas por la empresa como Laminadora 3, Pozo de absorción y fosa séptica; medidos por una empresa externa en los meses de junio y diciembre del año 2018 .....	257
Cuadro 85. Características del afluente actual del agua residual de la empresa.....	258
Cuadro 86. Datos de caudal del afluente actual de la empresa.....	259
Cuadro 87. Parámetros de diseño teóricos de tabla 10-10 de Metcalf & Eddy .....	260
Cuadro 88. Criterios de diseño para un reactor anaerobio de flujo ascendente de literatura: Van Lier .....	261
Cuadro 89. Densidades de los flujos máxicos del reactor UASB .....	261
Cuadro 90. NMP de coliformes en las distintas áreas de la empresa. ....	262
Cuadro 91. Demanda química de oxígeno del efluente actual y el obtenido luego de pasar por el diseño de la planta de tratamiento, obtenidos por análisis realizados por la empresa ...	262

Cuadro 92. Caudales obtenidos de los tratamientos primario y secundario del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. ....	262
Cuadro 93. Parámetros de diseño teóricos utilizados para el dimensionamiento de equipo .....	263
Cuadro 94. Datos experimentados utilizados para calcular la densidad del lodo primario, extraído de la fosa séptica de la empresa. ....	263
Cuadro 95. Parámetros de operación digester anaerobio.....	263
Cuadro 96. Datos teóricos utilizados para calcular la evaporación de agua en Guatemala	264
Cuadro 97. Datos experimentales de humedad realizados a los lodos de la fosa séptica de la empresa .....	264
Cuadro 98. Datos utilizados para cálculo de energía producida por el gas metano.....	264
Cuadro 99. Datos teóricos utilizados para el dimensionamiento del patio de secado de lodos .....	264
Cuadro 100. Densidad grava y arena, utilizados como lecho filtrante en el patio de secado. ....	265
Cuadro 101. Velocidades recomendadas para fluidos viscosos en tuberías .....	265
Cuadro 102. Coeficientes de pérdida por fricción .....	265
Cuadro 103. Consumo promedio de energía en Guatemala .....	265
Cuadro 104. Temperatura de operación recomendada en un reactor anaerobio.....	265
Cuadro 105. Parámetros de diseño de un sistema de rejillas de limpieza manual basados en rangos estándar según Metcalf & Eddy .....	285
Cuadro 106. Características de sólidos sedimentables en aguas residuales.....	294
Cuadro 107. Velocidad de paso y diámetro de orificios en una pantalla difusora.....	296
Cuadro 108. Concentraciones máximas de sólidos en el agua residual de la empresa.....	297

Cuadro 109. Constante de velocidad de reacción para la degradación de la concentración de hipoclorito a distintas temperaturas .....	314
Cuadro 110. Accesorio utilizado en la tubería de salida del tanque y su coeficiente de pérdida de fricción. ....	321
Cuadro 111. Accesorios colocados en la trayectoria del fluido y sus coeficientes de pérdidas por fricción.....	325
Cuadro 112. Promedio mensual, desviación estándar y límites de la proyección de agua potable del 2019 al 2030 utilizando el modelo ARIMA y la demanda de agua potable mensual de la empresa del 2013 al 2018.....	336
Cuadro 113. Caudal promedio y total de agua residual del 2018 para 3 diferentes áreas denominadas por la empresa como fosa séptica, pozo de absorción y laminadora 3 .....	341
Cuadro 114. Caracterización promedio de aguas residuales de la empresa para los 5 puntos de descarga denominados por la empresa como laminadora 3, pozo de absorción, fosa séptica, chillers y extrusión en el año 2018. ....	342
Cuadro 115. Balance de masa de la trampa de grasas de 0.937 kg/m <sup>3</sup> de densidad y retención de grasas del 92%.....	345
Cuadro 116. Variación de caudal promedio y volumen acumulado de agua residual en función del tiempo en el año 2018.....	346
Cuadro 117. Balance de masa del sedimentador primario con densidad de 1150 kg/m <sup>3</sup> para retención de sólidos sedimentables de 80% y 56% para sólidos suspendidos parcialmente sedimentables .....	347
Cuadro 118. Especificaciones de tubería de salida de los equipos de tratamiento preliminar y primario.....	348
Cuadro 119. DQO medido de agua sin tratar.....	348
Cuadro 120. DQO medido de agua tratada con ENZIPLUS .....	348
Cuadro 121. DQO medido de agua tratada con BIOZYME 8000 .....	349
Cuadro 122. Porcentaje de remoción de DQO.....	349

Cuadro 123. Resultados de análisis de DBO5 .....	350
Cuadro 124. Porcentaje de remoción de DBO5 .....	350
Cuadro 125. Nitrógeno medido de agua sin tratar .....	351
Cuadro 126. Nitrógeno medido de agua tratada con ENZIPLUS.....	351
Cuadro 127. Nitrógeno medido de agua tratada con BIOZYME .....	351
Cuadro 128. Porcentaje de remoción de Nitrógeno .....	352
Cuadro 129. Fósforo medido en agua sin tratar .....	352
Cuadro 130. Fósforo medido en agua tratada con ENZIPLUS .....	352
Cuadro 131. Fósforo medido en agua tratada con BIOZYME .....	353
Cuadro 132. Porcentaje de remoción de Fósforo con las enzimas analizadas .....	353
Cuadro 133. Parámetros previos al dimensionamiento del reactor UASB.....	353
Cuadro 134. Determinación del volumen del reactor UASB .....	354
Cuadro 135. Dimensionamiento del reactor UASB.....	354
Cuadro 136. Tiempo de retención hidráulico en el reactor UASB .....	354
Cuadro 137. Tiempo de retención de sólidos en el reactor UASB .....	355
Cuadro 138. Producción de metano y energía en el reactor UASB.....	355
Cuadro 139. Producción de lodos en el reactor UASB.....	356
Cuadro 140. Tubería del Afluente de agua de Balance (m1 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados).....	356
Cuadro 141. Tubería del Gas de salida de Balance (m2 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados) .....	357
Cuadro 142. Tubería del Efluente de agua de Balance (m3 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados).....	357
Cuadro 143. Tubería del Salida de lodos (m4 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados) .....	358

Cuadro 144. NPM/100 después de la dosificación de hipoclorito de sodio. Tomando los NPM iniciales de $5.4 \cdot 10^6$ NPM/100 m.....	358
Cuadro 145. NPM/100 después de la dosificación de hipoclorito de calcio. Tomando los NPM iniciales de $5.4 \cdot 10^6$ NPM/100 m.....	359
Cuadro 146. Volumen, para hipoclorito de sodio, y peso, para hipoclorito de calcio, utilizado para las pruebas de desinfección de agua a diferentes concentraciones. ....	359
Cuadro 147. Densidad de los lodos obtenidos en la fosa séptica de la empresa.....	359
Cuadro 148. Masa de los sólidos biológicos sintetizados.....	359
Cuadro 149. Flujos de entrada y salida del digestor anaerobio de lodos.....	359
Cuadro 150. Balance de masa salida del digestor, entrada a patio de secado.....	360
Cuadro 151. Balance de masa salida de patio de secado de lodos.....	360
Cuadro 152. Válvulas, accesorios y bombas requeridos en el tratamiento de lodos.....	360
Cuadro 153. Cantidad de biogás producido en el diseño de la planta de tratamiento de agua y lodos.....	360
Cuadro 154. Usos principales para la cantidad de gas producido en el digestor.....	360
Cuadro 155. Especificaciones de bomba y tubería.....	361
Cuadro 156. Cantidad de materiales requeridos para el funcionamiento del patio de secado.....	361
Cuadro 157. Herramientas necesarias para el mantenimiento de la planta.....	389
Cuadro 158. Recuento de coliformes fecales en las placas petrilm, para las aguas residuales provenientes de la Universidad del Valle de Guatemala. Utilizando con desinfectante hipoclorito de sodio.....	409
Cuadro 159. Recuento de coliformes fecales en las placas petrilm, para las aguas residuales provenientes de la Universidad del Valle de Guatemala. Utilizando con desinfectante hipoclorito de calcio.....	410

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sedimentador primario rectangular vista de planta y corte longitudinal.....	26
Figura 2. Porcentaje de retención de sólidos suspendidos en función del tiempo para diferentes profundidades.....	29
Figura 3. Procesos continuos de tratamiento anaerobio.....	37
Figura 4. Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	38
Figura 5. Proceso anóxico /aerobio.....	45
Figura 6. Artículo 28 Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	47
Figura 7. Punto de ruptura en la cloración.....	57
Figura 8. Distribución del ácido hipocloroso y del hipoclorito en agua a diferente pH.....	58
Figura 9. Significado de los número del diamante de materiales peligrosos.....	62
Figura 10. Efecto del tiempo y la temperatura en la concentración de coliformes en aguas.....	67
Figura 11. Concentración vs tiempo del Cuadro 18. ....	68
Figura 12. Bomba dosificadora.....	74
Figura 13. Reactor anaerobio de 1 etapa.....	78
Figura 14. Relación entre carga y tiempo de retención.....	80
Figura 15. Sistema de aprovechamiento de biogás.....	83
Figura 16. Bomba de diafragma.....	90
Figura 17. Llama ideal del biogás.....	91
Figura 18. Quemador estrella, fabricado con hierro galvanizado.....	93
Figura 19. Quemador campana de accesorios.....	94
Figura 20. Quemador de lata.....	94

Figura 21. Proceso de cambio en el aprendizaje.....	96
Figura 22. Principios de formación del Modelo Educativo Andragógico. ....	98
Figura 23. Paradigma social en la Educación Ambiental. ....	100
Figura 24. Etapas de los programas de capacitación. ....	104
Figura 25. Ciclo de Deming.....	106
Figura 26. Jerarquía de necesidades de Maslow. ....	107
Figura 27. Puntos de descarga actuales de agua residual de la empresa productora de sacos .....	111
Figura 28. Resultados de laboratorio de Laminadora 3 y muestra de incumplimiento .....	114
Figura 29. Área de la empresa determinada para la instalación de la planta .....	115
Figura 30. Ficha técnica de la enzima BIOZYME 8000 .....	116
Figura 31. Manual de aplicación de BIOZYME 8000.....	120
Figura 32. Diagrama de patio de secado total para obtener dimensiones. ....	148
Figura 33. Balance de masa de la trampa de grasas con retención del 92% de grasas y aceites .....	159
Figura 34. Balance de masa del tanque de captación de flujo .....	160
Figura 35. Balance de masa del sedimentador primario con retención del 80% de sólidos sedimentables y 56.91% de sólidos suspendidos.....	162
Figura 36. Esquema del sistema de tratamiento preliminar y prima.....	163
Figura 37. Distribución del sistema de tratamiento preliminar y primario.....	164
Figura 38. Distribución del sistema de tuberías para la planta de tratamiento .....	165
Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto.....	168
Figura 40. Esquema de proceso de la planta de tratamiento de lodos .....	182
Figura 41. Esquema de digestor de lodos .....	184

Figura 42. Especificaciones patio de secado de lodos .....	186
Figura 43. ¿Sabe usted de la situación actual en Guatemala acerca de la contaminación del agua? .....	189
Figura 44. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de agua, tanto en los lavábolos, retretes o aguas residuales? .....	189
Figura 45. ¿Qué capacitaciones o información le ha brindado la empresa acerca del uso correcto del agua? .....	190
Figura 46. Conoce el acuerdo Gubernativo 236- 2006? .....	190
Figura 47. En la escala del 1 al 5 qué tanta señalización o información existe sobre el uso correcto del agua en las instalaciones. ....	191
Figura 48. ¿De qué trata el acuerdo Gubernativo 236- 2006? .....	194
Figura 49. Mencione 1 consejo para el uso eficiente del agua. ....	195
Figura 50. ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual? .....	195
Figura 51. Menciona el objetivo de una planta de tratamiento. ....	196
Figura 52. Factor de fricción en tuberías .....	266
Figura 53. Tiempo de retención en función del caudal de entrada de acuerdo con la norma DIN 4041 .....	288
Figura 54. Cloro activo disponible para las diferentes concentraciones de NaOCl.....	313
Figura 55. Tiempo de contacto requerido para las diferentes inactivaciones logarítmicas.	315
Figura 56. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar. ....	319
Figura 57. Representación del punto A y B en la ecuación de Bernoulli. ....	320
Figura 58. Representación del punto A y B en la ecuación de Bernoulli .....	323
Figura 59. Diagrama de Moody para determinación del factor de fricción de Fanning. ....	325

Figura 60. Test ADF de estacionalidad y resumen estadístico utilizando Excel con 5% de significancia para el caudal de la demanda de agua potable mensual del año 2013 al 2018 .....	335
Figura 61. Modelo ARIMA en Excel para el caudal de la demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018 utilizando un orden de integración, autorregresión y media móvil de 1; coeficientes determinados automáticamente por el modelo; significancia del 5% y 100 iteración.....	335
Figura 62. Demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018 y proyección de la demanda de agua potable mensual del 2019 al 2030 utilizando el modelo ARIMA .....	340
Figura 63. Promedio de la demanda de agua potable anual de la empresa del 2013 al 2030 utilizando el modelo ARIMA para la proyección.....	340
Figura 64. Variación de caudal en el área de laminadora 3 en junio del 2018 .....	343
Figura 65. Variación de caudal en el área de laminadora 3 en diciembre del 2018 .....	343
Figura 66. Variación de caudal en el área del pozo de absorción en junio del 2018 .....	343
Figura 67. Variación de caudal en el área del pozo de absorción en diciembre del 2018 ..	344
Figura 68. Variación de caudal en el área de la fosa séptica en junio del 2018 .....	344
Figura 69. Variación de caudal en el área de la fosa séptica en junio del 2018 .....	344
Figura 70. Volumen acumulado promedio de 3 áreas de descarga de agua residual en función del tiempo medido por una empresa externa en los meses de junio y diciembre del 2018	345
Figura 71. Porcentaje de retención de sólidos sedimentables en función del tiempo para una altura de 0.6m.....	347
Figura 72. Método OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, Reactor Digestion Method; Colorimetric Determination, 0 to 150 mg/L COD .....	374
Figura 73. Método NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, TNT Persulfate Digestion Method. ....	378

Figura 74. Método PHOSPHORUS, TOTAL, PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion* USEPA Accepted for reporting wastewater analysis** Test 'N Tube Procedure .....	382
Figura 75. Válvulas del tratamiento de lodos .....	390
Figura 76. Dibujo técnico sistema de rejillas .....	393
Figura 77. Dibujo técnico trampa de grasas.....	393
Figura 78. Dibujo técnico tanque homogeneizador .....	393
Figura 79. Dibujo técnico sedimentador primario .....	393
Figura 80. Medio filtrante: Rosetón de polipropileno .....	393
Figura 81. Vista de elevación y planta del tratamiento propuesto .....	394
Figura 82. Vista de sección del tratamiento propuesto .....	395
Figura 83. Detalles de aspersores y distribución de agua del tratamiento .....	396
Figura 84. Esquema de la bomba peristáltica .....	397
Figura 85. Esquema detallado del motor .....	398
Figura 86. Diagrama de cambio de tubo .....	399
Figura 87. Válvula de Vástago que se propone utilizar .....	400
Figura 88. Especificaciones de la válvula.....	400
Figura 89. Vistas del reactor anaerobio. ....	401
Figura 90. Vistas del patio de secado de lodos. ....	402
Figura 91. Análisis de DQO y Nitrógeno .....	403
Figura 92. Análisis de DBO5 .....	404
Figura 93. Presentación de BIOZYME 8000.....	405
Figura 94. Presentación de ENZIPLUS .....	406
Figura 95. Placa petrifilm después de introducirle una muestra de agua residual, proveniente de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala a una dilución 1:100. ....	408

Figura 96. Método que se utilizó para contar la cantidad de UFC que existían en cada placa.  
Esta placa es la misma que se muestra arriba, en este caso el valor obtenido fue de 12,000  
UFC.....408

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias y lodos, analizando los costos y beneficios de la misma. También realizar capacitaciones y apoyo didáctico sobre el tema, a los trabajadores de una empresa productora de sacos ubicada en Antigua Guatemala. Esto se desea realizar con el fin de cumplir con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006. El trabajo consta de 6 módulos, entre los cuales se incluye el tratamiento primario, secundario y terciario, cuaternario, tratamiento de lodos, análisis económico y programa de capacitación.

En el primer módulo, se caracterizaron las aguas de descarga de la empresa y se realizó una proyección a 10 años del caudal para obtener el afluente de diseño el cual fue de 0.000337m<sup>3</sup>/s. Se propuso un tratamiento preliminar para la eliminación de grasas y materia flotante. Para esto, se diseñaron dos sedimentadores rectangulares y se añadió un homogeneizador para obtener un caudal constante.

En el segundo módulo se propuso el tratamiento secundario y terciario. Se propuso un reactor anaerobio de flujo ascendente con el fin de unificar ambos tratamientos. Aunque tras realizar las pruebas, se concluye que con las enzimas y el reactor no se logra incorporar los tratamientos en un solo paso.

En el tercer módulo, se realizó la propuesta del sistema cuaternario. Se realizaron pruebas de distintos desinfectantes y se eligió el hipoclorito de sodio. El presente trabajo tiene como objetivo el rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico de aguas residuales, así como la creación de un programa de educación ambiental, de un complejo comercial y residencial ubicado en Ciudad de Guatemala.

En el cuarto módulo, se realizó el tratamiento de lodos provenientes del tratamiento primario y secundario. Para esto se propuso un reactor anaerobio, para poder aprovechar el biogás producido, y un patio de secado de lodos. Esto con el fin de obtener un producto final que se pueda utilizar como abono.

En el quinto módulo, se realizó el estudio económico del proyecto. Se determinaron los costos totales de inversión, operación y mantenimiento anual. Así como, los beneficios económicos y no económicos del sistema de tratamiento de aguas; para aplicarle un valor presente a ambos y determinar su valor al día de hoy y la viabilidad del mismo.

En el sexto módulo, se realizó un proceso de capacitación para la concientización del uso de agua dentro de la institución. Este sistema sirvió para concientizar a los trabajadores sobre el tema de la planta de tratamiento propuesta en este trabajo.

# I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, ha surgido un creciente interés por resolver problemas ambientales generados por actividades cotidianas. Uno de los problemas más estudiados y que preocupan a los diferentes países es el tema del agua, específicamente su contaminación.

Por tal motivo, se han implementado medidas como leyes que regulen el uso de agua y la descarga de aguas residuales de tipos ordinarias y especiales a cuerpos de agua y drenajes municipales. De la misma forma se le ha dado importancia en el mundo empresarial a las capacitaciones laborales, donde se abordan temas sobre el correcto uso y desecho del recurso. Las plantas de tratamiento de aguas se han implementado como parte de la solución para la problemática de la contaminación.

En Guatemala, el 2014 el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) realizó un estudio en el cual se encontró que el 90% de las aguas residuales tenían contaminación bacteriológica y residuos fecales. Por lo que se desarrolló el acuerdo gubernativo 236-2006 con motivo de solucionar este problema enfocándose en la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua y alcantarillado municipal. Entre los parámetros principales que se buscan reducir están: DBO, DQO, coliformes fecales y metales pesados; con los que deben cumplir las empresas del país.

Este trabajo tiene como finalidad proponer el sistema de tratamiento preliminar y primario para una planta productora de sacos. La empresa cuenta con 5 áreas de descarga de agua residual, denominadas chillers, laminadora 3, extrusora, fosa séptica y pozo de absorción. Se caracterizaron los efluentes de la empresa en estas áreas de descarga para la planta de tratamiento y se realizó una proyección a 10 años para obtener el caudal teórico. Los equipos se diseñaron tomando en consideración el caudal de diseño, aspectos técnicos y operacionales. En el siguiente trabajo busca integrar las operaciones unitarias necesarias para

el tratamiento de aguas residuales ordinarias de una empresa productora de sacos como medida proactiva. Se presentan primero las consideraciones teóricas de diseño para los equipos de la planta de tratamiento, incluyendo el manejo de los lodos producidos. Luego se explica la metodología, proponiendo el tomando en cuenta los requerimientos, para disminuir los parámetros descritos con anterioridad. Luego, se calcularon y definieron las características necesarias de los equipos, para un efluente que cumpliera con los límites permitidos. Como medida preventiva, se identificaron y describieron los procesos actitudinales y conductuales de los colaboradores de la empresa sobre el uso del agua y se impartió una capacitación para proporcionarles las habilidades necesarias, relacionadas al uso del recurso, para realizar un trabajo más eficiente. De la misma forma se realizó un estudio económico de los costos de implementación y operación anual sobre la propuesta planteada de la planta de tratamiento anaerobia con flujo ascendente (RAFA) y aerobia de lodos activados propuesta por AMBIOTEC, para la comparación de costos de mantenimiento y operación de la planta.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general de megaproyecto

Proponer una planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias, para cumplir con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006 sobre la descarga de aguas residuales.

### B. Objetivos generales de los módulos

1. Caracterizar los efluentes y proponer un sistema de tratamiento preliminar y primario de aguas residuales ordinarias, para cumplir con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006 sobre la descarga de aguas residuales.
2. Proponer un tratamiento secundario y terciario para una planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias.
3. Proponer un proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del acuerdo gubernativo 236-2006 en una empresa de sacos.
4. Proponer un sistema de tratamiento de lodos residuales para obtener biogás como fuente de energía y sólidos para utilizarlos en compostaje para fabricación de abono para una planta productora de sacos.
5. Explorar los conocimientos de los colaboradores de la empresa respecto al uso apropiado del agua dentro y fuera de la empresa.

### c. Objetivos específicos

1. Caracterizar los efluentes de tipo ordinario de la planta productora de sacos para integrarlos en una corriente que alimentará un sistema de tratamiento de aguas residuales
2. Proyectar a 10 años el flujo del efluente total para realizar las propuestas de diseño de las fases del tratamiento de aguas, para cumplir con la cuarta etapa del acuerdo gubernativo con fecha del 2024.
3. Proponer un sistema de tratamiento preliminar de las aguas residuales de una empresa de sacos, utilizando los parámetros de la descarga de aguas residuales que no cumplen con el acuerdo gubernativo, para preparar el efluente para los tratamientos posteriores.

4. Proponer un Sistema de tratamiento primario en las aguas residuales de una empresa para que cumpla con los parámetros de sólidos totales del acuerdo gubernativo, que se refiere a la descarga de aguas residuales a alcantarillado municipal.
5. Determinar la reducción de la DBO, DQO, nitrógeno total y fósforo en agua residual de tipo ordinario, utilizando dos enzimas facultativas como pretratamiento para reducir el volumen del reactor anaerobio de flujo ascendente.
6. Dimensionar un reactor anaerobio de flujo ascendente para tratar el caudal recolectado del tratamiento primario, unificando el tratamiento secundario y terciario a un solo paso y así cumplir con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para la descarga a cuerpos receptores de agua.
7. Elaborar el manual de operación y mantenimiento del equipo propuesto para la reducción de DBO, DQO, nitrógeno total y fósforo para la correcta utilización por parte del personal operativo.
8. Proponer los equipos para el tratamiento cuaternario de aguas residuales, cuya operación logre reducir el total de coliformes a  $1 \times 10^4$  NPM/100 mL, utilizando la caracterización del efluente.
9. Seleccionar el método de desinfección para reducir la concentración de coliformes fecales, utilizando una matriz cualitativa pareada que compare los diferentes desinfectantes.
10. Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema en el tratamiento cuaternario, para que el personal tenga la información técnica en la operación de los equipos.
11. Proponer un digestor anaerobio convencional semicontinuo de lodos para producción de biogás estabilizando los lodos en un periodo de 30 días.
12. Calcular la cantidad de gas teórica producida en el digestor y evaluar posibles usos.
13. Proponer un patio de secado para obtener un lodo cuyos parámetros fisicoquímicos estén dentro de los límites permisibles establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006, para ser utilizado como abono.
14. Evaluar los conocimientos sobre el uso de agua en los colaboradores de la empresa por medio de técnicas y estrategias de recolección de información.
15. Elaborar una capacitación que introduzca estrategias para el uso apropiado del agua.
16. Proponer un manual de capacitación para el departamento de Recursos Humanos, sobre estrategias y recursos didácticos para el uso apropiado del agua por los colaboradores de la empresa.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Las áreas de la empresa productora de sacos tienen diferentes puntos de descarga y según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, el agua no cumple con todos los parámetros de grasas y aceites totales, materia flotante y sólidos totales establecidos en el acuerdo gubernativo 236 2006, sobre la descarga de aguas residuales. Estando por encima de lo permitido en sólidos sedimentables (15 ppm), grasas y aceites (81 ppm). Paralelamente hay variaciones en el caudal de las aguas residuales provenientes de diferentes puntos lo que dificulta la medición o implementación de un sistema de tratamiento. El presente trabajo fue realizado para cumplir con el aspecto legal que implica el acuerdo gubernativo, previamente mencionado. De la misma forma, que las empresas tengan una noción de su responsabilidad empresarial con el ambiente y las comunidades cercanas que son afectadas. En 2006 entró en vigor el acuerdo gubernativo 236-2006, donde se describe el Reglamento de descargas y la reutilización de aguas residuales y disposición de lodo, este tiene como objetivo proteger ríos y lagos de la contaminación. El Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, indica que según cifras de Salud Pública el 90% de los cuerpos de aguas están contaminados con heces.

El Acuerdo cuenta con un rango de 4 años, donde cada año va disminuyendo el límite permitido en las aguas de descarga, para cada parámetro. En el trabajo se utilizaron los parámetros del último año (2024) , como indicador máximo que deben tener las aguas de descarga a la hora de implementar el sistema cuaternario de plantas residuales. Actualmente la empresa de sacos no cumple con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”, tanto en la parte de coliformes fecales como en los niveles de DBO, DQO, nitrógeno y descarga de lodos. La empresa obtuvo una licencia ambiental del tipo B1 por parte del MARN, la cual tiene como fecha de vencimiento el 11 de enero de 2022 por la cual si no se cumple con las normativas del acuerdo Gubernativo estos podrían ser multados monetariamente de entre Q5,000 hasta Q100,000 según el artículo 33 de la Ley, por la infracción del artículo 8 de la Ley, de igual forma puede ser suspendida o revocada permanentemente la misma quitándoles el derecho de seguir operando. Para la resolución de esta problemática, se realizaron pruebas experimentales y teóricas, esto determinó el diseño de la planta de tratamiento de aguas. Esta planta de tratamiento incluye, el sistema preliminar, primario, secundario, terciario y cuaternario. Además se realizó un

estudio económico a 10 años con un TREMA del 12% del sistema de tratamiento de aguas residuales del tipo ordinario para que la empresa pueda conocer que gastos le traerá esto y que beneficios les regresarán y sea cuestión de ellos analizarlo e implementar la PTAR. Por último, se realizaron capacitaciones ya que en este sector es donde se ejecuta y realizan los procesos de fabricación y conlleva el consumo de recurso hídrico, es por ellos que es importante que existan iniciativas educativas que promuevan el cuidado del agua, para su uso sustentable

## IV. MARCO TEÓRICO

### Módulo 1:

#### A. Acuerdo gubernativo

El acuerdo gubernativo 236-2006 tiene como objetivo establecer parámetros y requisitos a cumplir sobre la descarga y reutilización de aguas residuales y la disposición de lodos. De esta manera se asegura la protección ambiental en el enfoque de prevenir la contaminación y regenerar los recursos hídricos del país (MARN, 2006).

El acuerdo tiene como alcance a las industrias o personas productoras de aguas residuales y las descarten al alcantarillado público, reutilicen aguas residuales y las que traten y manejen lodos generados por las aguas residuales (MARN, 2006).

Antes de iniciar con el diseño y planeación de una planta de tratamiento de aguas residuales se debe realizar la parte investigativa que incluye el estudio técnico. Este consiste en realizar un estudio validado por técnicos para la caracterización de efluentes y las descargas de aguas. Por lo que debe hacerse una evaluación de la empresa en cuanto a los puntos y áreas que generan aguas residuales, puntos de descarga, componentes de los efluentes, variación del efluente, etc. (MARN, 2006).

El estudio debe contener lo siguiente (MARN, 2006):

- a. Nombre, razón o denominación social
- b. Horarios de descarga
- c. Tratamiento de las aguas residuales
- d. Caracterización del efluente
- e. Caracterización de lodos
- f. Cuerpos receptores afectados
- g. Alcantarillado de descarga
- h. Parámetros de medición
- i. Localización del sistema de drenaje y tuberías que conectan al alcantarillado
- j. Manejo de desechos líquidos
- k. Plan de tratamiento de aguas residuales

## 1. Reportes

Los parámetros de medición requeridos según el acuerdo para aguas residuales descargadas al alcantarillado público son las siguientes:

Cuadro 1. Parámetros permisibles de descarga de agua residual a alcantarillado público

Parámetro analizado	Dimensional	Valores iniciales	Etapa 1 2011	Etapa 2 2015	Etapa 3 2020	Etapa 4 2024
Color	u Pt-Co	1500	1300	1000	750	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm - O <sup>2</sup>	3500	1500	750	450	200
Fósforo total	ppm - P	700	75	40	20	10
Grasas y aceites	ppm	1500	200	100	60	60
Materia flotante	---	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	ppm - N	1400	180	150	80	40
pH	---	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Sólidos suspendidos	ppm	3500	1500	700	400	200
Temperatura	°C	<40	<40	<40	<40	<40
Coliformes fecales	NMP / 100 mL	<1x10 <sup>6</sup>	<1x10 <sup>5</sup>	<1x10 <sup>5</sup>	<1x10 <sup>4</sup>	<1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	ppm - As	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	ppm - Cd	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro	ppm - CN <sup>-</sup>	6	3	1	1	1
Cobre	ppm - Cu	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	ppm - Cr	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	ppm - Hg	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	ppm - Ni	6	4	2	2	2
Plomo	ppm - Pb	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	ppm - Zn	10	10	10	10	10

Los parámetros fueron tomados del acuerdo gubernativo 236-2006 establecidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2006).

## B. Aguas negras

Las aguas negras se generan del agua de abastecimiento luego de su uso. Estas aguas incluyen líquidos o desechos arrastrados procedentes de comercios, hogares e instituciones. Las aguas negras

pueden ser originadas por las siguientes fuentes (Departamento de Salud de Nueva York [NYSDOH], 1969):

- a. Desechos humanos y animales: de los desechos corporales por medio de sistemas hidráulicos de los servicios sanitarios y que se van por el alcantarillado.
- b. Desperdicios caseros: Procedentes de lavado de ropa, baño, cocina incluyendo la limpieza de alimentos y utensilios.
- c. Corrientes pluviales: cantidades variables de agua de lluvia que acarrea arena, polvo, hojas, etc.
- d. Desechos industriales: provenientes del proceso de producción de una empresa.

Su apariencia física se presenta como un líquido turbio con material suspendido, al ser aguas negras frescas, estas son de color gris con olor a humedad. Las aguas negras frescas se denominan a las aguas negras en su estado inicial al unirse los sólidos y otros elementos al agua, estas contienen oxígeno disuelto y permanecen de esta forma mientras se mantenga una descomposición aeróbica. Pasado el tiempo el color del líquido se vuelve negro con olor característico, denominándose aguas negras sépticas, se denominan de esta forma cuando el oxígeno disuelto se ha agotado y comienza a darse una descomposición anaeróbica. Por otro lado, las aguas negras estabilizadas son las que tienen los sólidos descompuestos incluyendo a los inertes (puede tener un bajo porcentaje de sólidos suspendidos), absorbe oxígeno de la atmósfera y su olor es ligero. El contenido del material suspendido principalmente es: materia fecal, alimentos, basura, papel, entre otros (NYSDOH, 1969).

Las empresas como resultado de su producción y funcionamiento generan desechos líquidos, sólidos y gaseosos. Los desechos líquidos, que es en su mayoría agua, se dividen en dos clasificaciones: las aguas ordinarias y las aguas especiales. La primera hace referencia a agua proveniente de uso humano como accesorios sanitarios, cocina, etc. El agua de carácter especial se refiere a la que proviene directamente de la producción y que ha estado con el proceso de fabricación de un producto (Bhatia, S.F.).

En composición la cantidad de sólidos suele ser menor al 0.1% en peso y pueden encontrarse disueltos, suspendidos o flotando. En las aguas negras se definen los sólidos totales como la cantidad neta de sólidos en el agua, esta se clasifica según su composición (orgánicos e inorgánicos) o

condición física (suspendidos y disueltos). Por lo que los sólidos totales son los orgánicos más los inorgánicos, o los suspendidos más los disueltos (NYSDOH, 1969).

Los sólidos orgánicos son de origen animal, vegetal y sintético. Estas contienen principalmente: carbono, hidrógeno y oxígeno; sus grupos funcionales más comunes son las proteínas, hidratos de carbono y grasas. Estos se degradan y descomponen por la actividad metabólica bacteriana y otros organismos. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes no sujetas a degradación con excepción de minerales como los sulfatos. Estos sólidos pueden incluir grava, arena y sales minerales. Se denomina “aguas negras fuertes” cuando se tiene una gran concentración de sólidos y “aguas negras débiles” cuando la concentración es baja (NYSDOH, 1969).

Los sólidos suspendidos son los que pueden separarse por medios físicos o mecánicos como la filtración o sedimentación. Estos tienen partículas mayores como arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, entre otros. Usualmente se componen un 70% de sólidos orgánicos y 30% inorgánicos. Estos pueden clasificarse como sedimentables y coloidales. Los primeros son la fracción que se sedimentan en período de tiempo dado, debido a su peso y tamaño, siendo 75% orgánicos y 25% inorgánicos. Los sólidos coloidales se miden por la diferencia de sólidos suspendidos totales y los sedimentables. Estos no se separan fácilmente por métodos físicos o mecánicos. Los sólidos disueltos incluyen generalmente sólidos disueltos y coloidales (10% en composición), y se definen como los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch (NYSDOH, 1969).

Para el diseño de una planta de tratamiento de agua es importante realizar un estudio de campo, el cual incluya lo siguiente: aforos y régimen es de caudal preferiblemente de 3 o más años, estudio topográfico, análisis de suelos, caracterización del agua. De la misma forma debe realizarse un análisis de riesgo y vulnerabilidad. Estas plantas se diseñan entre 8 a 10 años según sea la necesidad de la entidad y las regulaciones legales del país (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2005).

En cuanto a los caudales, en la industria se manejan: caudal máximo, caudal promedio, caudal mínimo y caudal horario. Los mismos están dados por un factor de hora establecido según el tipo de industria, la población, el caudal medio diario y la dotación. Para esto es necesario realizar un aforo de las aguas de por lo menos tres años (OPS, 2005).

## C. Proyección de la demanda de agua

El modelo ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*) es un método de proyección de media móvil integrada y autorregresiva la cual está en función de valores anteriores. Este modelo toma se modela de forma lineal tomando en cuenta errores al azar. Es decir, que utiliza patrones en los datos temporales anteriores para predecir los valores en el futuro de forma dinámica y depende de los coeficientes  $p$ ,  $d$  y  $q$  los cuales indican órdenes de diferentes componentes del modelo. En caso de estacionalidad se utiliza el modelo SARIMA (de la Fuente, S.F.).

El modelo se compone de componentes que pueden tomar valores de 0 y 1 dependientes de la autocorrelación parcial de los datos. Dependiendo de los valores que tomen los componentes se determina el modelo (de la Fuente, S.F.):

- a. Componente autorregresivo (AR): Los datos son predichos a partir de valores anteriores y se incluye un error. La autocorrelación parcial indica que los primeros  $p$  términos de la función son distintos de cero
- b. Componente integrado (I): el componente que convierte un proceso no estacionario a uno estacionario
- c. Componente de media móvil (MA): utiliza un componente aleatorio para una serie de datos temporales

En términos generales el modelo realiza lo siguiente para proyectar (de la Fuente, S.F.):

1. Transformaciones de la serie no estacionaria a estacionaria para determinar el modelo y los órdenes de acuerdo con el componente autorregresivo y de la media móvil.
2. Los componentes autorregresivos y de media móvil se estiman y se obtienen los errores estándar
3. Se evalúa el ruido blanco, de ser así se realizan iteraciones hasta que el modelo coincida
4. Predicción o proyección al obtener el modelo

La ecuación del modelo es la siguiente:

$$Y_t = -(\Delta^d Y_t - Y_t) + \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta^d Y_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i \epsilon_{t-i} + \epsilon_t$$

Ecuación 1

Donde:

d: hace referencia a las transformaciones realizadas a la serie no estacionaria para desarrollar estacionalidad.

$\Phi$ : componente autorregresivo

$\Theta$ : el componente de media móvil

$\Phi_0$ : constante

$\epsilon_t$ : el error

El modelo fue desarrollado en 1970 y que en la actualidad ha sido incluido en varios programas para la predicción de datos, uno siendo una extensión de Microsoft Excel llamada NumXL en la que se tiene la herramienta ARMA con la opción de ARIMA para los datos sin estacionalidad.

Previo a utilizar el modelo ARIMA para una proyección se debe evaluar, como anteriormente se ha mencionado, la estacionalidad de los datos, esto puede realizarse utilizando la prueba de Dickey Fuller aumentada (ADF), la cual determina esto analizando si el proceso es de una sola raíz en datos de series temporales. De manera que propone una hipótesis nula y un número negativo, el cual determina si se acepta o se rechaza dicha hipótesis.

Esta prueba puede realizarse en Excel y contempla 7 parámetros:

- a. Datos de la serie de tiempo
- b. El orden de los datos (ascendente o descendente)
- c. Longitud del proceso autorregresivo, este se escoge de manera que los residuos no estén correlacionados de forma serial.
- d. Opciones del modelo a diferentes constantes y tendencias

- e. Prueba del modelo
- f. El resultado en cuanto a si se desea el valor, el ajuste de la estadística y el valor crítico
- g. La significancia de la prueba

La hipótesis nula consiste en que el proceso o la serie de datos si tienen una unidad de raíz, la hipótesis alternativa varía dependiendo de la ecuación a utilizar, usualmente es que la serie de datos tiene estacionalidad. Los tres modelos de regresión más utilizados son los siguientes (Glen, 2016):

- a. No constante ni tendencia
- b. Constante sin tendencia
- c. Constante y tendencia

A medida que el valor DF sea más negativo, mayor será la evidencia que apoya el rechazo de la hipótesis nula sobre la unidad de raíz (Glen, 2016).

## D. Tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas negras es el conjunto de operaciones unitarias por el que se separan las impurezas del agua y que la hacen poco adecuada y dañina para el ambiente. Las operaciones unitarias de dicho tratamiento se separan en 5 etapas: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario (desinfección) y tratamiento cuaternario (tratamiento de lodos) (NYSDOH, 1969).

Las primeras operaciones unitarias de una planta de tratamiento de agua residual son las físicas las cuales incluyen: cribado, reducción de sólidos grandes o gruesos (trituration, maceración y molienda), captación de flujo, floculación, remoción de arenas, sedimentación, clarificación, separadores de gravedad acelerados, flotación, transferencia de oxígeno, aeración y volatilización. Algunas de estas operaciones unitarias físicas son las que constituyen los tratamientos preliminares y primarios los cuales se describen a continuación (Metcalf & Eddy, 2003).

La primera operación unitaria en una planta de tratamiento de agua es el tratamiento preliminar, el cual prepara el fluido para su posterior tratamiento (Comisión nacional del agua [CONAGUA],

2016). El tratamiento preliminar consiste en un proceso utilizado como método de protección de equipo y el resto de las operaciones unitarias del tratamiento del agua ya que la misma contiene sólidos de gran tamaño y material abrasivo. En esta etapa se busca separar los sólidos flotantes de un mayor tamaño (incluyendo los inorgánicos), y eliminar las grasas y aceites contenidos. Los equipos más utilizados incluyen: rejillas, molinos, desarenadores y tanques de aeración previa (NYSDOH, 1969).

El tratamiento primario consiste en separar un 40 a un 60% de los sólidos suspendidos mediante un medio físico. Al agregar productos químicos se puede eliminar un 80 a 90% de los sólidos suspendidos. En esta etapa se busca disminuir la velocidad de las aguas, de forma que los sólidos puedan sedimentarse. Los equipos se clasifican de la siguiente manera: tanques sépticos, tanques de doble acción, tanques de sedimentación simple y clarificadores de flujo ascendente. Si se le agregan químicos en esta fase es necesario contar con una unidad alimentadora, mezcladores y floculadores (NYSDOH, 1969).

## E. Diseño de una del tratamiento preliminar y primario

Los equipos y el sistema general, debe estar diseñado de forma que sea un proceso continuo y se cumplan con los parámetros regulatorios y establecidos por un cuerpo legal o la misma entidad. De la misma forma, para elegir las operaciones unitarias necesarias se debe considerar: la caracterización del agua residual, costo de operación y mantenimiento, ubicación, parámetros a cumplir necesarios, requerimientos del personal y de la planta, entre otros (Cáceres, 2015).

### 1. Tratamiento preliminar

En el tratamiento preliminar se diseñan en función separar del agua los sólidos grandes orgánicos e inorgánicos flotantes y suspendidos, así como disminuir el contenido de aceites y grasas. De esta manera la carga es menor para las siguientes etapas del tratamiento y no hay sólidos significativamente grandes que puedan dañar los equipos o afectar la eficiencia de la planta de tratamiento. A continuación, se describen algunos equipos utilizados en el tratamiento preliminar (NYSDOH, 1969).

#### a. Sistema de rejillas y cribado

El cribado consiste en componentes ubicados de forma paralela, estos pueden ser barras, rodillos, alambres, malla, placas perforadas, entre otros. Al sistema conformado por barras o rodillos se le conoce como sistema de rejillas o rejas y se utiliza generalmente para retener sólidos de mayor tamaño. Para sólidos de tamaños más pequeños se utilizan placas perforadas, malla o alambres de forma que el espaciamiento sea menor. Los materiales utilizados para estos componentes pueden variar desde plásticos hasta aceros inoxidable (Metcalf & Eddy, 2003).

Las rejas y rejillas las consisten barras espaciadas entre 2 - 15 centímetros y como regla gruesa se deben instalar con inclinación. Los sólidos retenidos usualmente se entierran o incineran (NYSDOH, 1969). Estas se dividen en rejillas gruesas las cuales tienen 0.6 a 2.5 cm de paso de agua y rejillas finas con 0.15 a 0.6 cm de paso para el fluido. Algunas plantas de tratamiento cuentan con micro rejillas cuyo espacio de apertura es de 0.02 a 0.15 cm, este tipo puede reducir un porcentaje sólidos en suspensión similar a al tratamiento primario. Las rejillas ultrafinas o cribas (1 micra a 0.3 mm), estas se utilizan para mejorar la calidad del efluente y que se encuentre en mejores condiciones al ingresar al tratamiento secundario (CONAGUA, 2016).

Las rejillas pueden clasificarse también según su método de limpieza, siendo manual o mecánica. La primera consiste en rejillas con inclinación de 45 a 60° respecto al eje horizontal y la segunda de 75 a 90° como regla gruesa. Para las de limpieza manual se suelen utilizar rastrillos, los sólidos se llevan a una placa perforada para eliminar el exceso de agua y luego se desechan, estas rejillas deben limpiarse con regularidad para no obstruir el flujo de agua y que cause una caída de presión mayor y que el flujo permanezca constante y sin oscilaciones (CONAGUA, 2016). La ubicación de las rejillas de limpieza manual es generalmente antes de bombas o sistemas de bombeo o antes de plantas de tratamiento de agua residual pequeñas o medianas. Ya que la limpieza es manual, el largo de las barras no suele exceder los 3 metros para facilitar el acceso (Metcalf & Eddy, 2003).

Las de limpieza automática reducen los costos de mano de obra, hay diferentes variedades para que se adecúen a diferentes flujos, naturaleza de los sólidos y frecuencia de limpieza. Este tipo de rejillas también se pueden utilizar para retener sólidos suspendidos como lo haría un tratamiento primario si las rejillas tienen el espaciado adecuado (CONAGUA, 2016). Algunos de los tipos son: accionado por cadena, de vaivén, catenarios y de banda continua. Entre las ventajas generales de las

rejillas de limpieza mecánica son: la limpieza es más fácil de realizar, se reducen costos de mano de obra, algunos equipos no requieren de partes móviles sumergibles, la capacidad de retención es mayor debido a que la limpieza es constante. Por otro lado, algunas de las desventajas incluyen: mantenimiento más costoso debido a las partes móviles, costos y dificultad de instalación y deben tomarse en cuenta el reemplazo y cambio de elementos del equipo para asegurar el funcionamiento (Metcalf & Eddy, 2003).

Cuadro 2. Parámetros de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual

Parámetro	Tipo de limpieza	
	Manual	Mecánica
Ancho de barra (mm)	5-15	5-15
Profundidad de barra (mm)	25-38	25-38
Espacio entre barras (mm)	25-50	15-75
Inclinación respecto al eje vertical (°)	30-45	0-30
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3-0.6	Máxima: 0.6-1.0 Mínima: 0.3-0.5
Pérdida de carga (mm)	150	150-600
Coeficiente de pérdida de carga para rejillas limpias		0.7
Coeficiente de pérdida de carga para rejillas sucias		0.6

(Metcalf & Eddy, 2003)

El cuadro anterior contiene información sobre los parámetros de diseño utilizados para el diseño de rejillas.

Cuadro 3. Material retenido utilizando rejillas

Tamaño de espaciado entre barras (mm)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen del material retenido (L/1000 m <sup>3</sup> )
12.5	700-1100	37-74
25	600-1000	15-37
37.5	600-1000	7-15
50	600-1000	4-11

(Metcalf & Eddy)

Para las rejillas es importante tomar en cuenta la pérdida de carga a través de las barras utilizando la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{1}{c_L} \left( \frac{v^2 - v'^2}{2g} \right) \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

$h_L$ : pérdida de carga de las barras limpias(m)

$c_L$ : coeficiente de pérdida de carga

$V$ : velocidad de flujo en las aperturas de las barras (m/s)

$v$ : velocidad de acercamiento de entrada en el canal (m/s)

$G$ : aceleración por gravedad (m/s<sup>2</sup>)

La longitud de las barras está dada por la siguiente ecuación (CONAGUA, 2016):

$$L = \frac{h+H_s}{\text{sen}\theta} \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

$L$ : longitud de la barra o reja (m)

h: profundidad máxima de agua en el canal o tirante de agua en el canal (m)

Hs: altura de seguridad o borde libre (m) este valor como regla gruesa suele ser 0.80 m

$\theta$ : ángulo de inclinación (°)

Por motivos de mantenimiento y limpieza se suelen colocar 2 o más sistemas de rejillas. El número de barras de cada uno está dado por (Cáceres, 2015):

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

Ecuación 4

Donde:

e: espaciamiento entre barras

b: ancho del canal

S: espesor máximo de las barras

Los molinos se utilizan para disminuir el tamaño de la materia suspendida o flotante contenida en el agua, de forma que esta no separe los sólidos, sino, que los reintegra con un tamaño menor para que no dañe los equipos. Estos equipos se construyen con hojas dentadas que según el diseño del equipo están fijas o móviles (NYSDOH, 1969).

#### b. Trampa de grasas

Algunas aguas residuales pueden llevar sustancias livianas como grasas y aceites, las cuales pueden afectar el tratamiento del agua, dependiendo de la concentración y volumen de estas sustancias se opta por diferentes operaciones unitarias para cumplir con los requerimientos. La norma DIN 4041 establece ciertos parámetros de diseño de separadores o recolectores de grasa, los cuales, según la norma, deben retener por lo menos 40 litros de grasas y aceites por unidad de l/s de flujo de agua

entrante para una eficiencia del 92% (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], 1991).

Para aceites y grasas con densidad de 0.937 kg/m<sup>3</sup> puede utilizarse la información del siguiente cuadro que relaciona tiempo de retención y flujo de entrada de 2 a 20 l/s, para flujos mayores es necesario un tiempo de retención mayor (CEPIS, 1991).

Cuadro 4. Tiempo de retención y caudal de entrada para trampas de grasas

Flujo de entrada (l/s)	Tiempo de retención (minutos)
2 a 9	3
10 a 19	4
20	5

(CEPIS, 1991)

En cuanto a su construcción la relación entre el ancho y la longitud debe ser 1:1.8. Asimismo, la trampa de grasas debe tener una cubierta en la salida para evitar la generación de malos olores de al menos 60 mm de espesor. Deben haber 0.25 m<sup>2</sup> por unidad de l/s de flujo de entrada, esta relación parte de experimentos realizados, de los cuales se determinó que para un gasto de 1 l/s o 3.6 m/h de velocidad de ascenso, el área requerida era de 0.25 m<sup>2</sup>. Por motivos de seguridad y para evitar reboses por una sobre carga se diseña con un 10% del volumen real (CEPIS, 1991).

## 2. Homogeneización

La homogeneización es una operación unitaria utilizada para evitar los problemas causados por variaciones en el flujo que se genera a lo largo del tiempo y que está ligado al uso y frecuencia de uso de instalaciones sanitarias, desechos de agua industrial o pluvial. De forma que al implementar un sistema de homogeneización se puede mejorar el desempeño de los equipos y que estos no sean sobre dimensionados o sub dimensionados, de forma que trabajen con un mismo flujo a lo largo del tiempo. La ubicación de la operación unitaria depende de los componentes del agua residual y el resto de las operaciones unitarias (Metcalf & Eddy, 2003).

La homogeneización tiene como objetivo principal amortiguar el caudal, de forma que este sea uniforme a lo largo del tratamiento, de manera que no haya variaciones. Otros aspectos que tiene como objetivo la implementación de un tanque de homogeneización incluye: disminuir la carga en las tuberías, diluir sustancias inhibitoras que puedan afectar el tratamiento biológico, estabilizar el pH, obtener un efluente de buena calidad y uniforme, reducir los requerimientos de área, entre otros. (Crites, 2004).

Los equipos consisten en tanques homogeneizadores de diferentes geometrías que pueden contar o no con mezcladores o aireadores si es necesario que la composición sea homogénea para el resto de las operaciones unitarias. Para su diseño se debe tomar en cuenta lo siguiente: localización del tanque de homogeneización respecto al resto de operaciones unitarias, respecto a la línea, volumen requerido, equipos auxiliares, manejo de sólidos sedimentables y olores (Metcalf & Eddy, 2003).

La clasificación para tomar en cuenta para la homogeneización, además de su forma geométrica, es su ubicación respecto a la línea del proceso. Es decir, si el sistema estará dentro de la línea o habrá una desviación con respecto a esta para luego reincorporarse a la línea. Para el volumen requerido se debe realizar un diagrama de flujo acumulado, el cual se obtiene monitoreando el flujo a lo largo del tiempo y de acuerdo a esto se obtiene el flujo promedio utilizado en un tiempo específico, por lo que puede obtenerse el volumen adecuado para ese flujo. El procedimiento puede hacerse para obtener el efecto de la homogeneización en la demanda biológica de oxígeno (Metcalf & Eddy, 2003).

La geometría del tanque homogeneizador depende a su vez de la ubicación del sistema respecto a la línea del proceso. Si será dentro de la línea, la geometría debe ser tal que permita un flujo continuo, por lo que se recomienda no utilizar diseños largos, y en caso de utilizar un sistema de mezclado debe asegurarse que haya bajo riesgo de corto circuito. Asimismo, pueden utilizarse varios compartimentos para disminuir los costos de limpieza y mantener los olores menos intensos (Metcalf & Eddy, 2003). Para el tanque homogeneizador se tienen las siguientes relaciones: ancho es dos veces la altura del tanque y esta a su vez es igual al largo del tanque. De la misma forma, el volumen de los sedimentadores incrementa en un 10% por motivos de seguridad en caso haya una sobre carga (Crites, 2004).

Los materiales utilizados generalmente son: arcilla, concreto, acero y plástico; siendo plástico y arcilla los más económicos. Dependiendo del volumen, la aplicación, geometría y tamaño se opta por un sistema de mezclado o aireado para promover la homogeneización del contenido del agua y evitar la deposición de sólidos dentro de la estructura. En caso no cuente con este sistema, debe tomarse en cuenta la sedimentación parcial de algunos sólidos sedimentables por lo que es necesario un método de extracción de estos o una estructura para la purga de lodos (Metcalf & Eddy, 2003).

### 3. Tratamiento primario

El tratamiento primario se realiza con el fin de reducir los sólidos en suspensión del agua residual mediante la sedimentación de estos. Los medios utilizados varían dependiendo de las necesidades de la planta, sin embargo, se pueden dividir en físicos y químicos (Muñoz, 2008).

Los sólidos en suspensión se clasifican en los siguientes grupos (Muñoz, 2008):

- a. Sedimentables
- b. Flotantes
- c. Coloidales

El primer grupo hace referencia a los que se sedimentan luego de unas horas de reposo, siendo tiempo de sedimentación dependiente del tamaño del sedimentador. El segundo grupo son los sólidos que no se sedimentarán debido a su densidad baja, estos deben removerse con medios físicos en la parte superior de la superficie del agua residual para retenerlos y que se puedan remover. El último grupo lo conforman sólidos de tamaños microscópicos parcialmente sedimentables (Muñoz, 2008).

La composición de dichos sólidos es principalmente materia orgánica, que da como consecuencia el parámetro conocido como demanda biológica de oxígeno (DBO), la cual, aunque se trata en tratamientos posteriores, es reducida parcialmente en el tratamiento primario (Muñoz, 2008).

Las operaciones unitarias que conforman el tratamiento primario en una planta de tratamiento de aguas residuales incluyen (Muñoz, 2008):

- a. Filtración
- b. Tamizado
- c. Sedimentación

El resultado de dichas operaciones incluye la remoción de sólidos y arena (según sea el caso) en un porcentaje dado, lodos sedimentados en el fondo del tanque, clarificación del agua de salida, entre otros. Algunos procesos que pueden complementar esta operación son la floculación y la coagulación, los cuales implican un proceso fisicoquímico (Muñoz, 2008).

#### **a. Sedimentación primaria**

La sedimentación se utiliza para la remoción de arenas y sólidos totales en los sedimentadores primarios, y material biológico en los sedimentadores secundarios. De esta manera se obtienen lodos en la parte inferior de los sistemas y un efluente claro. Dependiendo de las características de las partículas en el afluente y su concentración es como se dará la sedimentación por gravedad. Esta puede ser para partículas discretas, floculante, impedida y por compresión (Metcalf & Eddy, 2003).

Los desarenadores se utilizan para retener partículas grandes de sólidos inorgánicos debido a que estos componentes pueden generar abrasión en los equipos y dañarlos. Se localizan usualmente previo a las bombas de los molinos y lo preceden cribas de barras. Su diseño es en forma de canal en el cual la velocidad del flujo es suficientemente baja (tendiendo a 30 cm/s) como para que los sólidos se depositen (inorgánicos) y la materia orgánica permanece en suspensión. El tiempo de retención varía entre 20 y 60 segundos, sin embargo, esto depende del tamaño de las partículas, esto se logra instalando una batería de desarenadores con vertederos adecuados (NYSDOH, 1969).

La sedimentación se rige principalmente por las leyes de Newton y Stokes. En la ley de Newton se asume que la resistencia por fricción es igual a la fuerza ejercida por la gravedad. Ambas ecuaciones se muestran a continuación:

$$F_G = (\rho_P - \rho_w)gV_p$$

Ecuación 5

Donde:

$F_G$ : aceleración por gravedad ( $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ )

$\rho_p$ : Densidad de la partícula ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_w$ : Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$ : aceleración por gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$V_p$ : volumen de la partícula ( $\text{m}^3$ )

$$F_d = \frac{(C_d A_p \rho_p v_s^2)}{2}$$

Ecuación 6

Donde:

$F_d$ : fuerza de fricción de arrastre ( $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ )

$C_d$ : Coeficiente de arrastre

$A_p$ : área transversal o proyectada de las partículas ( $\text{m}^2$ )

$v_s$ : velocidad de sedimentación ( $\text{m}/\text{s}$ )

Las ecuaciones 2 y 3 se igualan y se despeja la velocidad de sedimentación. Se realizan diferentes simplificaciones de acuerdo con el número de Reynolds de las partículas sedimentables.

Esta está dada por:

$$N_R = \frac{v_p d_p \rho_p}{\mu} = \frac{v_p d_p}{v_s}$$

Donde:

$\mu$ : viscosidad dinámica ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )

$v$ : viscosidad cinética ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$v_s$ : velocidad de sedimentación ( $\text{m}/\text{s}$ )

El siguiente cuadro contiene información sobre la ley aplicable según el número de Reynolds. Este cuadro se utiliza para utilizar la ecuación adecuada y encontrar la velocidad de sedimentación según las características de las partículas sedimentables (OPS, 2005).

Cuadro 5. Tamaños de partícula, número de Reynolds, régimen de flujo y la ley aplicable para la velocidad de sedimentación

Diámetro límite de partículas	Régimen de flujo	Número de Reynolds	Ley Aplicable
> 1.0	Turbulento	> 10000	Newton Ecuación 8 $v_s = 1.81 \sqrt{d_p \left( \frac{\rho_P - \rho_w}{\rho_w} \right)}$
0.1	Transición	1000	Allen Ecuación 9 $v_s = 0.22 \left( \frac{\rho_P - \rho_w}{\rho_w} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{d_p}{\rho_P} \right)^{\frac{1}{3}}$
0.08		600	
0.05		180	
0.05		27	
0.04		17	
0.03		10	
0.02		4	
0.015	Laminar	2	Stokes Ecuación 10 $v_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_P - \rho_w}{\mu} \right) d_p^2$
0.01		0.8	
0.008		0.5	
0.006		0.24	
0.005		1	
0.004		1	
0.003		1	
0.002		1	
0.001	1	1	

(OPS, 2005)

La teoría de partículas discretas establece que el flujo de un fluido es directamente proporcional al área superficial de un sedimentador y a la velocidad de sedimentación de las partículas. De manera que la velocidad crítica es equivalente a la carga. En esta relación no se toma en cuenta la profundidad del sedimentador, sin embargo, conforme incrementa el tiempo y también la profundidad de la estructura, la capacidad de remoción de partículas será mayor. La velocidad de arrastre, también conocida como velocidad de desplazamiento o de re-suspensión, está dada por la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2003).

$$v_d = \left( \frac{8k(\delta-1)gd_p}{f} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ Ecuación 11}$$

Donde:

$V_d$ : velocidad de desplazamiento (m/s)

k: constante que depende del material. Los valores están entre 0.04 (arenas unigranulares) y 0.06 (material pegajoso)

$\delta$ : gravedad específica

f: coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach. Los valores están entre 0.02 y 0.03.

La velocidad horizontal debe ser menor a la velocidad de arrastre para asegurar que no se de este fenómeno dentro del tanque de sedimentación. La misma está dada por la siguiente ecuación (OPS,2005):

$$v_H = \frac{100*Q}{B*H} \text{ Ecuación 12}$$

Donde:

$v_H$ : velocidad horizontal

Q: caudal de diseño

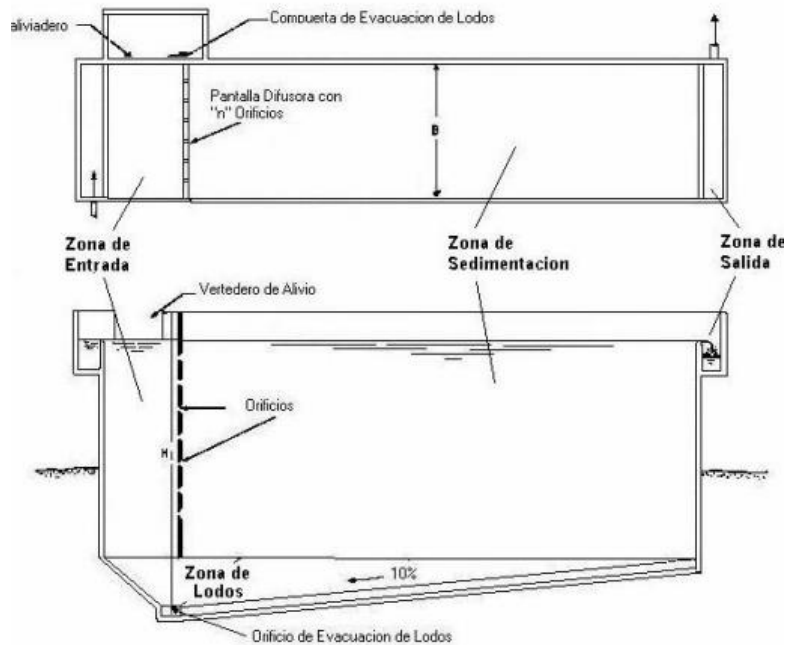
B: ancho del sedimentador

H: altura del sedimentador

Los tanques de sedimentación son por lo general rectangulares o circulares, en los mismos el agua ingresa por aperturas cercanas a la superficie de entrada y avanza a baja velocidad para llegar al extremo opuesto del tanque y descargarse. La relación entre el largo y la profundidad del sedimentador debe estar entre 3 y 20 (CONAGUA, 2016). Para el volumen del sedimentador se debe tomar en cuenta posibles sobre cargas del 10% por lo que por motivos de seguridad se suma este porcentaje del volumen original al mismo (Cáceres, 2015).

Los tanques de sedimentación rectangular para plantas de tratamiento medianas a grandes utilizan un sistema de recolección de lodos continua que consiste en una banda con cangilones o canastas. Para plantas de tratamiento pequeñas, se utiliza un sistema de purgado en el fondo de los tanques rectangulares, por lo que se les añade una inclinación del 10% como regla gruesa en el fondo, la siguiente figura modela un sedimentador primario rectangular. Usualmente se utilizan los tanques rectangulares ya que requieren de menos área que la mayoría de los tanques circulares, además de que tienen un menor costo de construcción (Mettlcalff & Eddy, 2003).

Figura 1. Sedimentador primario rectangular vista de planta y corte longitudinal



(CEPIS, 1973)

En cuanto a componentes generales el tanque incluye la zona de entrada, la zona de sedimentación la cual tiene una pendiente mínima de 10% para permitir el deslizamiento de las partículas, y la zona de salida. Si se colocan más de un sedimentador se hace en paralelo con un bypass, por motivos de mantenimiento y limpieza (OPS, 2005). En cuanto a la salida del agua del sedimentador se pueden implementar los siguientes sistemas: vertederos de rebose los cuales pueden ser lisos o dentados, canaletas de rebose las cuales pueden ser lisas, dentadas o con orificios, y los sistemas con orificios los cuales pueden ser circulares o cuadrados (CEPIS, 1973).

Para el diseño de vertederos, con un ángulo de 90°, según un estudio en la Universidad del Michigan por el profesor Horace King, el caudal es proporcional a la altura del vertedero de Thomson, la relación que obtuvo fue la siguiente (Marbello, 2005):

$$Q = 1.34h^{2.47} \text{ Ecuación 13}$$

Donde:

h: altura del vertedero (m)

Usualmente, para tanques de sedimentación primaria seguidas por tratamiento secundario, el tiempo de retención se da entre 1.5 y 2.5 horas y una carga entre 30 y 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d. Los tanques de sedimentación con tiempos menores de retención tendrán una menor retención y por lo tanto son utilizados a veces como tratamiento preliminar. La temperatura del agua también afecta el tiempo de retención debido a la viscosidad del agua, por lo que agua a 10°C tendrá un tiempo de retención 1.38 veces mayor al de agua a 20°C (Metcalf & Eddy, 2003).

Los tanques de sedimentación primaria pueden remover de 50 a 70% de los sólidos suspendidos y 25 a 40% de la demanda biológica de oxígeno. Sin embargo, solamente se sedimentarán completamente las partículas que sobrepasen o tengan la misma velocidad crítica, las otras se sedimentarán parcialmente en función de la velocidad crítica y la velocidad de la partícula. (Metcalf & Eddy, 2003).

La eficiencia del tanque se ve afectada por los siguientes factores: inercia del fluido al entrar al tanque, circulación debido a corrientes de aire, convección, temperatura no uniforme en el fluido, entre otros. La remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST) están dados en función del tiempo de retención y la concentración. La siguiente ecuación establece la relación entre estos parámetros, esta ecuación fue obtenida por observaciones del desempeño en tanques de sedimentación (Metcalf & Eddy, 2003).

$$R = \frac{t}{a+bt} \text{ Ecuación 14}$$

Donde:

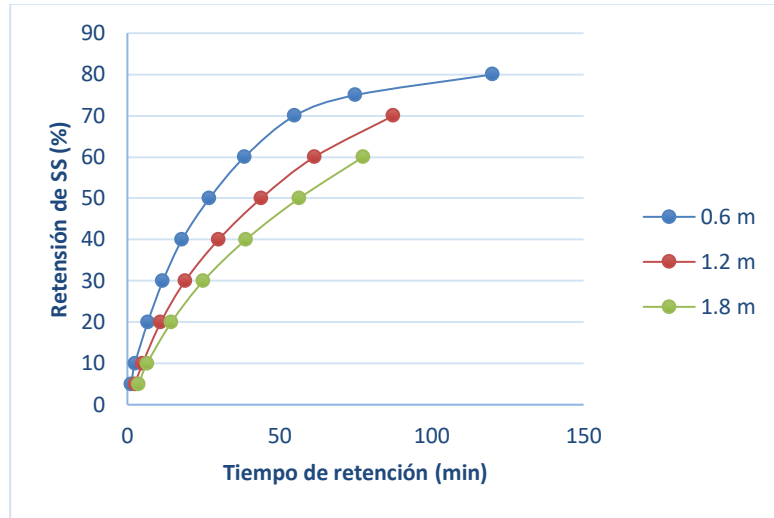
R: Eficiencia de remoción esperada

t: Tiempo de retención nominal en horas

a y b: Constantes empíricas. Para DBO a es igual a 0.018 y b 0.020, para SST a es igual a 0.0075 y b 0.014.

La siguiente figura representa algunas de las curvas de comportamiento del porcentaje de remoción de sólidos sedimentables en función del tiempo de retención en un tanque de sedimentación primaria a diferentes profundidades. Ya que la altura está dada por la relación entre la velocidad de sedimentación efectiva y el tiempo de retención en el tanque, a medida que la profundidad de este sea mayor, la rapidez de retención de sólidos con respecto al tiempo será mayor (Ramalho, 1983).

Figura 2. Porcentaje de retención de sólidos suspendidos en función del tiempo para diferentes profundidades



(Ramalho, 1983)

Los sedimentadores cuentan con una pantalla difusora que tiene por objetivo la distribución homogénea del fluido a lo largo del lecho y promover la sedimentación de las partículas cuando las mismas colisionan con la estructura. La pantalla difusora consta de un baffle con orificios, cuyo número sobre la pantalla están dados por la siguiente ecuación (OPS, 2005):

$$n = \frac{A_o}{a_o} \text{ Ecuación 15}$$

Donde:

n: Número de orificios

$A_o$ : área total de orificios ( $m^2$ ) Esta área se obtiene utilizando el caudal de diseño y la velocidad a través de los orificios.

$a_o$ : área de cada orificio ( $m^2$ )

Por motivos de limpieza y mantenimiento es recomendable contar con 2 o más tanques. Para la limpieza, es común utilizar un sistema mecánico de cadenas para plantas de tratamiento de agua residual de medianos a grandes tamaños, sin embargo, algunos de estos sistemas no son recomendados para plantas pequeñas (Metcalf & Eddy, 2003).

## Módulo 2:

### A. Tratamiento de aguas residuales

El agua residual recolectada de las municipalidades y comunidades debe ser regresada a cuerpos de agua o tierra receptores o ser reutilizada. Un objetivo que se debe de plantear una institución es determinar los niveles de tratamiento que deben ser alcanzados para asegurar la protección de la salud pública y del ambiente. Para esto se requiere una serie de análisis de condiciones y necesidades locales, aplicación de conocimiento científico y pensamiento ingenieril basado en experiencia. También se debe considerar regulaciones federales, gubernamentales y locales. (Metcalf & Eddy 2003).

#### 1. Tipos de tratamientos

Los métodos de tratamiento en los que, la aplicación de fuerzas físicas predomina son conocidos como operaciones unitarias. Los métodos de tratamiento en los que la remoción de contaminantes es lograda por reacciones químicas o biológicas son procesos unitarios. Hoy en día as operaciones y procesos unitarios se combinan para lograr varios niveles de tratamiento conocidos como tratamiento preliminar, primario, secundario, primario avanzado, secundario, terciario y desinfección o cuaternario. (Metcalf & Eddy 2003).

Cuadro 6. Niveles de tratamiento de agua residual

Nivel de tratamiento	Descripción
Preliminar	Remoción de constituyentes como bolsas, palos, materiales flotantes, mallas, sólidos grandes y grasas que puedan causar problemas de manutención o de operación con las operaciones o procesos del tratamiento y equipos auxiliares.
Primario	Remoción de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual.
Primario avanzado	Remoción mejorada de sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual. Se logra con la adición de componentes químicos o filtración.
Secundario	Remoción de materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y sólidos suspendidos. La desinfección generalmente se incluye en el tratamiento secundario.
Secundario con remoción de nutrientes	Remoción de orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes como el nitrógeno, fósforo o ambos.
Terciario	Remoción de sólidos suspendidos residuales (después del tratamiento secundario), con filtración granular o membranas. La desinfección también es parte del tratamiento terciario. La remoción de nutrientes se incluye en este nivel.
Cuaternario	Remoción de materiales disueltos o suspendidos remanentes de un tratamiento biológico normal cuando se requiere de aplicaciones de reutilización del agua.

(Metcalf & Eddy 2003).

## B. Características del agua residual

### 1. Compuestos inorgánicos no metales

Los compuestos químicos del agua residual son clasificados como inorgánicos y orgánicos. Los inorgánicos incluyen nutrientes, componentes no metálicos, metales y gases. Los compuestos orgánicos incluyen se clasifican como agregados e individuales. Estos componentes dependen del suministro de agua y de adiciones que resultan de uso doméstico e industrial. Los blanqueadores y suavizantes de las industrias y domicilios son los componentes que más contribuyen con este tipo de minerales. Los compuestos inorgánicos no metálicos pueden ser el pH, nitrógeno, fósforo, alcalinidad, cloritos, azufre, gases y olores. (Metcalf & Eddy 2003).

## 2. Nitrógeno

Es un elemento esencial para el crecimiento de microorganismos. Es necesario medirlo en un tratamiento de aguas ya que es una herramienta importante en la síntesis de proteína. Si existe muy poco nitrógeno, deberá ser agregado para que el agua sea tratable. Las principales fuentes de nitrógeno son compuestos nitrogenados de origen vegetal y animal, el nitrato de sodio y el nitrógeno de la atmósfera. Las formas más comunes del nitrógeno en el agua residual es amonio, amoniaco, el ion nitrito y el ion nitrato. (Metcalf & Eddy 2003).

## 3. Fósforo

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Existe un gran cuidado a la hora de descartar el agua residual con altos niveles de fósforo ya que existe peligro nocivo para otros organismos vivos. El agua municipal contiene de 4 a 16 mg/L. Las formas más comunes del fósforo son el ortofosfato, polifosfato y fósforo orgánico. (Metcalf & Eddy 2003).

## C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra de agua residual susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. El ensayo de determinación de DQO al dicromato es utilizado para establecer la contaminación en materia orgánica de aguas residuales. (Ramalho 1996).

## D. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La DBO es resultado de materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos, el nitrógeno oxidable derivado de la presencia de nitritos, amoniaco y compuestos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas.

En las aguas residuales domésticas, la mayor parte de la demanda bioquímica de oxígeno se debe a materiales orgánicos carbónicos. Con frecuencia, se utiliza la prueba de la DBO<sub>5</sub> para determinar la contaminación orgánica en el agua residual. Esta prueba consiste en medir el oxígeno disuelto

utilizado por los organismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica durante cinco días. (Ramalho 1996).

#### 1. Procedimiento para la determinación de la prueba de DBO<sub>5</sub>

Se colocan diez mililitros de una muestra de agua residual en una botella de Buffer para DBO de 300 mL. Se afora la botella hasta la marca. Luego se mide la concentración inicial de oxígeno disuelto con un medidor multiparámetro HACH y se cierra la botella. Es necesario colocar la muestra en una incubadora para mantener la temperatura a 20°C. A los cinco días se mide nuevamente la cantidad de oxígeno disuelto de la muestra. El resultado de la DBO se obtiene con la división entre la resta del oxígeno inicial y final y la fracción decimal de la muestra utilizada. El resultado se expresa en miligramos de oxígeno por litros de muestra (mg/L o ppm). (Metcalf & Eddy 2003).

$$DBO, \frac{mg}{L} = \frac{D_1 - D_2}{P} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

D<sub>1</sub>: oxígeno disuelto de la muestra inicial (mg/L)

D<sub>2</sub>: oxígeno disuelto de la muestra final (mg/L)

P: fracción decimal de la muestra utilizada

#### E. Relación DQO/DBO<sub>5</sub>

La relación de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno se utiliza para conocer la biodegradabilidad del agua residual. Si la relación DQO/DBO<sub>5</sub> es menor a 2.5 indica que es un efluente o compuesto biodegradable. Al ser así se puede utilizar sistemas biológicos como fangos activos o lechos fluidizados. Si el valor se encuentra entre 2.5 y 5, el efluente es poco biodegradable y se deben de buscar otras medidas para tratar el agua. (Osorio 2018).

## F. Tratamiento secundario

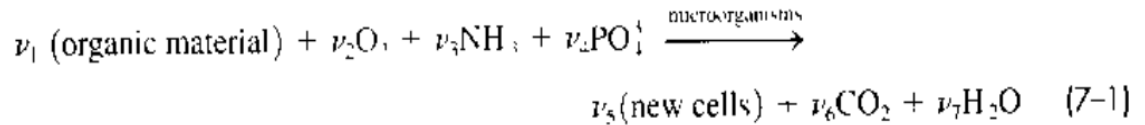
### 1. Tratamiento biológico de aguas residuales

El Objetivo principal de un tratamiento secundario de aguas residuales es remover materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos. También transformar (oxidar) constituyentes biodegradables disueltos y particulados en productos aceptables, capturar e incorporar sólidos coloidales suspendidos en una película biológica, transformar o remover nutrientes, como nitrógeno y fósforo y en algunos casos, remover trazas de compuestos y constituyentes orgánicos específicos. Para el agua industrial, el objetivo es remover o reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Como algunos constituyentes y compuestos en las aguas industriales pueden matar a los microorganismos, es necesario realizar un pretratamiento al agua antes de que inicie el proceso biológico. Se reduce la cantidad de DBO<sub>5</sub> y DQO (demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, respectivamente). La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro utilizado para medir los contaminantes orgánicos en el agua. Indica el estimado de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para la degradación de compuestos biodegradables. (Metcalf & Eddy 2003).

El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios. (Ramalho 1996). Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son lodos activados y filtros percoladores. En el tratamiento secundario se incluye el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaerobio. Estos tratamientos biológicos poseen una eficiencia de remoción de DBO entre el 85% y el 95%. (Rojas 2002).

## G. Rol de los microorganismos en el tratamiento de aguas residuales

La remoción de la demanda biológica de oxígeno disuelta y particulada y la estabilización de la materia orgánica en el agua residual se logran biológicamente utilizando una variedad de microorganismos, generalmente bacterias. Estas se utilizan para oxidar la materia orgánica disuelta y particulada en biomasa y productos más simples.



(Metcalf & Eddy 2003).

El oxígeno, el amoníaco y el fosfato se utilizan para representar los nutrientes necesarios para la conversión de materia orgánica en un producto más simple, como agua y dióxido de carbono. En la reacción, se indica que hay presencia de microorganismo para especificar que estos son necesarios para el proceso de oxidación. El término *new cells* se utiliza para representar la biomasa producida como resultado de la oxidación de materia orgánica. Los microorganismos también son utilizados para remover el nitrógeno y el fósforo en los tratamientos de agua residual. Bacterias específicas son utilizadas para degradar amoníaco en nitritos y nitratos por medio de un proceso llamado nitrificación. Otras bacterias son utilizadas para oxidar el nitrógeno en nitrógeno gaseoso. Otras bacterias también son utilizadas para almacenar fósforo para su posterior degradación y eliminación. La biomasa o los lodos producidos en el tratamiento secundario pueden ser eliminados por medio de decantación, debido a que tienen una gravedad específica ligeramente mayor a la del agua tratada. Es importante remover esta materia orgánica del tanque donde se esté tratando el agua debido a que este puede ser un indicador de DBO alto en el efluente del proceso. (Metcalf & Eddy 2003).

## H. Cinética del crecimiento microbiano en tratamiento secundario

El desempeño de los procesos biológicos utilizados para tratamiento de aguas residuales depende en la dinámica de la utilización del sustrato y el crecimiento microbiano. Un diseño de operación efectivo requiere un conocimiento de las reacciones que ocurren dentro del proceso y de los principios del crecimiento de los microorganismos. Una de las principales preocupaciones en el tratamiento de agua residual es la remoción de sustrato. El objetivo en un tratamiento biológico es agotar el donante de electrones, como los compuestos orgánicos en la oxidación aerobia. La razón de utilización de sustrato en sistemas biológicos puede ser modelada con la siguiente expresión.

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + DQO}$$

Ecuación 17. Modelo cinético del crecimiento microbiano en tratamiento secundario

Donde:

$r_{su}$  = razón del cambio de la concentración del sustrato,  $\text{g/m}^3 \text{ d}$

$k$  = utilización de sustrato específica máxima,  $\text{g sustrato} / \text{g microorganismos d}$

$r_{su}$  = razón del cambio de la concentración del sustrato,  $\text{g/m}^3 \text{ d}$

$X$  = concentración de biomasa,  $\text{g/m}^3$

$DQO$  = concentración de la demanda química de oxígeno del agua,  $\text{g/m}^3$

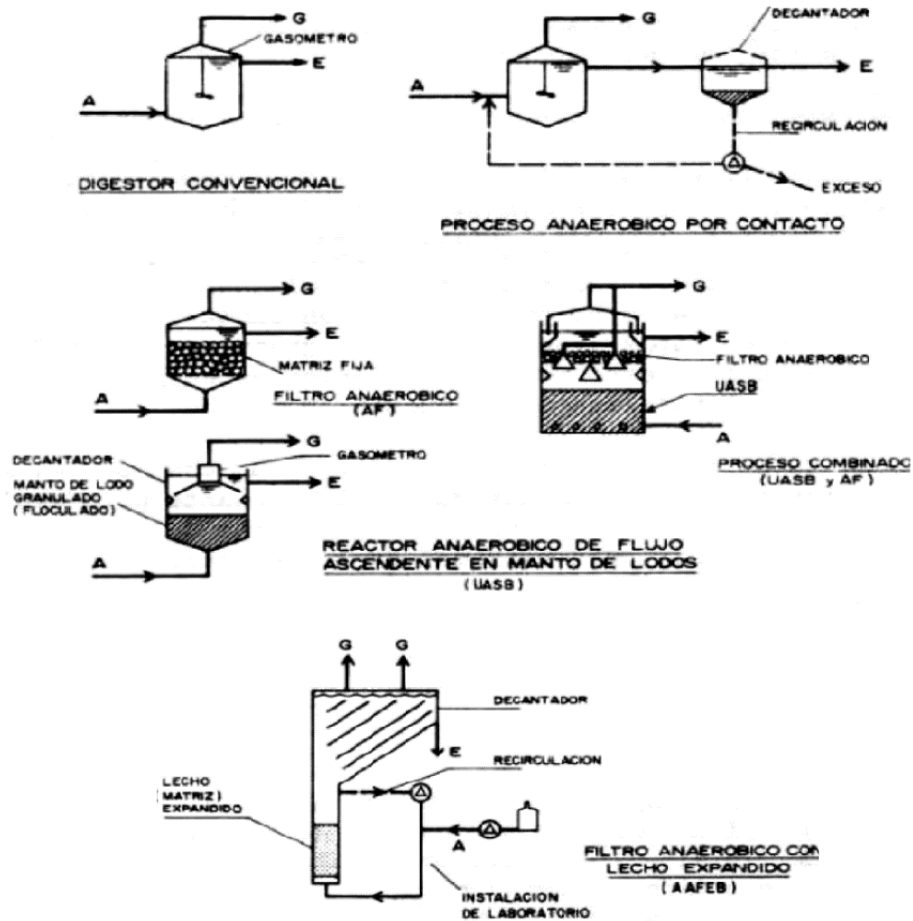
(Metcalf & Eddy 2003).

## I. Tratamiento anaerobio

La digestión anaerobia es un proceso de biomasa suspendida. Se utiliza especialmente cuando las aguas residuales tienen una gran carga contaminante. El tratamiento anaerobio consiste en la descomposición de la materia orgánica, que genera como producto final un gas de alto contenido energético, llamado biogás. Este principalmente se compone por gas metano (60-80%), dióxido de carbono (40-20%) y trazas de otros gases como sulfuro de hidrógeno. Este subproducto puede ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica o eléctrica.

El proceso de digestión anaerobia se realiza en tanques completamente cerrados en los que intervienen varios tipos de microorganismos. La materia orgánica de las aguas residuales es una de las principales fuentes de energía, nutrientes y carbono que necesitan estos organismos. Entre los principales están las bacterias productoras de ácidos y las bacterias productoras de metano. Las primeras transforman la materia orgánica compleja en productos intermedios. Las segundas actúan sobre dichos intermedios transformándolos en gases y subproductos estabilizados. Dicho proceso requiere condiciones determinadas para funcionar adecuadamente. La primera fase del proceso se denomina fase ácida con un pH por debajo de 6.8 y la segunda fase se denomina metánica la cual aumenta el pH a valores de 7.4. Si el agua o efluente que se encuentra dentro del tanque está por debajo de 6, las bacterias se pueden inhibir. (Cyclus 2002). En la Ilustración 1 se pueden observar los distintos procesos de tratamiento anaerobio continuo que existen.

Figura 3. Procesos continuos de tratamiento anaerobio

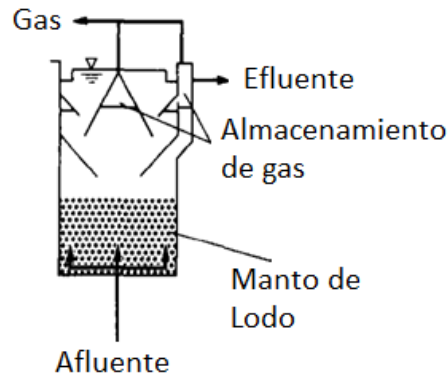


(Mansur 2000)

### J. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB o RAFA)

Este proceso consiste en un tanque Imhoff, en donde el afluente ingresa al tanque por la parte inferior y ocurre un proceso de decantación en la parte superior, como se puede observar en la Ilustración 2. Esto se debe a que los lodos poseen una gravedad específica mayor, por lo que se va al fondo del tanque y el agua “más limpia” se va trasladando hacia arriba del tanque. En este tipo de tanques debe haber una separación efectiva del efluente, del lodo y del gas producido en el proceso. El lodo producido en el tanque debe tener una buena capacidad de sedimentación y debe ser granular. Se puede desarrollar en formas de bastón, filamentos y púas; esto depende de la composición del sustrato y la naturaleza de la puesta en marcha. El afluente debe ser introducido por la parte inferior del reactor. (Jocol 2006).

Figura 4. Reactor anaerobio de flujo ascendente



(Metcalf & Eddy 2003)

Este reactor es uno de los más grandes desarrollos en el tratamiento anaerobio. Fue desarrollado en los años 1970 en Holanda por Lettinga y sus colaboradores. Los principales tipos del UASB incluyen el proceso UASB original y modificaciones del diseño original, el reactor anaerobio con deflectores (ABR) y el reactor con manto migrante anaerobio (AMBR®). Actualmente, este reactor es el más utilizado a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales. Diferentes adaptaciones al tanque anaerobio de flujo ascendente incluyen añadir un tanque de asentamiento o la utilización de un material de empaque en la parte superior del reactor. Estas modificaciones tienen como objetivo una captura mejorada de sólidos en el sistema y prevenir la pérdida de grandes cantidades de sólidos a causa de problemas en el proceso o cambios en la característica o densidad del agua. Se recomienda una captura exterior de los sólidos para evitar problemas.

Cuando existe una carga muy alta de DQO en el agua residual, es conveniente utilizar este tipo de reactor debido a que se forma un lodo granular y denso. En la parte inferior del reactor, la concentración de los lodos se encuentra entre 50 a 100 g/L y en las partes más difusas se tiene de 5 a 40 g/L. Las partículas tienen un tamaño de 1.0 a 3.0 mm. Se requieren de varios meses para que se desarrolle el lodo granulado y se requiere una semilla o inóculo de otras instalaciones para acelerar este proceso. Se han estudiado diferencias en la morfología de los sólidos cuando la temperatura varía

entre 20°C y 30°C, pero se mantiene el tamaño de las partículas y las propiedades se mantienen. La producción de lodos se ve afectada por las características del agua residual. Usualmente, el pH, la velocidad de flujo ascendente y la adición de nutrientes afecta al proceso. El pH debe estar cercano a 7. Cuando se realiza el arranque del tanque, la velocidad de flujo ascendente se debe mantener elevada para ir lavando el lodo no floculante.

Algunas consideraciones importantes para el diseño para un proceso UASB son 1) las características del agua residual en términos de composición y contenido de sólidos, 2) la carga orgánica volumétrica, 3) la velocidad de flujo ascendente, 4) el volumen del reactor, 5) las propiedades físicas, como el sistema de distribución del influente y 6) el sistema de recolección de gas.

1) Características del agua residual:

El agua residual que contenga sustancias que puede afectar la granulación del lodo, como la formación de espuma, puede ser un gran problema para el proceso. Las proteínas y grasas tienden a crear este tipo de problemas. Cuando la fracción de sólidos incrementa, la habilidad de formar lodo denso y granulado decrece. Cuando la concentración de sólidos suspendidos totales (TSS) es demasiado alta, 6 g TSS/L, se recomienda una digestión y contacto anaerobios.

2) Carga orgánica volumétrica:

Se han logrado alcanzar eficiencias desde 65% al 70% de remoción del DQO con carcasas de 12 a 20 kg DQO/m<sup>3</sup>d con reactores UASB. Con esto también se logra un tiempo de retención bastante bajo, como 4 a 8 horas. El factor de efectividad del reactor va desde 0.8 a 0.9. Una carga alta de ácidos grasos volátiles (VFA) proporciona una formación de lodo denso y granulado. Los beneficios económicos de los ahorros de energía y la baja producción de lodos justifican la inversión inicial de la construcción de un reactor UASB. (Metcalf & Eddy 2003)

3) Velocidad de flujo ascendente:

Este es un parámetro crítico para el diseño de un reactor UASB. El volumen y la velocidad de flujo ascendente van a determinar el volumen del reactor. La velocidad de flujo ascendente es igual al flujo de alimentación dentro del área transversal del reactor.

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

Donde:

$U$  = velocidad de flujo ascendente de diseño, m/h

$A$  = área transversal del reactor, m<sup>2</sup>

$Q$  = flujo del influente, m<sup>3</sup>/h

En el Cuadro 7. Criterios de diseño recomendados para un reactor anaerobio de flujo ascendente se muestran algunos parámetros recomendados para el diseño de un reactor UASB.

Cuadro 7. Criterios de diseño recomendados para un reactor anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura mínima	°C	20
TRH con flujo promedio	horas	8.0-12.0
TRH mínimo	horas	4
Velocidad máxima de aperturaa	m/h	5
Densidad máxima de entrada	m <sup>2</sup> /punto de alimentación	4
Ángulo del colector de gas	grados	50
Grosor del colector de gas	m	0.44
Distancia entre deflector y colector	m	0.15
Ángulo del deflector	grados	45
Velocidad de flujo ascendente	m/h	0.5-0.6
Producción de biogás	m <sup>3</sup> kg / DQOrem d	0.08-0.12
Concentración del manto de lodo	kgTSS/m <sup>3</sup>	65-70
Altura del manto de lodo	% de gas colector	80-90
SRT	días	32-45
VSS degradado	%	50
Coefficiente de formación bacteriana	kgVSS/kgbDQO	0.08
Razón de carga volumétrica	kgDQO/m <sup>3</sup> d	1.15-1.45
Eficiencia de remoción de DQO	%	65-70
Eficiencia de remoción de DBO	%	75-80
Eficiencia de remoción de TSS	%	75-80

(Van Lier 2010)

#### 4) Volumen y dimensiones del reactor:

Para el volumen del reactor se debe tomar en cuenta la carga orgánica, la velocidad superficial y el volumen de tratamiento efectivo. El volumen de tratamiento efectivo es el volumen ocupado por el manto de lodos y la biomasa. Para el volumen nominal del líquido se debe tomar:

$$V_n = \frac{QS_o}{L_{org}}$$

Donde:

$V_n$  = volumen nominal de líquido, m<sup>3</sup>

$S_o$  = influente de DQO, kg DQO/m<sup>3</sup>

Q = flujo del influente, m<sup>3</sup>/h

$L_{org}$  = razón de carga orgánica, Kg DQO/m<sup>3</sup>d

#### 5) Propiedades físicas:

Las principales son el flujo de alimentación, la separación de gas y la extracción del efluente. El flujo de alimentación debe estar diseñado para proveer una distribución uniforme y para evitar la formación de zonas muertas. Se debe utilizar varias tuberías para distribuir correctamente el flujo de entrada. Se debe tener un acceso al tanque para limpiar las tuberías y los demás componentes del UASB.

#### 6) Sistema de recolección de gas:

El separador de gas y sólidos es diseñado para recolectar el biogás, prevenir que los sólidos se salgan, promover la separación del gas y las partículas sólidas, permitir que los sólidos regresen al manto de lodos y ayudar al mejoramiento de la remoción de sólidos. Se requieren deflectores en V invertidos para cumplir con los objetivos mencionados. (Metcalf & Eddy 2003)

En resumen, las ventajas de un reactor UASB o RAFA, son que puede manejar cargas grandes, tiempos de retención relativamente bajos para sistemas de tratamiento anaerobio y la eliminación del costo de material de empaque. Otra ventaja y otra razón para elegir este tipo de reactor es que existen alrededor de 500 instalaciones a escala completa alrededor del mundo. Algunas limitaciones del tanque son para aguas con altos contenidos de sólidos o que su naturaleza impida el desarrollo de lodo denso y granuloso. (Metcalf & Eddy 2003)

## K. Tratamiento aerobio

El tratamiento biológico aerobio es altamente efectivo, aunque excesivamente costoso en algunos casos. Este proceso se aplica cuando la empresa o complejo tiene un presupuesto alto. También cuando se deben de cumplir con requisitos estrictos de descarga. Este proceso muchas veces se limita

ya que tiene una eficiencia energética pobre y posee una producción de residuos sólidos alta. En este proceso, la contaminación orgánica es convertida en dióxido de carbono y agua. Se requiere de una biomasa aeróbica activa y un suministro significativo de oxígeno para que el tratamiento tenga lugar. Aquí es donde la eficiencia energética afecta, el suministro de oxígeno necesita de mucha energía para trabajar. (Global Water & Energy 2019).

## L. Tratamiento de lodos activados

Los lodos activados están dirigidos a transformar sustrato orgánico soluble o insoluble, en forma coloidal o suspendida, en sólidos biológicos flocculentos, que pueden ser asentados y de este modo separados del agua que contaminan por medio de los procesos convencionales de sedimentación. El proceso de lodos activados es el más eficiente de los tratamientos de agua residual conocidos, y es por excelencia el empleado para Tratamiento Fino, es decir para eficiencia entre 90 y 99% de remoción de DBO.

Los parámetros que se deben de tener en cuenta son la carga orgánica, F/M, la edad de lodos y parámetros empíricos, como la carga volumétrica, el coeficiente de retorno, R, etc. Otro factor de gran interés es el suministro de oxígeno debido a que no se debe repartir el aire en forma homogénea en todo el tanque, pues se requiere más al principio que al final, por existir mayores tasas de reacción. Este tipo de reactor puede manejar aguas con carga orgánica mucho mayor. El principal problema de los lodos activados es su operación y mantenimiento complicado y costoso a comparación de un tratamiento anaerobio. El proceso de lodos activados más eficiente es el de flujo pistón. Otros tipos de procesos que existen son el completamente mezclado, aireación decreciente, aireación escalonada, estabilización por contacto, alta tasa, aireación extendida, zanjas de oxidación, aireación de alta tasa, oxígeno puro y el tratamiento de lodos por selectores. (Jaramillo 2005).

## M. Tanque de aireación

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Entre sus principales funciones se encuentran transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto, disminuir la concentración de DQO, DBO, dióxido de carbono y sulfatos, remover gases como metano, cloro y amoníaco, oxidar hierro y manganeso, remover compuestos orgánicos volátiles y remover sustancias volátiles productoras de

olores y sabores. Los tanques de aireación requieren de energía eléctrica y flujos de oxígeno constante para cumplir con las condiciones de su operación. Entre los principales tipos están los aireadores de bandeja, aireadores en cascadas y vertederos y aireadores mecánicos. (Romero 2001).

## N. Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).

Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos bilógicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos. La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de incineración en una estufa de laboratorio a 600°C. esto corresponde a la volatilización del lodo biológico. (Ramalho 1996).

## O. Tratamiento terciario

El objetivo principal del tratamiento terciario es remover sólidos suspendidos residuales y otros nutrientes que no fueron removidos en el tratamiento secundario. Este tratamiento tiene como objetivo complementar los procesos anteriores logrando efluentes más puros con una menor carga contaminante y que pueda ser utilizada para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Las sustancias que se pueden remover con este tratamiento son fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tensoactivas, algas bacterias y virus, radionuclidos, sólidos totales y disueltos y temperatura. Los procesos de tratamiento de esta categoría están conformados por procesos físicos, químicos y biológicos. (Rojas 2002).

En el tratamiento terciario se pueden incorporar procesos fisicoquímicos, físico-biológicos y desinfección. Estos procesos pueden ser en función del tipo de operación o proceso unitario o por el objetivo principal de eliminación que se quiere conseguir. A continuación, se muestran algunas funciones de eliminación en el agua residual.

Cuadro 8. Eliminación de constituyentes por operaciones y procesos en tratamiento terciario

Función de eliminación	Operación o proceso
Eliminación de sólidos suspendidos	Filtración con micro tamices
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica en etapas separadas
Eliminación biológica de fósforo	Eliminación de fósforo en líneas principales y auxiliares
Eliminación biológica conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación biológica y eliminación de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración
Eliminación de fósforo por adición de reactivos químicos	Precipitación química con sales metálicas o cal.
Eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria	Adsorción con carbono Lodos activos Oxidación química
Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración Ósmosis inversa Electrodialisis
Compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con gas

(Metcalf & Eddy 2003)

### 1. Sólidos suspendidos

Estos componentes son contaminantes insolubles del agua. Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de sedimentos endurecidos y condiciones anaeróbicas cuando el agua sin tratar se descarga en el ambiente acuático. (Metcalf & Eddy 2003). Pueden ser removidos por procesos de sedimentación, microtamizado, filtración y coagulación. Es necesario remover estos compuestos debido a que pueden contribuir negativamente a la demanda bioquímica de oxígeno. (Ramalho 1996).

### 2. Nitrificación biológica

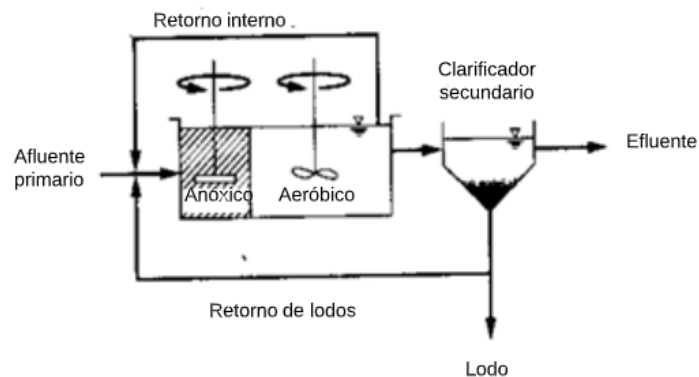
La nitrificación biológica es un proceso que se divide en dos etapas. Primero ocurre una oxidación de amonio por bacterias Nitrosomas en nitritos. En la segunda etapa se oxida el nitrito por las bacterias Nitrobacter en nitratos. Es importante eliminar el amonio debido a que es una sustancia tóxica para organismos vivos. También es importante controlar la eutrofización

(acumulación de residuos orgánicos) y la reducción de nitrógeno para poder reutilizar el agua posteriormente. (Bonifaz *et al.* 2017).

### 3. Procesos para la remoción biológica de nitrógeno

Entre los principales procesos de la nitrificación biológica están 1) proceso anóxico/aeróbico, 2) proceso anóxico/aeróbico por alimentación por pasos, 3) aireación intermitente, 4) reactor por lotes secuencial y 5) desnitrificación post - anóxica con adición de metanol. Todos los procesos incluyen una zona aerobia donde ocurre la nitrificación biológica. Se debe añadir volumen o tiempo para proveer de una desnitrificación biológica para completar el objetivo de una remoción de nitrógeno total. Esto se logra oxidando  $\text{NH}_4\text{-N}$  y reduciendo  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-Na}$  a gas nitrógeno. La reducción de nitrato requiere de un donante de electrón, que puede ser el DBO. En la siguiente figura se muestra un proceso anóxico / aeróbico. (Metcalf & Eddy 2003).

Figura 5. Proceso anóxico /aerobio



(Metcalf & Eddy 2003).

### 4. Procesos aerobios de película bacteriana adherida para remoción de nitrógeno y fósforo

En los procesos aerobios de película bacteriana adherida, los microorganismos responsables del tratamiento están adheridos en un medio fijo. Operativamente, el agua residual se aplica a la superficie del filtro de forma continua con ayuda de distribuidores con aspersores. El agua se filtra hacia abajo a través del lecho, en donde se recolecta y se descarga a través de un canal de vaciado. Una película biológica gelatinosa se forma en medio del filtro, absorbiéndose en ella los sólidos orgánicos finos suspendidos, coloidales y disueltos. Es esta película ocurre la oxidación

bioquímicamente de la materia orgánica, que llevan a cabo las bacterias aerobias. Eventualmente, la película se vuelve gruesa a causa de la materia orgánica acumulada. Los filtros percoladores constan de un lecho de piedra triturada, escoria, grava o material plástico cuyas partículas oscilan entre 10 y 100 mm de tamaño. Los filtros percoladores convencionales ligeramente cargados han demostrado ser muy efectivos en la nitrificación. (Crites & Tchobanoglous 2000).

Cuadro 9. Resumen del desempeño de filtros percoladores en el tratamiento de aguas residuales

Constituyente	Unidad	Concentración efluente	Reducción %
DBO	mg/L	<10	65-90
SST	mg/L	<10	95
Nitrógeno total	mg/L	<10	90
P total como P	mg/L	3.2	58

(Crites & Tchobanoglous 2000).

## P. Porcentaje de remoción

Es la eficiencia de remoción en tratamiento de aguas residuales. Se puede emplear para cualquier parámetro medido y se da por la ecuación:

$$\eta = \left( \frac{S_{afl} - S_{efl}}{S_{afl}} \right) \times 100$$

Donde:

$\eta$  = porcentaje de remoción

$S_{afl}$  = concentración del sustrato en afluente, mg/L

$S_{efl}$  = concentración del sustrato en efluente, mg/L

## Q. Normas y marcos legales

Para un desecho adecuado del agua residual de los complejos es necesario cumplir con el acuerdo gubernativo No. 236-2006. Con esto se puede mantener un equilibrio ecológico y puede existir un mejoramiento en el ambiente.

Figura 6. Artículo 28 Acuerdo Gubernativo 236-2006

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

(Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, C.A. 2006)

## R. Manuales

Según la Real Academia Española, manual es una herramienta administrativa que comprende los pasos o instrucciones más importantes para la realización de una tarea. Para asegurar un funcionamiento y un control adecuado en una planta de tratamiento de aguas residuales es necesario contar con un manual de operación y un manual de mantenimiento. En ellos se deben especificar condiciones de operación, pasos a seguir para el arranque de la planta, dosis de bacterias o enzimas

utilizadas y una guía del funcionamiento de la planta. Es necesario que el manual sea escrito en un lenguaje simple y que las instrucciones estén completamente claras para poder replicar el procedimiento. (Bonifaz et al. 2017).

## 1. Manual de operaciones

Se deben especificar condiciones de operación para el buen funcionamiento de la PTAR.

- Descripción de la planta
- Legislación
- Especificaciones de operación
  - Caudal
  - pH
  - Sólidos suspendidos
  - Oxígeno disuelto
  - Materia orgánica
  - Temperatura
  - Dosis de las enzimas
  - Tiempos de aplicación
- Funcionamiento de las partes de la planta
- Proceso de tratamiento
- Operaciones unitarias
- Manejo de efluentes

(Bonifaz et al. 2017).

## 2. Manual de mantenimiento

Se deben especificar los procesos de seguridad y mantenimiento de la PTAR.

- Personal requerido
- Plan de mantenimiento
- Arranque biológico
- Ajustes de arranque
- Seguridad industrial
  - Reglamento de seguridad
  - Riesgos potenciales

- Manejo de materiales
- Protección personal
- Herramientas
- Muestreos
- Mantenimiento de equipos auxiliares
  - Preventivo
  - Correctivo

(Bonifaz et al. 2017).

## Módulo 3:

### A. Tratamiento de aguas residuales

Las operaciones unitarias son conocidas como el método de tratamiento donde predominan las fuerzas físicas para tratar las aguas. Los procesos unitarios es un método donde se utilizan componentes biológicos o químicos para eliminar contaminantes del agua. Cuando se tratan las aguas se utilizan los dos para asegurarse que esta esté tratada de la manera correcta. Al combinarse estas dos, se pueden tener hasta siete fases, conocidas como: preliminar, primaria, primaria avanzada, secundaria, terciaria y cuaternaria. En la preliminar se eliminan sólidos de gran tamaño (madera, plásticos) y grasa que pueda contener el agua que cause problemas de mantenimiento o de operación a la hora de seguir tratándola. En el tratamiento primario se elimina físicamente una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica en el agua residual, por medio de una sedimentación. Mientras que en la primaria avanzada se terminan de eliminar los sólidos suspendidos y la materia orgánica, utilizando filtración o agregando químicos. El tratamiento secundario utiliza compuestos biológicos para eliminar la materia biodegradable orgánica, y en el tratamiento terciario se eliminan el fósforo y el nitrógeno.

En el tratamiento cuaternario se desinfecta el agua, para eliminar bacterias como el coliforme y el *E.coli*. Por último el avanzado, se utiliza para purificar el agua (Metcalf & Eddy, 2014).

Se deben tomar en cuenta otros factores a la hora de analizar un tratamiento de aguas residuales. Uno de estos factores es el envejecimiento de la infraestructura, análisis y control de proceso, rendimiento de la planta, desinfección del agua, cómo afecta el agua de lluvia en el tratamiento, el control del olor y el reequipamiento de la planta. La descripción de cada uno se puede ver en la tabla 1.1 (Metcalf & Eddy, 2014).

Cuadro 10. Características a tomar en cuenta a la hora de tener una planta de tratamiento de agua.

Característica	Descripción
Envejecimiento de la infraestructura	Se debe renovar la planta de aguas residuales conforme va deteriorándose la planta, esto se hace reparando o remplazando las piezas que hace falta.
Análisis y control de proceso	Constantemente se está investigando sobre nuevos métodos para el tratamiento de agua, por lo que el ingeniero debe entender el enfoque general y la metodología involucrada en el tratamiento, conducir pruebas en el laboratorio y pruebas piloto en planta. Una nueva tecnología que se está utilizando es la DFC, dinámica de fluidos computacional, está permite resolver ecuaciones fundamentales de dinámica de fluidos para mejorar y optimizar el rendimiento hidráulico.
Rendimiento y confiabilidad de la planta	Se deben tomar varios factores en cuenta a la hora de seleccionar y diseñar una planta de tratamiento. El más importante es ver a que parámetros de concentraciones se quiere llegar, con esto se puede ver el tipo de tratamiento. Se deben tomar en cuenta costos de mantenimiento y operación, como también manejo de energía. Si se manejan bien estos aspectos, se pueden reducir costos.
Desinfección de agua	Algunos cambios en regulación han afectado el diseño del sistema de desinfección, se busca utilizar otros métodos que no sea la cloración, como la radiación ultravioleta o el ozono. Tomando en cuenta que los últimos tienen un costo más elevado.
Reequipar y mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales	La mayoría de las primeras plantas de tratamiento ya tienen más de veinte años, llegando a su fin de vida útil, tienen que ser reemplazadas. Se debe tener en cuenta esto a la hora de construir la planta, para darle espacio de expansión si es necesario en el futuro.

(Metcalf & Eddy, 2014).

## B. Desinfección

Es un proceso en el cual se eliminan microorganismos patógenos, agentes infecciosos microscópicos capaces de provocar enfermedades a su huésped. En este proceso no se eliminan las esporas, las cuales ayudan a la reproducción del microorganismo. Uno de los objetivos principales de la desinfección del agua es evitar la dispersión de enfermedades por transmisión de ese medio. El cloro y los derivados de cloro, hipocloritos de calcio y de sodio, son los desinfectantes más utilizados. Entre otros métodos está: Ozonación y Radiación UV (Romero, 2009).

### 1. Teoría de la desinfección

En la desinfección química, se utiliza el concepto de CT que sirve para cuantificar la efectividad del desinfectante para inactivar los patógenos al nivel deseado.

$$\log \frac{N}{N_0} = -kCT$$

Donde:

$\log \frac{N}{N_0}$  = Logaritmo de reducción de microorganismos

CT = Producto de concentración residual de desinfectante y tiempo efectivo de contacto con el desinfectante.

K = Constante de reducción de los microorganismos

N= Concentración de los microorganismos después de la inactivación

$N_0$  = Concentración de los microorganismos después de la inactivación

(White, 2010)

Se utiliza la ley de Chick, para ver la tasa de mortalidad de los microorganismos, la cual nos dice que la rapidez con que disminuye la cantidad de microorganismos es proporcional al número que se tiene de los mismos. La ley de Chick es la siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = -KN$$

(2.1)

Donde:

N = número de organismos viables

t = tiempo de contacto

K = constante de velocidad de reacción para un desinfectante determinado

Integrando se obtiene,

$$N_t = N_0 * 10^{-kt}$$

(2.2)

Donde:

$N_t$  = número de organismos para el tiempo t

$N_0$  = número inicial de microorganismos

$K = 0.4343 K$

(Romero, 2009)

Herbert Watson también reportó una constante para la velocidad de inactivación con relación a la concentración.

$$K = k' C^n \tag{2.3}$$

Donde:

$K$  = constante de la velocidad de inactivación

$k'$  = constante de "die-off"

$C$  = concentración del desinfectante

$n$  = coeficiente de dilución

Al combinar las ecuaciones de Chick y Watson se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = k' C^n N_t \tag{2.4}$$

Integrando,

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -k' C^n t \quad (2.5)$$

Linealizando,

$$\ln C = -\frac{1}{n} \ln t + \frac{1}{n} \ln \left[ \frac{1}{k'} \left( -\ln \frac{N_t}{N_0} \right) \right] \quad (2.6)$$

## 2. Mecanismo de los desinfectantes

Existen 5 mecanismos que han sido propuestos para explicar la acción general de los desinfectantes (White, 2010).

### A. Daño a la pared celular

La penicilina, inhiben la síntesis de la pared celular. Esto resulta en la muerte celular.

### B. Alteración de la permeabilidad de la célula

Los detergentes destruyen la permeabilidad selectiva de la membrana y dejan escapar nutrientes vitales, como nitrógeno y fósforo.

### C. Alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma

El calor, la radiación, o agentes altamente ácidos pueden alterar la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor va a coagular en la proteína de la célula y los ácidos o las ases van a desnaturalizar la proteína, produciendo un efecto letal.

### D. Alteración del organismo ADN o ARN

La radiación UV forma los enlaces dobles en los microorganismos, y rompen algunas cadenas de ADN.

### E. Inhibición de la actividad enzimática

Agentes oxidantes, como el cloro, alteran el arreglo químico de las enzimas y eso provoca una inactivación de las mismas.

### 3. Métodos de desinfección de agua

Existen varios métodos para desinfectar el agua, entre ellos está: cloro, cloraminas, ozono y radiación ultravioleta. La efectividad de estos se pueden ver en el Cuadro 2, tomando en cuenta que es para comparación general, ya que la efectividad depende mayormente del tiempo de contacto, características del agua a tratar y la concentración del mismo (White, 2010).

### 4. Cloración

#### A. Características del cloro

Es el más conocido y utilizado para desinfectar por varias razones, una de ellas es que se encuentra en los tres estados de la materia: gas, líquido y sólido. En relación al costo, es relativamente bajo si se compara con otros métodos. Tiene una solubilidad de 7,000 mg/L, cuando se encuentra a 20°C y a presión atmosférica, lo que lo hace más fácil de aplicar. Cuenta con gran toxicidad para los microorganismos que causan las enfermedades hídricas, *E.Coli* y grupo coliformes (Romero, 2009).

Una de sus limitaciones se encuentra en que es altamente tóxico por lo que se debe tener un buen manejo al utilizarlo, con la seguridad necesaria. También forma clorofenoles con los fenoles y forman olores fuertes (Romero, 2009).

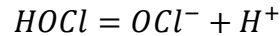
En el tratamiento de aguas, el cloro se utiliza como gas, el cual se forma a través de la vaporización de cloro líquido que se encuentra almacenado bajo presión en cilindros. El hipoclorito de sodio se utiliza en estado líquido y en estado sólido se utiliza el hipoclorito de calcio o el hipoclorito de alto grado, HTH.

La reacción del cloro tanto gaseoso como líquido con el agua es la siguiente:



(2.7)

Para tener una hidrólisis, formación de ácido y base, completa el pH debe ser mayor a tres y las concentraciones de cloro menores a 1,000 mg/L. En esta reacción se forman el ácido hipocloroso, HOCL, el cual se ioniza para formar ion hipoclorito.



(2.8)

(Romero, 2009)

La separación del ácido depende del pH. Cuando este se encuentra bajo no se da la disociación del ácido hipocloroso, cuando es igual a 7.7 se obtiene ion hipoclorito en igual proporción que el ácido hipocloroso y al tener un pH mayor a 9 o igual la mayoría de producción es de  $OCl^-$ . En la desinfección se desea tener más concentración de ácido hipocloroso, ya que este tiene más propiedades desinfectantes que el ion hipoclorito. El HOCL es de 80 a 100 veces más efectivo que el ión, por lo que se trabaja con pH ácidos (Romero, 2009).

Cuando el cloro se combina con diferentes compuestos para formar un producto se conocen como cloraminas, esto es el cloro combinado disponible. Si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reacciona con dicho compuesto para formar monoclaramina, dicloramina y tricloramina. Con un pH 4.5 a 8.5 se forman mono y dicloraminas, cuando este es mayor a 8.5 se tiene solamente monoclaraminas, a 4.5 únicamente dicloraminas y menor a este se producen tricloraminas. Las cloraminas no funcionan bien como desinfectantes, por lo que si se quiere tener una desinfección efectiva la concentración de residuales de cloro combinado deber ser veinticinco veces mayor a la de residuales libres. El Cuadro 2 muestra la efectividad de cada uno de los residuales, combinados y libres (Romero, 2009).

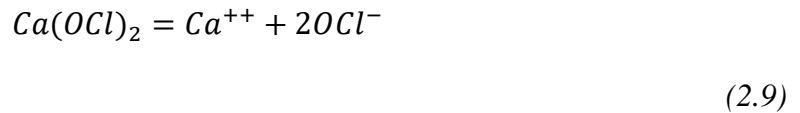
Cuadro 11. Efectividad para producir la mortalidad deseada

Residual	Efectividad relativa
Ácido hipocloroso	1
Ion hipoclorito	1/100
Tricloramina	Mayor a 1/80
Dicloramina	1/80
Monocloramina	1/150

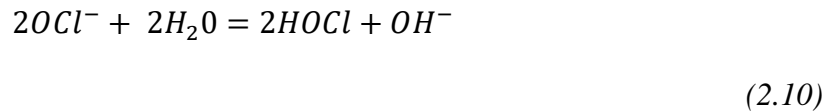
(Romero, 2009)

### C. Hipoclorito de calcio

La disociación del hipoclorito de calcio o hipoclorito de alto grado, se da de la siguiente manera,



y,



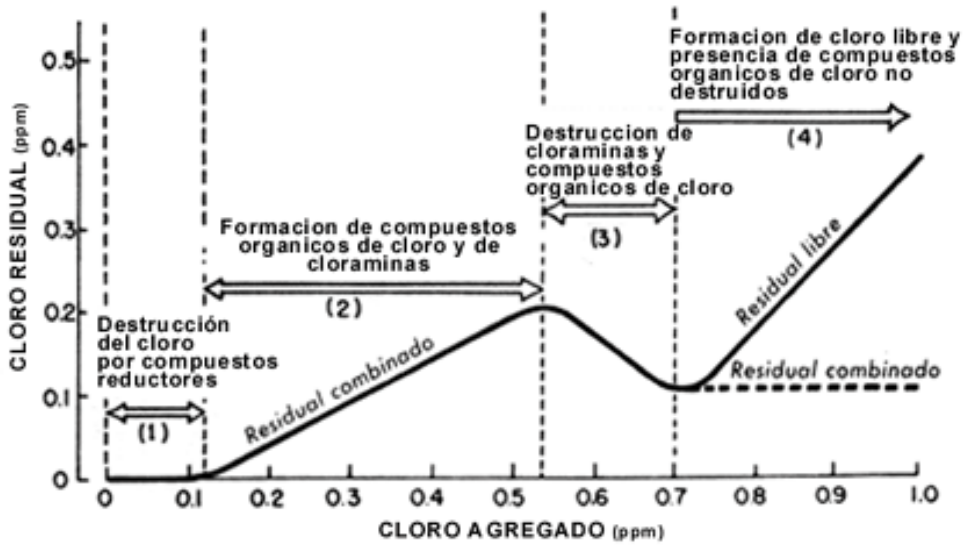
(Romero, 2009)

Este contiene un 70-74% de cloro, es altamente soluble en agua y se muestra como tabletas o granular en empaques de 16 a 45 kg.

#### Punto de ruptura de la cloración

La Figura 1, nos muestra cuando el cloro, ya sea en forma de gas o de hipoclorito, es agregado en agua. Entre el punto 1 a 2, el agua reacciona con compuestos reductores en el agua, como sulfuro de hidrógeno. En el punto 2 a 3, el cloro reacciona con amoníaco, encontrado naturalmente en agua. Acá se forma el cloro residual, llamado cloraminas. En el punto 3 a 4, el cloro va a descomponer las cloraminas, disminuyendo el residual del cloro. El punto 4, es el punto de ruptura, donde la demanda de cloro ya se satisfacía, el cloro ya reaccionó con todos los agentes reductores, como el amoníaco en el agua.

Figura 7. Punto de ruptura en la cloración



(Robles, 2010)

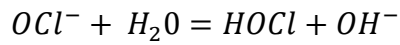
#### D. Hipoclorito de sodio

La disociación del hipoclorito de sodio se da de la siguiente manera,



(2.11)

y,



(2.12)

(Romero, 2009)

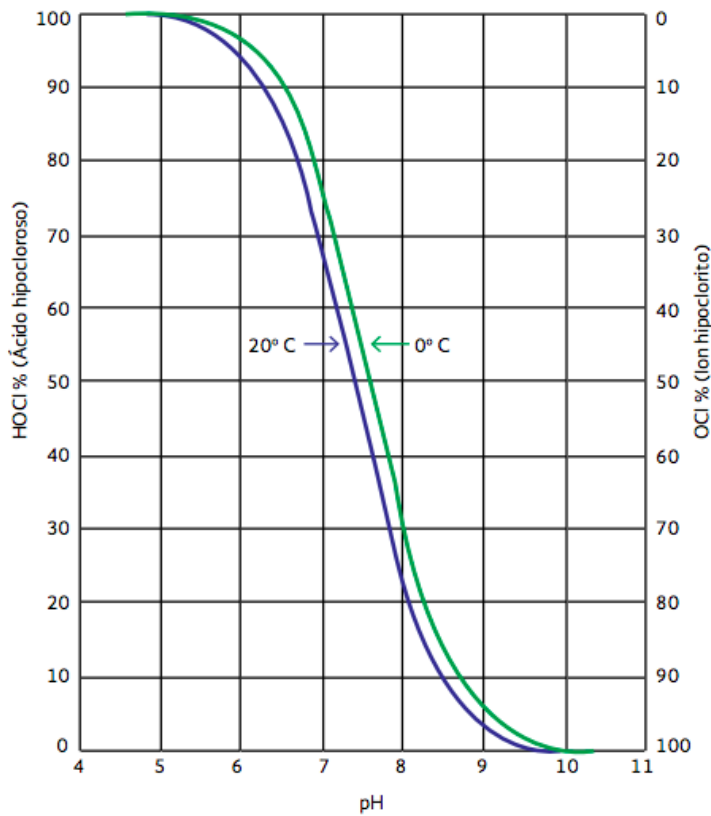
El hipoclorito de sodio se encuentra de forma líquida y contiene de 12-15% v/v de cloro. Este puede hacerse in situ por medio de electrólisis de la sal, llegando a concentraciones máximas de 0.5-10% v/v. Las soluciones que se generan con hipoclorito de sodio son inestables, por lo que tienden a degenerarse más rápido que el  $Ca(OCl)_2$ . En el Cuadro 4 se puede observar la vida media del  $NaOCl$  conforme va aumentando su concentración.

Cuadro 12. Estabilidad de soluciones de hipoclorito de sodio, a 25 °C.

Cloro g/L	Vida media (Días)
30	1700
60	700
90	250
120	180
150	100
180	60

(Romero, 2009)

Figura 8. Distribución del ácido hipocloroso y del hipoclorito en agua a diferente pH



(Comisión Nacional del Agua, 2016)

## Parámetros de la cloración

Es necesario saber la cantidad que se debe utilizar de desinfectante para cierto volumen de agua, el Cuadro 4 nos indica las concentraciones mínimas recomendadas de cloro libre y combinado para diferentes pH. Esta tabla se extrajo de una investigación realizada por el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos en 1940. El cloro libre es la combinación de ácido hipocloroso e ion hipoclorito, los cuales se forman cuando el cloro reacciona con el agua. Cuando el cloro comienza a reaccionar con los contaminantes en el agua, como nitrógeno y amoníaco, se convierte en cloro combinado. Se busca siempre que los niveles de cloro libre sean más altos que los niveles de cloro combinado. Esto es porque el ácido hipocloroso como el ion hipoclorito son agentes oxidantes, y los productos que forma el amoniaco al reaccionar con el cloro, tienen poco efecto desinfectante.

(Romero, 2009).

Cuadro 13. Residuales de cloro necesarios conforme a su pH.

<b>pH</b>	<b>Concentración mínima requerida de residual de cloro libre con tiempo de contacto mayor de diez minutos (mg/L)</b>	<b>Concentración mínima requerida de residual de cloro combinado con tiempo de contacto mayor de una hora (mg/L)</b>
<b>6</b>	0.2	1.0
<b>7</b>	0.2	1.5
<b>8</b>	0.4	1.8
<b>9</b>	0.8	1.8
<b>10</b>	0.8	N/A

(Romero, 2009)

En las condiciones que se debe encontrar el sistema para una efectiva desinfección son las siguientes: Turbiedad de agua menor a uno, pH cercano a 7.5 si se tienen aguas con amoniaco y menor a 7.5 si son libres de este, agitación constante para que todas las moléculas de cloro estén en contacto con las del agua, y residual de cloro libre de 0.5-1.0 mg/L (Romero, 2009).

## E. Dióxido de cloro

El dióxido de cloro se encuentra como gas amarillo-rojizo, es un oxidante fuerte y tiene aproximadamente 26.5% v/v de cloro. Es producido *in situ* clorando el clorito de sodio, en una proporción de un mol de cloro por dos moles de clorito. Una de las ventajas contra el cloro, es que no reacciona con el amoníaco y no es influenciado por el pH. Este ataca a los patógenos sobre la materia orgánica, tiene mayor capacidad para difundirse en sólidos suspendidos, genera menos subproductos tóxicos que el cloro y el poder oxidante es 2.63 veces el del cloro. Entre sus desventajas está que los subproductos que genera, el ion clorito y el ion clorato, son inorgánicos. Se genera en el sitio previo a su uso ya que este es un reactivo con poca estabilidad. El precio del dióxido de cloro es elevado y tiene una explosividad alta (Romero, 2009).

## F. Ozono

El ozono es un gas azul, tóxico e inestable, con olor fuerte y es un potente germicida utilizado para tratamiento de aguas. Es producido cuando el oxígeno o aire seco pasa por una descarga eléctrica de 5,000 a 20,000 V y 50 a 500 Hz. Al ser sometido a un pulso de alta energía el doble enlace del oxígeno molecular se reompe en oxígeno atómico y estos se recombinan para formar la molécula de ozono. Una de las ventajas de este desinfectante, es que elimina casi por completo el olor, color y sabor de las aguas. A diferencia del cloro su efectividad no está relacionada con el pH y los compuestos de amoníaco. Entre sus limitaciones está que es poco soluble en agua por lo que esté no deja residuales, también que se debe crear *in situ* por medio de generadores de ozono de alto consumo eléctrico, esto crea (Agua, 2016), el ARN y ADN la absorbe, dificultando su duplicación.

## G. Luz UV

La luz UV destruye los microorganismos al penetrar en las células y ser absorbido por el ácido nucleico, esto provoca una reordenación en la información genética e impide la reproducción celular (Romero, 2009). Las lámparas de mercurio a presión baja se utilizan para desinfectar aguas industriales en plantas farmacéuticas, de alimentos y bebidas.






Uno de sus beneficios es que no produce grandes cantidades de subproductos, pero su uso se ve limitado ya que el agua absorbe la radiación por lo que el caudal debe presentarse en películas delgadas, el agua no debe estar con altas turbideces (Romero, 2009).

Aunque tiempos de contacto son más cortos que el cloro, reduciendo el tamaño de los tanques de tratamiento, las lámparas deben recibir un mantenimiento constante para evitar ensuciamiento sobre su superficie, disminuyendo la radiación absorbida por los microorganismos, y su vida útil es de 8,000 horas, aproximadamente (Comisión Nacional del Agua, 2016).

### 1. Comparación entre los desinfectantes

En el Cuadro 14, se muestran el diamante de materiales peligrosos para cada uno de los desinfectantes comúnmente utilizados. Estos son establecidos por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association).

Cuadro 14. Toxicidades para los diferentes desinfectantes.

Desinfectante	Diamante NFPA 704	Desinfectante	Diamante NFPA 704
Cloro gas		Dióxido de cloro	
Hipoclorito de sodio		Ozono	
Hipoclorito de calcio			

(National Fire Protection Association, 2017)

Figura 9. Significado de los número del diamante de materiales peligrosos.



Cuadro 15. Efectividad de los diferentes desinfectantes para los distintos patógenos.

Desinfectante	<i>E.Coli</i>	Giardia	Cryptosporidium	Virus
Cloro	Muy efectivo	Moderadamente efectivo	No efectivo	Muy efectivo
Ozono	Muy efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo
Cloraminas	Muy efectivo	Moderadamente efectivo	No efectivo	Moderadamente efectivo
Dióxido de cloro	Muy efectivo	Moderadamente efectivo	Moderadamente efectivo	Muy efectivo
Radiación ultravioleta	Muy efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo	Moderadamente efectivo

(White, 2010)

Cuadro 16. Propiedades de los productos

Desinfectante	Costo inicial	Residual	Almacenaje	Seguridad
Hipoclorito de sodio	Bajo	Alto	Evitar temperaturas altas	Oxidante
Hipoclorito de calcio	Bajo	Alto	Evitar temperaturas altas	Corrosivo. Inflamación posible al contacto con materiales ácidos. Poca estabilidad.
Dióxido de cloro	Alto	Alto	Preparación <i>in situ</i>	
Ozono	Alto	Muy bajo	Preparación <i>in situ</i>	Produce subproductos cancerígenos, como los aldehídos. Tiene poca estabilidad
Radiación ultravioleta	Alto	No tiene	NA	No existen

(White, 2010)

Cuadro 17. Rango de precios del desinfectante

Desinfectante	Costo inicial (\$)
Hipoclorito de sodio	500-700
Hipoclorito de calcio	500-700
Dióxido de cloro	4,000-8,000
Ozono	6,000-10,000
Radiación ultravioleta	6,000-10,000

Cotización hecha con la empresa *Prominent*.

## 2. Análisis microbiológico

### a. Grupo Coliforme

El tracto intestinal de los humanos contiene este tipo de grupo, diariamente cada persona descarga de 100 a 400 billones de coliforme al día. Cuando el agua contiene este tipo de bacteria se puede decir que está contaminada con organismos productores de enfermedades (Metcalf & Eddy, 2014).

En este grupo se encuentran: bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas en un rango de 35°C -37°C. Entre las bacterias Gram-negativas están: *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Escherichia Coli*, etc. El grupo gram negativo se refiere a un proceso de tinción para diferenciar a los grupos de organismos (Romero, 2009).

Existen diferentes métodos para determinar el número de organismos coliforme, entre ellos está: la técnica de múltiples tubos, el ensayo de presencia y ausencia y la prueba MMO-MUG o Colilert (Romero, 2009).

La *Escherichia Coli* es una bacteria que se encuentra en la flora intestinal de las personas, se encuentra en el grupo Gram-negativo, facultativa anaerobia y su tamaño se encuentra entre 0.5-2 µm. Se pueden encontrar seis grupos diferentes de la *Escherichia Coli* enteropatógenas, de los cuales solo cuatro son los más importantes a la hora de analizar la contaminación del agua. Estos cuatro grupos son: E. Coli enteropatógena, E. Coli enterotoxigámica, E. Coli enteroinvasiva y E. Coli enterohemorrágica (Romero, 2009).

### 3. Tipo de análisis de coliforme

#### a. Número más probable (MPN)

Es el número más probable de organismos de coliformes en una muestra de agua. En este método para detectar la presencia de organismos coliformes, se examinan diferentes concentraciones como muestras. Teóricamente las variaciones en la distribución de organismos coliformes sigue una curva de probabilidad, donde el número más probable (NMP) se puede determinar con la ecuación (X)

$$y = \frac{(1 - e^{N_1x})^P (e^{N_1x})^q (1 - e^{-N_2x})^r (e^{N_2x})^s (1 - e^{N_3x})^t (e^{N_3x})^u}{a} \quad (3.1)$$

Donde:

$N_1, N_2, N_3$  = Cantidades de muestra examinadas, en mililitros

$P, r, t$  = Números de tubos con resultado positivo en cada serie

$q, s, u$  = Número de tubos con resultado negativo en cada serie

$x$  = Concentración de coliformes por mililitro

$y$  = Probabilidad de ocurrencia de un resultado particular

$e$  = Base de los logaritmos neperianos, 2,718

$a$  = Constante para condiciones determinadas, la cual puede omitirse en el cálculo de X

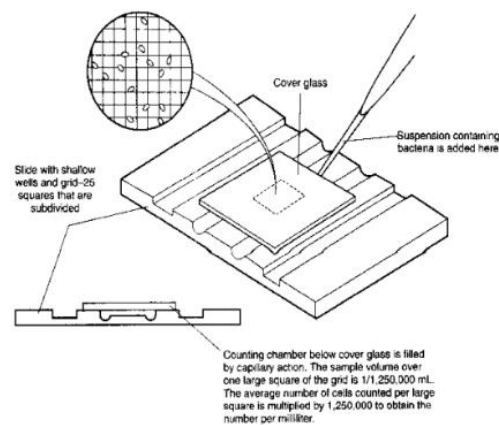
(Romero, 2009)

#### b. Técnica de filtro de membrana

El ensayo utiliza un medio M-Endo lactosado para que se desarrollen colonias rosadas con brillo verde metálico en 18-24 horas a 35°C. Lo ideal es que el volumen que se utilice produzca 20-80 colonias y un máximo de 200. Cuando se analizan aguas consumo se deben utilizar 100 mL. En esta técnica se obtienen una recuperación más alta de coliformes, y se tarda un máximo de 24 horas. Este método se utiliza sobre todo para análisis de agua salina, y se recomienda que no se utilice con aguas turbias o aguas con altas concentraciones de bacterias no coliformes (Romero, 2009).

### c. Conteo directo

Se utiliza una cámara de conteo Petroff Hauser, como se observa en la imagen 3.1. Cada cuadro indica un volumen específico. El conteo es total, células muertas y vivas, si se desea ver cuál es cada una es posible utilizar naranja de acridina. Otra manera para obtener un conteo directo es con una partícula electrónica de conteo, la muestra pasa por un orificio donde se le va disminuyendo la conductividad eléctrica. La cantidad y el número al cual es reducido de corriente es proporcional al número de bacterias. El limitante de este método es que no se puede diferenciar entre bacteria y partículas inertes, por lo que las dos son contadas como partículas. También puede suceder un atasco en el orificio (Metcalf & Eddy, 2014).



(Metcalf & Eddy, 2014)

## 4. Preparación de diluciones

Para hacer las diluciones de agua residual se puede utilizar agua peptonada o cualquier otra solución estéril; Agua destilada o solución salina al 0.9% (Sanitaria, 2016).

Para preparar diluciones decimales, se debe transferir 1 mL de la suspensión inicial a 9 mL de la solución estéril evitando el contacto entre la punta de la pipeta y el diluyente. Mezcle cuidadosamente usando un vórtice durante 5-10 segundos. Esto va a constituir una dilución de  $10^{-2}$  (Sanitaria, 2016).

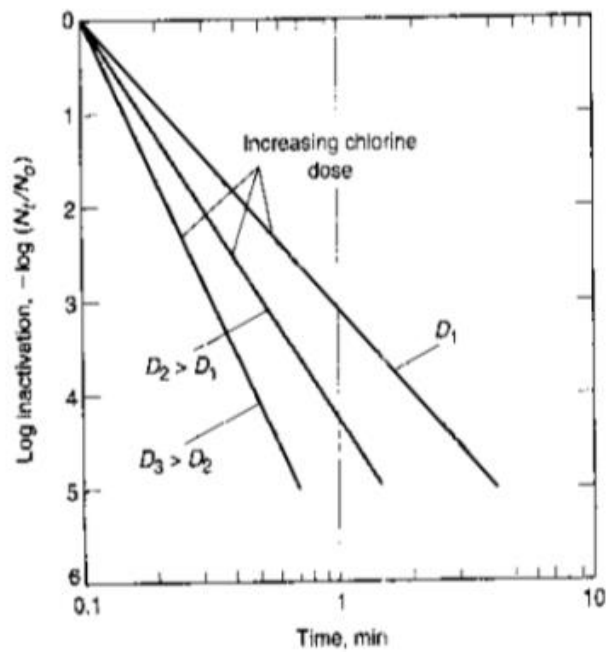
Partiendo de la solución de  $10^{-2}$ , si se agrega 1 mL de dicha solución y 9 mL de la solución estéril se tiene una dilución de  $10^{-3}$ . Usando una punta de pipeta nueva para cada dilución, repita este procedimiento para producir más diluciones decimales (Sanitaria, 2016).

## 5. Parámetros de diseño para un sistema de desinfección por cloración

### a. Tiempo de contacto

Es una de las variables más importantes en el proceso de desinfección. Como se puede observar en la Figura 10, Mientras más tiempo pasa, la concentración de los coliformes va disminuyendo. La concentración también depende de la concentración del desinfectante, que estaremos hablando más adelante.

Figura 10. Efecto del tiempo y la temperatura en la concentración de coliformes en aguas.



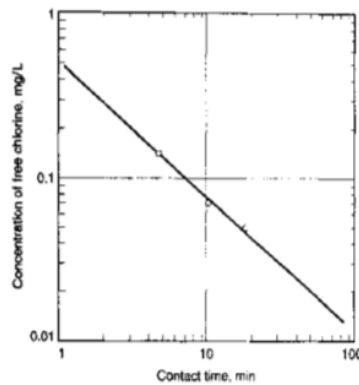
(Metcalf & Eddy, 2014)

Cuadro 18. Tiempo requerido para cada logaritmo de reducción de concentración, utilizando cloro como desinfectante.

<b>-ln (Nf/No)</b>					
<b>Cl, g/L</b>	<b>Tiempo de contacto (min)</b>				
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<b>0.05</b>	0.030	0.198	0.462	1.561	5.809
<b>0.07</b>	0.073	0.511	1.273	5.298	-
<b>0.14</b>	0.4	2.207	4.962	-	-

(Metcalf & Eddy, 2014)

Figura 11. Concentración vs tiempo del Cuadro 18.



(Metcalf & Eddy, 2014)

Con la Figura 11, se determina las constantes de la ecuación linealizada de Chick y Watson (ecuación 2.6).

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -10.48C^{1.20}t$$

(4.1)

Cuadro 19. Gravedad específica y concentración de cloro libre disponible para las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio.

% Comercial	Gravedad específica	Cloro libre disponible (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Cloro libre disponible (% m/m)	NaOCl (% m/m)
0.8	1.010	8	0.80	0.84
2.0	1.034	20	1.93	2.03
4.0	1.062	40	3.77	3.95
6.0	1.089	60	5.51	5.78
8.0	1.116	80	7.17	7.53
10.0	1.142	100	8.76	9.20
12.0	1.168	120	10.27	10.79
12.5	1.175	125	10.64	11.17
15.0	1.206	150	12.44	13.06

(White, 2010)

b. Temperatura

Agentes como el calor y la luz se utilizaban como desinfectantes de aguas residuales. El efecto de la temperatura puede ser representado como una forma de la relación de Van't Hoff-Arehenius. Al aumentar la temperatura, se incrementa la velocidad de desinfección y muerte de los microorganismos. La siguiente ecuación nos da una relación de temperatura y del tiempo (Metcalf & Eddy, 2014).

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \quad (4.2)$$

Donde:

$t_1, t_2$  = Tiempos de contacto

$T_1, T_2$  = Temperatura a la cual se está dando la desinfección

E = Energía de activación, J/mol o Cal/mol

R = constante de gas J/mol\*K o Cal/mole\*K

Cuadro 20. Valores típicos para la energía de activación para diferentes compuestos de cloro.

Compuesto	pH	E, Cal/mol	E, J/mol
Cloro acuoso	7.0	8,200	34,340
	8.5	6,400	26,800
	9.8	12,000	50,250
	10.7	15,000	62,810
Cloraminas	7.0	12,000	50,250
	8.5	14,000	58,630
	9.5	20,000	83,750

(Metcalf & Eddy, 2014)

c. Tasa de consante decreciente

Supervivencia de coliformes en un reactor, como una función de cloro residual y el tiempo de contacto.

$$\frac{N}{N_0} = \left( \frac{C_r * t}{b} \right)^{-n} \quad \text{para } C_r t > b$$

(4.3)

Donde:

$C_r$  = cloro residual restante al final del tiempo t

t = tiempo de contacto

n = pendiente de la curva de inactivación

b = valor del intercepto x cuando  $N/N_0 = 1$

(Metcalf & Eddy, 2014)

Los valores típicos para los coeficiente  $n$  y  $b$  para efluentes secundarios para coliformes y coliformes fecales son 2.8 y 4 y 2.8 y 3.0, respectivamente.

Actualmente se utiliza este término más,  $C_r t$ , en el ámbito de tratamiento de aguas, por regulaciones que existen en ciertos países, de su valor. Pero no es muy aplicable ya que se obtiene experimentalmente, con variables como temperatura, pH y crecimiento de microorganismos, muy controladas. Este control es muy difícil que se de en grandes pozos de desinfección, por lo que el valor que se obtenga en el laboratorio, puede no ser el mismo que en la planta de desinfección (Metcalf & Eddy, 2014).

Cuadro 21. Niveles máximos de desinfectante residual (MRDL)

<b>Residual de cloro</b>	<b>MRDL, mg/L</b>
<b>Cloro</b>	4.0
<b>Cloraminas</b>	4.0
<b>Dióxido de cloro</b>	0.8

(Davis, 2010)

## d. Dosis de cloro

La dosis requerida de cloro para la desinfección puede ser estimada considerando: La demanda inicial de cloro para las aguas residuales, el tiempo de contacto y el cloro residual requerido. La dosis de cloro inicial para poder suplir la demanda va a depender de los constituyentes de la misma. Esta dosis de cloro va a ser reducida a ion de cloro y no va a estar incluida en el cloro residual, el cloro que se combine con componentes orgánicos y amoniacos, si se mide como cloro residual (Metcalf & Eddy, 2014).

Cuadro 22. Dosis típica de cloro para los diferentes tipos de agua, con un tiempo de contacto de 30 minutos.

<b>Tipo de agua</b>	<b>Dosis de cloro, mg/L</b>				
	<b>Efluente, MPN/100 mL</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>23</b>	<b>&lt;2.2</b>
<b>Aguas residuales crudas</b>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	15-40			
<b>Efluente primario</b>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10-30	20-40		
<b>Filtro de goteo efluente</b>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	3-10	5-20	10-40	
<b>Efluente de lodos activado</b>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	2-10	5-15	10-30	
<b>Efluente filtrado de lodos activados</b>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	4-8	5-15	6-20	3-30
<b>Efluente nitrificado</b>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	4-12	6-16	8-18	3-20
<b>Efluente filtrado nitrificado</b>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	4-10	6-12	8-14	8-16
<b>Efluente de microfiltración</b>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>	1-3	2-4	2-6	4-10
<b>Ósmosis inversa</b>	~0	0	0	0	0-2
<b>Fosa séptica efluente</b>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	20-40	40-60	8-18	
<b>Filtro de arena intermitente efluente</b>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	1-5	2-8	5-10	

(Metcalf &amp; Eddy, 2014)

Esta es una estimación de la dosis de cloro que se le debe poner al agua residual, pero siempre se debe hacer experimentación para verificar cual es la dosis exacta para disminuir hasta un punto deseado los NMP de coliformes (Metcalf & Eddy, 2014).

## 6. Almacenamiento del hipoclorito de sodio

Después de 90 días, existe una pérdida significativa de cloro libre, por lo que se debe procurar no tener grandes tanques de hipoclorito de sodio, si no se va a usar antes de los 90 días. Esta deterioración se incrementa, conforme va aumentando la temperatura y la concentración de la solución de hipoclorito. Por lo que los tanques donde se está almacenando el NaOCl deben estar en un lugar fresco (White, 2010).

Los materiales utilizados para el tanque de almacenamiento son dos, polietileno y el plástico reforzado con fibra de vidrio. El primero, es una resina resistente a una gran variedad de químicos, esto se debe a que está reforzado estructuralmente con fibra de vidrio. La vida útil de un tanque construido con este tipo de material es aproximadamente entre 10 a 20 años. El de polietileno es un material con mayor facilidad de conseguir, por lo que se utiliza comúnmente para el almacenamiento del NaOCl. Este tanque debe estar pintado con un color que refleje la luz de los rayos UV, evitando así absorber calor y deteriorándose el NaOCl por la temperatura, como fue explicado con anterioridad. Su tiempo de vida está entre los 5 a 7 años (White, 2010).

## 7. Bomba dosificadora

En el sistema cuaternario se debe inyectar el desinfectante utilizado, ya sea en el tanque de contacto o en la tubería previo a llegar al tanque. Las bombas pueden bombear un flujo preciso de una sustancia o químico ya sea que esté en estado, líquido vapor o gas. Existen varios métodos para medir la cantidad precisa e inyectarla en el lugar donde se requiere, pero el general consiste en extraer una cantidad medida en una cámara y luego inyectar ese volumen de producto químico en la tubería o tanque que se esté dosificando. Generalmente son pequeñas y funcionan como un motor eléctrico. Están controlados por un sistema de control externo, o por un controlador de bomba interno que puede alterar el caudal (White, 2010).

En el inyector, el punto donde es inyectado a la línea de agua residual, existe una válvula unidireccional, de cheque, para que cuando se dosifique el producto en la línea, este pueda superar la presión en la tubería de suministro y permitir que el producto salga al flujo. Una vez se libera una inyección de producto, la válvula evita que el líquido en la línea de suministro suba por la línea de dosificación y dañe la bomba. La liberación del producto en el medio de la corriente, produce un vórtice que permite que el producto se mezcle correctamente y garantizar una reacción adecuada (White, 2010).

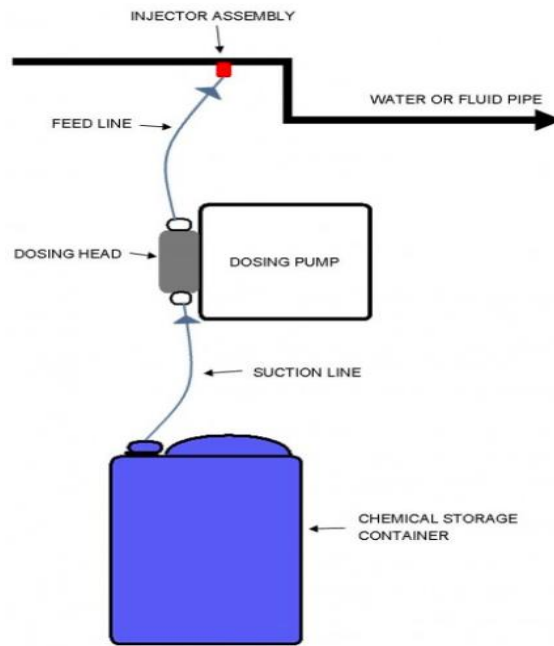
Existen tres tipos de bombas dosificadoras utilizadas comúnmente: Diafragma tipo inyección constante, bombas tipo lóbulo y bombas peristálticas.

Diafragma tipo inyección constante: en este sistema existe una cámara de bomba que se llena y se vacía por medio de un pistón y un diafragma, donde hay válvulas de entrada y de salida. El aumento de presión se realiza del diafragma, donde se va variando el volumen en la cámara. Son utilizadas comúnmente en petróleo, vidrio y fibra de vidrio, pintura y sustancias en Gel (GmbH, 2016).

Bombas tipo lóbulo: este sistema permite que cierto volumen pase a través de un conjunto de impulsores de engranajes. El volumen entre estos impulsores posiblemente no sea tan preciso como las bombas de diafragma y tienen una superficie de desgaste, por lo que solo son realmente adecuados cuando el producto es de alta viscosidad y auto lubricante (GmbH, 2016).

Bombas peristálticas: Es un método de dosificación especializado y muy preciso. El sistema funciona, ya que se cuenta con un tubo flexible por el cual debe pasar el producto. Este tubo se dobla en un semicírculo y un pequeño rodillo sobre un brazo mecánico que se mueva sobre el exterior del tubo, esto hace que en el tubo se capture parte del líquido y luego lo empuja hacia el tubo de dosificación y la corriente principal. Una de las limitaciones de esta bomba es que no pueden manejar el bombeo a una corriente de alta presión (GmbH, 2016).

Figura 12. Bomba dosificadora



(GmbH, 2016)

## Módulo 4:

### A. Tratamiento y disposición

#### 1. Gestión de lodos

Los lodos generados en el proceso se clasifican como lodos primarios y secundarios. Los primarios son resultantes de los procesos de separación sólido-líquido, como en el proceso de sedimentación primaria. Estos lodos contienen partículas sólidas básicamente de naturaleza orgánica. Los lodos primarios usualmente son de un color grisáceo y producen malos olores. Los lodos secundarios son fundamentalmente biomasa en exceso producida en procesos biológicos y se producen en el tratamiento secundario. Estos contienen una gran cantidad de materia orgánica fermentable y microorganismos patógenos (Rmalho 1990).

Una pequeña cantidad de los lodos que se producen en el tratamiento secundario, debe de ser recirculada. A estos lodos se les da el nombre de lodos activados. Esto se realiza con el fin de mantener constante la cantidad de microorganismos en el tanque. La cantidad se mide en % de los lodos producidos, esta, según Ronzano 1995, oscila entre el 10-30%.

Los nutrientes, patógenos, metales y compuestos orgánicos tóxicos son características de los sólidos que afectan su aplicación a los suelos o sus reusos beneficiosos. La habilidad de la materia para ser utilizada como fertilizante depende del contenido de nitrógeno, potasio y fósforo.

Se pueden gestionar con:

- Estabilización: Eliminan malos olores, contaminantes y compuestos que pueden ser riesgosos para la salud, disminuyendo la concentración de materia orgánica por medio de reacciones de degradación.
- Acondicionado: Deshidratación del fango. Puede ser:
  1. Químico: Se adicionan floculantes para eliminar los sólidos del fango y liberar el agua retenida.
  2. Térmico: Temperaturas de 150-200 °C.
- Concentración: Espesamiento del lodo y eliminación de sobrenadante.
- Deshidratación: Eliminación del agua mediante prensado para reducir el volumen del fango.
- Secado: Se emplean los siguientes métodos: Tratamiento térmico, incineración, pirólisis y combustión.

(Lex Nova 2008)

## 2. Espesamiento de sólidos

Este método se utiliza para incrementar el contenido de sólidos de los lodos, removiendo una fracción de líquido. Da como resultado un lodo de menor volumen el cual es beneficioso para los procesos de digestión, deshidratación, secado y combustión.

**Gravedad:** Es el método más común para lograr la sedimentación. Generalmente se utiliza un tanque circular. El lodo diluido se alimenta y se permite que este se sedimente y compacte. El lodo espesado es retirado del fondo del tanque cónico.

**Flotación:** En la flotación de aire disuelto, se introduce aire en una solución que se encuentra a presión elevada. Cuando la solución se despresuriza, el aire disuelto se libera en forma de burbujas finamente divididas que llevan el lodo a la parte superior. Para que se produzca la flotación es necesario que los lodos tengan una densidad menor a la del líquido.

Centrifugación: Se utilizan para espesar y deshidratar el lodo. Se da la sedimentación por medio de fuerzas centrifugas

### 3. Estabilización

Se utiliza para: Reducir patógenos y eliminar malos olores. Para eliminar estas características es necesaria la reducción biológica del contenido volátil y la adición de químicos para lograr un ambiente inadecuado para que los microorganismos sobrevivan. Incluye estabilización alcalina, digestión aerobia y anaerobia, compostaje.

Estabilización alcalina: Se basa en proveer un ambiente en el que no puedan sobrevivir los microorganismos. Se agrega una cantidad de cal suficiente para mantener el pH en 12, o mayor. Este alto pH evita la producción de olores, virus inactivos, bacterias y otros microorganismos. Una desventaja de este tratamiento es el incremento de masa debido a la adición del material alcalino.

(Metcalf & Eddy 2003)

Cuadro 23. Dosis de cal típicas para mantener un pH de 12 por 2 horas y lograr la estabilización

Tipo de lodo	Concentración de sólidos		Lb Ca(OH) <sub>2</sub> / ton sólido seco		g Ca(OH) <sub>2</sub> / kg sólido seco	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Primario	3 - 6	4.3	120 – 340	240	60 – 170	120
Lodos activados	1 - 1.5	1.3	420 – 860	600	210 – 430	300
Mezcla digerida de manera anaerobia	6 - 7	5.5	280 – 500	380	140 – 250	190
Séptico	1 – 4.5	2.7	180 - 1020	400	90 – 510	200

(Metcalf & Eddy 2003)

#### 4. Digestión anaeróbica

Es un proceso utilizado para la estabilización de sólidos y biosólidos. Se basa en la descomposición de la materia en ausencia de oxígeno. En este proceso no se reducen significativamente los patógenos, por lo que se esto se debe realizar en un proceso posterior.

Se llevan a cabo tres reacciones químicas y bioquímicas:

- Hidrólisis: Los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas.
- Fermentación también llamada acidogénesis. En esta se forman compuestos orgánicos solubles y ácidos orgánicos de cadenas cortas. Es la etapa en la que se da una conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa de la digestión en compuestos intermedios de menor peso molecular.
- Metanogénesis: Conversión bacteriana de ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono.

(Metcalf & Eddy 2003)

Factores a tomar en cuenta en el diseño de un digester anaerobio:

1. Sólidos y tiempos de retención hidráulica: El dimensionamiento se debe basar en proveer el tiempo de residencia suficiente para permitir la destrucción significativa de sólidos suspendidos volátiles. Se debe de tomar en cuenta:

- Tiempo de retención de los sólidos: el Tiempo promedio que los sólidos se mantienen en el proceso de digestión.
- Tiempo hidráulico de retención: Tiempo promedio en que el líquido se mantiene en el proceso.

El tiempo de retención en el digester es importante ya que este es directamente proporcional a la recuperación del biogás. Para un tiempo de retención de 15-25 días se obtiene 75-80% de recuperación, mientras que de 30-60 días se logra un 95-100%. El tiempo óptimo para lograr una producción de biogás constante es entre 12-32 días con un rango de temperatura entre 22°C – 42°C (Deublein, 2011).

2. Temperatura: Tiene un efecto directo en las actividades metabólicas de la población microbiana, las tasas de transferencia de gases y las características de sedimentación de sólidos biológicos.

En la digestión es determinante en las reacciones de hidrólisis y formación de metano.

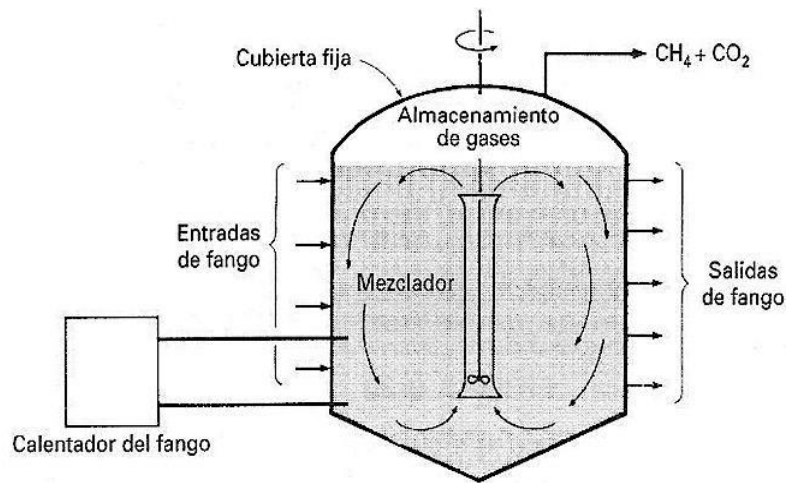
Es importante mantener una temperatura de operación estable ya que las bacterias, especialmente las que forman metano; son sensibles a cambios de temperatura mayores a 1°C. La mayoría de los reactores se diseñan para trabajar a una temperatura mesofílica en un rango entre 30-38°C.

- Alcalinidad: En el lodo de alimentación se encuentran compuestos como calcio y magnesio. Durante la digestión se produce bicarbonato de amonio. Por lo que la alcalinidad de la alimentación es proporcional a los sólidos de la misma. Este parámetro se debe de mantener en 2000 a 5000 mg/L.

La alcalinidad disminuye debido a que el dióxido de carbono producido en la fermentación y metanogénesis, se solubiliza debido a la presión parcial del gas y forma ácido carbónico

(Metcalf & Eddy 2003)

Figura 13. Reactor anaerobio de 1 etapa.



(Metcalf y Eddy 2003)

Para un digestor, la masa de los sólidos biológicos sintetizados se estima con la siguiente ecuación.

$$P_x = \frac{YQ(S_o - S) \left( \frac{10^3 g}{kg} \right)}{1 + kd (SRT)} \quad (E1)$$

Donde:

Y = Coeficiente de rendimiento, g VSS/g DQO

Kd = Coeficiente endógeno, d<sup>-1</sup>

STR = Tiempo de retención de los sólidos, d

Cuadro 24. Valores típicos de Y y kd.

Parámetro	Unidades	Rango	Típico
Y	g VSS/g DQO	0.05-0.10	0.08
kd	d <sup>-1</sup>	0.02-0.04	0.03

(Metcalf & Eddy 2003)

En el proceso de tratamiento ocurre un crecimiento de las células junto con la oxidación de los compuestos orgánicos. El coeficiente de rendimiento indica la cantidad de biomasa producida por unidad de sustrato consumido. El coeficiente endógeno explica la pérdida de masa celular debido a la oxidación de los productos de almacenamiento interno, para obtener energía para el mantenimiento celular, la muerte celular y la depredación por parte de organismos superiores en la cadena alimentaria. Este depende de la edad de la célula..

El volumen del digestor se calcula como:

$$V = Q\tau \quad (E2)$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/d)

$\tau$  = Tiempo (d)

(Metcalf & Eddy 2003)

Para un digestor cilíndrico las dimensiones se calculan con:

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * h \quad (E3)$$

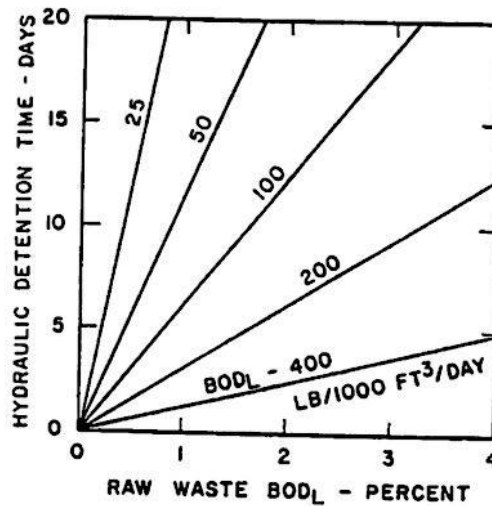
Cuadro 25. Tiempos de retención sugeridos para un digestor anaerobio

Temperatura de operación (°C)	SRT (d)
18	28
24	20
30	14
35	14
40	10

(Metcalf & Eddy 2003)

Este tiempo de retención está relacionado a la concentración orgánica de los residuos y la carga orgánica. El efecto con la temperatura es inverso, no lineal ya que a mayores temperaturas la velocidad de degradación es mayor.

Figura 14. Relación entre carga y tiempo de retención



(Metcalf y Eddy 2003)

Generalmente en los reactores se trabaja a tiempos de residencia elevados ya que el crecimiento de las células microbianas anaerobias es lento y se necesita una concentración elevada de estos.

La estabilización dentro del reactor se calcula con:

$$\% \text{ de estabilización} = \frac{(S_0 - S) - 1.42PX}{S_0} \times 100 \quad (E4)$$

Donde:

$S_o$  = DQO en afluente

$S$  = DQO en efluente

$P_x$  = Masa de los sólidos biológicos sintetizados

(Metcalf & Eddy 2003)

El grado de estabilización obtenido también se puede medir por el porcentaje de reducción de los sólidos volátiles. Esto se puede estimar con:

Cuadro 26. Destrucción de sólidos volátiles

Tiempo de digestión (d)	Destrucción de sólidos volátiles
30	65
20	60
15	56

(Metcalf & Eddy 2003)

## 5. Producción de gas, colección y uso.

**Producción:** El gas contiene 65%  $CH_4$ , 30% de  $CO_2$  y pequeñas cantidades de  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$  y vapor de agua. Tiene una gravedad específica de 0.86 con respecto al aire. La cantidad de gas producida puede variar dependiendo de los sólidos volátiles en los lodos y la actividad biológica en el reactor.

**Poder calorífico:** Calor que se desprende de una reacción cuando 1 kg de combustible se combina con oxígeno para dar más compuestos. Se define como cantidad de energía por unidad de masa o volumen (Kates, Luck 1982).

El metano es un gas muy volátil e inflamable. El gas metano a temperatura estándar y presión tiene un poder calorífico de 35,800 kJ/m<sup>3</sup>. El gas producido en el digestor, contiene 65% de metano y tiene un poder calorífico de 22,400 kJ. La cantidad producida en un digestor anaerobio se puede determinar con la siguiente ecuación.

$$V_{CH_4} = (0.35)[(S_o - S)(Q)\left(\frac{10^3 g}{kg}\right)^{-1} - 1.42P_x] \quad (E5)$$

Donde:

$V_{CH_4}$  = Volumen de metano producido (m<sup>3</sup>/d)

0.35 = Factor teórico de conversión para la cantidad de metano producido por la conversión de 1 kg de DQO a 0°C. El factor para 35°C = 0.40

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/d)

$S_o$  = DQO en afluente (mg/L)

S = DQO en efluente (mg/L)

P<sub>x</sub> = Masa de los sólidos biológicos sintetizados (kg/d)

(Metcalf & Eddy 2003)

Colección:

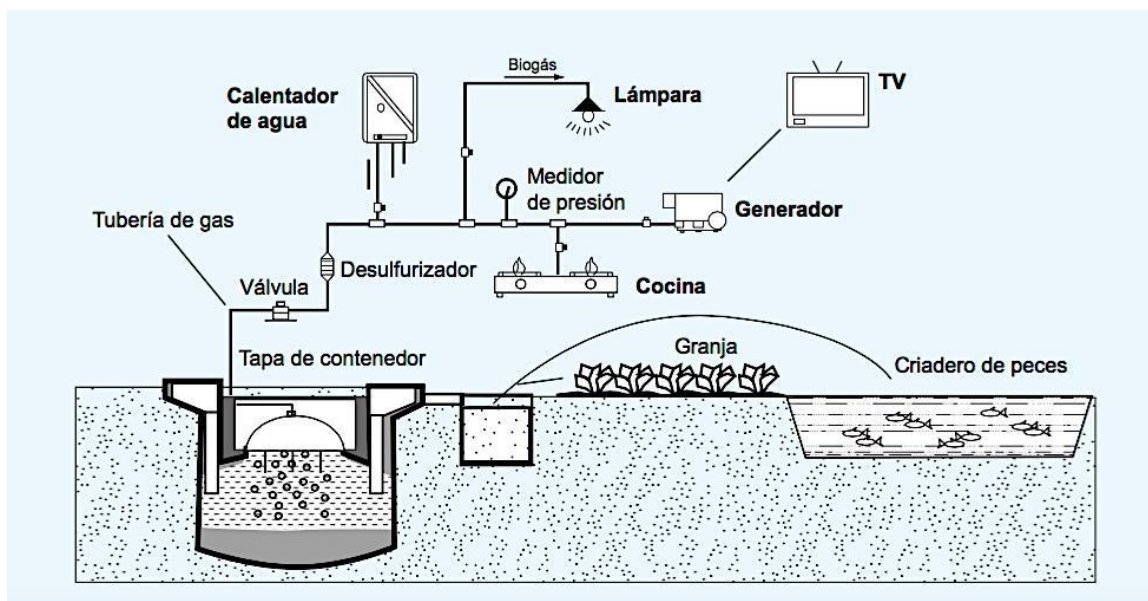
Digestores cilíndricos: El gas se colecta debajo de la tapadera que puede ser de 3 tipos, flotante, fija o membrana.

- Flotante: Permite que el volumen del digestor cambie, sin dejar que entre aire.
- Fijas: Permiten que haya espacio entre el tope de la tapadera y la sustancia dentro del digestor.
- Membrana: Contiene una estructura para un domo de gas y membranas flexibles de aire y gas.

Digestores de forma de huevo: El volumen disponible para almacenar el gas es pequeño por lo que se recomienda adicionar almacenamiento externo.

Una vez que el biogás es deshidratado por una condensación pasiva y limpiado de gases corrosivos (H<sub>2</sub>S), se puede quemar directamente para generar calor y / o energía. Sin embargo, el biogás es un portador de energía que se puede utilizar para otros fines, debido a su similitud con el gas natural, que está compuesto por 97-98% de metano. El biogás se puede ajustar a esos porcentajes de metano y convertirse en biometano, que es químicamente casi idéntico al gas natural (Petersson Y Wellinger, 2009).

Figura 15. Sistema de aprovechamiento de biogás



(FAO 2011)

## 6. Acondicionamiento del biogás

El gas obtenido de la biodigestión de lodos debe pasar por un tratamiento para remover el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Estos se encuentran en baja proporción, pero pueden llegar a ser muy contaminantes. Se eliminan con el fin de que el gas producido tenga una calidad similar al gas natural.

El  $\text{CO}_2$  conforma aproximadamente el 30% del metano por lo que eliminarlo aumentaría el porcentaje de metano a 95%. Este proceso se debe controlar ya que durante su ejecución se pueden eliminar cantidades de metano, las cuales se pueden liberar a la atmósfera y contaminarla. Los métodos comúnmente utilizados para eliminar este compuesto son: absorción, adsorción por oscilación de presión utilizando carbón activado y separación con membranas.

El  $\text{H}_2\text{S}$ , es tóxico para la salud humana, en concentraciones de 50-200 ppm puede llegar a causar la muerte. Este se elimina por medio de desulfuración biológica, oxidación en seco y oxidación en fase líquida. El proceso más utilizado es el de desulfuración biológica, esto se basa en la oxidación del compuesto por medio de la inyección de aire a  $35^\circ\text{C}$  (Hosseini 2014).

## 7. Digestión aerobia

Es similar al proceso de lodos activados. Cuando se agota el sustrato, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para mantener las reacciones de la célula. En este proceso se oxidan los compuestos orgánicos contenidos en los lodos, lo cual se consigue inyectando oxígeno en el interior del digestor. Una fracción de la materia orgánica es utilizada para la síntesis de biomasa nueva y el resto es canalizado en metabolismo energético y es oxidado en dióxido de carbono, agua y material soluble inerte para proveer energía para la síntesis y funciones de mantenimiento.

Ventajas sobre la digestión anaerobia: Si se trabaja bien, se puede obtener una reducción de sólidos igual a la anaerobia, se obtiene una concentración más baja de DBO en el líquido, se produce un producto biológicamente estable, es de bajo costo.

Este proceso no es tan utilizado ya que tiene un alto costo de energía debido a los requerimientos de oxígeno y el proceso es afectado por temperatura, ubicación, geometría del tanque, sólidos en la alimentación, tipo de mezclador o equipo de mezcla (Metcalf & Eddy 2003).

## 8. Secado de lodos

Entre las ventajas se encuentran: Necesita baja atención y habilidad del operador, bajo consumo de energía. Las desventajas incluyen la gran cantidad de espacio que requieren, los efectos del cambio climático y potenciales hedores.

Existen 5 tipos de patios de secado: convencional de arena, pavimentado, medios artificiales, asistido con vacío y solar.

Patio de secado de arena: Son los más utilizados, se utilizan para poblaciones pequeñas a medianas. El lodo se coloca en una capa de 200 a 300 mm para que se pueda secar. Este pierde humedad por el drenaje de lixiviados y por evaporación. La capa de arena es de 230 a 300 mm, capas más gruesas retardan el drenaje. El área se puede dividir en patios individuales. El interior cuenta con 3 capas.

El lodo se remueve manualmente del patio con palas, luego de haber secado. Este contiene aproximadamente 60% de humedad, luego de 10 días en condiciones favorables. El patio debe tener una cobertura para realizar el secado a lo largo del año sin importar las condiciones.

El área del patio de secado se calcula:

$$A = \frac{Qt}{h} \quad (E6)$$

Donde:

Q = Caudal de lodos, m<sup>3</sup>/d

t = Tiempo, d

h = Espesor de lodos, m

(Brendan, 2008)

Volumen del patio:

$$V = W \times l \times h \quad (E7)$$

Donde:

W = ancho, m

L = largo, m

H = altura, m

(Brendan, 2008)

## 9. Evaporación en patio de secado

La radiación solar es una forma de energía que puede llegar a convertir grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. Esta está determinada por la localización y época del año.

La unidad estándar para expresar la energía recibida en una unidad de superficie por unidad de tiempo es el mega joule por metro cuadrado por día. En algunos boletines meteorológicos pueden utilizarse otras unidades.

Para convertir la radiación en evaporación equivalente se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Evaporación} = \text{Radiación} * \frac{1}{\lambda} \quad (E8)$$

Donde:

$\lambda$  = Calor latente de vaporización

(Allen Et. Al 2006)

## 10. Compostaje

Conversión biológica de materia orgánica sólida en un reactor cerrado o en pilas. Requiere la adición de un agente de carga para proporcionar un ambiente adecuado para la actividad biológica. En este proceso, el 20-30% de los sólidos volátiles se convierten en dióxido de carbono y agua. La descomposición se lleva a cabo a temperaturas de 50-70°C para destruir los organismos patógenos. Se puede realizar en condiciones aerobias o anaerobias, pero comúnmente se realiza bajo condiciones aeróbicas. Estas condiciones aceleran la descomposición y resultan en un aumento en la temperatura. Consiste en las siguientes etapas: Pre procesamiento con un agente de carga, descomposición a alta velocidad, recuperación del agente, almacenamiento que permite una estabilización posterior y el enfriamiento, post procesamiento para eliminar sólidos grandes o reducción de sólidos y la disposición final.

Existen 2 métodos principales: agitado o estático.

Agitado: El material se agita de manera periódica para introducir oxígeno, controlar la temperatura y mezclar para obtener un producto uniforme.

Estático: El material se mantiene estático y el material es soplado al material (Metcalf & Eddy 2003).

## 11. Incineración

Involucra la conversión total de los sólidos orgánicos en productos oxidados, principalmente dióxido de carbono, agua y ceniza.

Las ventajas incluyen:

Reducción de volumen máxima, destrucción de patógenos y compuestos tóxicos, potencial de recuperación de energía. Desventajas: Personal con altas capacidades y de mantenimiento, alto costo de operación, las emisiones pueden contaminar el ambiente, el producto resultante puede ser clasificado como peligroso. Se utiliza para plantas medianas o grandes. Es innecesario estabilizar el lodo antes de incinerar (Metcalf & Eddy 2003).

## 12. Disposición final

El destino final que se le dará a los lodos debe estar justificado desde los puntos de vista ecológico, económico y energético. Existen distintas alternativas para el destino final de los lodos, siendo las más habituales el uso agrícola, la valorización energética y el depósito al vertedero.

El lodo producido en la digestión todavía requiere un tratamiento adicional para reducir su volumen y nivel de patógenos. Esto generalmente se realiza en condiciones aeróbicas para mejorar el compostaje. La producción final es un material rico en nutrientes que puede utilizarse en tierras agrícolas (Kepp & McKendry, 2008).

## 13. Aplicación de lodos como abono

Las características del sólido que afectan su capacidad para ser aplicados en la tierra son: contenido orgánico, nutrientes, patógenos, metales y compuestos tóxicos. El valor fertilizante se evalúa analizando las cantidades de fósforo, nitrógeno y potasio.

Los abonos o fertilizantes contribuyen a restaurar las tierras que han sido utilizadas por largos periodos y por lo tanto se encuentran degradadas y con pocos nutrientes, existen varias acciones para la restauración del mismo; entre las que se encuentra la restauración ecológica y fertilización.

Los abonos orgánicos se comportan muy similares a los fertilizantes químicos, la materia orgánica contenida en los abonos se puede aprovechar para los suelos. Dentro de las ventajas de utilizar abonos orgánicos se encuentra la mejora en la estructura del suelo, aumento en la retención de agua en época seca, mejora la absorción de los nutrimentos de las plantas, ayuda al balance del pH del suelo y es su accesibilidad económica (Carolina, 2015).

## 14. Lombricomostaje:

El humus de lombriz, llamado también lombricompost es el resultado de la transformación de materia orgánica pre digerida por microorganismos en residuos fecales de las lombrices.

El lombricompost es considerado de alta calidad debido a todos los beneficios que este abono provee al suelo. El humus de lombriz aporta una carga bacteriana que promueve la humificación de la materia orgánica presente en el suelo, mejorando de la estructura, aireación del suelo y regulando el pH (Castillo, 2010). Legislación base para el manejo de lodos en Guatemala

En la legislación de Guatemala se encuentra el acuerdo gubernativo 236-2006. El cual indica las disposiciones finales que se permiten efectuar luego del tratamiento de los mismos. Las cuales incluyen:

- Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost.
- Disposición en rellenos sanitarios.
- Confinamiento o aislamiento
- Combinación de las antes mencionadas.

Cuadro 27. Límites máximos permisibles de valores de propiedades fisicoquímicas que no se deben exceder para la disposición final.

Disposición final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	Mayor a 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	Mayor a 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	Mayor a 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	Mayor a 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	5000	1000	Mayor a 1000

(Acuerdo gubernativo 236-2006)

Es importante tener en cuenta las prohibiciones relacionadas con el riesgo en la disposición de lodos. El Capítulo IX en el Artículo 59 del Reglamento prohíbe la disposición final de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o pre cocidos, hortalizas y frutas, sin haberlos estabilizado y desinfectado; además los metales pesados deben estar ausentes y los coliformes fecales deben ser menor a dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo (Acuerdo gubernativo 236-2006).

## 15. Transporte y almacenamiento de lodos

### a. Bombas:

Los puntos usuales de transporte incluyen desde el sedimentador primario al sedimentador secundario donde se da el espesado; del sedimentador secundario al digestor y de este último al proceso de deshidratación de lodos. También se incluyen sistemas de transporte de recirculación. Para los lodos deshidratados, los cuales se encuentran más concentrados es más común utilizar bandas transportadoras. Se utilizan bombas de émbolo, cavidad progresiva, centrífuga, de flujo de torsión, diafragma, pistón de lata presión y lóbulos rotatorios. Otras bombas como peristálticas, bombas de concreto se usan para mover el lodo.

Se ha observado que los lodos tienen un comportamiento de un plástico de Bingham, sustancia que presenta una relación lineal entre la velocidad del flujo y las tensiones tangenciales una vez iniciado el flujo. Un plástico de Bingham queda definido por dos constantes: la tensión producida y el coeficiente de rigidez.

Dos números adimensionales se pueden utilizar para determinar la caída de presión por fricción para los lodos. El número de Reynolds y Hedstrom.

$$N_R = \frac{\rho V D}{\eta} \quad (E9)$$

Donde:

$N_R$  = Número de Reynolds, adimensional

$\rho$  = Densidad del lodo, kg/m<sup>3</sup>

$V$  = Velocidad, m/s

$D$  = Diámetro de la tubería, m

$\eta$  = Coeficiente de rigidez, kg/ms

(Metcalf & Eddy 2003)

$$He = \frac{D s_v \rho}{\eta^2} \quad (E10)$$

Donde:

$N_R$  = Número de Hedstrom, adimensional

$s_v$  = Estrés de rendimiento, N/m<sup>2</sup>

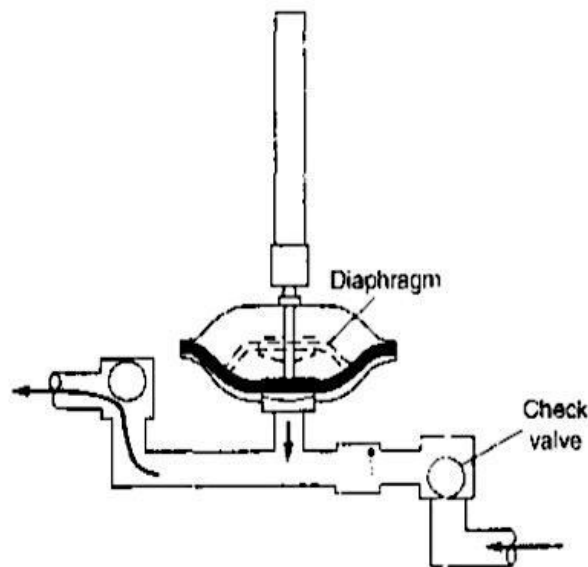
(Metcalf & Eddy 2003)

b. Pérdida de carga:

Esto depende de las características de flujo del lodo, diámetro de tubería y la velocidad de flujo. Se aumenta con el contenido de sólidos, contenido volátil y bajas temperaturas. Lodos diluidos tienen un comportamiento similar al agua: la caída de presión es proporcional a la velocidad y viscosidad en condiciones de flujo laminar. Los lodos primarios, digeridos y concentrados a bajas velocidades pueden exhibir un fenómeno de flujo-plástico en el que se requiere una presión determinada para empezar el flujo y oponerse a la resistencia.

Bomba de diafragma: Utilizan una membrana flexible que es empujada y tirado para contraer una cavidad cerrada. El flujo se dirige por válvulas de bola.

Figura 16. Bomba de diafragma



(Metcalf & Eddy 2003)

Cuadro 28. Ventajas y desventajas de bomba de diafragma

Bomba	Ventajas	Desventajas
Diafragma	Puede levantar el fluido hasta 3m. Bombea lodos con un desgaste mínimo. Operación simple.	La operación suele ser ruidosa. Baja cabeza y eficiencia. Alto mantenimiento si se opera de manera continua.

(Metcalf & Eddy 2003)

c. Tuberías:

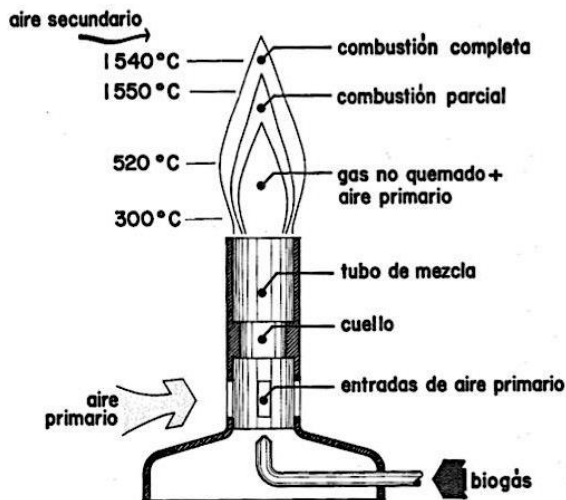
La tubería para transportar los lodos no debería de ser menor a 150 mm de diámetro y su longitud no debe exceder los 200 mm, a menos que la velocidad exceda 1.5 m/s. Las conexiones a bomba no deben ser menores de 100 mm en diámetro (Metcalf & Eddy 2003).

16. Usos del biogás:

El biogás arde con llama azul pálido. En la

Figura 17 se puede observar la llama ideal de biogás, con las temperaturas de sus diferentes partes. Para una mejor combustión se deben utilizar temperaturas mayores. Para una llama eficiente, es necesario quemar una mezcla de biogás y aire. Este aire (primario) se añade al gas mediante un agujero. También se añade aire secundario que es el que se toma de la atmósfera.

Figura 17. Llama ideal del biogás



(ICAITI 1983)

Cuadro 29. Usos del biogás producido en el digestor anaerobio y descripción

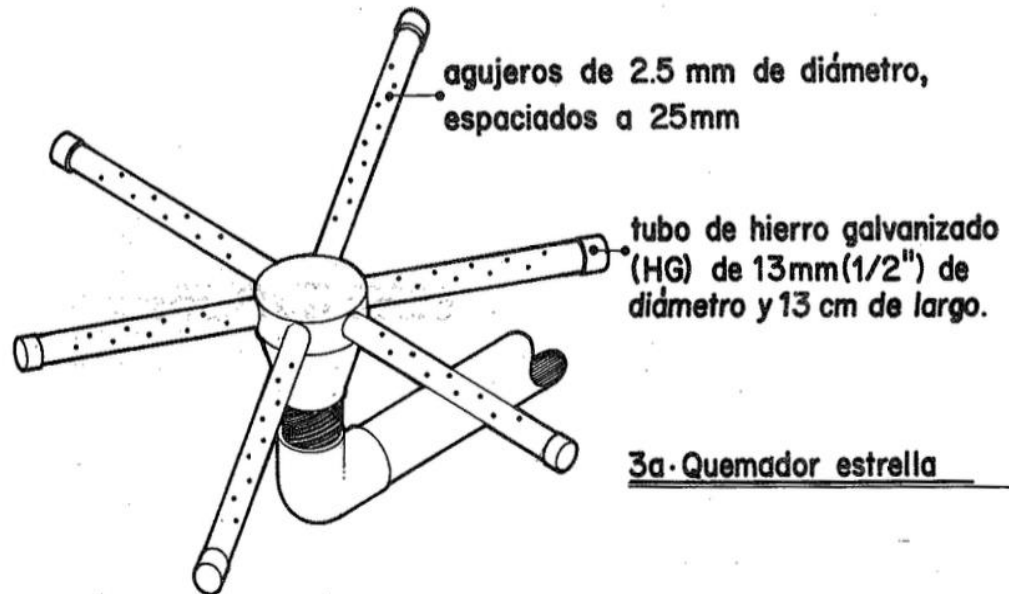
Alternativa	Descripción
Quema para cogeneración	Para este proceso el gas se va directo del digestor a las turbinas, según la cantidad de gas se define la tecnología a utilizar. Se produce calor y energía. Las microturbinas se aplican para pequeñas cantidades de gas, pero su eficiencia es baja.
Utilización como gas natural	Inyección a la red de gas natural.
Combustible para vehículos	El biometano necesita ser comprimido antes de su uso para alimentar vehículos. El compresor requiere energía, que se descuenta de la salida final.
Combustión directa	El biogás puede quemarse en aparatos diseñados para el gas natural. Esto se realiza para la producción de calor en el sitio o transportarse por tubería a los usuarios finales. Para fines de calentamiento, el biogás no necesita ningún mejoramiento, y el nivel de contaminación no restringe la utilización de gas.
Uso en la cocina	Se utiliza en sustitución a la leña, gas propano o keroseno. Para esto se construye una estufa especial o se modifica una comercial. La diferencia, son los quemadores que toman en cuenta el poder calorífico y la forma de combustión del biogás.
Iluminación	Es necesario un tubo de vidrio tipo Pyrex, que resista altas temperaturas. Con mayor presión del gas se produce mejor iluminación.

(ICAITI 1983)

En los procesos 2,3 se necesita remover el CO<sub>2</sub> antes del uso del gas, lo que puede resultar en pérdidas de metano el cual se puede liberar a la atmósfera.

17. Estufas para biogás:

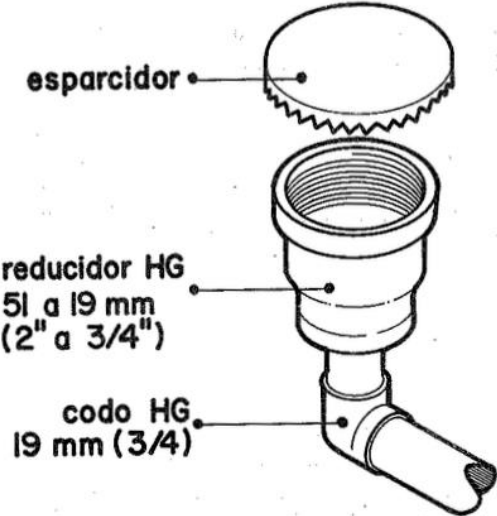
Figura 18. Quemador estrella, fabricado con hierro galvanizado



(ICAITI 1983)

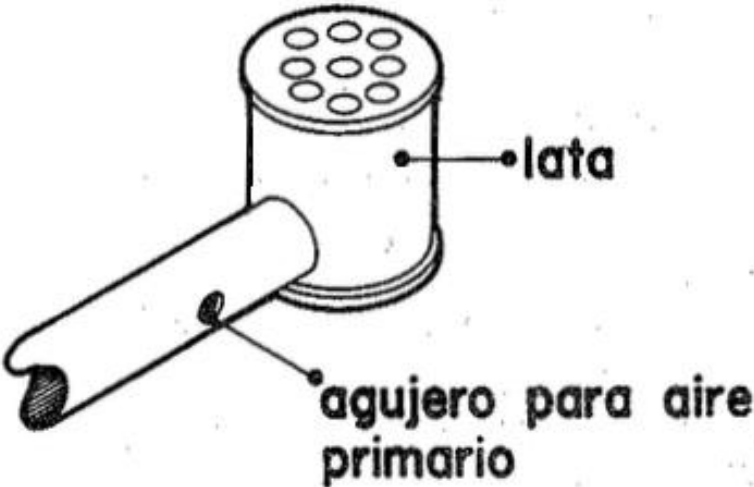
Los quemadores campana pueden ser fabricados con latas vacías o con accesorios de hierro galvanizado.

Figura 19. Quemador campana de accesorios



(ICAITI 1983)

Figura 20. Quemador de lata



(ICAITI 1983)

## Módulo 5:

Este apartado del megaproyecto tiene como finalidad presentar los antecedentes teóricos que respaldan la presente investigación, la primera parte introduce acerca de los principios educativos. Se eligió el aprendizaje para dar inicio a la sustentación teórica de este trabajo de investigación, ya que es la parte fundamental de las variables sujetas a estudiar. La capacitación laboral tiene como finalidad facilitar a las empresas en la adquisición de nuevos aprendizajes. El aprendizaje debe lograr que las personas desarrollen diversos conocimientos para poderlos llevar a la práctica en la vida cotidiana.

### A. Aprendizaje

El aprendizaje es un proceso relativamente permanente que se infiere de los cambios en la ejecución y que se debe a la práctica, produciendo un cambio duradero en un individuo vivo y no está afectado por la genética (Ellis, 1980: 330-333).

El aprender según Shuell (1988), es un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de conducirse de manera dada resultado de la práctica de otras formas de experiencia. Esto indica que el aprendizaje no se observa directamente, sino a través de sus productos y el cambio de conducta es uno de ellos, se puede deducir que al dirigir acciones o rutinas ha ocurrido aprendizaje, al igual que Ellis (1980), Shuell (1988) indica que el cambio de conducta debe ser perdurable, teniendo en cuenta que los cambios temporales deben ser excluidos.

Aprender por medio de la instrucción difiere de los conceptos tradicionales del aprendizaje y la enseñanza considerados de forma separada, aprender por medio de la instrucción implica una interacción entre los aprendices y los contextos ya sean profesores, materiales y ambiente, mientras que gran parte de la investigación psicológica del aprendizaje es menos dependiente del contexto (Shuell, 1988: 282).

Considerar el aprendizaje como conducta adquirida y como conocimiento ha facilitado a Tarp(2000) la manera de presentar su perspectiva sobre este proceso:

Cuadro 30. Consideraciones para el aprendizaje

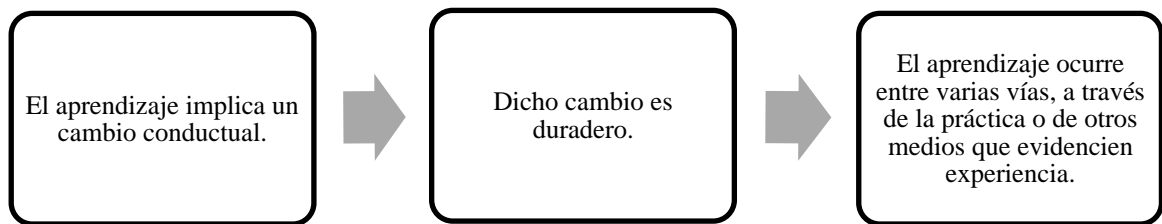
CONSIDERACIÓN	JUSTIFICACIÓN
Evolucionista	La manifestación conductual del aprendizaje es importante para la supervivencia y la adaptación.
Ignorancia a un estado de conocimiento	De no saber a saber.

Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas

Al unir estas perspectivas, Tarpay (2000) define el aprendizaje como un cambio inferido en el estado mental de un organismo, el cual es una consecuencia de la experiencia e influye de forma permanente en el potencial del organismo para la conducta adaptativa posterior.

El aprendizaje es considerado un proceso de cambio relativamente permanente en el comportamiento de una persona generado por la experiencia, menciona Feldman (2005):

Figura 21. Proceso de cambio en el aprendizaje



Elaboración propia a partir de Feldman, “Psicología: con aplicaciones en países de habla hispana”.

Por otra parte Schmeck (1988: 171) menciona que el aprendizaje es un sub-producto del pensamiento, se aprende pensando y la calidad del resultado de aprendizaje está determinada por la calidad de nuestros pensamientos.

Para concluir se puede decir que el aprendizaje es un cambio e incremento de ideas y conocimientos duraderos, que se producen como consecuencia de la experiencia en madurez o con el factor del entorno.

## **B. Andragogía**

Knowles, Holton, y Swanson(2001:203) exponen que la Andragogía permite el diseño y conducción de procesos docentes más eficaces, remite a las características de la situación de aprendizaje. La Andragogía ofrece los principios fundamentales que permiten el diseño y conducción de procesos docentes más eficaces, aplicándolos a diversos contextos de enseñanza de adultos.

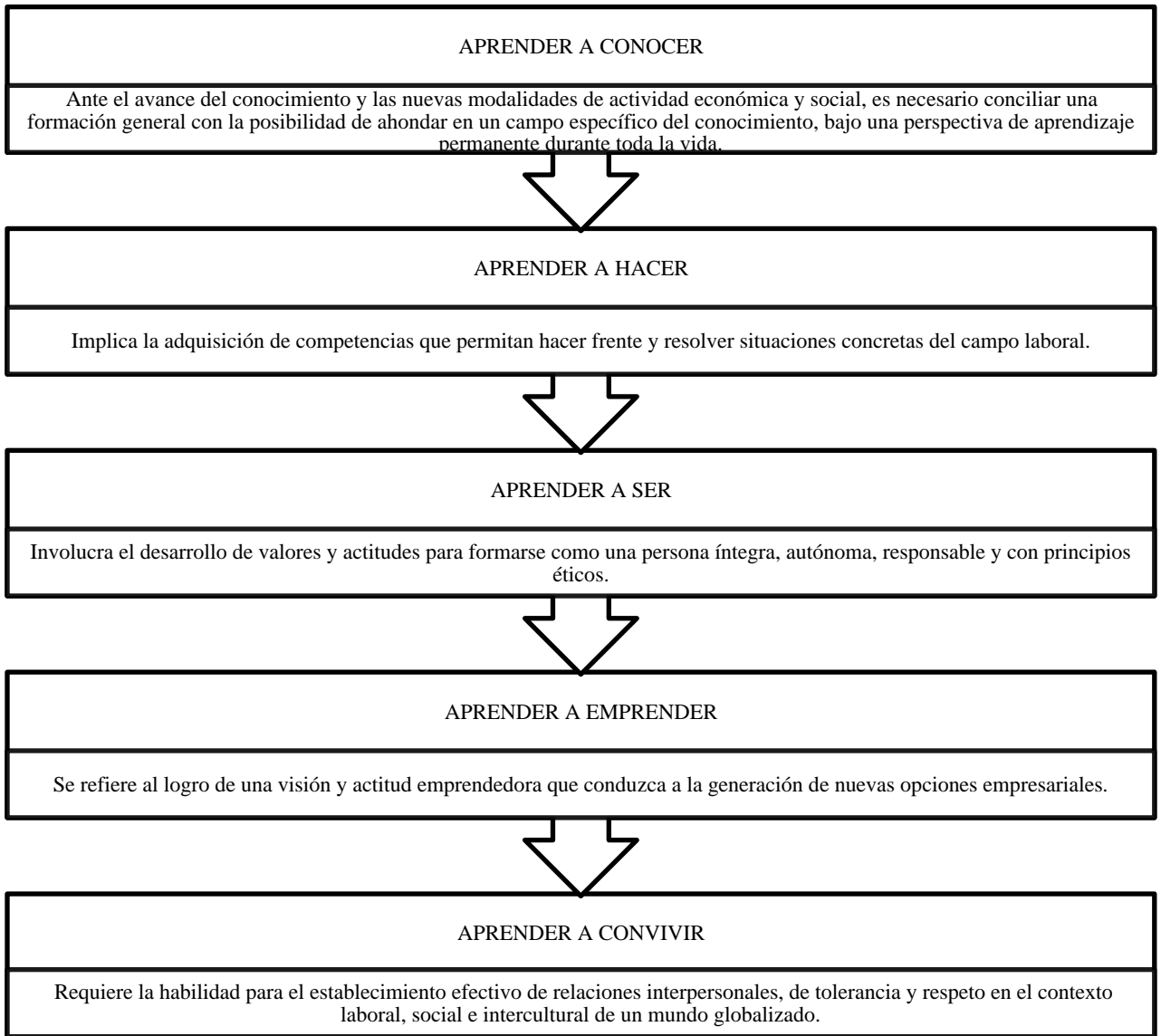
Por otra parte, Adam (1970), planteo que la Andragogía busca ser una educación que responda a los intereses, las necesidades y las experiencias propias vividas por el educando, es decir, de una educación del ser humano en función de su racionalidad como tal. En consecuencia, es el adulto, como sujeto de la educación, quien acepta o rechaza, decide basado en su propia experiencia e intereses la educación a recibir, con todos los altibajos que implica el transcurrir cambiante y complejo de la vida del ser humano. Este autor le atribuye a la Andragogía la obligación de estudiar la realidad del adulto y determinar las normas adecuadas para dirigir su proceso de aprendizaje.

La Andragogía es un proceso de desarrollo integral del ser humano para acceder a la autorrealización, a la transformación propia y del contexto en el cual el individuo se desenvuelve. Busca movilizar y potenciar en cada uno de nosotros conocimientos, valores, aptitudes de compromiso solidario, social y que la producción de conocimientos en el espacio universitario sea de creación, no de repetición (Marrero, 2004: 7).

El adulto es un sujeto desarrollado en los planos físico, psicológico, económico-antropológico y social; capaz de proceder con autonomía en la sociedad en que vive y de definir metas a lograr. Su condición, por lo tanto, es radicalmente distinta de la del niño y del adolescente, en todos los planos señalados. Esto permite en el campo de lo educativo distinguir, conceptualizar, diseñar y desarrollar un hecho o proceso andragógico (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, ONU,1979: 32).

Es por ello que la Universidad del Valle de México expone a continuación los principios que comprenden la formación de la Andragogía:

Figura 22. Principios de formación del Modelo Educativo Andragógico.



Elaboración propia basándose en Universidad del Valle de México, 1986: 19-20.

En el entorno psicopedagógico al reconocer limitadamente la importancia de aprendizaje andragógico origina que cuando un adulto participa en procesos educativos no andragógicos, este

encuentre que esos procesos “no son exactamente lo que necesita o lo que desea, no corresponden a sus problemas inmediatos; ni los métodos de trabajo ni los contenidos ni los modos de evaluación le complacen” (Marín, 1977: 90).

El conocer y analizar la población a estudiar, desde una perspectiva psicológica, posibilita reconocer las particularidades del adulto como educando, como agente de aprendizaje y con ello, la función que ejercen en los procesos educativos en su entorno social.

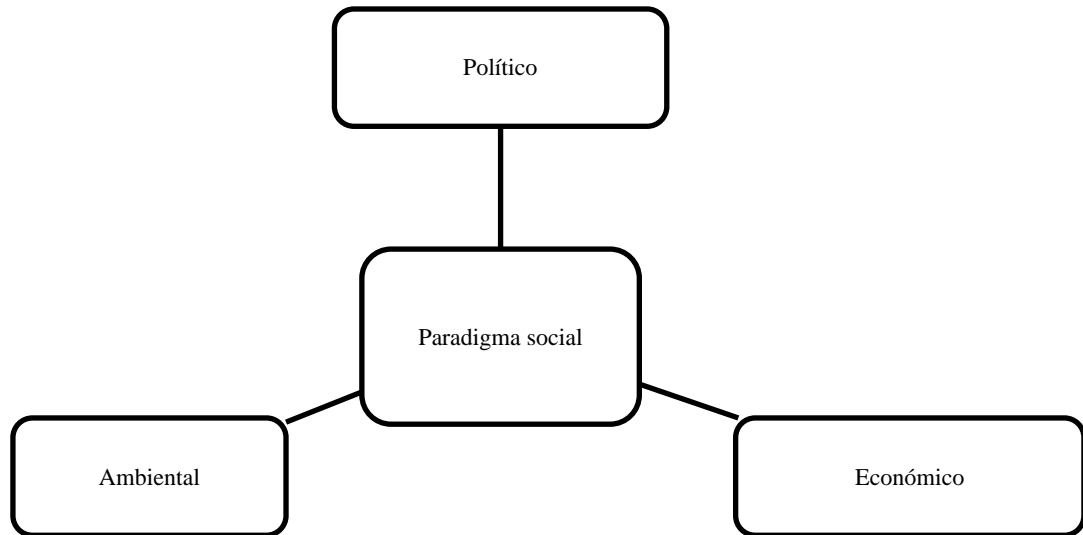
## C. Educación ambiental

La educación ayuda mejorar la calidad de vida de las personas y para lograr que cada una de ellas asuma una postura transformadora del entorno en el cual se desenvuelve. Siendo un proceso de socialización que estimula a un individuo para que desarrolle plenamente sus capacidades cognitivas, físicas, destrezas, técnicas y formas de comportamiento para poder así ser un miembro activo e integrado de la sociedad a la que pertenece.

### 1. Definición

Castillo y González (2009) mencionan que la educación ambiental es un proceso formativo lo cual contribuye a la promoción, adquisición y construcción individual como colectiva de conocimientos, valores y habilidades para la transformación de las formas de relación entre las sociedades humanas, hacia el ambiente en el que habitan y los sistemas naturales. Es considerado como un paradigma social dirigido a la sustentabilidad:

Figura 23. Paradigma social en la Educación Ambiental.



Elaboración propia basándose en Castillo y González (2009: 203).

## 2. Objetivos de la Educación Ambiental

La Carta de Belgrado (citado de Solís y López, 2003:23-24) sobre educación ambiental, convocada por la UNESCO se produce y adopta en octubre de 1975, tanto para las personas como para los grupos sociales, y propone los siguientes objetivos:

- Formar y despertar la conciencia ambiental.
- Generar conocimientos, para ganar una comprensión básica del ambiente en su totalidad
- Desarrollar actitudes, basadas en la adquisición de valores sociales como del interés por el ambiente
- Descubrir y cultivar las aptitudes, para resolver problemas ambientales, por sí mismas y poder actuar colectivamente.
- Estimular la participación, según el apoyo y profundización del sentido de responsabilidad.

- Desarrollar la capacidad de evaluación, para evaluar las medidas y los programas de educación ambiental.

### 3. Características

Las características son las que configuran la particularidad de un concepto, según ello, Solís y López (2003) reseñan la Conferencia Intergubernamental sobre educación ambiental celebrada en Tbilisi, antigua URSS, en 1977, en donde se establecieron las siguientes características de la educación ambiental:

Cuadro 31. Características de la Educación Ambiental.

CARACTERÍSTICA	¿CÓMO?
Tener un enfoque holístico del ambiente.	Incluyendo los aspectos naturales y aquellos creados por la acción humana.
Necesidad de su continuidad y permanencia.	Sin interrupción en el proceso de formación y acción.
Cobertura universal en el tratamiento de los problemas.	Desde la perspectiva local hasta internacional
Proyección al futuro.	Sobre la base del conocimiento de las situaciones ambientales actuales.
Inter y transdisciplinario además de métodos activos como participativos.	Buscar los principios básicos que permitan el tratamiento de los temas ambientales a través de lograr la cooperación de todas las disciplinas en la enseñanza, al cambiar a los educandos en agentes de su propio aprendizaje.
Consideración explícita de la perspectiva ambiental.	En los planes de desarrollo en cualquier nivel, dado a la amenaza en la calidad de vida.
Importancia de producir por su acción.	A manera de, prevención y solución de problemas ambientales.
Capacidad de estimular participación.	Mediante la orientación de todos los sectores de la población, por grupos de edad y ocupación, en la prevención y solución de problemas ambientales.
Utilización de métodos dinámicos y participativos.	Para informar y ayudar a adquirir conocimientos sobre el ambiente, apoyada en la cercana vinculación de la realidad.

Elaboración propia basándose en Solís y López (2003:24-25).

#### 4. Principios de la Educación Ambiental

Pérez (2007) señala que La Declaración Producto de la Conferencia de Estocolmo estableció una serie de principios fundamentales para un nuevo modelo de desarrollo.

Se citan algunos de ellos:

- El hombre posee derechos, pero también tiene la enorme obligación de proteger y mejorar el medio para las generaciones presentes y futuras.
- Cuidadosa planificación u ordenación, según convenga, para preservar los recursos naturales de la tierra y los ecosistemas.
- Contribución, en lo posible, a la restauración o mejoramiento de la capacidad de la tierra para producir recursos vitales renovables.
  - Los recursos no renovables deben utilizarse, al grado de evitar el peligro de su futuro agotamiento y se asegure que toda la humanidad comparta los beneficios.
  - El plan de desarrollo económico, ha de tomar en cuenta la conservación de la naturaleza. Por tanto, se adquiere la responsabilidad de preservar como administrar juiciosamente la riqueza de la flora, fauna silvestre y su hábitat.
  - Lucha justa de todos para frenar la contaminación, así dar fin a la descarga de sustancias toxicas o de otras materias perjudiciales al medio ambiente.

La educación ambiental relaciona a la persona con su ambiente, con su entorno y busca un cambio de actitud, una toma de conciencia sobre la importancia de conservar recursos para el futuro que permitan mantener una adecuada calidad de vida.

### **D. Capacitación laboral**

#### 1. Definición

La capacitación laboral como el proceso para enseñar a los empleado, nuevos y actuales, de una empresa las habilidades básicas necesarias para desempeñar su trabajo.

La capacitación es una manera de proporcionar a los empleados las habilidades necesarias para desempeñar su trabajo con mayor eficiencia. Este término está conformado por dos elementos personales: capacitador y capacitando. En la capacitación se busca cumplir con las necesidades que se están presentando ya sea dentro de la empresa o si la sociedad las está solicitando; también es relevante en lo que concierne a la mejora o al lanzamiento de un nuevo producto, el cual debe ser de calidad (Dessler, 2000: 27).

Las empresas o instituciones tienen el objetivo de crecer y consolidarse, para lograrlo se precisa de la conjunción de varios factores: mercado disponible, capacidad de producción, desarrollo tecnológico, liderazgo efectivo y personal competitivo (Dessler, 2000: 29).

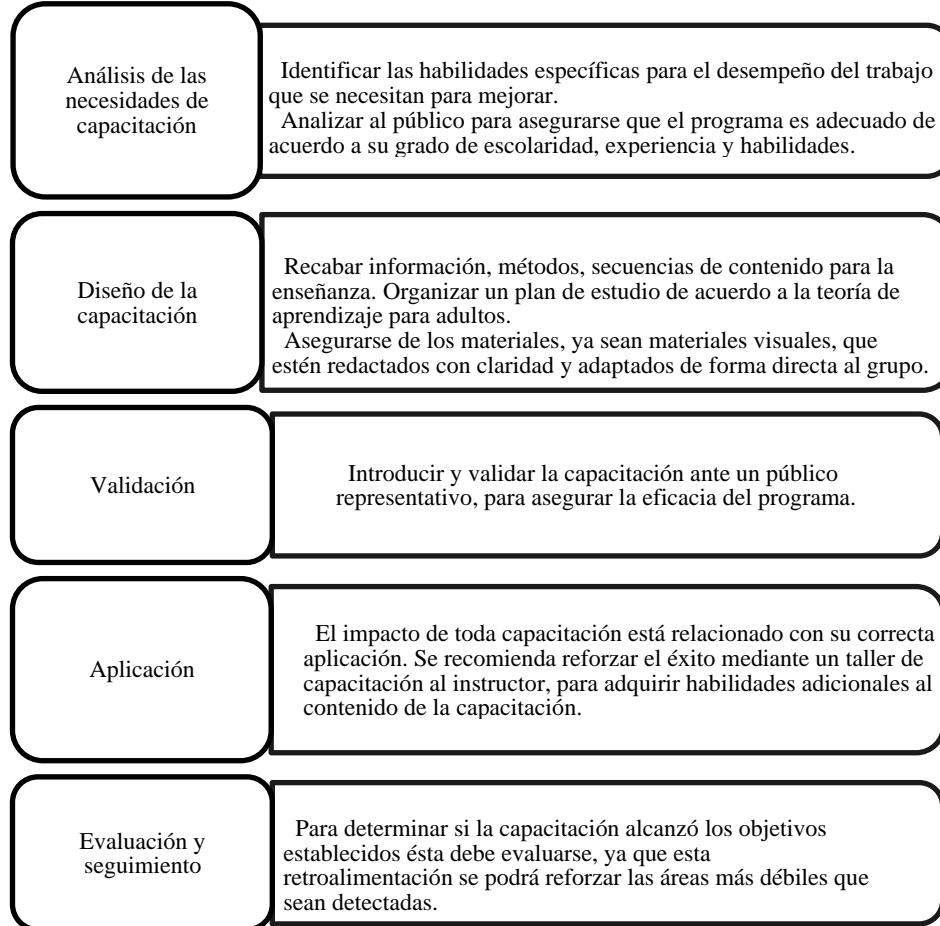
Pinto (2000) aseveró en sus estudios que en su interior las empresas y organizaciones también deben manejar otros aspectos, tecnológico, administrativo, social-humano. La unión y equilibrio entre ellos facilita su avance hacia los objetivos establecidos.

## 2. Proceso de capacitación

Por otra parte indica que al estar conscientes de la importancia de la capacitación se convierte en un proceso de cambio dirigido a hacer más eficiente el desempeño del personal e impactar la productividad de las organizaciones.

Los programas de capacitación se dividen en 5 etapas, como menciona Dessler en sus estudios (2000):

Figura 24. Etapas de los programas de capacitación.



Elaboración propia basándose en Dessler (2000: 251-253).

### 3. Ciclo de Deming

El Ciclo de Deming o “Ciclo PHAV”, consta de cuatro pasos: Planear, Hacer, Actuar, Verificar y que, puede enlazarse entre las necesidades del cliente, expresadas en el circuito de “retroalimentación del cliente”, y el desempeño del proceso, expresado mediante el círculo de “retroalimentación del proceso”. La oportunidad de mejora del proceso disminuye o la capacidad del proceso aumenta a medida que los dos circuitos se aproximan el uno al otro, y así mismo, la variabilidad del proceso se reduce más y más (Bautista, 2007: 47-50).

Según Deming, para aplicar este tipo de gestión, hay que luchar contra una serie de obstáculos en la forma de gestión de las empresas de occidente. Entre los obstáculos, cita las deficiencias educativas en relación a los métodos estadísticos, la creencia de que la mejora es responsabilidad del departamento de calidad y que los problemas provienen de los trabajadores o que solo es necesario cumplir con lo especificado (Miranda, Chamorro y Rubio, 2007:31).

(Fernández, 2010: 29-33) indica que la mejora continua asegura la estabilización del proceso y la posibilidad de mejora. Cuando hay un crecimiento y desarrollo en una organización o comunidad, es necesaria la identificación de todos los procesos y un análisis medible de cada paso llevado a cabo:

### **Planificar**

- Identificar el proceso que se quiere mejorar.
- Recopilar datos para profundizar el conocimiento del proceso.
- Análisis e interpretación de datos.
- Establecer los objetivos de mejora.
- Definir los procesos necesarios para conseguir estos objetivos.

### **Hacer**

- Ejecutar los procesos definidos en el paso anterior.
- Documentar las acciones realizadas.

### **Verificar**

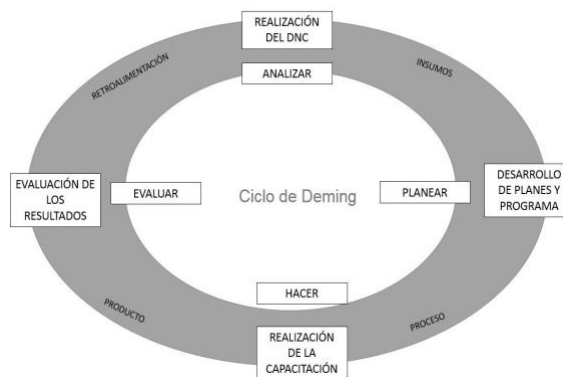
- Pasado un periodo de tiempo previsto de antemano, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y específicos iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada.
- Documentar las conclusiones.

### **Actuar**

- Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales.
- Documentar el proceso.

A continuación se presenta el Ciclo de Deming (2010):

Figura 25. Ciclo de Deming



Elaboración propia basándose en Fernández (2010: 29-33)

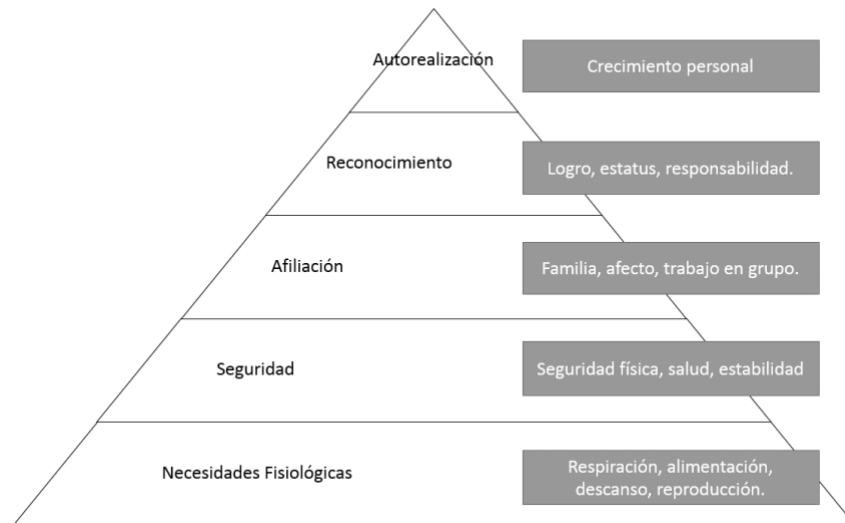
#### 4. Teoría de la Motivación Humana

En 1943, Maslow propuso su “Teoría de la Motivación Humana” la cual tiene sus raíces en las ciencias sociales y fue ampliamente utilizada en el campo de la psicología clínica, se ha convertido en una de las principales teorías en el campo de la motivación, la gestión empresarial y el desarrollo y comportamiento organizacional (Reid, 2008: 14-15).

La “Teoría de la Motivación Humana”, propone una jerarquía de necesidades y factores que motivan a las personas; esta jerarquía se modela identificando cinco categorías de necesidades y se construye considerando un orden jerárquico ascendente de acuerdo a su importancia para la supervivencia y la capacidad de motivación.

De acuerdo a este modelo, a medida que el hombre satisface sus necesidades surgen otras que cambian o modifican el comportamiento del mismo; considerando que solo cuando una necesidad está “razonablemente” satisfecha, se disparará una nueva necesidad, a continuación se presenta la jerarquía:

Figura 26. Jerarquía de necesidades de Maslow.



Elaboración propia basándose en Reid (2008: 27-32).

Según Koltko (2006), la versión rectificada de la jerarquía de necesidades de Maslow tiene varias implicaciones importantes para la teoría y la investigación en la personalidad y la psicología social, incluyendo enfoques para:

- Las concepciones personales y culturales de la finalidad de la vida.
- Las bases motivacionales de la conducta altruista, el progreso social, y la sabiduría.
- El terrorismo suicida y la violencia religiosa.
- La integración de la psicología con la religión y la espiritualidad en la personalidad y la psicología social.

Es necesario destacar que la “Teoría de la Motivación Humana” que presenta su jerarquía de necesidades y factores motivacionales, forman parte de un paradigma educativo humanista, por lo que el logro máximo de la autorrealización de la los colaboradores de la empresa de sacos agroindustriales en todos los personalidad es parte fundamental, procurando, proporcionar una educación con formación y crecimiento personal (Reid , 2008:35).

## **E. Actitud**

Según Ortego, López y Álvarez (2010) las actitudes forman parte de la vida y del comportamiento de cada persona. Todas ellas son aprendidas y adquiridas en el transcurso de la interacción social, a través de las distintas agencias de socialización.

Al ser aprendidas son susceptibles de modificación, esto no quiere decir que todas las actitudes se modifican una vez que, muchas de ellas son estables y se mantienen o sufren pequeños cambios a lo largo de la vida, pero otras si pueden variar.

González (2001) menciona que las actitudes ayudan a las personas a ajustarse, a expresar sus valores y a comprender el mundo que les rodea. En las relaciones las actitudes juegan un papel muy importante, ya que pueden afectar el trabajo en equipo y esto se ha evidenciado en los agentes educativos.

La buena actitud e implicación del capacitador en el taller fomenta la motivación de los capacitados hacia el proceso de enseñanza- aprendizaje que tiene lugar en la misma, como queda reflejado en los diferentes instrumentos de la investigación (López, 2013:268).

Una actitud es una predisposición aprendida para responder coherentemente de manera favorable o desfavorable ante un objeto, ser vivo, actividad, concepto, persona o símbolos (Fishbein, citado en Hernández et al., 2014: 244).

### **- Manual de capacitación**

Un manual es el conjunto de bases de la Institución, metodologías, instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, funciones, sistemas y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan dentro de la empresa.

Según (Baquero, 2013: 6-7) el manual es la herramienta que garantiza a la alta gerencia el cumplimiento de los objetivos de la organización y el cumplimiento eficaz de las actividades asignadas a cada segmento que integra la misma. Con el manual los directivos de las instituciones pueden sentirse seguros que las normas serán cumplidas y las actividades llevadas a cabo según las debidas instrucciones y será una herramienta de apoyo para los docentes de primer ingreso.

El manual de procedimientos, como menciona Gómez (2001) es un instrumento de apoyo en el que se encuentran de manera sistemática los pasos a seguir, para ejecutar las actividades de un puesto determinado y/o funciones de la unidad administrativa. Se puede decir que, si un manual de procedimientos se encarga de describir de forma detallada, y enfatiza en cada paso de una determinada actividad, entonces, dicho documento adquiere relevancia para las personas que pertenezcan a una organización.

Es importante conocer el objetivo por el cual se crea el manual, para obtener una información detallada, ordenada, sistemática e integral que contiene todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, funciones, sistemas y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan en una organización para respaldar el trabajo del colaborador. (Palma, 2005).

## V. ANTECEDENTES

### A. Trabajos previos

En Ecuador, la Universidad Nacional de Chimborazo realizó el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del campus universitario para reutilizar el agua en el riego de áreas verdes. El trabajo tuvo como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en el campus universitario en Ecuador para reducir los parámetros de contaminación de las aguas y poderlas utilizar para el riego de jardines. Este trabajo utiliza para el diseño e implementa la relación de las dimensiones del tanque homogeneizador propuesto por Crites, R. para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas. En el diseño de la planta incluye un sedimentador primario y el tanque homogeneizador primario, los cuales son parte de este trabajo, así como el dimensionamiento de tubería y otros accesorios necesarios para una planta de tratamiento de aguas residuales. Paralelamente propone un sistema para la determinación de la ubicación de la planta de tratamiento utilizando factores cualitativos y una matriz.

La Universidad Nacional de Córdoba realizó una práctica supervisada en el 2014, en la cual se puso en práctica el diseño de una pantalla difusora con orificios circulares en el tanque de sedimentación. Es de interés debido a que no utiliza remoción mecánica de lodos de la misma forma que el diseño del sedimentador primario en este trabajo. Ubica la pantalla difusora a 0.8m de la pared en la entrada del sedimentador y utiliza la relación de ubicación  $H/5$  de los orificios sobre el fondo del tanque y por debajo del nivel de agua. De igual manera utiliza vertederos triangulares de Thomson en la salida del tanque de sedimentación, sin embargo, la altura del vertedero lo fija entre 7 y 15 cm.

La Universidad Politécnica de Valencia realizó en el 2004 un trabajo titulado: “*Análisis estadístico de la demanda de agua potable de la ciudad de Valencia. Aplicación a la predicción con análisis de series temporales*”. En el trabajo se utilizó el modelo ARIMA para la predicción de demanda de agua potable en una ciudad. El objetivo era predecir la demanda de agua para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua, de forma que se pudieran tomar en cuenta posibles expansiones del sistema y el equipo necesario para cumplir con la demanda de agua.

## B. Contexto de la empresa

La empresa productora de sacos tiene actualmente 5 puntos de descarga denominados como laminadora 3, pozo de absorción, fosa séptica, chillers y extrusión; cada punto de descarga tiene una fosa séptica y las aguas residuales son de origen ordinario.

Figura 27. Puntos de descarga actuales de agua residual de la empresa productora de sacos



Los puntos corresponden a las siguientes áreas: 1: laminadora 3, 2: pozo de absorción, 3: chillers, 4: extrusión y 5: fosa séptica.

La empresa cuenta solamente con un contador de flujo para agua potable, la cual cubre con los siguientes usos: sanitización del personal, servicios sanitarios y de limpieza, cafetería, riego de aguas verdes, cambio de aguas extrusoras, compensación para los sistemas de enfriamiento, preparación de tintas y fugas de camiones. El siguiente cuadro muestra la demanda de agua potable mensual registrada del 2013 al 2018.

Cuadro 32. Caudal de la demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018

Mes	Demanda de agua potable (m <sup>3</sup> )					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	1815.33	2571.43	1595.36	2744.12	3104.00	3935.00
Febrero	1964.67	1747.14	1700.00	3502.50	2568.00	3874.00
Marzo	1871.00	1885.71	2527.14	1655.17	3603.00	4051.00
Abril	2480.57	2163.43	1885.71	2828.82	4291.00	3240.00
Mayo	2096.79	1673.57	1752.86	2531.00	3822.00	4192.00
Junio	1298.57	1366.65	2008.57	1773.00	3517.00	3602.00
Julio	1348.93	1595.00	2039.14	1258.60	2151.00	3384.00
Agosto	1573.93	1115.00	1190.00	2100.25	3977.00	2730.00
Septiembre	1314.64	1017.00	1478.82	2314.44	1912.00	2366.00
Octubre	1071.43	861.72	2023.93	2331.64	2986.00	2355.00
Noviembre	1410.00	1411.71	2430.86	2363.57	3203.00	2945.00
Diciembre	1461.00	1363.92	2229.31	2442.59	1499.00	3276.00
Caudal anual	19706.86	18772.28	22861.70	27845.70	36633.00	39950.00

La empresa contrata a una entidad externa para realizar el aforo y caracterización de los puntos de descarga de agua residual. En los estudios realizados en el 2017 y el 2018, al evaluar los valores máximos y los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006 sobre la descarga de aguas residuales, no se cumplen con ciertos parámetros para la cuarta etapa del acuerdo. Los siguientes son los parámetros y sus valores máximos que no cumplen con el acuerdo:

- Color: 850 Pt-Co
- DBO: 1763 ppm
- Fósforo total: 2645 ppm
- Grasas y aceites: 81 ppm
- Nitrógeno total: 196 ppm
- Sólidos suspendidos: 648 ppm
- Coliformes fecales:  $5.40 \times 10^7$  NMP/100ml

En la empresa de sacos no existe una planta de tratamiento de aguas residuales. La empresa cuenta con 2 fosas sépticas y 1 pozo de absorción. Sin embargo, las estas medidas no han sido suficientes para cumplir con el acuerdo gubernativo 236-2006 y se necesitan llevar a cabo acciones más estrictas para poder cumplir con los parámetros que se están incumpliendo. La empresa manda a analizar sus aguas residuales 2 veces al año con un laboratorio externo. Los análisis realizados por este laboratorio fueron verificados y validados por el grupo de Megaproyecto. El área de la empresa que más ha generado problemas es la laminadora 3, en donde se encuentran los valores máximos que están incumpliendo el acuerdo.

Cuadro 33. Caracterización de las aguas residuales de la empresa de sacos

Parámetro	Fosa Séptica, patio 3	Laminadora 3	Área Recreativa
Caudal Promedio (L/s)	0.06	0.11	0.011
Flujo mínimo (L/s)	0	0.057	0
Flujo máximo (L/s)	0.12	0.15	0.029
Carga DBO (kg/día)	0.74	6.44	0.51
DQO (ppm)	229	1241	993
DBO (ppm)	143	689	551
Relación DQO/DBO	1.60	1.80	1.80
Solidos suspendidos (ppm)	90.00	648.00	74.00
Nitrógeno (ppm)	26.4	108	196

En este trabajo de graduación se desea reducir la concentración de la DBO, DQO y el nitrógeno en ppm y así cumplir con el acuerdo gubernativo 236-2006: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos*. La empresa tiene 5 puntos de toma de muestra, de los cuales se tomaron los 3 en la tabla 3, debido a que estos puntos son los que más problemas han presentado. Se tomaron los valores de la Laminadora 3 para el diseño de la planta de tratamiento ya que es el punto con parámetros más elevados. La Laminadora 3 es un punto donde se reúnen las aguas

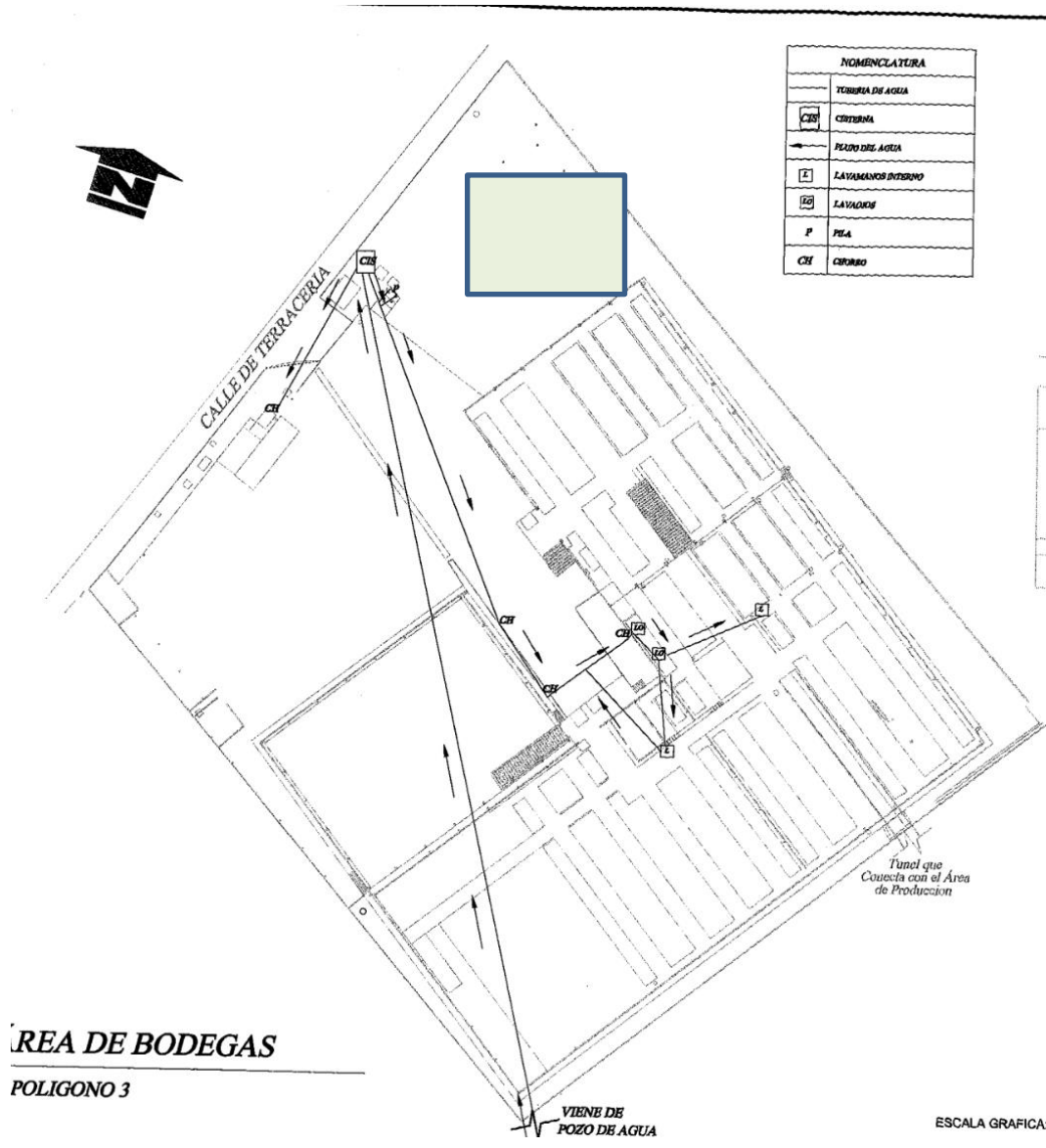
residuales de casi todos los servicios sanitarios de empresa y debido a esto es que valores de carga orgánica tan altos.

Figura 28. Resultados de laboratorio de Laminadora 3 y muestra de incumplimiento

Analisis	Dimensionales (1)	Límite de Detección	Resultados	2015	2020	2024
				Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
				LMP (2)	LMP (2)	LMP (2)
Caudal Promedio	L / s	---	0.10	---	---	---
Carga DBO	Kg / día	---	15.8	---	---	---
Cianuro	ppm - CN <sup>-</sup>	0.010	< 0.010	1.0	1.0	1.0
Color	u Pt-Co	1	850	1,000	750	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm - O <sub>2</sub>	4	1,763	---	---	200
Demanda Química de Oxígeno <sup>(3)</sup>	ppm - O <sub>2</sub>	4	2,645	---	---	---
Relación DQO / DBO	---	---	1.5	---	---	---
Fósforo Total <sup>(3)</sup>	ppm - P	0.030	23.80	30	15	10
Grasas y Aceites	ppm	5	81	50	25	10
Materia Flotante	---	Presente / Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total <sup>(3)</sup>	ppm - N	0.40	166.0	50	25	20
pH	---	0.01	9.07	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL / L	0.1	15.0	---	---	---
Sólidos Suspendidos	ppm	10	648	400	150	100
Temperatura Promedio	°C	0.1	23.7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	1.8	54,000,000	< 1* 10 <sup>5</sup>	< 1* 10 <sup>4</sup>	< 1* 10 <sup>4</sup>

Los puntos son laminadora 3, descarga de pozo de absorción (área recreativa), descarga de chillers, agua residual de extrusión y fosa séptica, patio 3. También es necesario determinar el lugar más adecuado donde se construirá la planta de tratamiento de agua para su buen funcionamiento y que exista suficiente espacio para su mantenimiento. Se determinó que el área que más satisface los requerimientos de la planta de tratamiento de agua es el área de bodegas.

Figura 29. Área de la empresa determinada para la instalación de la planta



Para acelerar el proceso de formación de microorganismos se debe agregar enzimas facultativas. Se estudió el comportamiento de 2 enzimas y se estudió la de mejores resultados. Ambas enzimas dieron un resultado similar y la diferencia más grande obtenida fue el precio.

Figura 30. Ficha técnica de la enzima BIOZYME 8000



**FICHA TÉCNICA  
BIOZYME 8000**

FECHA ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN: MARZO, 2019

SECCIÓN I	
IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
NOMBRE COMERCIAL DE LA SUSTANCIA	BIOZYME 8000
DESCRIPCIÓN	Extracto de fermentación, solubles de fermentación de levadura, cultivos bacterianos, comida de queipo y salvado de trigo.
NOMBRE DE LA COMPAÑÍA DISTRIBUIDORA	JUMASA
DIRECCIÓN DEL DISTRIBUIDORA	14 calle 29-32, Zona 7, Ciudad de Plata II, Guatemala, Guatemala.
NO. DE TELÉFONO	2474-6894
SECCIÓN II	
CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	
FORMA FÍSICA	Polvo granular color marrón a marrón oscuro.
DESCRIPCIÓN	Extracto de fermentación, solubles de fermentación de levadura, cultivos bacterianos viables comida de queipo y salvado de trigo.
COMPOSICIÓN	<i>Bacillus subtilis</i> .....7.5% <i>Bacillus licheniformis</i> .....5.1% <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....3.4% <i>Bacillus megaterium</i> .....2.7% Proteína cruda.....8.5% Fibra cruda.....3.4% Ácido fúlvico.....3.1% Queipo.....0.34% Molido de materia orgánica vegetal.....66%
DOSIS	Aplicar 1 gramo de producto por cada metro cúbico de agua (o según indicaciones).
BENEFICIOS DEL PRODUCTO	Degradación y clarificación de agua residual.
ESTABILIDAD Y VIABILIDAD DE LOS MICROORGANISMOS	2 años.
ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES	Evitar contacto con agua clorado, inhibe el efecto de las bacterias. Evitar humedecer el producto previo a utilizarse.
ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN	Mantener en un área seca con la tapa cerrada.

<b>SECCIÓN III</b>	
<b>TOXICIDAD</b>	
La toxicidad oral aguda, la toxicidad cutánea aguda, la pulmonar aguda, la intravenosa aguda, la irritación ocular primaria, la irritación cutánea primaria y la prueba de hipersensibilidad al contacto tardío son aceptables. El estudio pulmonar agudo no mostró mortalidad ni efectos adversos cuando se realizó con el producto técnico. Tampoco hubo mortalidad en el estudio de inhalación aguda con el producto de uso final.	
<b>TOXICIDAD / PATOGENICIDAD DÉRMICA AGUDA:</b>	ACEPTABLE
<b>LD50 DE BIOZYME 8000 EN RATAS ES</b>	>2g /kg de peso corporal
<b>TOXICIDAD PULMONAR AGUDA / PATOGENICIDAD</b>	ACEPTABLE. Sin mortalidad y sin efectos adversos. El microbio de prueba fue detectable (tanto antes como después del tratamiento térmico) en el pulmón hasta el día 35, pero a niveles significativamente reducidos en comparación con el día 0.
<b>INHALACIÓN AGUDA</b>	Estudio considerado confirmatorio para el estudio pulmonar agudo. Normalmente, las partículas del tamaño de las medidas para el polvo humectable BioZyme 8000 presentan un bajo riesgo de exposición por inhalación. Los resultados del estudio podrían mejorarse con datos analíticos que indiquen la concentración real utilizada en la dosificación.  El riesgo potencial es mitigado por los requisitos de vestimenta protectora de un respirador con filtro de polvo / niebla y el intervalo de reingreso.
<b>TOXICIDAD / PATOGENICIDAD INTRAVENOSA AGUDA</b>	ACEPTABLE. No hay mortalidad ni signos clínicos adversos en ratas a las que se les administró Biozyme 8000 en polvo. El microbio de prueba se eliminó de la mayoría de los órganos el día 35.
<b>PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD</b>	Todo está probado por pureza y libre de <i>Salmonella</i> y <i>E. Coli</i>
<b>IRRITACIÓN PRIMARIA DE LOS OJOS</b>	ACEPTABLE.
<b>IRRITACIÓN PRIMARIA DÉRMICA</b>	ACEPTABLE.
<b>EXPOSICIÓN DIETÉTICA</b>	Se espera que la exposición dietética al microbio sea mínima. El riesgo que representan los adultos, los bebés y los niños es mínimo debido al bajo potencial de toxicidad / patogenicidad oral aguda del pesticida microbiano. Además, las prácticas estándar de lavado, pelado, cocción o procesamiento de frutas y verduras reducen los residuos de Biozyme 8000 y minimizan aún más la exposición alimentaria.



Mejorando el agua, mejorando la vida.

<p><b>EXPOSICIÓN AL AGUA POTABLE</b></p>	<p>La exposición oral, a niveles muy bajos, puede ocurrir por la ingestión de agua potable. El agua potable no se está evaluando para Biozyme 8000 como un indicador potencial de contaminación microbiana. Tanto la filtración a través del suelo como el tratamiento municipal del agua potable reducirían la posibilidad de exposición al ingrediente activo bacteriano a través del agua potable.</p> <p>Si la exposición oral se produce a través del agua potable, la Agencia concluye que dicha exposición presentaría un riesgo insignificante debido a la falta de toxicidad / patogenicidad oral aguda y la naturaleza ubicua del microbio.</p>
<p><b>SECCIÓN IV</b></p>	
<p><b>TOXICIDAD ECOLÓGICA</b></p>	
<p>No se espera un riesgo significativo de la aplicación terrestre, aérea y de quimigación del producto de uso final de Biozyme 8000 a aves, peces, mariquitas, alas verdes, avispas parásitas, abejas melíferas e invertebrados acuáticos.</p>	
<p><b>AVIAN ORAL</b> <small>LD50</small></p>	<p>El avian oral LD50 es mayor que 5000 mg/kg de peso corporal. BioZyme 8000 se considera prácticamente no tóxico para las codornices debido a la alta dosis utilizada y los efectos observados.</p>
<p><b>TOXICIDAD / PATOGENICIDAD PARA PECES DE AGUA DULCE</b></p>	<p>ACEPTABLE</p>
<p><b>PRUEBAS DE ANIMALES MARINOS</b></p>	<p>ACEPTABLE. No se informó de mortalidad, apariencia física o comportamiento anormal en camarones de pasto durante el período de prueba de 30 días. La LC50 de 30 días para camarón de pasto es <math>&gt; 3.7 \times 10^6</math> cfu/g QST 713 en alimento; 100 veces la concentración ambiental estimada (CAE) a la tasa máxima de aplicación de etiquetas de 10 lbs / acre. Dado que la LC50 está por encima de la dosis de prueba de peligro máxima requerida de 106 cfu/ mL, no se espera que la aplicación terrestre de Biozyme 8000 suponga un peligro para las poblaciones de animales de estuario a las tasas actuales de uso de la etiqueta.</p>



Mejorando el agua, mejorando la vida.

<b>TOXICIDAD DIETÉTICA / PATOGENICIDAD EN ABEJAS</b>	No se observaron anomalías de comportamiento ni morfológicas en ninguno de los tratamientos en los dos estudios realizados a través de la emergencia total de abejas adultas (22 y 24 días). Dado que el LD50 > 100,000, que representa una tasa de aplicación de 400 veces y mayor a 800 veces la CAE, no se espera ningún peligro a abejas de miel con la aplicación terrestre de Biozyme 8000 a la tasa de uso actual de la etiqueta.
<b>SECCIÓN V</b>	
<b>PRIMEROS AUXILIOS</b>	
<b>CONTACTO CON OJOS</b>	Enjuagar ojos con agua
<b>CONTACTO CON LA PIEL</b>	Lavar con agua y jabón.
<b>INGESTIÓN</b>	Tomar abundante agua.
<b>PASOS A SEGUIR EN CASO DE FUGA O DERRAME</b>	Contener el área y enjuagar con agua.
<b>PELIGROS DE INGESTIÓN POR CONSUMO HUMANO DE PRODUCTOS APLICADOS A CULTIVOS</b>	Los microbios utilizados en este producto de combinación no son modificados genéticamente, y esta combinación ha sido utilizada en el pasado por agricultores sin informes de impactos negativos en los cultivos.

**JUMASA NI SUS REPRESENTANTES SON RESPONSABLES DEL POSIBLE USO DE ESTA INFORMACIÓN. ESTA HOJA DE SEGURIDAD CONTIENE LA OPINIÓN COLECTIVA DE PERSONAL FAMILIARIZADO CON EL PRODUCTO Y ES INDEPENDIENTE DE REQUISITOS LEGALES.**

**JUMASA HA PREPARADO ESTA HOJA DE SEGURIDAD QUE ASÍ CONSIDERA CORRECTA HASTA LA FECHA PARA EL MANEJO ADECUADO DE ESTE PRODUCTO. NO SE CUBREN TODAS LAS ACTIVIDADES POSIBLES, POR LO QUE CUALQUIER OTRA APLICACIÓN DE ESTA INFORMACIÓN DIFERENTE A LAS INDICADAS, SERÁ BAJO LA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO.**

Figura 31. Manual de aplicación de BIOZYME 8000

### MANUAL DE APLICACIÓN DE BIOZYME 8000



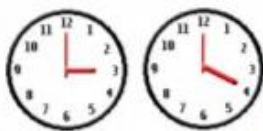
1. El primer paso es tomar el sobrecito que contiene BIOZYME 8000 y cortarlo con una tijera en la parte superior del sobre con mucho cuidado, para evitar que el contenido del sobre caiga al suelo.



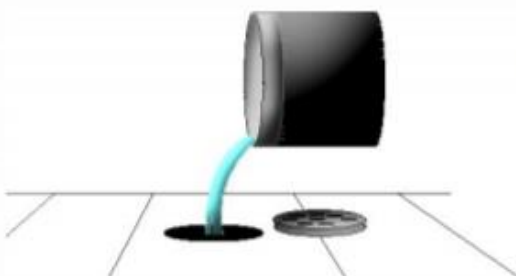
2. El segundo paso es vaciar el contenido del sobre en un vaso que haya sido llenado con agua reciclada del lavado de los platos, aún cuando el agua contenga un poco de detergente será eficiente. No se puede utilizar agua potable ya que el cloro oxida el producto BIOZYME 8000, por lo que deberemos procurar que el agua utilizada sea reciclada (SUCIA) o bien utilizar agua purificada sin cloro.



3. Una vez hayamos aplicado el polvo BIOZYME 8000 al agua deberemos revolver el agua en movimientos circulares para que el contenido del sobre pueda mezclarse uniformemente con el agua.



4. Después de haber mezclado bien el contenido del sobre con el agua dejamos reposar durante una hora, de esta forma damos oportunidad a las bioenzimas de empezar a multiplicarse en el agua y al momento de aplicarlas en el lugar deseado, su número será mayor que si las aplicáramos directamente.



5. El último paso consiste en aplicar el agua con el producto en el lavatrastos que tenga comunicación con la trampa de grasa y los drenajes.

6. Para determinar la cantidad y la frecuencia con que se debe aplicar BIOZYME 8000, consulte a su distribuidor.

#### **MÉTODOS GENERALES**

\*\*\*\*1 mg por cada litro de agua = 1 kilogramo cada millón de litros de agua (DIARIO)\*\*\*\*

La empresa sujeta al estudio es una productora de sacos de distintos tipos de plásticos y de yute la cual se encuentra en la ciudad de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. El proceso no tiene desechos líquidos que descarten a través del sistema de drenajes al alcantarillado público. Es por ello que las aguas a tratar provienen de los 24 inodoros, 11 mingitorios, 20 lavamanos, 11 duchas, 2 lavatrastos y 1 pila de los sanitarios, la cocina y los casilleros de la fábrica (aguas negras y grises). Se sabe que esta agua son de tipo ordinario puesto que la relación de DQO / DBO es menor a 2.5, lo que con lleva a un efluente con compuestos biodegradables (Osorio y Peña 2018). Ya que la empresa labora desde hace más de 30 años, la misma únicamente cuentan con 1 trampa de grasa, 1 pozos de absorción en un área poco utilizada y 1 fosa séptica en una de las 3 salidas de aguas residuales que la empresa tiene. Estas medidas con las que la empresa cuenta no son suficientes para lograr la reducción de los parámetros de sus aguas residuales a los establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Esto lo podemos corroborar en el último análisis de las aguas residuales de la empresa presentado en la Figura 28 de esta sección.

Dicha empresa cuenta con una política ambiental de “Usar responsablemente los recursos asociados a la operación de la empresa, con respecto al medio ambiente”, por lo cual son conscientes de que se debe cuidar los recursos y el medio ambiente y desean continuar con la mejora de sus procesos y sus desechos para cumplir con lo mismo.

Por otra parte, la empresa utiliza aproximadamente 3000 m<sup>3</sup> de agua al mes de un pozo propio y la misma no es reutilizada, este valor fluctúa mucho durante el año ya que esto está correlacionado con la cantidad de trabajadores, aproximado de 850 trabajadores al mes, que de igual forma cambia todos los meses. Luego de la utilización del agua es desechada al alcantarillado público. Por otro lado, en materia de las trampas y pozos de absorción ellos cuentan con una empresa certificada ambiental la cual les brinda el servicio de la extracción de los lodos producidos semestralmente la cual asciende a aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/ semestrales y les trae un costo de Q2500/semestrales.

Actualmente la empresa respecto al tipo de proceso que manejan y al listado taxativo del MARN cuenta con una licencia ambiental del tipo B1, según lo indicado por el acuerdo gubernativo 137-2016, está concluye el 11 de enero de 2022. La licencia va amarrada al cumplimiento de los parámetros permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006 y por ello cuentan con dos auditorías de las cinco salidas de agua de la fábrica anuales. Estos son realizados por una empresa certificada por el MARN para el análisis de aguas.

En cuestión de la investigación se realizará como tipo megaproyecto en un equipo de trabajo de seis integrantes y la misma cantidad de etapas: Preliminar / Primaria, Secundaria, Terciaria, Cuaternaria, Estudio Económico y Buenas Prácticas y Usos. Con ello la empresa desea el cumplimiento de los parámetros del acuerdo gubernativo hasta la cuarta etapa para evitar la contaminación del ambiente y aguas del país, evitar cualquier tipo de multa, suspensiones o revocaciones de la licencia ambiental, y buscar usos secundarios de los 10,514.10 m<sup>3</sup> al año de aguas residuales y los 65 m<sup>3</sup> de lodos tratados para continuar con la mejora de los procesos y de los desechos para cumplir con la política ambiental que les representa.

Cuadro 34. Medición más reciente de los parámetros de aguas residuales pedidos por el acuerdo gubernativo 236-2006.

Análisis	Dimensionales	Límites de Detención	de Resultados diciembre 2018	Máx. Parámetros (2024) Art. 28 del Acuerdo Gubernativo 236-2006
Caudal promedio	L s	---	0,11	---
Carga DBO	Kg/día	---	6,44	---
Cianuro	ppm - CN-	0.0100	< 0.0100	1
Color	u Pt-Co	1.40	298	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	ppm - O2	3	689	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ppm -O2	3	1,241	---
Relación DQO / DBO	---	---	1.8	---
Fósforo Total	ppm - P	0.030	19.50	10
Grasas y Aceites	ppm	5	15	60
Materia flotante	---	Presente/ Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	ppm - N	0.30	108.0	40
pH	---	0.01	8.72	6 a 9
Sólidos sedimentables	mL/L	0.1	7.5	---
Sólidos suspendidos	ppm	2	330	200
Temperatura promedio	°C	0.1	22.7	< 40

Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.8	5,400,000	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	ppm -As	0.0010	0.0019	0.1
Cadmio	ppm - Cd	0.009	$< 0.009$	0.1
Cobre	ppm - Cu	0.030	0.074	3
Cromo (VI)	ppm - Cr	0.025	$< 0.025$	0.1
Mercurio	ppm - Hg	0.00085	$< 0.00085$	0.01
Níquel	ppm - Ni	0.170	$< 0.170$	2
Plomo	ppm - Pb	0.065	$< 0.065$	0.4
Zinc	ppm - Zn	0.090	5.090	10

## VI. METODOLOGÍA

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

#### 1. Evaluación de la planta y caracterización de aguas residuales

- a. Primero se realizaron 5 visitas como observación de campo para la inspección de la empresa y evaluación de puntos de descarga y uso de agua
- b. Se evaluaron los análisis de agua residual de la institución realizados por una entidad externa para determinar las variaciones de caudal conforme el tiempo y los componentes del agua, para identificar los parámetros que no cumplen con el acuerdo gubernativo 236-2006.
- c. Se determinaron las áreas donde se descarga actualmente el agua residual hacia las fosas sépticas.

#### 2. Afluente de diseño

- a. Se ordenó mensualmente los datos de demanda de agua potable del 2013 al 2018.
- b. A los datos se les realizó una prueba de estacionalidad ADF con un nivel de significancia del 5% en Excel de manera que se determinara la estacionalidad en diferentes condiciones, para las cuales solamente se tomaron en cuenta condición sin constante y la que solamente tenía constante.
- c. Se realizó el modelo ARIMA sobre la serie de datos para verificar si el modelo se ajustaba a la serie de datos y su comportamiento.
- d. Se realizó la proyección para el año 2030 utilizando la herramienta Excel para el modelo ARIMA aprobado
- e. Seguidamente se determinó el factor de conversión de agua potable utilizando la relación entre el caudal promedio total de agua residual medido por la empresa externa y la demanda de agua potable promedio para el año 2018

- f. El valor de proyección de agua potable para diciembre del 2030 se convirtió a agua residual con el factor de conversión, para obtener el afluente de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.
  - g. Se calculó el caudal mínimo y promedio utilizando los aforos realizados por la empresa externa en el 2017 y el 2018, y la tasa de crecimiento anual del uso de agua.
3. Propuesta del sistema de rejillas
- a. Se definieron los parámetros de diseño según los rangos de diseño para un sistema de rejillas de limpieza manual según Metcalf & Eddy.
  - b. Se calculó la pérdida de carga de las rejillas sucias y limpias se para rejillas limpias y obstruidas a un 50%.
  - c. Se calculó el área libre de paso de agua utilizando el caudal de diseño y una velocidad teórica de diseño según los parámetros establecidos en el primer paso de esta sección.
  - d. Se obtuvo el nivel máximo de agua del canal más una altura de seguridad, fijando el ancho del canal. Con estos valores se determinó el largo del canal utilizando el teorema de Pitágoras.
  - e. Se determinó el número de barras por sistema de rejillas y el largo de estas.
4. Diseño de la trampa de grasas
- a. Se obtuvo el tiempo de retención utilizando la ecuación de tendencia de una función del caudal de agua residual de entrada y el porcentaje de remoción teórico según la norma DIN 4041.
  - b. A partir del tiempo de retención y el caudal de diseño se determina el volumen ideal para la trampa de grasas
  - c. Debido a motivos de seguridad y para evitar sobrecargas se utiliza un 10% de sobrediseño para el volumen según indica la literatura.
  - d. El área del fondo de la trampa de grasas se obtiene utilizando reglas gruesas según parámetros de diseño establecidos por la norma DIN 4041.
  - e. Las dimensiones también se calcularon utilizando reglas gruesas de relación entre largo y ancho.
  - f. Utilizando el área calculada y el volumen para el diseño se calculó la altura de la trampa de la trampa de grasas.

- g. Para determinar la concentración de grasas y aceites en el agua de salida de la trampa de grasas se utilizó la concentración máxima de entrada medida por la empresa externa y el porcentaje de remoción teórico dado por las normas DIN 4041.
- h. Se realizó un balance de masa y energía para obtener los flujos con contenido de grasa en la entrada, salida y la cantidad retenida de grasas.

## 5. Propuesta del sistema de captación de flujo

- a. Se construyó una curva de volumen acumulado en función del tiempo para el monitoreo de agua residual en los meses de junio y diciembre del año 2018 realizado por la empresa externa para 3 diferentes áreas denominadas por la empresa como: laminadora 3, pozo de absorción y fosa séptica.
- b. Se promedió el volumen acumulado de las tres áreas y se obtuvo el volumen por hora
- c. Se graficó el volumen acumulado por hora y se trazó una línea del origen al final de la curva de volumen acumulado para representar el volumen promedio.
- d. Se trazó una línea paralela a la línea del volumen promedio y tangente a la curva de volumen acumulado de entrada al tanque.
- e. Se trazó una línea vertical desde el punto de tangencia hasta su conexión con la línea de volumen promedio para obtener el volumen de diseño del tanque.
- f. Se obtuvo la tasa de crecimiento de la demanda de agua potable utilizando el caudal medido por el contador de la empresa del 2013 al 2018
- g. Se proyectó el volumen del tanque utilizando la ecuación de crecimiento exponencial con la tasa de crecimiento encontrada. Al volumen se le agregó un 10% según la literatura pen caso de sobrecargas del sistema.
- h. Para las dimensiones del tanque se utilizaron reglas gruesas dadas por la literatura, según Metcalf & Eddy.
- i. Se diseñó el tanque con un 10%, según la literatura, de inclinación en el fondo para la purga de sólidos sedimentables por la falta de agitación.
- j. Se realizó un balance de masa de la sedimentación parcial de sólidos suspendidos dentro del tanque utilizando la velocidad de sedimentación de las partículas y el tiempo de trayecto de estas dentro del tanque.

## 6. Propuesta del tratamiento primario

- a. Se utilizó el modelo de Stokes como modelo para el comportamiento de sedimentación en el tanque, así como las propiedades de partículas sedimentables de una planta pequeña común para el tratamiento de agua municipal según Metcalf & Eddy.
- b. La gravedad específica de la partícula se obtuvo mediante la densidad calculada de los lodos primarios de la planta. La metodología para dicho cálculo se realizó en el módulo de este trabajo titulado: “Propuesta de un sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias”
- c. A manera de comprobar que se cumple con el modelo de Stokes utilizado para la velocidad de sedimentación, se calculó el número de Reynolds
- d. Se calculó la velocidad horizontal y la velocidad de desplazamiento para evaluar el arrastre de las partículas en el sedimentador primario.
- e. Se calculó el área mínima se utilizando el caudal de diseño y la velocidad de sedimentación.
- f. De acuerdo con el tiempo de retención necesario, según parámetros establecidos en la literatura, para una remoción teórica de sólidos sedimentables del 80%, se aumentó el área del sedimentador primario
- g. Se utilizó la altura mínima para el tiempo de retención y porcentaje de remoción y se graficó el comportamiento de estos dos parámetros para obtener la ecuación de tendencia y de esta manera se encontró el porcentaje de remoción al tiempo de retención establecido.
- h. Se calculó el volumen de diseño utilizando el tiempo de retención y el caudal de diseño
- i. El área de sedimentación de diseño se obtuvo utilizando el volumen de diseño calculado y la altura mínima.
- j. El ancho del sedimentador primario se calculó fijando un largo según parámetros de diseño.
- k. Se utilizó para la inclinación del tanque, un valor recomendado por la literatura del 10% de la altura
- l. Con la inclinación se calculó el volumen real del tanque de sedimentación primaria, siguiendo el tiempo de retención real del mismo y la retención de sólidos sedimentables para tal tiempo.
- m. Se calculó el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos parcialmente sedimentables según el modelo dado en Metcalf & Eddy.
- n. Para dimensionar la pantalla difusora se utilizaron parámetros de diseño dados por la Organización Panamericana de la Salud, con lo cual se calculó cantidad y dimensionamiento de orificios.

- o. La salida del tanque por rebalse se calculó con un vertedero de Thomson de ángulo de  $90^\circ$  para un caudal de salida equivalente al de entrada, con las características anteriores y el teorema de Pitágoras, se dimensionó y se obtuvo la velocidad de salida de agua en el vertedero.
- p. Se realizó un balance de masa y energía en el sistema de sedimentación primaria utilizando la concentración máxima de sólidos sedimentables y suspendidos medidos por la empresa externa y los porcentajes de remoción calculados para el sistema. Se realizó el supuesto de que no habría sedimentación parcial de los sólidos en el tanque de captación de flujo para poder asumir el peor caso en el que saldría el agua del sedimentador.

## 7. Dimensionamiento de tubería

- a. Se calculó el flujo másico del agua en la salida de la trampa de grasas y el tanque de captación de flujo utilizando el caudal de diseño y densidad de agua residual a la temperatura de descarga actual de las aguas residuales de la empresa
- b. La velocidad para la trampa de grasas y el tanque de captación de flujo se calculó con el flujo másico y la densidad. La velocidad de salida para el sedimentador primario fue calculada en la sección anterior para la salida de agua del vertedero y para la velocidad de salida del sistema de rejillas se utilizó la velocidad de paso entre las barras.

## B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

### 1. Etapa preliminar de investigación

- a. Se realizó una investigación y revisión bibliográfica en libros, revistas, artículos científicos, trabajos de graduación y fuentes de internet para recoger información de los tratamientos secundario y terciario de tratamientos de agua residual.
- b. Se adquirió información acerca del tratamiento anaerobio y se investigó sobre los distintos tanques anaerobios que existían para elegir el más conveniente para la empresa.

- c. Se explicaron los antecedentes del trabajo para brindar una información adecuada e introducir al lector al proyecto.
  - d. Se determinaron los objetivos del proyecto para establecer un camino a seguir del procedimiento.
2. Análisis técnico del proceso que lleva actualmente la empresa de sacos
- a. Se realizó una visita industrial a la industria y se identificaron los puntos de toma de muestra de aguas.
  - b. Se validaron los análisis químicos realizados por la empresa externa en las aguas residuales.
  - c. Se llevó a cabo una exploración acerca del lugar para la posible construcción de la PTAR.
3. Esterilización de los frascos para la toma de muestra de aguas residuales
- a. Se lavó con agua y jabón los frascos de vidrio de 1 L para la toma de muestras.
  - b. Se preparó la autoclave a 90°C
  - c. Se ingresaron los frascos y tapaderas boca arriba.
  - d. Se cerró y se selló el equipo.
  - e. Cuando la temperatura se estabilizó a 90°C, se dejó esterilizando la muestra durante 20 minutos.
  - f. Al terminar el tiempo, se abrió la compuerta y se esperó 10 minutos para que los frascos y tapaderas se enfriaran.
  - g. Al terminar, se retiraron los frascos con un guante y se taparon con su tapadera, con precaución y rapidez para que no se volvieran a contaminar.
4. Toma de muestras
- a. Debido a que el propósito de las pruebas con enzimas era únicamente determinar su porcentaje de reducción de parámetros, se utilizó agua residual de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala.
  - b. Para verificar que el agua residual de la universidad fuera ordinaria, se midió previamente la relación DQO / DBO y se determinó que este valor estaba debajo de 2.5. Se midió la temperatura (24.4°C) y se comparó con el agua de la empresa productora de sacos (23.7°C), Con esto se prosiguió con la metodología debido a la similitud de ambas muestras.

- c. Se tomaron medidas previas para la toma de muestras. Se utilizó una mascarilla, guantes y bata para proteger la piel y evitar problemas a la salud.
  - d. Se sumergió una cubeta lavada en la fosa séptica y se tomó una muestra líquida.
  - e. Se trasladó el contenido de la cubeta a los frascos esterilizados.
  - f. Se limpiaron y sellaron los frascos.
    - o Se procuró que el análisis de estas muestras se realizara lo más pronto posible para evitar que las muestras se descompusieran.
    - o Si el análisis se realiza unas horas después, es necesario mantener la muestra fría.
    - o Se debe evitar que las muestras excedan 24h sin ser analizadas en el laboratorio.
5. Preparación de las soluciones con enzimas
- a. Se tomó 3 frascos con 1 L de muestra de agua residual cada uno.
  - b. Al frasco 1 se le agregó 0.01 g de BIOZYME 8000 (JUMASA).
  - c. Al frasco 2 se le agregó 0.01 g de ENZIPLUS (ALKEMY).
  - d. Ambos frascos se dejaron en una estufa con agitación moderada durante 1 hora.
  - e. El frasco 3 se dejó sin tratamiento enzimático.
6. Determinación de DQO en las muestras
- a. Se colocó 1 mL de muestra del agua tratada con BIOZYME con una pipeta volumétrica en un balón de 100 mL y se aforó a la marca.
  - b. Se colocó 1 mL de muestra del agua tratada con ENZIPLUS con una pipeta volumétrica en un balón de 100 mL y se aforó a la marca.
  - c. Se colocó 1 mL de muestra del agua sin tratar con una pipeta volumétrica en un balón de 100 mL y se aforó a la marca.
  - d. Con las soluciones ya preparadas se siguió el método *OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, Reactor Digestion Method; Colorimetric Determination, 0 to 150 mg/L COD* de la página 427 del manual del equipo. (HACH 2003). El método se realizó por triplicado.
  - e. Se realizó un análisis estadístico de las muestras y se calculó el porcentaje de reducción de DQO con y sin la aplicación de enzimas.

Cuadro 35. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de DQO

Cantidad	Cristalería / Equipo	Capacidad	Marca	Incertidumbre
3	Balón	100 mL	Kimax	± 0.01 mL
2	Pipeta volumetrica	1 mL	MC	± 0.01 mL
2	Beaker	100	Pyrex	± 5 mL
1	Bulbo	No aplica	No aplica	No aplica
1	Balanza analítica	No aplica	Boeco	± 0.0001 g
1	Medidor multiparámetro o HACH DRB 890	No aplica	Hach	± 0.1 ppm

Cuadro 36. Reactivos para la determinación de DQO

Cantidad	Elemento	Catálogo	Marca
0.01 g	Biozyme 8000	No aplica	Jumasa
0.01 g	Enziplus	No aplica	Alkemy
10 viales	COD Digestion Reagent	21258-25	Hach

#### 7. Determinación de Nitrógeno en las muestras

- a. Con las soluciones ya preparadas en el paso anterior se siguió el método *NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, TNT Persulfate Digestion Method* de la página 383 del manual del equipo. (HACH 2003). El método se realizó por triplicado.
- b. Se realizó un análisis estadístico de las muestras y se calculó el porcentaje de reducción de Nitrógeno con y sin la aplicación de enzimas.

Cuadro 37. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de Nitrógeno

Cantidad	Cristalería / Equipo	Capacidad	Marca	Incertidumbre
3	Balón	100 mL	Kimax	± 0.01 mL
2	Pipeta volumetrica	1 mL	MC	± 0.01 mL
2	Beaker	100	Pyrex	± 5 mL
1	Bulbo	No aplica	No aplica	No aplica
1	Balanza analítica	No aplica	Boeco	± 0.0001 g
1	Medidor multiparámetro HACH DRB 890	No aplica	Hach	± 0.1 ppm

Cuadro 38. Reactivos para la determinación de Nitrógeno

Cantidad	Reactivo	Catálogo	Marca
0.01 g	Biozyme 8000	No aplica	Jumasa
0.01 g	Enziplus	No aplica	Alkemy
10 viales	Nitrogen Hydroxide Reagent	26717-45	Hach
10 sobres	Persulfate Reagent	26718-45	Hach
10 sobres	Reagent A	26719-45	Hach
10 sobres	Reagent B	26720-45	Hach
10 viales	Reagent C	26721-45	Hach

## 8. Determinación de Fósforo en las muestras de agua residual

- a. Con las soluciones ya preparadas en el paso anterior se siguió el método *PHOSPHORUS, TOTAL (0.00 to 3.50 mg/L PO<sub>4</sub> 3-)* For water, wastewater and seawater; *PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion\** USEPA Accepted for reporting wastewater analysis\*\* Test 'N Tube Procedure de la página 529 del manual del equipo. (HACH 2003). El método se realizó por duplicado.
- b. Se realizó un análisis estadístico de las muestras y se calculó el porcentaje de reducción de Nitrógeno con y sin la aplicación de enzimas.

Cuadro 39. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de Fósforo

Cantidad	Cristalería / Equipo	Capacidad	Marca	Incertidumbre
3	Balón	100 mL	Kimax	± 0.01 mL
2	Pipeta volumetrica	5 mL	MC	± 0.01 mL
2	Beaker	100	Pyrex	± 5 mL
1	Bulbo	No aplica	No aplica	No aplica
1	Balanza analítica	No aplica	Boeco	± 0.0001 g
1	Medidor multiparámetro o HACH DRB 890	No aplica	Hach	± 0.1 ppm

Cuadro 40. Reactivos para la determinación de Fósforo

Cantidad	Reactivo	Catálogo	Marca
0.01 g	Biozyme 8000	No aplica	Jumasa
0.01 g	Enziplus	No aplica	Alkemy
7 viales	Nitrogen Acid Hydrolyzabl e Test	27426-45	Hach
7 sobres	Potassium Persulfate Powder	20847-66	Hach
20 mL	Solución 1.54N NaOH	27430-42	Hach
7 sobres	PhosVer 3 Phosphate Reagent	21060-46	Hach

## 9. Determinación de DBO<sub>5</sub> en las muestras de agua residual

- Se reservó el laboratorio de Microbiología
- Se colocaron 10 mL de la muestra tratada con BIOZYME en una botea de 300 mL de DBO<sub>5</sub> y se aforó con agua saturada con oxígeno y nutrientes requeridos para el crecimiento biológico. Este paso se repitió para la muestra con ENZIPLUS y el agua no tratada.
- Se midió la concentración de oxígeno con el medido multiparámetro HACH y se taparon las muestras.
- Cada una de las muestras se realizó en triplicado.
- Las muestras se incubaron durante 5 días
- Al terminar este tiempo, se volvió a medir el oxígeno de las muestras y se calculó el DBO<sub>5</sub>
- Se realizó un análisis estadístico de las muestras y se calculó el porcentaje de reducción de DBO<sub>5</sub> con y sin la aplicación de enzimas.

Cuadro 41. Cristalería y equipo utilizado para la determinación de DBO5

Cantidad	Cristalería / Equipo	Capacidad	Marca	Incertidumbre
3	Botella	300 mL	Hach	± 0.1 mL
2	Pipeta volumetrica	10 mL	MC	± 0.01 mL
1	Medidor multiparámetro HACH HQ 40 d	No aplica	Hach	± 0.01 ppm
1	Balanza analítica	No aplica	Boeco	± 0.0001 g

Cuadro 42. Reactivos para la determinación de DBO5

Cantidad	Elemento	Catálogo	Marca
0.01 g	Biozyme 8000	No aplica	Jumasa
0.01 g	Enziplus	No aplica	Alkemy

## 10. Dimensionamiento del reactor UASB

- Se tomó los resultados de la etapa de tratamiento primario del proyecto.
- Se determinó el volumen efectivo del reactor basado en los parámetros y la carga orgánica del agua residual. Cálculo Volumen efectivo del reactor en el anexo.
- Se determinó las dimensiones del reactor (área transversal, altura del líquido, diámetro y altura).
- Se determinó el tiempo de retención hidráulico.
- Se determinó el tiempo de retención de sólidos.
- Se estimó el DQO soluble del efluente.
- Se determinó la concentración de biomasa del reactor.
- Se determinó la producción de gas metano y su energía respectiva.
- Se realizó un balance de masa para calcular el flujo del efluente del reactor.

- j. El procedimiento para la realización de estos cálculos se encuentra en Cálculos de Muestra en la sección de anexos.

#### 11. Dimensionamiento del filtro percolador

- a. Se tomaron los resultados del reactor UASB.
- b. Se determinó el volumen efectivo del reactor basado en los parámetros y la carga orgánica del agua residual.
- c. Se determinaron las dimensiones del filtro (área transversal, diámetro interno y altura).
- d. Se determinó el tiempo de residencia.
- e. Se determinaron las reducciones de DBO, nitrógeno y fósforo en el filtro percolador.
- f. Se realizó un balance de energía para calcular el flujo del efluente del reactor.
- g. El procedimiento para la realización de estos cálculos se encuentra en Cálculos de Muestra en la sección de anexos.

#### 12. Cálculo de bomba centrífuga

- a. Se realizó un balance mecánico, mediante la ecuación de Bernoulli. Se seleccionó el punto de succión y el punto de descarga, en este caso el punto de succión está en la tubería de salida de agua del tanque de tratamiento terciario y la descarga en el tanque de tratamiento cuaternario.
- b. Se determinaron las pérdidas de fricción totales (Por superficie, por accesorios y por contracción)
- c. A partir del trabajo, se obtuvo la cabeza, la potencia y los caballos de fuerza de la bomba.

### C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

Cuadro 43. Reactivos utilizados en la experimentación.

Reactivo	Marca	Pureza
Hipoclorito de sodio	Clorox®	3.5 % (v/v)
Hipoclorito de calcio	AquaChlor	65 % (m/m)
Petrifilm™	3M	-

Cuadro 44. Equipo y cristalería utilizada en la experimentación

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
<b>Balanza analítica</b>	Boeco	BTA3A
<b>Incubadora</b>	Quincy Lab, Inc.	12-140E
<b>Estufa con agitación</b>	Thermo Scientific	SP88857100
<b>Beakers</b>	Pyrex	
<b>Probeta</b>	Pyrex	
<b>Pipeta</b>	Pyrex	

Para el desarrollo del presente módulo de megaproyecto se realizó lo siguiente:

Se debe aclarar, que para los análisis se utilizó el agua de pozo de la Universidad del Valle, a la cual se le hizo un análisis de coliformes fecales para conocer la concentración inicial de la misma, este análisis se encuentra en el anexo del análisis microbiólogo del agua de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala. Para poder utilizar el mismo modelo para el agua residual de la Universidad del Valle y de la empresa de sacos, se utilizó el Cuadro 22, donde indica que para cada rango de NMP/100mL se utiliza un rango de concentraciones de desinfectante, en este caso el agua residual de la Universidad del Valle y la empresa de sacos están dentro del mismo rango, por lo que se decidió utilizarla como referencia al agua de Sacos. Esto se hizo solamente en la experimentación, para ver el rendimiento porcentual de cada desinfectante, para los cálculos teóricos se utilizó la concentración de la empresa de sacos.

#### A. Estudio de la empresa

Se hizo 5 visitas a la planta de sacos. Las primeras dos se realizaron solamente para que se explicara el proceso de producción de la empresa. Las últimas tres se enfocaron más en las aguas residuales, por ejemplo, donde se encontraban las fosas sépticas, y posibles ubicaciones para la planta de aguas residuales. La empresa proporcionó los planos de la distribución de la planta, y los análisis de agua realizados por una empresa externa desde el 2017.

Con los planos y análisis de agua, se visualizó que contaban con tres fosas que requerían de tratamiento, ya que no cumplían con los parámetros implementados por la ley sobre Coliformes totales. También que solamente una de las fosas contaba con un tratamiento de enzimas, pero que esto no les reducía en grandes medidas los contaminantes.

Esto se realizó para conocer las necesidades de la empresa, para cumplir con los objetivos propuestos y diseñar el sistema cuaternario conforme a esto.

## B. Selección del desinfectante

Obtención de muestras de agua del pozo de la Universidad del Valle

Se esterilizaron 4 frascos de aproximadamente 250 mL en la autoclave.

En la toma de muestra no se tocó la boquilla del frasco, para no contaminar la muestra y utilizando guantes se recogió la muestra de la fosa y se cerró el frasco.

Esto se repitió tres veces, donde cada frasco se colocó en una hielera para asegurarse que se mantuviera a baja temperatura.

### 1. Determinación de volumen y peso de desinfectante a utilizar.

Para la experimentación se utilizaron los siguientes desinfectantes, con sus respectivas concentraciones:

Hipoclorito de sodio: cloro activo al 3.5% v/v

Hipoclorito de calcio: cloro activo al 65% m/m

Se realizaron pruebas a diferentes concentraciones de cloro, para saber la concentración adecuada para la desinfección, estas fueron las siguientes: 5 ppm, 6 ppm, 7 ppm y 8 ppm. La concentración que logre reducir los coliformes fecales al número establecido, va a ser la elegida.

## C. Experimentación

Se comparó la eficiencia de los reactivos, hipoclorito de sodio y de calcio. Esto se hizo por medio de conteo de unidades formadoras de colonias. Los pasos que se siguieron para medir esto es el siguiente:

- Se esterilizó 8 beakers de 250 mL de marca Pyrex en la autoclave.
- Se colocó 100 mL de las muestras de agua residual en cada uno de los recipientes.
- Se dividió 4 beakers para pruebas con hipoclorito de calcio y la otra mitad, para hipoclorito de sodio.
- A la primera mitad, se le agregó con una pipeta de 1mL el volumen ya descrito de solución de hipoclorito de sodio, con sus respectiva concentración. Para el primer beaker se le colocó la concentración de 5 ppm, al segundo la de 6 ppm, la del tercero la de 7 ppm y al último la de 8 ppm. Se hizo lo mismo para el hipoclorito de calcio.

- Para realizar las diluciones se siguió el procedimiento descrito en la pg , "Preparación de diluciones". Primero se colocó 1 mL de agua residual en el balón de 10 mL y luego se aforó con agua destilada.
- A cada solución se le colocó una pastilla de agitación, después se colocó en la estufa de agitación, se encendió y se dejó en contacto por 30 minutos. Realizar esto por pares de soluciones, colocar una solución en cada estufa.
- Se preparó la incubadora para colocar las muestras, este equipo se colocó a una temperatura de 35°C. Se coloca a esta temperatura, para que los coliformes fecales puedan crecer en ese medio de cultivo. La guía descrita en el Anexo G, pg indica las condiciones a las cual debe de estar.
- Se colocó 1 mL de cada muestra ya preparada en las placas Petrifilm™ EC 3M. Después se ingresaron las muestras en la incubadora. Se esperaron 48 horas para obtener resultados de grupos coliformes y *E.Coli* . En este paso se controló la temperatura de la incubadora cada 12 horas para asegurarse que se mantuviera a 35°C.
- Se hizo el conteo de las colonias existentes en las aguas, utilizando la guía que está descrito en el anexo 1.a.F, de Petrifilm™ EC 3M. Este procedimiento se encuentra en el Anexo A.
- Este mismo procedimiento se repitió para el hipoclorito de calcio. El tiempo de contacto se refiere al tiempo que se mantiene en la agitación. Esto se realiza para ver cuál es el tiempo recomendado para llegar al número deseado de *E.Coli* y Coliformes.
- Se determinó cuál de los dos desinfectantes es más efectivo, tomando en cuenta el que más disminuyó las colonias de *E.Coli* y Coliformes, en menor concentración y menores costos.

#### D. Matriz cualitativa para la selección del desinfectante adecuado en la empresa de sacos.

1. Se establecieron 5 criterios para la selección del desinfectante: Costo Alto, Toxicidad/Peligroso de operar, Complejidad del Sistema, Residuales y mantenimiento.
2. Cada criterio se comparó entre sí, a través de una matriz cualitativa pareada para darle ponderación a cada uno. Siendo 1 menos importante y 5 más importante sobre el otro criterio.
3. Se obtuvo la ponderación sumando todos los puntos obtenidos por cada criterio, y dividiendo la puntuación final de cada criterio sobre el total.

4. Para obtener la calificación de cada desinfectante, se determinaron las necesidades y prioridades de la empresa respecto a los criterios. Cada desinfectante tuvo una calificación del 1-5 respecto a cada criterio, 1 siendo el más bajo y 5 siendo el más alto. Cada calificación respecto a los criterios fue multiplicado por su ponderación, y así se obtuvo una calificación final para cada desinfectante.
5. El desinfectante con menor calificación era el que se elegía, en este caso fue el hipoclorito de sodio.

## E. Diseño del sistema de desinfección

1. Determinación del cloro activo disponible de la solución comercial de NaOCl después del tiempo de almacenamiento de 60 días.
  - a. Con el Cuadro 19 se encontró el cloro activo de la solución comercial. Tomando en cuenta que la solución comercial que se va a utilizar en la planta de tratamiento de aguas en este caso es de 5% v/v. A partir de la Figura 54, se determinó el cloro activo en la solución comercial con la concentración ya mencionada.
  - b. A partir del cloro activo disponible de la solución, se hizo una conversión de concentración de cloro a ión hipoclorito utilizando la ecuación 5.0
  - c. Se utilizó la ecuación 5.1 para conocer la concentración de cloro activo después de un tiempo determinado, en este caso es de 60 días, ya que ese tiempo es el de almacenamiento. Para obtener la constante K, y utilizarla en esta ecuación se interpoló el Cuadro 107, y se obtuvo la constante.
2. Concentración de la solución de NaOCl a 4.5% v/v a utilizar
  - a. A partir del Cuadro 22 y las condiciones a las cuales van a salir las aguas hacia el tanque de desinfección, se eligió el tipo de agua y sus rangos de ppm. En este caso se eligió "Efluente filtrado de lodos activados", ya que son aguas residuales que provienen del tratamiento terciario.
  - b. La concentración a utilizar, se determinó después de hacer la experimentación con las placas Petrifilm. Se obtuvo el rendimiento de cada concentración, midiendo los UFC del agua sin tratar y los del agua tratada, esto nos daba un rendimiento de reducción.

- c. A partir del caudal, concentración comercial, y características del desinfectante se obtuvo la demanda diaria de la solución de hipoclorito.
3. Volumen a utilizar en la experimentación para cada desinfectante, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

A partir del cálculo 4 descrito en la pg 314 se encontró con el volumen necesario para llegar a las concentraciones propuestas para la experimentación: 5 ppm, 6 ppm, 7 ppm y 8 ppm. Esto también se hizo para el hipoclorito de calcio, pero utilizando peso, ya que este viene en estado sólido.
4. Tanque de almacenamiento y bomba dosificadora
  - a. a. A partir del caudal de hipoclorito necesario para la desinfección y el tiempo de almacenamiento, en este caso 60 días, se calculó el volumen del tanque.
  - b. b. A partir del caudal del hipoclorito, se seleccionó una bomba dosificadora que lograra suplir la demanda.
5. Tanque homogeneizador
  - a. Se estimó un volumen adecuado para mantener el flujo constante, y la tubería en todo momento llena de agua, para evitar que la bomba cavite.
6. Tanque de contacto
  - a. A partir del caudal y el tiempo de contacto corregido se calculó el volumen efectivo del tanque.
  - b. Determinación de las dimensiones del tanque de contacto, tomando en cuenta la relación de  $H/D=2$ .
7. Tubería
  - a. Elegir un diámetro de tubería, basándose en la velocidad teórica del fluido, que en este caso por la densidad parecida al agua, va a ser de 1 m/s.
  - b. Determinación de la velocidad del fluido, a partir del área transversal dada por la Ilustración 8.
  - c. A partir de esa velocidad, se volvió a obtener el diámetro y se comparaba con el diámetro elegido al principio, para ver si se volvía a iterar. Se iteraba, hasta que el diámetro elegido al principio fuera parecido al que se obtenía al final.

8. Bomba centrífuga

- a. Se realizó un balance mecánico, mediante la ecuación de Bernoulli. Se seleccionó el punto de succión y el punto de descarga, en este caso el punto de succión está en la tubería de salida de agua del tanque de tratamiento terciario y la descarga en el tanque de tratamiento cuaternario.
- b. Se determinaron las pérdidas de fricción totales (Por superficie, por accesorios y por contracción)
- c. A partir del trabajo, se obtuvo la cabeza, la potencia y los caballos de fuerza de la bomba.

9. . Manual de operación y mantenimiento

- a. Al terminar de hacer el diseño del sistema de aguas residuales cuaternario, se realizó un manual donde se explica que cuidados debe tener el operario con el sistema de tratamiento cuaternario para asegurar un buen funcionamiento de la misma.
- b. Se listaron los aspectos de operación del sistema, para que los operarios conozcan cada uno de los equipos, su funcionamiento y su operación.

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

Cuadro 45. Datos de equipo utilizado para realizar pruebas experimentales

Equipo	Marca	Modelo	Rango	Incertidumbre
Balanza de humedad	OHAUS	MB 120	0 – 100%	( $\pm 0.005$ )
Balanza analítica	BOECO Germany	BBA31	0 – 220 g	( $\pm 0.0001$ )

A. Determinación de humedad

1. Se visitó la empresa para tomar una muestra de lodos.
2. Para el siguiente procedimiento se utilizaron guantes, lentes y mascarilla.

3. Se sumergió un recipiente esterilizado de 100 mL, en la fosa séptica hasta ser llenado.
4. Se cerró el frasco y se introdujo en una bolsa de plástico.
5. Se guardó la muestra en un contenedor con hielo para poder ser transportada.
6. Se realizaron las pruebas durante las 24 horas posteriores a la toma de muestra
7. Se tomó una pequeña cantidad de lodo (1 g aproximadamente)
8. La muestra se vertió en papel aluminio y se colocó en la bandeja del equipo.
9. Se utilizó la balanza de humedad OHAUS MB 120 con las especificaciones mostradas en el Cuadro 43.
10. Se ajustó la temperatura del equipo a 100 °C para lograr retirar el agua de la muestra.
11. Se esperó a que la balanza de humedad realizara el procedimiento y mostrara el valor.
12. Se anotó el valor obtenido.
13. Este procedimiento se realizó en triplicado.

#### B. Determinación de la densidad de los lodos primarios

1. Se realizó el mismo procedimiento para obtener la muestra de lodo que en la determinación de la humedad.
2. Con la ayuda de un recipiente desechable se vertió una pequeña cantidad en una bolsa de plástico.
3. Se expulsó el aire contenido en la bolsa y está se amarró tratando de evitar cualquier entrada de aire o salida del lodo.
4. Se utilizó una balanza con especificaciones en el Cuadro 43 para pesar la bolsa que contenía el lodo.
5. Se utilizó un beaker de 250 mL y una probeta de 200 mL.
6. Con la probeta, se midieron 100 mL de agua, esta se agregó al beaker.
7. Se colocó la bolsa con lodo dentro del beaker y se marcó hasta donde llegó el volumen de agua.
8. Se retiró la bolsa con lodo del beaker y el agua.
9. El beaker se llenó con agua hasta la marca realizada en el paso 7.
10. El agua del beaker se trasladó a una probeta, y se anotó el volumen obtenido.

### C. Cálculo de cantidad de cal necesaria para lograr la estabilización

1. Tomando en cuenta el porcentaje de humedad en la muestra, se determinó la masa sólidos secos en los lodos. Esto se hizo restándole al 100%, el porcentaje de humedad y multiplicando este valor por el caudal
2. De acuerdo a la tabla 14-25 del libro “Wastewater engineering treatment and reuse (Mettaf-Eddy)”, se calculó la dosis requerida de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  por Kg de sólidos secos, en el caudal de lodos.
3. Se multiplicó la dosis de cal obtenida en la tabla 14-25, por los kg de sólidos secos.
4. Se tomó en cuenta la pureza de la cal a utilizar, esta se multiplicó por el valor obtenido en el paso anterior.
5. Al añadir la cal, se debe de medir el pH de la muestra. Este debe de permanecer en un valor de 12, por 2 horas para asegurar la destrucción de los microorganismos.

### D. Dimensionamiento de digestor de lodos

1. Se determinó, con un balance de masa el flujo volumétrico de lodos provenientes del sedimentador primario y el digestor del tratamiento secundario.
2. Se determinó el tiempo de retención de sólidos en días, dependiendo de la temperatura de operación del reactor, en este caso se eligió un reactor mesofílico que opera a  $35^\circ\text{C}$ . Se utilizó la tabla 14-26 (Metcalf & Eddy 2003).
3. Se calculó el volumen del digestor anaerobio, multiplicando el flujo por el tiempo de retención.
4. Se obtuvo el diámetro y alto del digestor, usando el volumen de un cilindro y una relación de altura-diámetro de 0.7 (WEF & ASCE, 1991).
5. Se determinó la inclinación del fondo cónico del digestor, el cual debe tener una relación 1:6 (1 vertical, 6 horizontal).
6. Se determinó la masa de los sólidos biológicos  $P_x$  utilizando la ecuación 1
7. Se calculó la carga del agua residual, multiplicando el caudal por el DQO obtenido en los análisis realizados al agua residual de la empresa.
8. Se calculó el % de estabilización, utilizando la ecuación 4.

#### E. Cálculo de energía producida por gas metano en el digestor anaerobio

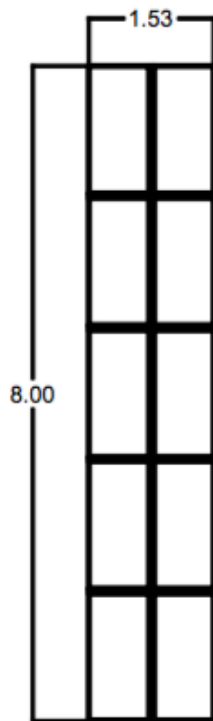
1. Se determinó la masa de los sólidos biológicos utilizando la ecuación 1, con datos obtenidos en la caracterización del agua residual.
2. Se calculó el volumen de metano producido utilizando la masa de los sólidos biológicos, el caudal y el DQO. (Ecuación 5)
3. Se calculó el gas total producido en el digestor, estableciendo un porcentaje de 65% de metano y 35% de otros gases.
4. Se buscó el valor del poder calórico del gas metano en el libro Metcalf & Eddy 2003.
5. Se determinó la energía producida por el gas metano del digestor multiplicando el volumen del gas por el poder calórico.

#### F. Dimensionamiento de patio de secado de lodos

1. Se determinó los días de secado, de acuerdo a condiciones climáticas del lugar. En condiciones ideales es de 10 a 15 días (Metcalf & Eddy, 2003).
2. Se determinó el número de divisiones en el patio, se establecieron 10 para que el lodo permaneciera un día en cada cavidad y se pueda realizar un proceso continuo.
3. Se calculó el flujo volumétrico de lodos a tratar en el patio, proveniente del digestor anaerobio, esto se realiza con un balance de masa.
4. Se determinó el espesor ideal de los lodos en el patio, este debe estar entre 0.2-0.3m (Metcalf & Eddy, 2003).
5. Se calculó el área individual del patio, utilizando el espesor, el tiempo de retención y el caudal de lodos proveniente del digestor anaerobio.
6. Se determinó el área total del patio de secado multiplicando las divisiones con el área individual.
7. Se calculó cantidad de agua evaporada, según la radiación solar, horas de sol en Guatemala y con la entalpía de vaporización del agua.
8. Se determinó la cantidad de lodo deshidratado, mediante un balance de masa, estableciendo un 60% de humedad final en los lodos al salir del patio.
9. Realizar un balance de masa, para determinar la cantidad de lodos producidos tomando en cuenta humedad inicial, final y agua evaporada.
10. Se revisó la literatura: Metcalf & Eddy, 2003. Se recomienda una relación 1 ancho: 2 largo para los patios individuales.

11. Según lo recomendado, se realizó el cálculo del ancho y largo para obtener el área individual de cada patio de secado.
12. Se estableció la posición de los 10 patios individuales
13. Se dejó un espacio de 0.05m entre cada patio individual, para la construcción de la pared.
14. Con las dimensiones calculadas en los pasos anteriores y tomando en cuenta, el espaciamiento entre patios individuales se realizó un diagrama de las dimensiones del patio de secado total, para poder determinar las medidas totales.

Figura 32. Diagrama de patio de secado total para obtener dimensiones.



15. Luego de tener la figura del patio de secado total, se determinaron sus dimensiones utilizando la opción de “cotas” en autocad.
16. Se determinó el volumen del patio de secado usando las dimensiones ya establecidas y el alto del patio, el cual se recomienda que sea de 0.9 m (Metcalf & Eddy, 2003).
17. Utilizando un espesor de 0.2m de cada material utilizado como lecho filtrante y con el área del patio de secado total, se determinó el volumen de grava y arena necesaria para el patio. Esta se debe de remplazar al saturarse de lixiviados.

18. Agregar una construcción que proteja el patio de las lluvias, por ejemplo, una pérgola.

#### G. Cálculo de bombas y tuberías para el transporte de lodos.

1. Se realizó un esquema de la distribución de la planta para determinar distancias aproximadas de tuberías y cantidad, tipo de accesorios requeridos para el proceso.
2. Se determinó entre que equipos se realizará el transporte.
3. Se realizó un balance de masa para conocer el flujo volumétrico en entradas y salidas de cada equipo.
4. Se fijó el tiempo de bombeo de un equipo a otro.
5. Se fijó el diámetro interno de tubería a utilizar en el proceso.
6. Se calculó la velocidad lineal para el diámetro de tubería elegido y se determinó si estaba dentro de los límites establecidos por reglas gruesas.
7. Se calculó el número de Reynolds.
8. Se cuantificaron válvulas y accesorios.
9. Se eligieron los factores Kf para las válvulas y accesorios.
10. Se calcularon pérdidas por fricción, válvulas y accesorios
11. Se aplicó la ecuación de Bernoulli para determinar la potencia de la bomba.

#### E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos

Por medio de la capacitación laboral se logra generar cambios planificados que persiguen el objetivo de que las empresas se mantengan actualizadas. Estos cambios se originan por medio de la adquisición de aprendizajes. Los aprendizajes que se promuevan a través de la capacitación estarán relacionados con los objetivos organizacionales, basándose en las necesidades de la empresa. Como propósito del presente estudio surge la interrogante a la que se pretende dar respuesta:

##### A. Pregunta de investigación

- La investigación busca responder a la siguiente pregunta: ¿La capacitación en los colaboradores brinda un desarrollo de conocimientos sobre el uso apropiado del agua?

## B. Hipótesis

- H1: Los sujetos que se exponen a un programa de capacitación desarrollan conocimientos y el rendimiento del trabajo gracias al aumento de habilidades y utilidades.
- H2: Al contar con un programa de capacitación sobre el uso apropiado del agua se evidenciará el mejoramiento de sistemas y procedimientos dentro de la empresa.
- H3: Existe significancia entre la pretest y posttest, evidenciando mejoras en cuanto a conocimientos.

## C. Diseño de investigación

El tipo de investigación del presente trabajo según los datos empleados es de un enfoque de tipo mixto, este representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implica la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión con el fin de obtener un producto de toda la información recabada y de esta forma lograr un mejor entendimiento del fenómeno bajo estudio. Según el momento de estudio, es de tipo transversal o transeccional, ya que se recabaron datos en un único momento para estudiar su relación en ese momento específico. Se realizó un análisis descriptivo y diferencial con el propósito de probar las hipótesis planteadas.

## D. Variables

Esta sección presenta las variables independientes (Cuadro 44) y dependientes (Cuadro 45) del estudio.

Cuadro 46. Variables independientes y sociodemográficas de estudio.

<b>VARIABLE</b>	<b>CONCEPTUAL</b>	<b>OPERATIVA</b>
Sexo	Condición orgánica que denomina el género masculino y femenino.	0=masclino, 1=femenino
Edad	Tiempo transcurrido de vida de una persona, que marca una etapa del ciclo vital.	Valor numérico
Preparación académica	Requerimientos que no llevan implícito ningún rasgo de personalidad o carácter, sino que se adquieren mediante la preparación académica o la experiencia (Hofstadt y Gómez, 2006: 22).	Valor numérico
Capacitación laboral	Se refiere al proceso para enseñar a los empleados de una empresa las habilidades básicas necesarias para desempeñar su trabajo calidad (Dessler, 2000: 27).	Horas y temas a abordar.

*Nota: definición y establecimiento operativo de las variables independientes y sociodemográficas.*

Cuadro 47. Variables dependientes de estudio.

<b>VARIABLE</b>	<b>CONCEPTUAL</b>	<b>OPERATIVA</b>
Educación ambiental	La educación ambiental relaciona a la persona con su ambiente, con su entorno y busca un cambio de actitud, una toma de conciencia sobre la importancia de conservar recursos para el futuro que permitan mantener una adecuada calidad de vida.	Capacitación laboral, pretest.

*Nota: definición y establecimiento operativo de la variable dependiente.*

## E. Población, muestra y unidad de análisis

1. Población: Colaboradores de la planta de producción,  $\pm$  700 colaboradores.
2. Muestra: Muestreo no probabilístico por conveniencia N=40 colaboradores elegidos por el gerente de producción, ya que no fue posible trabajar con la propuesta se hizo.  
Muestreo requerido: Un empleado de cada departamentos, desde gerentes hasta personal de limpieza, para obtener una muestra significativa en la implementación de la capacitación y obtención de resultados.
3. Unidades de análisis: Áreas donde se encontró alto consumo de agua y las áreas donde se observó prácticas incorrectas en el uso de las instalaciones de agua.

Los resultados del cuestionario sociodemográfico revelaron la siguiente distribución: Hubo un total de 1 mujer (2%) y 39 hombres (98%); los entrevistados más jóvenes tenían un rango de edad de 18-25 años, 9 entrevistados (22%), de un rango de 26 y 35, 15 entrevistados (38%) , de 36 a 50 años, 11 entrevistados (28%) , de 51 en adelante, 5 entrevistados (12%), la mayoría tiene nivel educativo de secundaria 88% (35 participantes) .

## F. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado para medir las creencias y conocimientos de los colaboradores sobre el uso de agua fue basado en un método no paramétrico, que se basan en especificar una forma de distribución de la variable aleatoria y de los estadísticos derivados de los datos. Este análisis se puede dividir en varias fases, se realizó un análisis cuantitativo de los resultados de un diagnóstico de necesidades para conocer las creencias generales de la muestra. Posteriormente, se trabajó con los resultados del pretest de forma cualitativa, dividiendo en una escala de rango para comprobar cada una de las respuestas respecto a nuevos aprendizajes sobre el uso del agua. Con todo la base de datos se aplicó la prueba del signo que se utiliza para probar la hipótesis sobre la mediana de una distribución continua.

## G. Técnicas e instrumentos

La recolección de datos se realizó utilizando los siguientes instrumentos:

4. *Observación directa*, de acuerdo con Cuadros (2009), la observación participante es una estrategia de investigación cualitativa que permite obtener información y realizar una investigación en el contexto natural. La persona que observa se involucra y “vive” las experiencias en el contexto y en el ambiente cotidiano de los sujetos, de modo que recoge

los datos en tiempo real. En este tipo de observación, el acceso a la situación objeto de ser observada es un factor clave para la interacción y la comunicación con el contexto. Se aplicó un formato de observación, en donde se evidenció la distribución de la planta, personal y maquinaria. La misma dio inicio con la visita a la planta de fabricación de sacos de polietileno y polipropileno, la visita fue autorizada por el jefe de operaciones. Esto permitió identificar conceptos, procesos y problemáticas.

5. *Entrevista a gerente de recursos humanos*, con el objetivo de conocer los procesos de capacitación existentes se realizó una entrevista semiestructurada, la cual contenía una serie de preguntas preparadas con anterioridad, conformada por 6 preguntas abiertas-estructuradas, con un lenguaje accesible con el propósito de comunicar de forma sencilla las preguntas.
6. *Diagnóstico de necesidades*, se indagó sobre las necesidades y demandas educacionales de los colaboradores con la técnica de la entrevista para explorar opiniones, conocimientos previos, interés, observación de percepciones, por medio de una encuesta cualitativa, respondiendo SÍ o NO.
7. *Capacitación*, Su objetivo fue concientizar sobre el uso correcto del agua para mejorar las prácticas actuales dentro de la empresa. (planificación completa en anexos)
  - a. Organización
    - El grupo se dividió en subgrupos de 5 personas.
    - Se les explica la metodología de centros de aprendizaje, indicándoles que cada 15 minutos deben de rotar de estación.
  - b. Contenidos y desarrollo
    - Centro 1: Introducción al tema de agua.
    - Centro 2: Uso del agua, consejos mitos y creencias del manejo.
    - Centro 3: Artículos y acuerdo gubernativo a cumplir en la empresa, introducción por medio de estudio de casos.
    - Centro 4: Planta de tratamiento de agua, conceptos básicos.

## H. Validación

Como parte del proceso de validación se contó con el apoyo de una experta, licenciada Claudia Castañeda, catedrática del Departamento de Psicología de la universidad. Se validó la planificación

y proceso del manual de capacitación que se entregó en el departamento de recursos humanos de la empresa donde se ejecutó la capacitación.

## I. Procedimiento

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante tres semestres, por medio de los siguientes pasos:

La primera fase, realizada durante el primer semestre, consistió en una indagación sobre el tema de investigación y estudios relacionados a este. Esto con el fin de obtener una base para diseñar los instrumentos y seleccionar la metodología para el programa de capacitación.

La segunda fase, llevada a cabo durante el segundo semestre, fue la selección de la muestra, y el diseño y aplicación de los instrumentos. El proceso constó de cuatro partes: En primer lugar, se realizó una observación directa para conocer los procesos de la planta. Seguido de esto, se realizó una entrevista a la Gerente de Recursos Humanos donde se indagó sobre el procesos de capacitación que tienen actualmente la empresa. Seguido esto, se realizó un diagnóstico de necesidades en donde los sujetos contestaron 4 preguntas a cerca sobre el uso del agua para explorar los conocimientos y creencias previos y debían contestar un cuestionario sociodemográfico, con su información personal, con base a los resultados obtenidos del DNC se diseño un programa de capacitación y se llevó a cabo el mismo, con una muestra de 40 personas. Luego, se aplicó una prueba posttest para conocer si realmente la capacitación tuvo impacto en las creencias y aprendizajes de los colaboradores.

La tercera fase, fue realizada durante el tercer semestre y consistió en el análisis de resultados. En esta fase, se realizó un análisis estadístico no paramétrico utilizando la prueba del signo para probar la hipótesis sobre la mediana que relevar así hubo diferencias significativas entre los resultados del pre y post test.

## J. Consideración ética

Como parte de las consideraciones éticas, se aclaró que la información recabada sería utilizada para los fines del proyecto. En ningún momento se les pidió a los participantes su nombre o información que permitieran que fueran identificados, se realizó un consentimiento informado.

## K. Alcances

Esta investigación fue de tipo exploratorio, no tiene como objetivo conocer las creencias en sí, sino determinar los aprendizajes nuevos brindados por la capacitación, si realmente tuvo impacto en los colaboradores, con el fin de contribuir con la propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para una empresa productora de sacos y facilitar el proceso de capacitación.

## L. Limitaciones

- Las observaciones del proceso de diagnóstico de necesidades fueron por periodos cortos, no se pudo visualizar toda la fábrica.
- La población a capacitar fue de cuarenta personas de setecientos empleados, por lo que la muestra fue muy limitada.
- El tiempo para capacitar fue muy escaso y se necesitó reacomodar la planificación a una sola sesión.

## M. Asesor del trabajo de graduación

El asesor de este proyecto fue Ph.D. Pablo Eduardo Barrientos, catedrático de la Facultad de Psicología de la Universidad del Valle de Guatemala.

## VII. RESULTADOS

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos.

Cuadro 48. Valor máximo de agua residual de la empresa de las 5 áreas de descarga denominadas como: laminadora 3, pozo de absorción, fosa séptica, chillers y extrusión.

Parámetro	Valor máximo de descarga en la empresa	Parámetros permitidos por el acuerdo gubernativo 236-2006				Dictamen
		Etapa 1 2011	Etapa 2 2015	Etapa 3 2020	Etapa 4 2024	
Color (u Pt-Co)	850	1300	1000	750	500	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (ppm)	1763	1500	750	450	200	No cumple
Fósforo Total (ppm)	2645	75	40	20	10	No cumple
Grasas y Aceites (ppm)	81	200	100	60	60	No cumple
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple
Nitrógeno Total (ppm)	196	180	150	80	40	No cumple
pH	9.07	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	Cumple
Sólidos Suspendedos (ppm)	648	1500	700	400	200	No cumple
Sólidos sedimentables (ppm)	15	-	-	-	-	
Temperatura (°C)	23.7	<40	<40	<40	<40	Cumple
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	5.40x10 <sup>7</sup>	<1x10 <sup>5</sup>	<1x10 <sup>5</sup>	<1x10 <sup>4</sup>	<1x10 <sup>4</sup>	No cumple
Arsénico (ppm)	5.2x10 <sup>-3</sup>	0.5	0.1	0.1	0.1	Cumple
Cadmio (ppm)	<0.01	0.4	0.1	0.1	0.1	Cumple
Cianuro (ppm)	<0.01	3	1	1	1	Cumple
Cobre (ppm)	0.149	4	3	3	3	Cumple
Cromo hexavalente (ppm)	0.03	0.5	0.1	0.1	0.1	Cumple
Mercurio (ppm)	<8.5x10 <sup>-4</sup>	0.1	0.02	0.02	0.01	Cumple
Níquel (ppm)	0.17	4	2	2	2	Cumple
Plomo (ppm)	0.075	1	0.4	0.4	0.4	Cumple
Zinc (ppm)	0.641	10	10	10	10	Cumple

La información sobre los parámetros según las etapas se obtuvo del acuerdo gubernativo 236-2006 (MARN, 2006). Los parámetros medidos en las diferentes áreas, lo realizó una empresa externa, la metodología y detalles de esta se encuentra en la sección de anexos.

Cuadro 49. Proyección de caudal de agua potable y residual proyectada para el 2030 utilizando un factor de conversión del 14% de agua potable a residual

<b>Tipo de caudal</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
Potable máxima	6178.35	2.34x10 <sup>-3</sup>
Residual máxima	864.97	3.34 x10 <sup>-4</sup>
Residual promedio	293.15	1.13 x10 <sup>-4</sup>
Residual mínima	178.38	6.88 x10 <sup>-5</sup>

El factor de conversión se obtuvo de la relación de consumo de agua potable promedio y el caudal promedio de agua residual del 2018 especificada en la sección de cálculos de muestra. Los caudales promedio y mínimo se obtuvieron a partir del aforo de aguas residuales realizado por la empresa externa en el 2018 (referirse a la sección de datos originales) con una proyección para el 2030.

Cuadro 50. Especificaciones del sistema de rejillas para el tratamiento preliminar

Parámetro de diseño	Resultado	
Dimensiones las barras de las rejillas		<p>Entrada de agua de los puntos de descarga de agua residual</p> <p>0.801m</p> <p>0.010m 0.038m</p> <p>0.027m</p> <p>Salida de agua hacia trampa de grasas</p>
Longitud (m)	1.133	
Ancho (m)	0.0001	
Profundidad (m)	0.0315	
Espaciado entre barras (m)	0.0375	
Ángulo de inclinación	45°	
Número de barras por rejilla	8	
Dimensionamiento del canal		
Altura (m)	0.80	
Ancho (m)	0.40	
Largo (m)	0.80	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.26	
Material de construcción del canal	Concreto	
Espesor de la pared del canal (m)	0.01	
Especificaciones de tubería		
Material	PVC	
Diámetro (m)	0.027 (1 in)	
Velocidad de paso (m/s)	0.6	

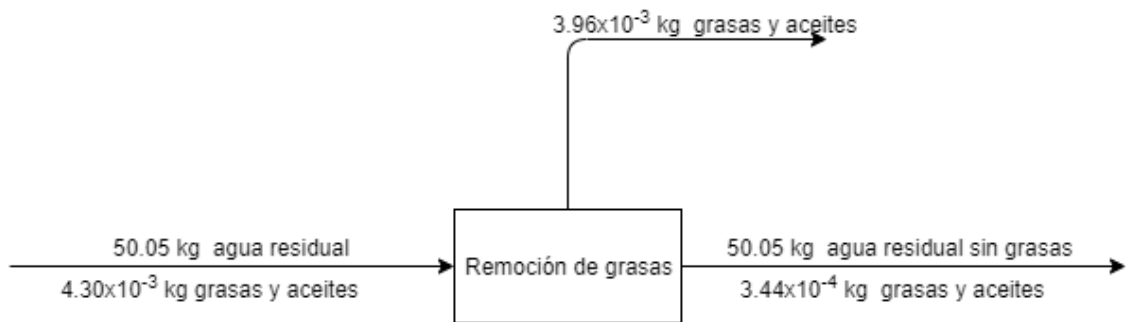
Las características de las rejillas se obtuvieron a partir de reglas gruesas establecidas en Metcalf & Eddy. Se diseñaron para una pérdida de carga de 0.031 m para rejillas limpias y 0.235 m para rejillas con 50% de taponamiento. La entrada de agua proviene del sistema de tuberías que une los 5 puntos de descarga, y la salida de agua se dirige hacia la trampa de grasas.

Cuadro 51. Especificaciones de la trampa de grasas para el tratamiento preliminar

Parámetro de diseño	Resultado	
Dimensiones de la trampa de grasas		
Altura (m)	0.66	
Ancho (m)	0.22	
Largo (m)	0.39	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.055	
Material de construcción de la trampa de grasas	Acero inoxidable	
Especificaciones de tubería		
Material	PVC	
Diámetro (m)	0.051 (2 in)	
Velocidad de paso (m/s)	0.895	
Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	0.013	
Eficiencia de retención (% v/v)	92	

Las características de la trampa de grasas se definieron según las reglas gruesas establecidas en la norma DIN 4041 para un porcentaje de eficiencia de 92%. La entrada de agua proviene del sistema de cribado y la salida esta se dirige hacia el tanque de captación de flujo.

Figura 33. Balance de masa de la trampa de grasas con retención del 92% de grasas y aceites



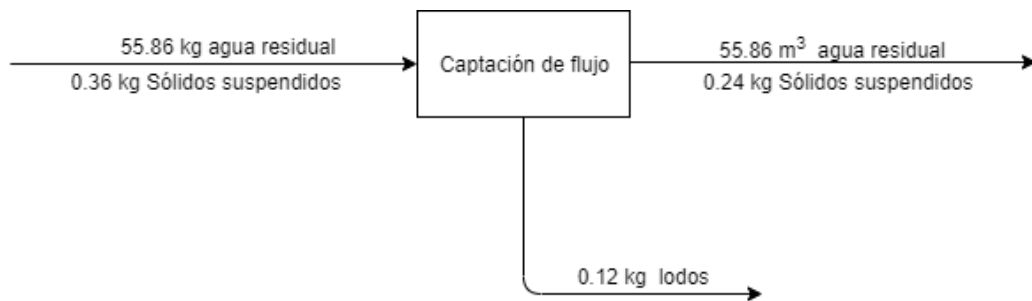
El balance de masa se realizó para un tiempo de retención de 150 segundos como base de cálculo.

Cuadro 52. Especificaciones del tanque de captación de flujo

Parámetro de diseño	Resultado	
Dimensiones del tanque de captación de flujo		
Altura (m)	H1: 1.36 H2: 0.14 (Pendiente del 10%)	
Ancho (m)	2.73	
Largo (m)	1.36	
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	5.59	
Material de construcción del tanque	Concreto	
Espesor de la pared del tanque (m)	0.01	
Especificaciones de tubería		
Material	PVC	
Diámetro (m)	0.022 (1 pulgada)	
Velocidad de paso (m/s)	0.865	
Especificaciones de válvula		
Diámetro de entrada (m)	0.022 (1 pulgada)	
Tipo	Proporcional automática	

Para el diseño del tanque se utilizaron los valores del aforo de agua residual del 2017 al 2018, realizado por la empresa externa encontrados en la sección de datos originales, los cuales fueron proyectados para el caudal de agua del 2030 utilizando una tasa de crecimiento anual de 3.29%. La entrada de agua proviene de la trampa de grasas y la salida de la misma se dirige hacia el sedimentador primario.

Figura 34. Balance de masa del tanque de captación de flujo



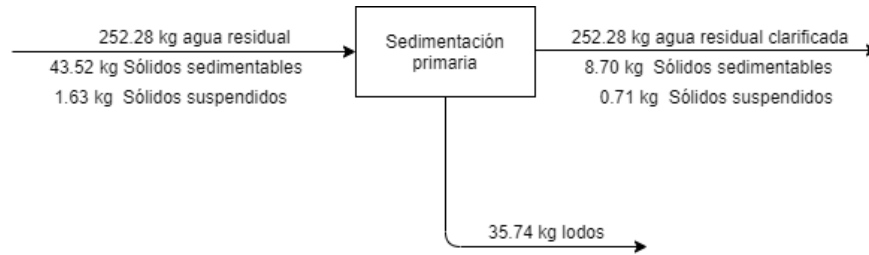
Se realizó un balance de masa de la sedimentación parcial en el sistema para determinar la contribución de lodos que este equipo tendría con una base de cálculo de 1674 s. Para el sedimentador primario se tomó el supuesto de que no habría sedimentación parcial en el tanque de captación de flujo para asumir el peor caso.

Cuadro 53. Especificaciones del tanque sedimentador primario rectangular del tratamiento primario

Parámetro de diseño	Resultado	
Dimensiones del sedimentador		
Altura (m)	H1: 0.60 H2: 0.66 (Pendiente del 10%)	
Ancho (m)	1.33	
Largo (m)	3.00	
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	2.52	
Tiempo de retención (s)	7200	
Eficiencia de retención (%)	80	
Material de construcción del tanque	Concreto	
Espesor de la pared del tanque (m)	0.01	
Especificaciones de tubería		
Material	PVC	
Diámetro (m)	0.05 (2 pulgadas)	
Velocidad de paso (m/s)	0.17	
Especificaciones del vertedero de salida		
Altura del vertedero (m)	0.035	
Ancho del vertedero (m)	0.113	
Área del vertedero (m <sup>2</sup> )	1.96x10 <sup>-3</sup>	
Flujo de salida (m <sup>3</sup> /s)	3.34x10 <sup>-4</sup>	
Eficiencia de retención		
Sólidos sedimentables (% v/v)	80	
Sólidos suspendidos (% v/v)	56	

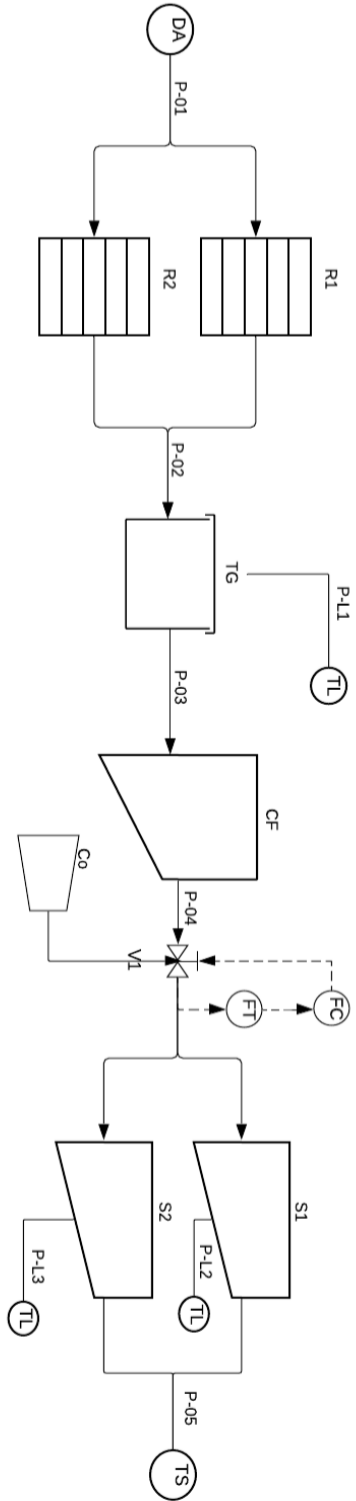
El sedimentador primario se diseñó según reglas gruesas establecidas en la literatura para agua residual ordinaria. Se utilizó el modelo de Stokes para el diseño del sedimentador para un tiempo de retención de 2.1 horas. La entrada de agua proviene del tanque de captación de flujo y la salida del agua se dirige hacia el sistema de tratamiento secundario.

Figura 35. Balance de masa del sedimentador primario con retención del 80% de sólidos sedimentables y 56.91% de sólidos suspendidos



El balance de masa del proceso de sedimentación primaria se realizó utilizando una base de cálculo de 7560s el cual es el tiempo de retención de equipo. Se tomó como supuesto que no habría sedimentación parcial en el tanque de captación de flujo a manera que se asumiera el peor caso y que hubiera mayor carga en el equipo.

Figura 36. Esquema del sistema de tratamiento preliminar y prima

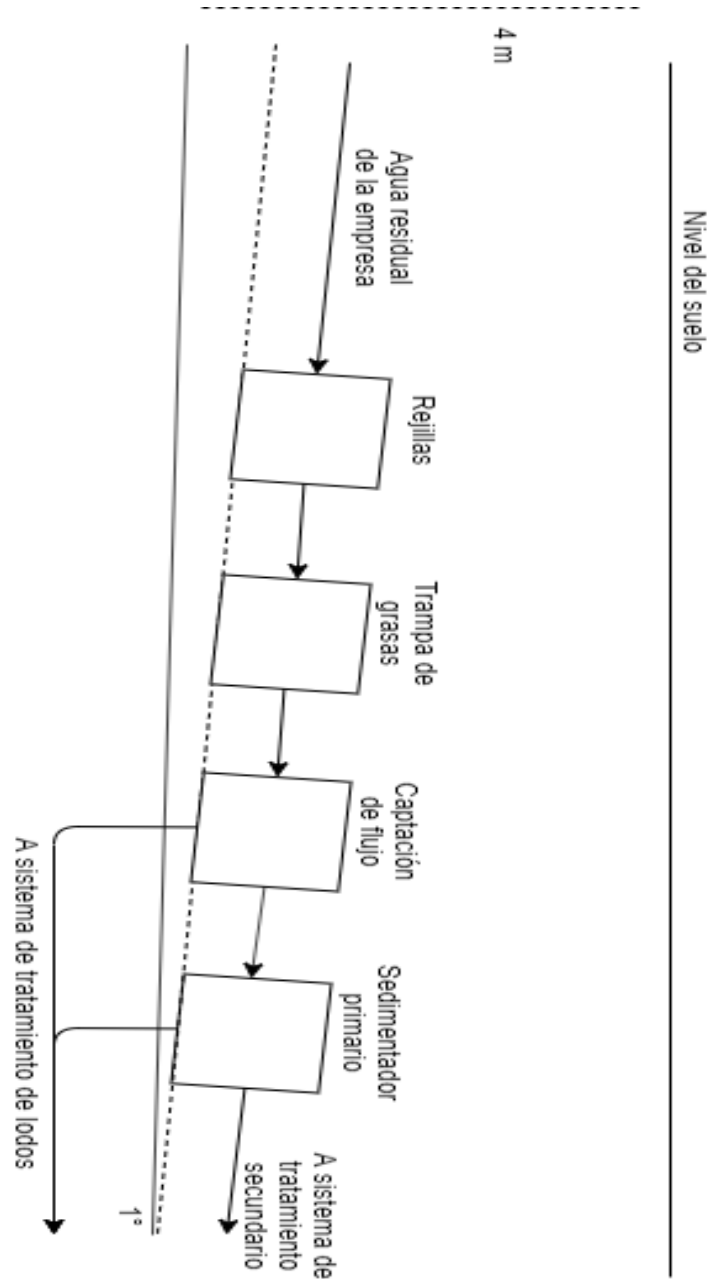


Condiciones de operación PTAR:  
1 atm  
25°C

Equipos	P-01	P-03	P-05
R1: Sistema de rejillas 1 R2: Sistema de rejillas 2 TG: Trampa de grasas CF: Tanque de captación de flujo V1: Válvula de compuerta automática S1: Sedimentador primario 1 S2: Sedimentador primario 2	0.000334 m <sup>3</sup> /s agua residual 0.086kg/m <sup>3</sup> grasas y aceites 17.25 kg/m <sup>3</sup> sólidos sedimentables 0.648 kg/m <sup>3</sup> sólidos suspendidos	0.000334 m <sup>3</sup> /s agua residual 0.007kg/m <sup>3</sup> grasas y aceites 17.25 kg/m <sup>3</sup> sólidos sedimentables 0.648 kg/m <sup>3</sup> sólidos suspendidos	0.000334 m <sup>3</sup> /s agua residual 0.007kg/m <sup>3</sup> grasas y aceites 3.45 kg/m <sup>3</sup> sólidos sedimentables 0.282 kg/m <sup>3</sup> sólidos suspendidos
Entradas Y salidas	P-02	P-04	P-L
DA: Descarga de agua residual TS: Tratamiento secundario TL: Tratamiento de lodos	0.000334 m <sup>3</sup> /s agua residual 0.086kg/m <sup>3</sup> grasas y aceites 17.25 kg/m <sup>3</sup> sólidos sedimentables 0.648 kg/m <sup>3</sup> sólidos suspendidos	0.000334 m <sup>3</sup> /s agua residual 0.007kg/m <sup>3</sup> grasas y aceites 17.25 kg/m <sup>3</sup> sólidos sedimentables 0.648 kg/m <sup>3</sup> sólidos suspendidos	P-L1: 2.49x10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s P-L2: 4.00x10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s P-L3: 4.00x10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s
Controles FT: Transmisor de flujo FC: Controlador de flujo			Sistemas auxiliares Co: Compresor de aire

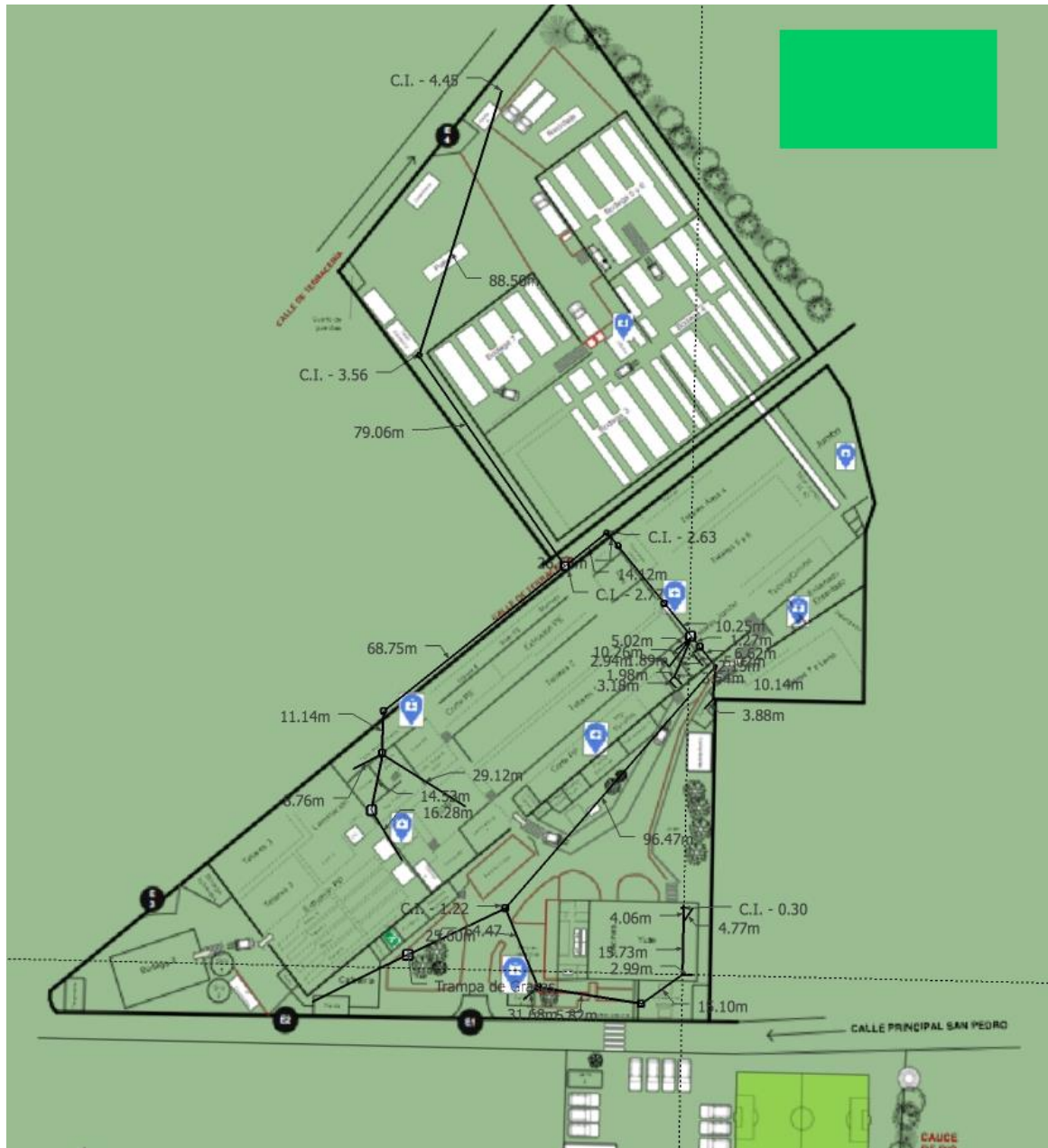
Las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento preliminar y primario son a 1 atm y 25°C, la cual es la temperatura de salida del agua residual de la empresa. La entrada de agua al sistema viene de los 5 puntos de descarga que se unen en el sistema de tuberías y entra directamente a la planta de tratamiento. La válvula automática tiene como equipo auxiliar a un compresor de aire para su funcionamiento.

Figura 37. Distribución del sistema de tratamiento preliminar y primario



La distribución de los equipos del sistema de tratamiento preliminar y primario no está a escala. La separación entre cada equipo es de 1 m, y el punto más bajo de los equipos se encuentra a 4m bajo tierra para la descarga de agua de los equipos por rebalse. La salida de agua del sedimentador primario se dirige hacia el sistema de tratamiento secundario y la purga de lodos de este y el tanque de captación de flujo hacia el tratamiento de lodos.

Figura 38. Distribución del sistema de tuberías para la planta de tratamiento



En cada conexión de tuberías se implementó una caja unificadora de caudal para no sobrecargar la tubería. Estas se unirán en una sola, la cual entrará directamente a la planta de tratamiento de aguas residuales

## B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Cuadro 54. Porcentajes promedio de reducción de los parámetros estudiados con tratamiento de enzimas para agua residual de tipo ordinario

Enzima	DQO	DBO5	Nitrógeno	Fósforo
BIOZYME	36.7 ± 0.1%	4.4 ± 0.1%	-46.8 ± 0.1%	-1.7 ± 0.1%
ENZIPLUS	30.4 ± 0.1%	4.1 ± 0.1%	-19.1 ± 0.1%	-0.7 ± 0.1%

Notas:

- Estos porcentajes se calcularon comparando agua sin tratar con agua tratada con enzimas
- Las mediciones se realizaron en un mismo día para utilizar la misma muestra de agua
- Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente  $T = 24.4^{\circ}\text{C}$
- El método para calcular la reducción de estos parámetros se realizó por triplicado.  
El procedimiento se puede observar en la sección de Metodología del Módulo 2
- Se utilizó el Cálculo 3 del anexo para calcular el porcentaje de remoción

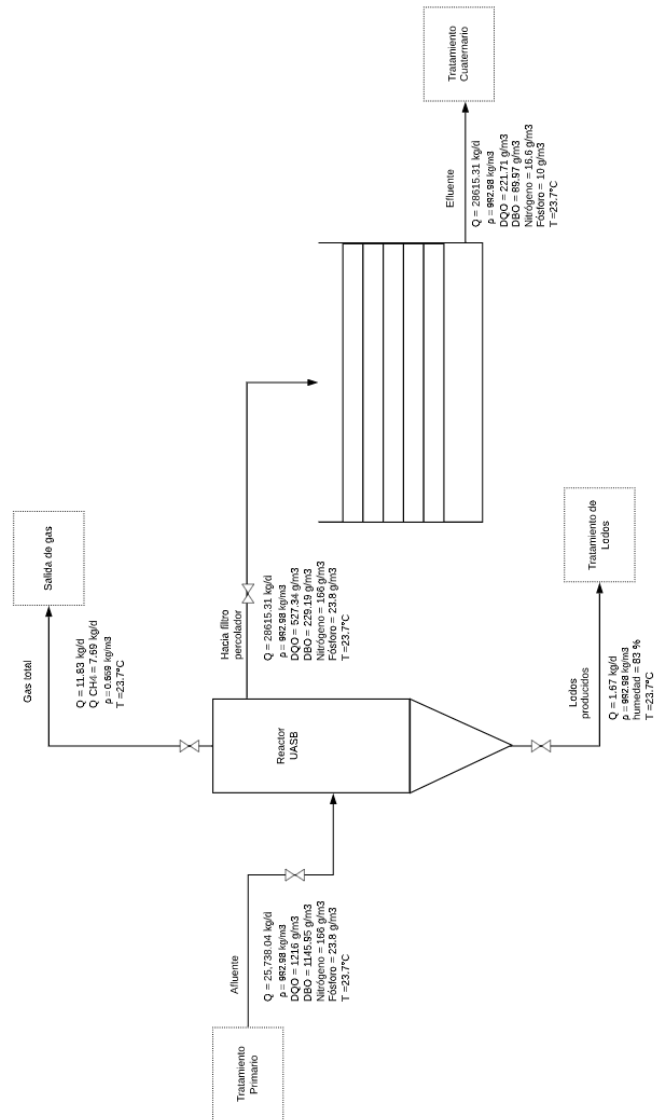
Cuadro 55. Valores calculados obtenidos de los parámetros al utilizar un tratamiento de enzimas, el reactor anaerobio de flujo ascendente y el filtro percolador propuesto

Parámetro	Límite permisible (ppm)	Valor actual (ppm)	Valor calculado (ppm)	Porcentaje de reducción	Cumplimiento
DBO	200	1,763	89.97	95.47%	si
DQO	---	2,645	221.19	91.64%	---
Relación DQO / DBO	---	1.5	2.46	---	---
Nitrógeno total	20	166.0	16.60	90.00%	si
Fósforo	10	23.8	9.996	58.00%	si
Sólidos suspendidos	100	422.63	28.27	93.31%	si

Notas:

- El valor actual es medido por un laboratorio externo a la empresa productora de sacos
- El valor calculado fue el obtenido después de los cálculos de diseño realizados en el anexo
- El límite permisible proviene del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006
- Las unidades “ppm” representan mg / L
- Cálculos realizados a partir de (Metcalf & Eddy 2003) y (Crites & Tchobanoglous 2000) como se muestra en los anexos

Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto



Notas:

- En el diagrama se presenta el diagrama del tratamiento propuesto
- Los cuadros con borde indican los procesos que anteceden y proceden al tratamiento

Cuadro 56. Parámetros de diseño para el reactor anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Unidad	Valor
Vn (volumen efectivo del reactor)	m <sup>3</sup>	8.45
Área transversal del reactor cilíndrico	m <sup>2</sup>	2.40
Diámetro interno del cilindro	m	1.75
Altura de líquido tratado	m	3.52
Altura del reactor	m	3.66
Espesor del reactor	m	0.10
Material del reactor		Concreto
h (altura cono inferior)	m	0.15
Volumen de espacio para el gas (cámara cónica superior)	m <sup>3</sup>	0.12
Diámetro de la tubería del afluente	m	0.0254 (1in)
Diámetro de la tubería del efluente	m	0.0254 (1in)
Diámetro de la tubería del gas	m	0.0127 (½in)
Diámetro de la tubería de lodos	m	0.0254 (1in)
Material de tuberías		PVC

Notas:

- La velocidad de crecimiento de los microorganismos en el reactor sigue el modelo cinético de la Ecuación 17. Modelo cinético del crecimiento microbiano en tratamiento secundario
- El reactor opera de manera continua
- Tomar como referencia la
- Figura 81. Vista de elevación y planta del tratamiento propuesto
- Se utilizó el método iterativo explicado en los anexos para el cálculo del tiempo de retención de sólidos (SRT)
- Para el cálculo de estos datos se utilizaron los modelos cinéticos para la

digestión anaerobia de aguas residuales. Parámetros de diseño teóricos de tabla 10-10 de Metcalf & Eddy

Cuadro 57. Parámetros operativos para el reactor anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Unidad	Valor
Q (Flujo)	m <sup>3</sup> /d	25.920
v (velocidad flujo ascendente)	m/h	0.600
$\tau$ (tiempo de retención hidráulica)	h	8.272
SRT (tiempo de retención de sólidos)	d	20.699
Metano producido	m <sup>3</sup> /d	10.487
P <sub>x</sub> , TSS (lodo producido)	Kg/d	2.506

Notas:

- Se utilizaron las mismas condiciones que el Cuadro 54. Parámetros de diseño para el reactor anaerobio de flujo ascendente
- El flujo utilizado se obtuvo de una regresión lineal realizada en el Módulo 1 para una proyección a 10 años para diciembre de 2030

Cuadro 58. Dimensionamiento de la bomba centrífuga para trasladar el caudal de tratamiento primario hasta el reactor UASB

Equipo	Parámetro	Valor
Bomba centrífuga	Caudal, kg/d	28,627.61
	Caudal, m <sup>3</sup> /d	28.83
	Cabeza, m	2.11 m
	Eficiencia	60%
	Potencia, W	6.87
	Diámetro de succión, m	0.0254, (1")
	Diámetro de descarga, m	0.019, (3/4")

Notas:

- La operación de la bomba es las 24 horas del día, 7 días a la semana

Cuadro 59. Parámetros de diseño para el filtro percolador

Ítem	Unidad	Valor
Vn (volumen efectivo del filtro percolador)	m <sup>3</sup>	3.11
Área transversal cilíndrica	m <sup>2</sup>	2.04
Diámetro interno del filtro	m	1.61
Profundidad del filtro	m	1.52
Tiempo de residencia del agua residual	s	509.50
Tipo del medio filtrante	---	Rosetones
Material del medio filtrante	---	Polipropileno o
Cantidad de material filtrante	unidades s	1492.00
Espesor del filtro percolador	m	0.10
Material del filtro percolador	---	Concreto

Tipo de  
aspersor

---

Rociadores

---

Notas:

- Se utilizaron las ecuaciones NRC de (Crites & Tchobanoglous, 2000)
- Eficiencia calculada a partir de (Crites & Tchobanoglous, 2000)
- Tomar como referencia la Figura 80. Medio filtrante: Rosetón de polipropileno y la
- Figura 81. Vista de elevación y planta del tratamiento propuesto
- El tiempo de residencia se calculó a partir de (Comisión Nacional del Agua 2004) demostrado en el anexo.

Cuadro 60. Especificaciones del medio filtrante

Ítem	Valor
Material del medio filtrante	Polipropileno
Masa / unidad (g)	78
Masa / m <sup>3</sup> (g)	37.5
Unidades / m <sup>3</sup>	480
Color	Negro + aditivos
Embalaje	Pquete de 20 unidades
Área de contacto (m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> )	100
Protección	U.V.
Deformación	ASTM -D648 245 F A 66 psi
Esfuerzo a la tracción	ASTM -D648 245 F A 66 psi
Densidad	ASTM D792 - 0.91 A 0.93 g/cm <sup>3</sup>
Inflamabilidad	ASTM D635 600°C (Bajo)

Notas:

- Se utilizaron datos de una ficha técnica para un medio filtrante de rosetón tomado
- Ver Figura 80. Medio filtrante: Rosetón de polipropileno de (Plásticos B&R 2017)

C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

A. Matriz cualitativa pareada para la selección del desinfectante

Cuadro 61. Comparación pareada para la ponderación de cada uno de los criterios tomados en cuenta para elección del desinfectante.

	<b>Criterios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Total</b>	<b>Ponderación</b>
<b>1</b>	Costo alto	-	3	3	5	3	14	24%
<b>2</b>	Tóxico/Peligroso	3	-	2	5	4	14	24%
<b>3</b>	Complejidad del sistema	3	2	-	4	4	13	22%
<b>4</b>	Residuales	1	1	2	-	2	6	10%
<b>5</b>	Mantenimiento	3	2	2	4	-	11	19%
	<b>SUMA</b>						<b>58</b>	<b>100%</b>

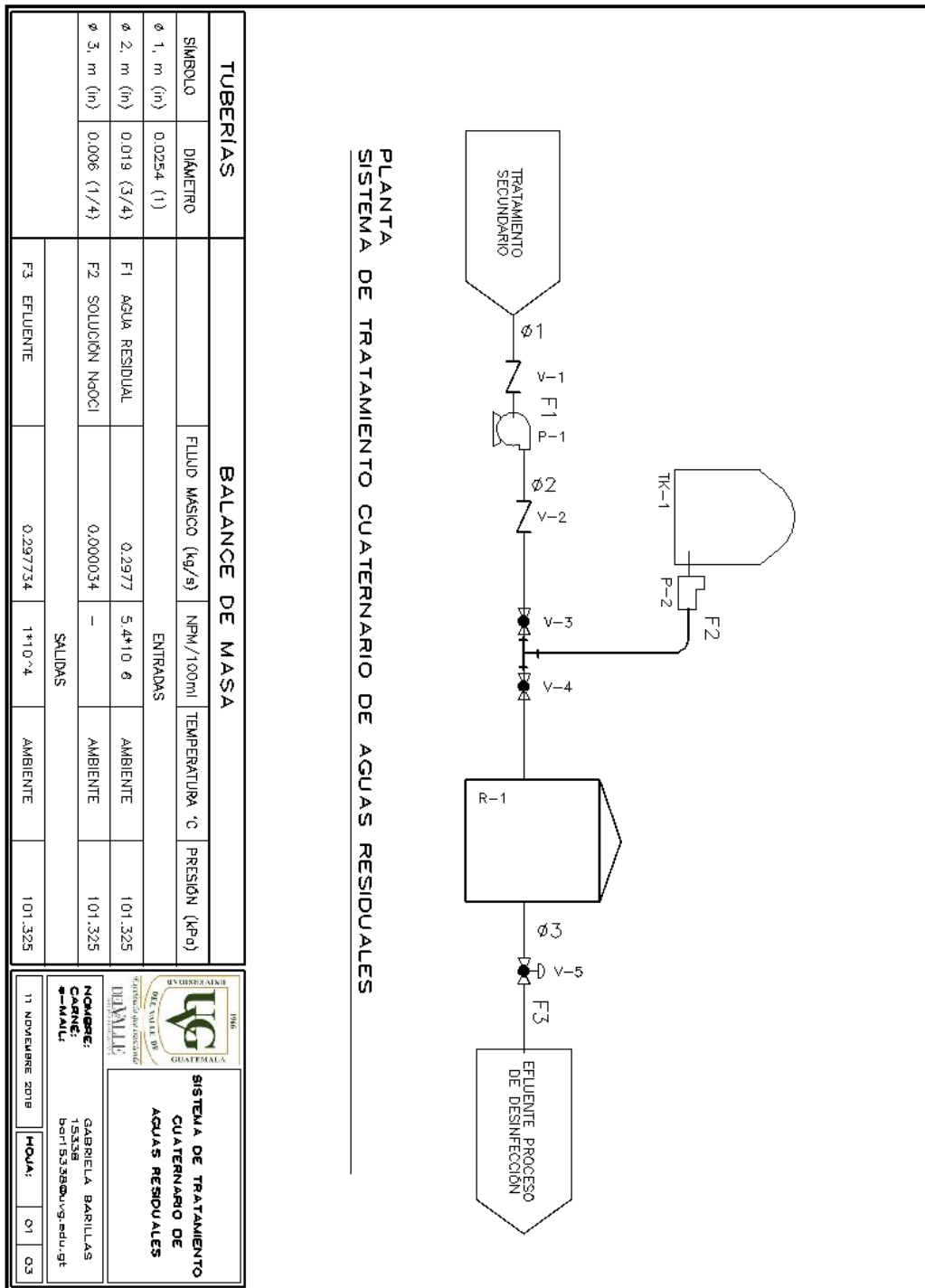
\* En esta tabla se comparan los criterios entre sí, esto significa que 1 se coloca cuando el criterio no es tan importante como con el que se está comparando y 5 se coloca cuando el criterio es mucho más importante que con el otro que se está comparando. Esta tabla se hizo según las necesidades de la empresa.

Cuadro 62. Matriz cualitativa para la selección del desinfectante.

<b>Desinfectante</b>		<b>Costo de Inversión Alto</b>	<b>Tóxico/Peligroso</b>	<b>Complejidad del sistema</b>	<b>Residuales</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>SUMA</b>
Hipoclorito de sodio	Calificación	1	1	1	4	1	1.31
	Ponderación	0.24	0.24	0.22	0.10	0.19	
Hipoclorito de calcio	Calificación	1	1	1	4	2	1.50
	Ponderación	0.24	0.24	0.22	0.10	0.19	
Dioxido de cloro	Calificación	3	4	3	4	3	3.34
	Ponderación	0.24	0.24	0.22	0.10	0.19	
Ozono	Calificación	5	4	5	0	4	4.05
	Ponderación	0.24	0.24	0.22	0.10	0.19	
UV	Calificación	5	1	3	0	5	3.07
	Ponderación	0.24	0.24	0.22	0.10	0.19	

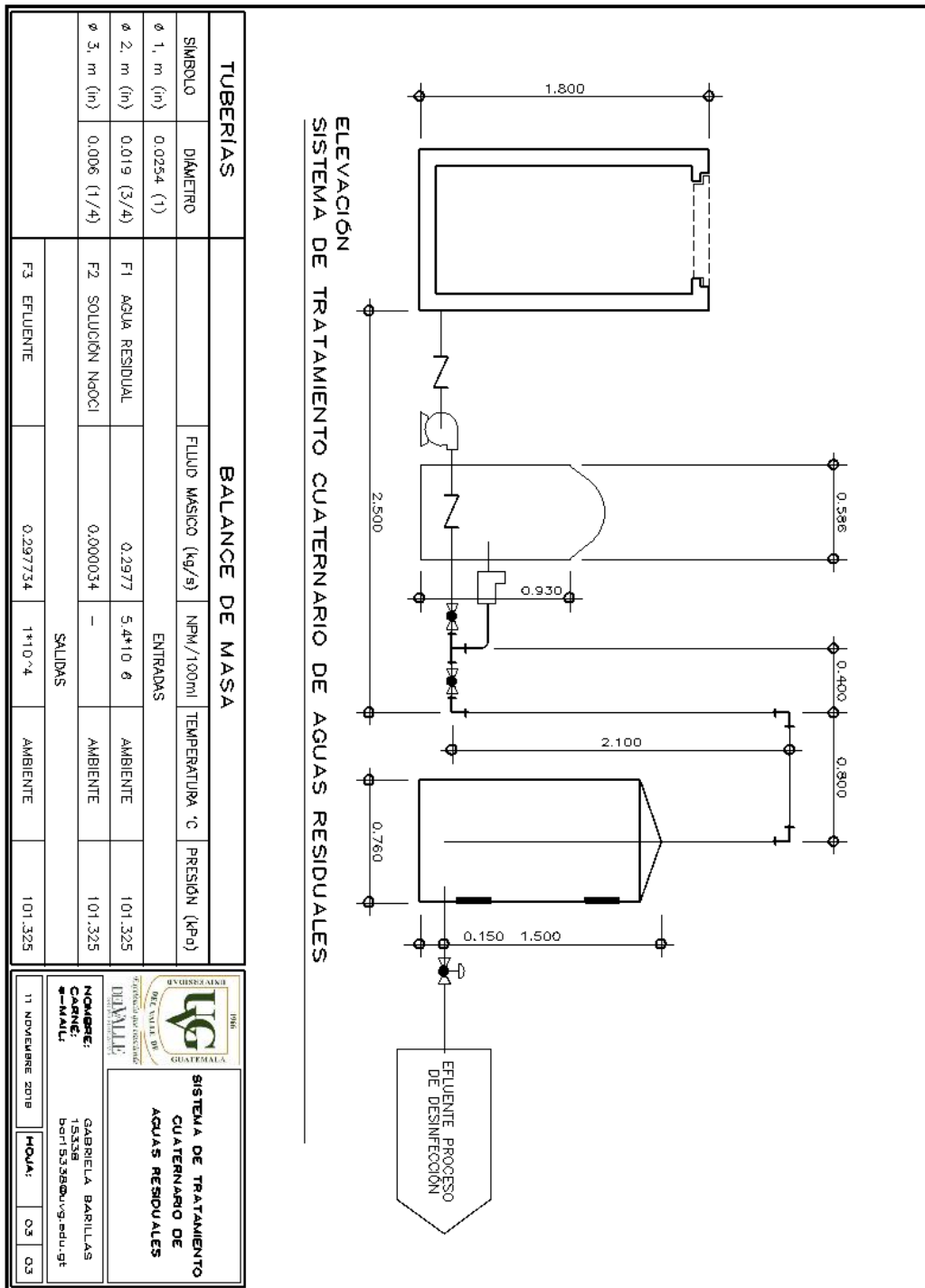
\*El desinfectante con menor puntuación es el desinfectante elegido por medio de este método. Esto se debe a que los criterios en esta matriz el 1 significa que carece de ese criterio y el 5 significa que cuenta con ese criterio.

B. Esquema del tratamiento cuaternario



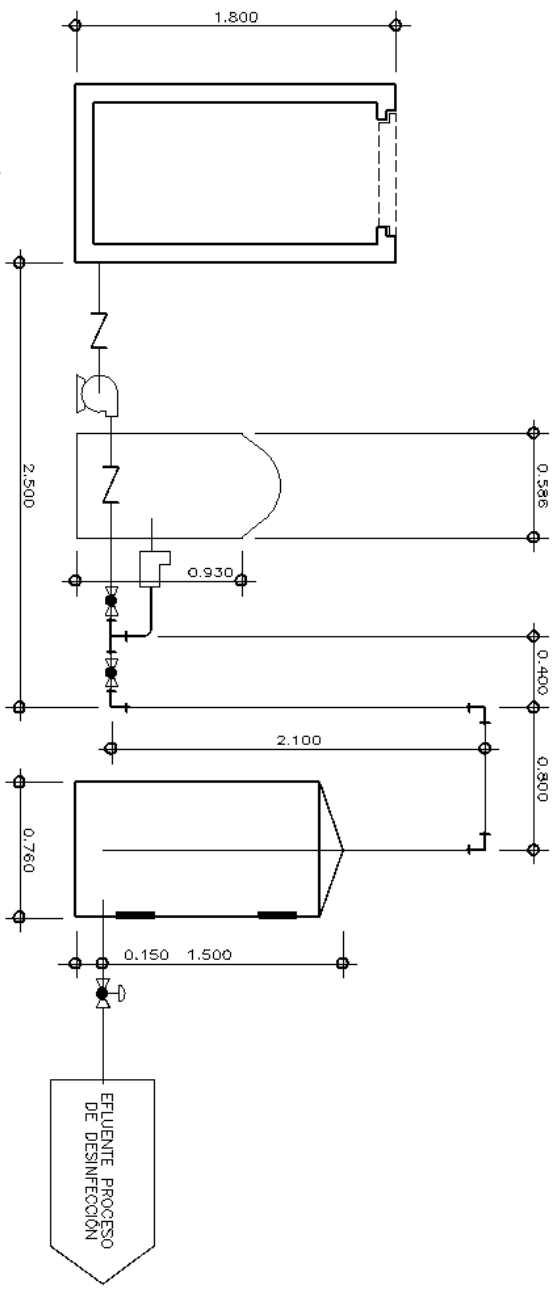
\*La simbología se encuentra en la pg. 46

C. Esquema del sistema de tratamiento cuaternario



\*La simbología se encuentra en la pg. 46

ELEVACION SISTEMA DE TRATAMIENTO CUATERNARIO DE AGUAS RESIDUALES



TUBERIAS		BALANCE DE MASA			
SIMBOLO	DIAMETRO	FLUIDO MASICO (kg/s)	NPM/100m	TEMPERATURA °C	PRESION (KPa)
ENTRADAS					
φ 1, m (in)	0.0254 (1)				
φ 2, m (in)	0.019 (3/4)	F1 AGUA RESIDUAL	0.2977	5.4+10.6	AMBIENTE
φ 3, m (in)	0.006 (1/4)	F2 SOLUCION NAOCl	0.000034	-	AMBIENTE
SALIDAS					
		F3 EFUENTE	0.297734	1+10.4	AMBIENTE
					101.325



**SISTEMA DE TRATAMIENTO CUATERNARIO DE AGUAS RESIDUALES**









**INFORMACION DEL DISEÑADOR:**

**NOMBRE:** GABRIELA BARILLAS  
**CARRER:** 1533B  
**EMAIL:** gabriela.barillas@univ.edu.gt

**FECHA:** 11 NOVIEMBRE 2018

**HOJA:** 03 / 03

\*La simbología se encuentra en la pg. 46

SIMBOLOGÍA		
SIMB.	CLAVE	DESCRIPCIÓN
	V-1 V-2	VÁLVULA DE CHEQUE
	P-1	BÓMBA CENTRÍFUGA
	P-2	BÓMBA PERISTÁLTICA *
	V-3 V-4	VÁLVULA DE BOLA
	R-1	TANQUE DE SISTEMA TERCIARIO
	R-2	TANQUE DE SISTEMA CUATERNARIO
	V-5	VÁLVULA DE NIVEL
	G. N.	GUARDA NIVEL

\*El esquema de la bomba peristáltica más detallado se encuentra en la Figura 84.

#### D. Dimensionamiento del sistema de tratamiento cuaternario

Cuadro 63. Dimensiones y materiales del tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio.

Equipo	Características	
Tanque de almacenamiento	Material	HDPE
	Forma	Cilíndrica
	Orientación	Vertical
	Posición	Nivel Tierra
	Temperatura, K	273.15
	Presión, Pa	101,325
	Volumen, m <sup>3</sup>	0.248
	Diámetro, m	0.586
	Altura, m	0.920
	Sobredimensionamiento Volumen	8.4%

Los cálculos para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento están en la parte de anexos, pg. . El material se designa como HDPE, por sus siglas en inglés "High Density Polyethylene" o en español PEAD "Polietileno de Alta Densidad".

Cuadro 64. Dimensiones y material del tanque de contacto entre el agua residual y el hipoclorito de sodio.

Equipo	Características	
Tanque de contacto	Material	Concreto
	Forma	Cilíndrica
	Orientación	Vertical
	Posición	Nivel Tierra
	Temperatura, K	273.15
	Presión, Pa	101,325
	Volumen, m <sup>3</sup>	0.680
	Diámetro, m	0.760
	Altura, m	1.5
	Sobredimensionamiento Volumen	20 %
	Tiempo de contacto del agua, minutos	34
Tubería de descarga, m (in)	0.0062 (1/4)	

Los cálculos para el dimensionamiento del tanque de contacto estan en la parte de anexos, pg.

Cuadro 65. Características de la bomba peristáltica elegida, para cumplir con la demanda diaria de hipoclorito de sodio. La bomba peristáltica va a estar operando las 24 horas del día, los 7 días a la semana.

Equipo	Características	
Bomba peristáltica	Caudal, m <sup>3</sup> /s	4.0*10 <sup>-8</sup>
	Caudal, L/s	4.0*10 <sup>-5</sup>
	Material carcasa	Policarbonato
	Material tubo peristáltico	Santoprene®
	Potencia, kW	0.03
	Cabeza, m	17.34
	Material tubos succión/descarga	Polietileno
	Diámetro succión/descarga, m (in)	0.013 (1/2)

La operación de la bomba se puede ver en Anexos, pg.

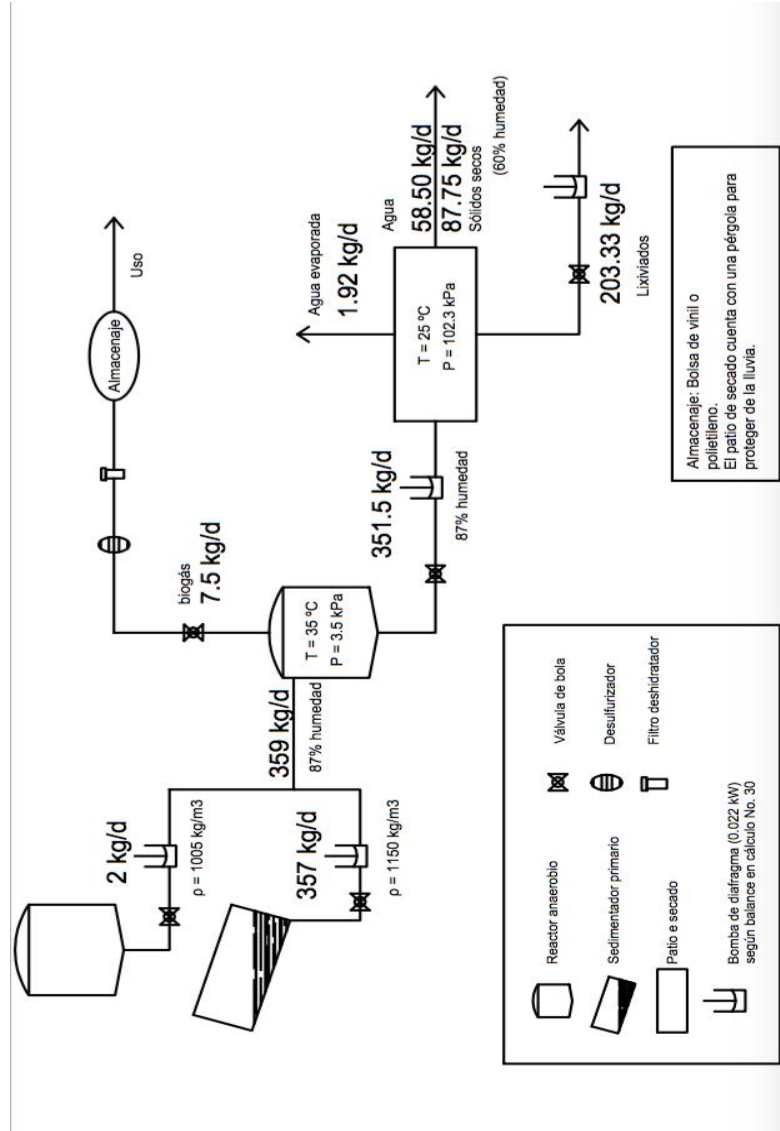
Cuadro 66. Dimensionamiento de la bomba centrífuga para poder trasladar el agua desde el tanque de tratamiento terciario de aguas residuales hasta el tanque de tratamiento cuaternario de aguas residuales.

Equipo	Características	
Bomba centrífuga	Caudal, m <sup>3</sup> /s	3.337*10 <sup>-4</sup>
	Caudal, L/s	0.3337
	Cabeza, m	2.0 m
	Eficiencia	50%
	Potencia, kW	0.37
	Diámetro de succión, m (in)	0.0254, (1)
	Diámetro de descarga, m (in)	0.019, (3/4)

La bomba centrífuga va a estar operando las 24 horas del día. Los cálculos para el dimensionamiento de la bomba centrífuga se encuentran en la pg.

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

Figura 40. Esquema de proceso de la planta de tratamiento de lodos

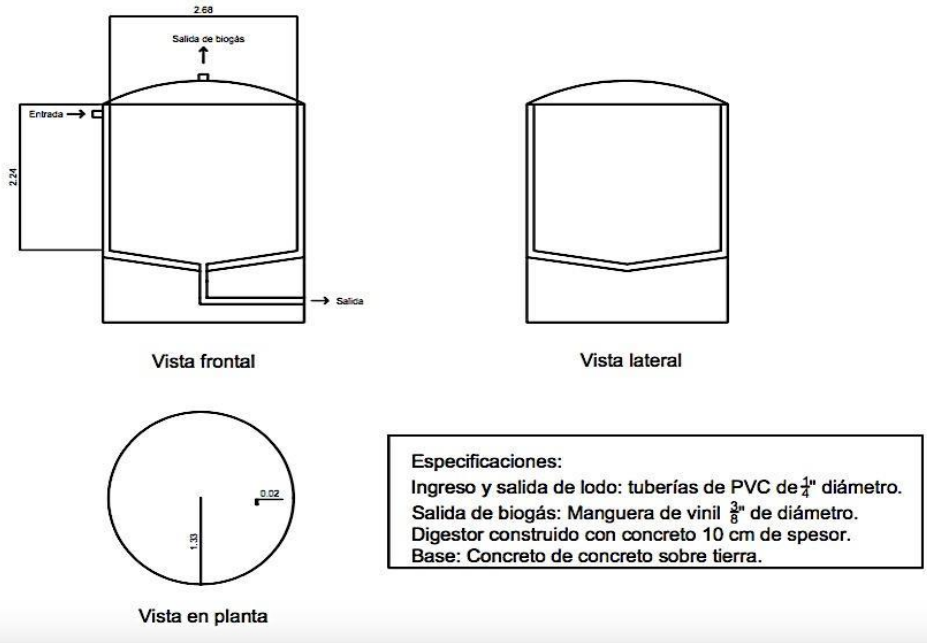


Cuadro 67. Dimensiones y parámetros de operación del digestor anaerobio de lodos semicontinuo

Parámetro	Valor obtenido
Volumen	10.44 m <sup>3</sup>
Diámetro	2.68 m
Altura	2.24 m
Altura de cono inferior	0.22 m
Ángulo de la tolva	10°
Porcentaje de estabilización	65.81 %
Temperatura de operación	30°C - 35°C
Tiempo de retención	30 días
Geometría	Cilíndrico con fondo cónico
Orientación	Vertical
Posición	Nivel de tierra
Material	Concreto

\*El espesor del concreto será de 10 cm. Se elige este material ya que no es conductor térmico y evitará flujo de calor desde y hacia el reactor. Se utilizó un sobredimensionamiento del 20% en la altura. El tiempo de retención se calculó con la cinética establecida en Metcalf & Eddy 2003.

Figura 41. Esquema de digestor de lodos



Cuadro 68. Cantidad de metano producida en digestor anaerobio, reactor UASB y energía contenida

Digestor de lodos (m3/día)	Reactor UASB (m3/día)	Energía total (kwh/día)
12.57	10.49	114.78

El biogás producido, en los reactores contiene 65% de metano. La cantidad de metano producida en el reactor anaerobio se obtuvo del diseño del tratamiento secundario. La energía total se obtuvo con la suma de ambas corrientes de gas.

Cuadro 69. Equipos necesarios para la purificación del gas

Equipo	Función
Filtro desulfurizador	Filtro que contiene hidróxido de hierro para transformar el sulfuro de hidrógeno en sulfuro de hierro. El H <sub>2</sub> S se elimina ya que en concentraciones mayores a 100ppm es dañino para la salud y puede dañar las tuberías
Filtro deshidratador	Elimina el vapor de agua contenido en el biogás por medio de un adsorbente en su interior, generalmente se utiliza sílica-gel.

Luego de ser purificado el gas puede ser aprovechado en las estufas del comedor de la empresa.

Cuadro 70. Comparación de nutrientes del lodo de la fosa séptica en relación a otros abonos

Parámetro (%)	Lodo estabilizado	Humus de lombriz de estiércol	Diferencia (%)
Nitrógeno	1.73	2.11	18
Fosforo	0.38	1.81	79
Potasio	0.07	4.63	95

(Flores 2018) Datos de lombricompost

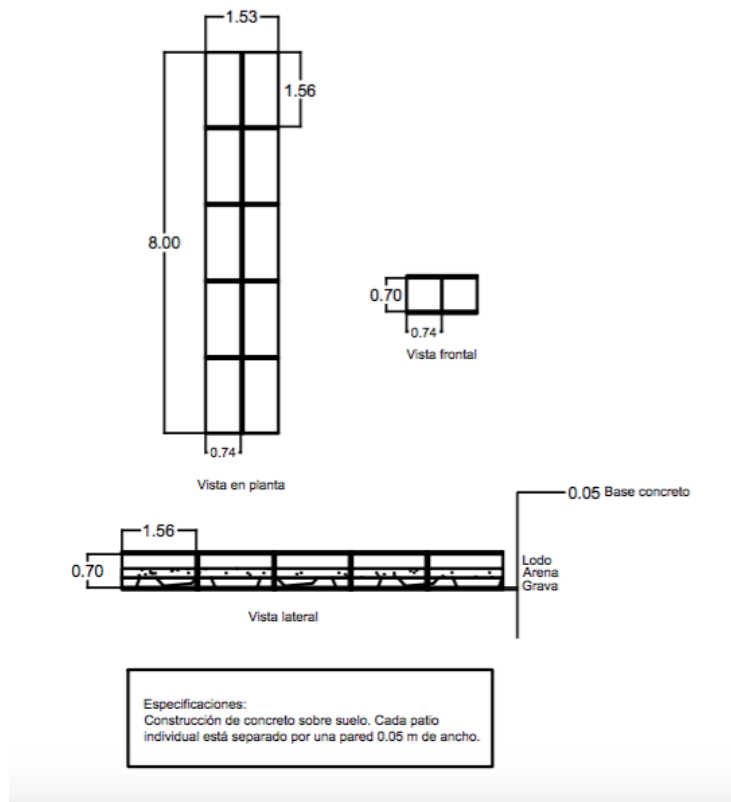
Nutrientes en lodo residual obtenidos por análisis en laboratorio Ceres.

Cuadro 71. Dimensiones y parámetros de operación del patio de secado de lodos

Parámetro	Patio total	Patios individuales
Área	12.24 m <sup>2</sup>	1.15 m <sup>2</sup>
Volumen	8.57 m <sup>3</sup>	0.81 m <sup>3</sup>
Ancho	1.53 m	0.74 m
Alto	0.7 m	0.7 m
Largo	8 m	1.56 m
Tiempo de retención	10 días	1 día

El área del patio de secado total, se obtuvo con las dimensiones de los patios individuales, y tomando en cuenta el espaciamiento entre patios. El lodo pasará un día en cada cavidad para un total de 10 días. Se debe de utilizar arena gruesa con un diámetro de partícula entre 0.3-0.75mm y grava media de 20mm. Por cada kg de lodo con 80% de humedad, se debe adicionar 30g de cal hidratada a la cavidad. La pendiente del patio será del 1% para poder recolectar los lixiviados.

Figura 42. Especificaciones patio de secado de lodos



## E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos

En esta sección se presenta los resultados de la investigación realizada en una empresa productora de sacos industriales, con el propósito de diseño y ejecución de un programa de capacitación para concientizar sobre el uso correcto del agua.

A. Resultados de observación directa

Cuadro 72. Observación directa, funcionamiento actual de planta

ASPECTO	PROCESO
Planta productora	Se realizó un recorrido en las áreas de la fábrica, se manejan las situaciones a continuación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer para qué servía cada máquina, protocolos de seguridad, personas a cargo.</li> </ul>
Instalaciones de agua	Se evidencian diferentes instalaciones de agua, chorros, retretes, maquinaria que utiliza agua y fosas.

Elaboración a partir de observación directa en la empresa.

B. Resultados de entrevista con la responsable de Recursos Humanos.

Cuadro 73. Entrevista semiestructurada, dirigida a la gerente de Recursos Humanos

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Cuál es la situación actual en el programa de capacitación de la empresa?	“Se está reestructurando, ya que llevo poco tiempo laborando acá y se están creando manuales”
¿Cómo es el proceso de capacitación al personal?	“Se van sacando poco a poco ya que no se puede sacar a todo el personal por motivos de producción, se ha estado realizando trifoliales de información para que ellos estén informados por si algún caso no se logre sacar a todo el personal”
¿Qué temas se han tratado en las últimas capacitaciones?	“Más que todo seguridad industrial, así como también uso de maquinarias”
¿Cuál es el nivel de conocimiento que posee el personal respecto al tema del cuidado y manejo del recurso hídrico en la empresa?	“ Considero que si hay un poco de desinformación, ellos son capaces de responder lo básico del uso de maquinarias pero con la problemática dudo que puedan responder al 100%”
¿Se ha capacitado o proporcionado información del uso consciente del agua al personal?	“No, aún no”
¿Cómo desea que involucre el aspecto educativo para resolver la problemática expuesta?	“Su apoyo con estrategias innovadoras, así como el diseño el material escrito para que conozcan los empleados sobre el manejo correcto del agua”

Elaboración a partir de entrevista semiestructurada, dirigida a la gerente de Recursos Humanos.

### C. Resultados de estudio sociodemográfico

Se entregó a todo el personal que asistió a la capacitación un estudio sociodemográfico en donde se pudo recabar la siguiente información, para utilizarla en el análisis de resultados obtenidos después de la capacitación:

Cuadro 74. Estudio sociodemográfico

VARIABLE	DATO
Sexo	Hombres= 39 Mujeres= 1
Edad	18 a 24= 9 26-35= 15 36-50= 11 51 en adelante= 5
Nivel de Escolaridad	Primaria= 20 Secundaria=15 Diversificado= 4 Universidad= 1

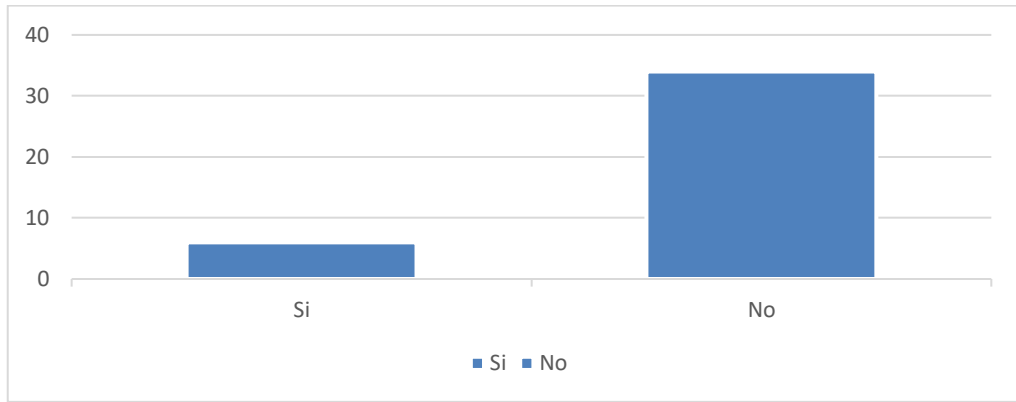
*Nota: elaboración a partir de datos recopilados en el cuestionario sociodemográfico. N= 40 capacitados.*

### D. Diagnóstico de necesidades

Se le asignó a cada sujeto un código con el cual se podría identificar para comparar los resultados en dos momentos. Se indagó sobre el proceso de capacitación, así como también las creencias de los colaboradores respecto al uso del agua.

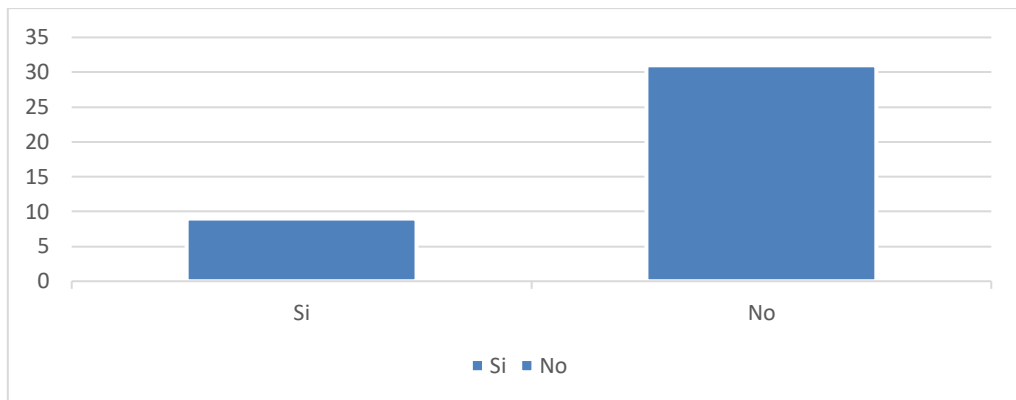
A continuación, se presenta los resultados del Diagnóstico de Necesidades en modalidad presencial dirigida a colaboradores y una breve descripción.

Figura 43. ¿Sabe usted de la situación actual en Guatemala acerca de la contaminación del agua?



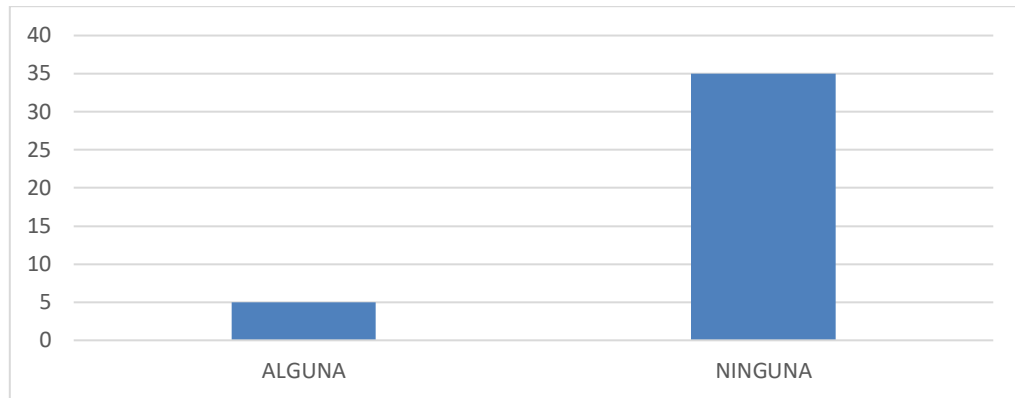
Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación pre test a colaboradores.

Figura 44. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de agua, tanto en los lavámanos, retretes o aguas residuales?



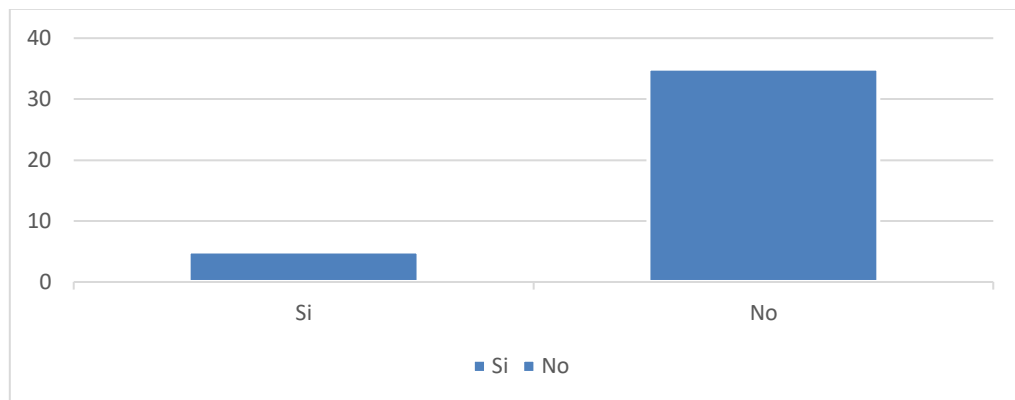
Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación pre test a colaboradores.

Figura 45. ¿Qué capacitaciones o información le ha brindado la empresa acerca del uso correcto del agua?



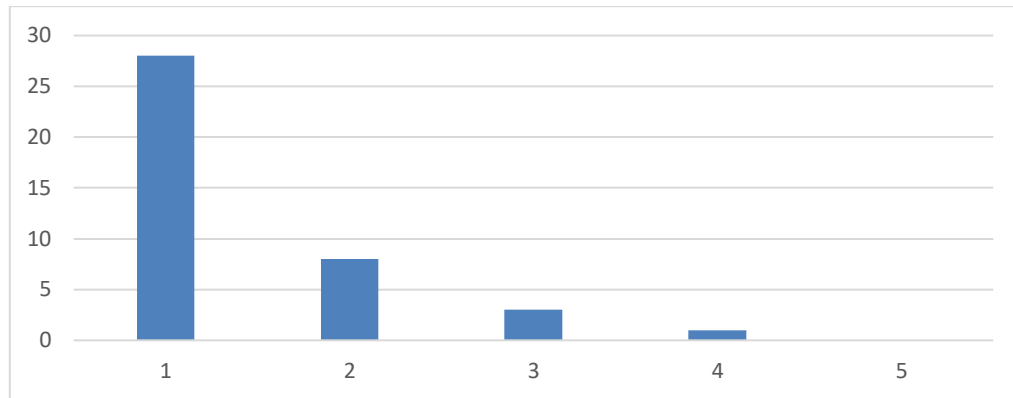
Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación pre test a colaboradores.

Figura 46. Conoce el acuerdo Gubernativo 236- 2006?



Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación pre test a colaboradores.

Figura 47. En la escala del 1 al 5 qué tanta señalización o información existe sobre el uso correcto del agua en las instalaciones.



Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación pre test a colaboradores.

#### E. Programa de capacitación

Según las necesidades encontradas en el Diagnóstico de Necesidades, se diseñó una sesión de capacitación para el personal de la fábrica, dichas necesidades fueron:

- Uso adecuado del agua en las instalaciones de agua ( baños y chorros de la planta ).
- Los operarios conocen el sistema operativo de la planta, pero no de la problemática.
- Poca información visual sobre el uso apropiado del agua.
- Diseñar material didáctico e informativo.
- Educación con principios andragógicos.

La empresa dio una muestra de cuarenta colaboradores, dicha muestra fue dividida en subgrupos de 4 para trabajar centros de aprendizaje.

#### Desarrollo

##### 8. Competencia

Diseñar un programa enfocado en la concientización del uso del agua potable, para promover su reducción.

##### 9. Contenido

- Uso y necesidad del agua para la vida.
- Hábitos de consumo responsable.
- Hábitos de cuidado y respeto del medio ambiente.
- Planta de tratamiento y para qué sirve.

- Acuerdo gubernativo 236- 2006 qué es y objetivos.

#### 10. Materiales

Papelógrafos, marcadores, lápices, lapiceros, fichas de colores, gafetes o identificadores, computadora

#### 11. Acomodación

- Mesas (4) con materiales como: marcadores, lapiceros, pliegos de papel manila, hojas de papel de colores, tijeras, goma, revistas, etc.

Cuadro 75. Plan de capacitación para elaboración de taller.

Actividad	Descripción	Tiempo
Presentación	Presentación del facilitador, presentación de objetivos de la capacitación.	5 m
Actividad Rompe hielo	Línea trazada en el suelo, el personal estuvo sobre la línea, se explicó a a los participantes que hubo una lista de situaciones o eventos. Cada vez que puedan responder "sí" a la pregunta, debían dar un paso adelante. De lo contrario, debían permanecer donde están y no moverse. Reflexión final, tenemos más cosas en común con personas que están cerca.	5 m
Pre test	Se entregó un breve cuestionario para conocer los pre saberes.	5 m
Centros de Aprendizaje	<p>Se dividió al grupo en 2 centros de aprendizaje, cada centro duró 10 minutos, los participantes debían ir rotando para poder realizar todas las actividades:</p> <p><b>Centro 1: Plantas de tratamiento, acuerdo gubernativo</b></p> <p>Se les brindó al grupo información visual de 2 temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Planta de tratamiento y para qué sirve. Acuerdo gubernativo 236- 2006 qué es y objetivos</li> </ul> <p>Cada uno debió leerla y organizar sus ideas.</p>	40 m

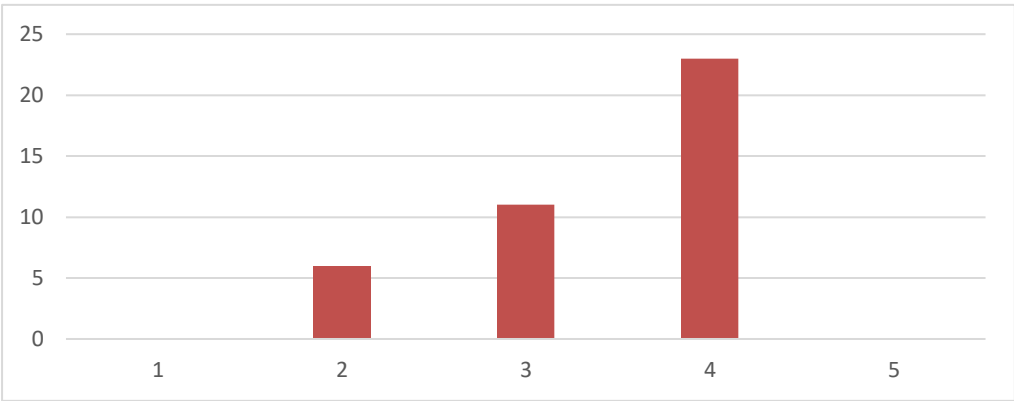
	<p>Trabajaron en un periódico durante este tiempo. Serán los encargados de tomar las decisiones, diseñar y publicar la portada del mismo con noticias.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Entrega a cada uno una plantilla de la portada. Rellenaron con dos titulares y el desarrollo de dos noticias, invitándoles a escribirlas y también plantear una imagen que las complete.</li> </ul> <p><b>Centro 2:</b></p> <p>A través de un pequeño caso y la resolución del problema que se plantea, se dio a conocer cómo se puede transmitir la contaminación cuando no existe acceso al agua potable y al saneamiento, y las consecuencias que tiene para la salud de las personas.</p> <p>Proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Se repartió tarjetas. Aclaró las posibles dudas de lo que se representa en las tarjetas.</li> <li>● Dejó tiempo para que las intenten ordenar y relacionar. Primero deben decidir qué tarjeta es el origen del problema y cuál es la consecuencia final.</li> <li>● Cuando lo hayan conseguido, debían determinar las posibles causas o cadena de acciones que han enfermado a Jairo ordenando las tarjetas y estableciendo relaciones entre ellas.</li> <li>● Dinámica de debate <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ¿Qué acciones se podrían establecer para romper la cadena de contaminación que enferma a Jairo y solucionar la epidemia que está sufriendo la comunidad?</li> <li>❖ ¿Cuáles están relacionadas con el tratamiento del agua?</li> <li>❖ ¿Qué métodos conocen para desinfectar el agua?</li> <li>❖ ¿Y a nosotros, nos podría pasar algo parecido?</li> <li>❖ ¿Conoce alguna enfermedad asociada al agua?</li> </ul> </li> </ul>	
<p>Post Test y cierre</p>	<p>Se solicitó a los participantes que llenen encuestas de satisfacción del desarrollo de la capacitación. Post test</p>	<p>5 minutos</p>

Refrigerio

F. Post test

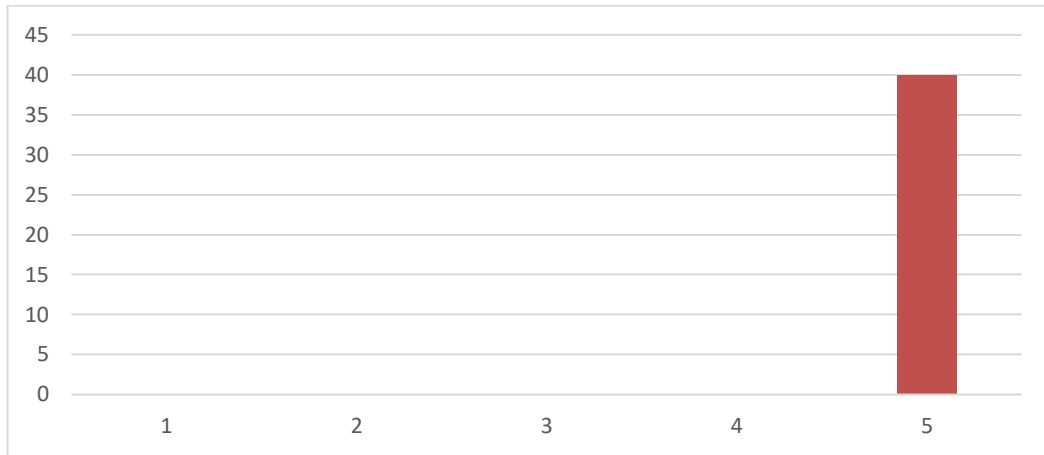
Se realizó un cuestionario cualitativo para recabar información y determinar si realmente eran los resultados esperados.

Figura 48. ¿De qué trata el acuerdo Gubernativo 236- 2006?



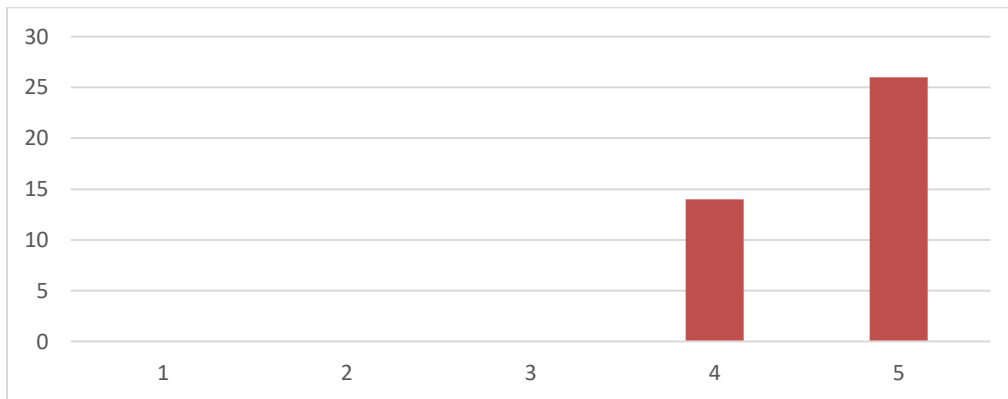
Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación post capacitación a colaboradores.

Figura 49. Mencione 1 consejo para el uso eficiente del agua.



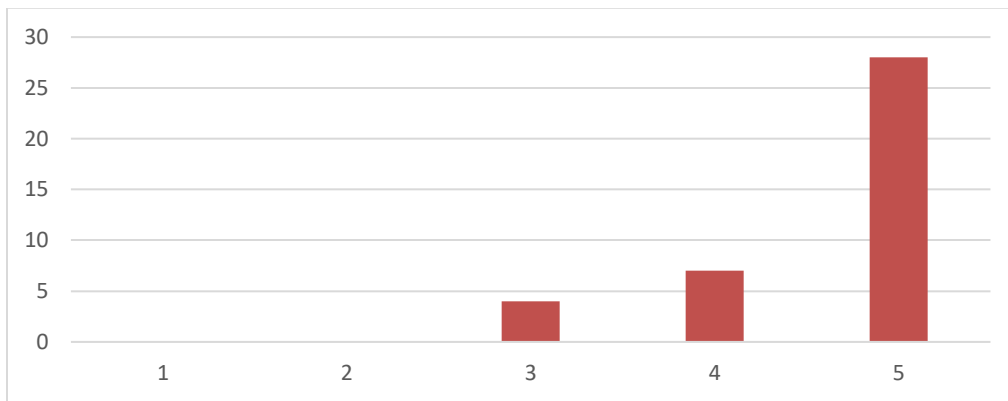
Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación post capacitación a colaboradores.

Figura 50. ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual?



Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación post capacitación a colaboradores.

Figura 51. Menciona el objetivo de una planta de tratamiento.



Elaboración propia a partir de los resultados de la evaluación post capacitación a colaboradores.

Con esta información se valoró la calificación de conocimiento de 1 a 5 por medio de una escala de rango y frecuencia de palabras para obtener datos cuantitativos, se pretende determinar si la capacitación al personal fue adecuada y explorar si realmente agregó conocimiento es por ello que se realizó una prueba no paramétrica de signo con distribución binomial.

Cuadro 76. Distribución binomial de probabilidad.

<b>PROPIEDADES</b>	<b>SUPUESTOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El experimento consiste en repetir n-ensayos.</li> <li>• Cada ensayo da un resultado que puede ser clasificado como un éxito o un fracaso</li> </ul>	Se supone que la población de diferencias entre los pares de calificaciones es una variable continua.	Si la capacitación produce conocimiento, este hecho se reflejará en calificaciones asignadas a cada pareja y la diferencia entre $X_i - Y_i$ es de esperarse que haya más signos + que -.

Distribución Binomial de probabilidad, según Meyer (1970:36)

Cuadro 77. Resultados prueba de signos.

<b>PRUEBA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>N</b>	<b>N AJUSTADO</b>	<b>CANTIDAD (-)</b>
Signo	0.000455	0.05	40	25	4

*Nota: Se tomó en cuenta en la interpretación en N ajustado.*

Se puede concluir que por medio de la prueba se evidencia que la capacitación respecto al uso adecuado del agua si agregó conocimiento a la población de la empresa.

### **G. Comprobación de Hipótesis**

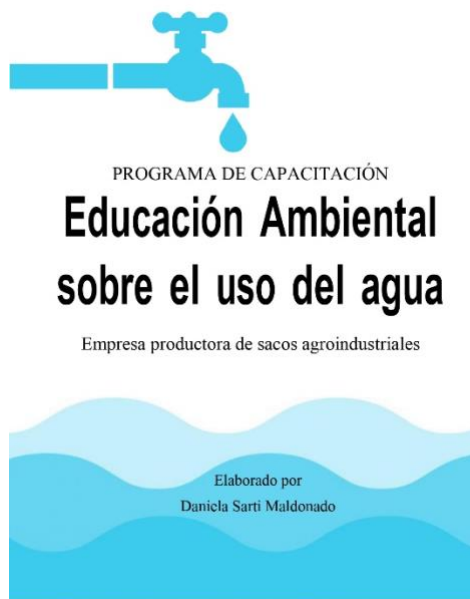
H1: Los sujetos que se exponen a un programa de capacitación desarrollan conocimientos y el rendimiento del trabajo gracias al aumento de habilidades y utilidades, esto evidenciado en la aplicación de temas vistos en el taller, la muestra demuestra incremento de conocimientos reflejados en el postest.

H2: Al contar con un programa de capacitación sobre el uso apropiado del agua se evidenciará el mejoramiento de sistemas y procedimientos dentro de la empresa, el 65% de los colaboradores de la muestra obtuvo una calificación máxima respondiendo sobre qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual, esto quiere decir que los colaboradores pueden mejorar en la utilización del agua y mejorar los procesos de la empresa al exponer a todo el personal de la planta a dicho programa.

H3: Existe significancia entre la pretest y postest, evidenciando mejorías en cuanto a conocimientos, se realizó un análisis de la prueba de signo entre el pre y post test para explorar los efectos de la capacitación sobre el uso adecuado del agua, si los participantes adquirieron nuevos aprendizajes. Evidenciando que el 83% de los colaboradores si agregó conocimiento al exponerse a la capacitación.

**A. Manual de programa de capacitación, material didáctico e información visual**

Programa de Educación Ambiental sobre el uso del agua.



(Ver Anexo H)

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro 78. Datos de prueba de signos

$Y_i$ Sin instrucción	$X_i$ Con instrucción	Signo (+,-)	
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	sí	+	
sí	sí		0
sí	no	-	
sí	sí		0
no	no		0
no	sí	+	
no	sí	+	
sí	no	-	
no	sí	+	
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	no		0
sí	no	-	
no	sí	+	
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	sí	+	
no	no		0
no	sí	+	
no	sí	+	
no	sí	+	
sí	no	-	
no	sí	+	

Nota: Para ser rigurosos con la prueba la muestra eliminará los 0.

a. Estadístico de prueba

La distribución de probabilidad de la variable aleatoria X se denomina Distribución Binomial de probabilidad y se expresa mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 18. Distribución Binomial**

$$P(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} = \frac{n!}{(n-x)! x!} p^x q^{n-x}$$

*Nota: Si el valor calculado de la probabilidad del estadístico de prueba es menor a  $\alpha$  se rechazará  $H_0$ .*

b. Correlación de Pearson según la edad con resultados

Adicional a esto se observó que el grupo de personas a evaluar era bastante heterogéneo en sus edades. Se esperaba que la capacitación fuera adecuada y no solamente un grupo específico de personas aprendiera.

Como medida de relación, se planteó buscar correlaciones entre los resultados de dos de las preguntas de la evaluación y las edades de los participantes:

1. Pregunta a analizar

*¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual?*

Supuestos

- Para cada valor de X existe una subpoblación de valores de Y que siguen una distribución t student.
- Para cada valor de Y, existe una subpoblación de valores de X que sigue una distribución t student.
- Todas las subpoblaciones de los valores de Y tienen la misma variancia.
- Todas las subpoblaciones de los valores de X tienen la misma variancia.

Hipótesis nula

No existe correlación entre la nota del ambiente, agua residual y la edad de las personas.

Hipótesis alterna

Existe correlación entre la nota del ambiente, agua residual y la edad de las personas.

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_A: \rho \neq 0$$

Cuadro 79. Datos de edad con punteo de pregunta: ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual?

<b>PUNTEO</b>	<b>EDAD</b>
2	27
2	51
1	23
1	29
2	33
1	40
2	24
1	37
1	55
2	31
2	41
1	23
1	53
2	28
2	23
2	57
2	33
2	34
2	43
2	27
1	22

Continuación Cuadro 77

2	<b>19</b>
1	18
1	58
1	21
2	34
2	20
2	35
2	30
1	48
2	29
2	27
2	26
1	49
2	28
2	41
2	43
2	44
1	47
2	49

Nota: Correlación de edad con puntuación de respuesta de pregunta 3.

Se utilizó el siguiente estadístico de prueba para comprender las suposiciones:

**Ecuación 19. Estadístico de Correlación de Pearson.**

$$t = r \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}}$$

Nota: Cuando Ho es verdadera y se cumplen las suposiciones, la estadística de prueba cumple una distribución t de student con n – 2 grados de libertad.

Regla de decisión

Si  $\alpha = .05$  los valores críticos de t son  $\pm 2.024$ . Si los datos del estadístico de prueba son mayores a 2.024 o menores a -2.024 se rechazará Ho.

$$H_0: \rho = 0$$

Cuadro 80. Resultados pregunta con edad.

Prueba	R	t calc	T crítico	n
Correlación	-0.15185	-0.94704	+/- 2.024	40

Nota: Correlación de Pearson, significancia  $p < .05$ , T crítico, se refiere a el punto en la distribución del estadístico de la prueba bajo la hipótesis nula.

Se procede a rechazar la hipótesis nula y por lo tanto no hay correlación entre la edad de los alumnos y los resultados de la pregunta: ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual? Esto quiere decir que la edad no influye en la resolución de problemáticas ambientales, sino más bien la educación ambiental y capacitación pueden influir en la misma.

2. Pregunta a analizar

*Menciona cuál es el objetivo de una planta de tratamiento.*

Supuestos

- Para cada valor de X existe una subpoblación de valores de Y que siguen una distribución t student.
- Para cada valor de Y, existe una subpoblación de valores de X que sigue una distribución t student.
- Todas las subpoblaciones de los valores de Y tienen la misma variancia.
- Todas las subpoblaciones de los valores de X tienen la misma variancia.

Hipótesis nula

No existe correlación entre la nota del conocimiento técnico de la planta de tratamiento de agua residual y la edad de las personas.

Hipótesis alterna

Existe correlación entre la nota del conocimiento técnico de la planta de tratamiento de agua residual y la edad de las personas.

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_A: \rho \neq 0$$

Cuadro 81. Datos de edad con punteo pregunta 4.

PUNTEO	EDAD
3	27
2	51
3	23
3	29
3	33
3	40
1	24
3	55
1	31
3	23
3	53
2	28
2	23
3	57
3	33
3	34
3	43
3	27
3	22
3	19
3	18
3	58
3	21
3	34
3	20
2	35
3	30
3	48
3	29
3	27
3	26
2	49
1	28
1	41
3	43
3	44
3	47
2	49

Nota: Correlación de edad con puntuación de respuesta de pregunta 4.

**Ecuación 20. Estadístico de Correlación de Pearson.**

$$t = r \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}}$$

*Nota: Cuando Ho e verdadera y se cumplen las suposiciones, la estadística de prueba cumple una distribución t de student con n – 2 grados de libertad.*

Regla de decisión

Si  $\alpha = .05$  los valores críticos de t son  $\pm 2.024$ . Si los datos del estadístico de prueba son mayores a 2.024 o menores a -2.024 se rechazará Ho.

**Cuadro 82. Resultados de pregunta cuatro con edad.**

<b>Prueba</b>	<b>R</b>	<b>t calc</b>	<b>T crítico</b>	<b>n</b>
Correlación	-0.03691	-0.22769	+ 2.024	40

*Nota: Correlación de Pearson, significancia  $p < .05$ , T crítico, se refiere a el punto en la distribución del estadístico de la prueba bajo la hipótesis nula.*

Se procede a rechazar la hipótesis nula y por lo tanto no hay correlación entre la edad de los colaboradores y los resultados de la pregunta que solicitaba mencionar cuál es el objetivo de una planta de tratamiento, nuevamente se hace notorio que la edad no influye en la resolución de problemas.

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

La finalidad del presente módulo consistía en la caracterización de los efluentes y la realización de una propuesta de diseño, para el tratamiento preliminar y primario de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa productora de sacos. Para cumplir con este objetivo, primero se llevó a cabo la caracterización de aguas, realizada por una entidad externa y de esta manera, se identificaron los parámetros que no cumplían con el acuerdo gubernativo 236-2006, específicamente de los sólidos suspendidos, grasas y aceites. De acuerdo con esto, se definieron las operaciones unitarias del tratamiento preliminar y primario necesarias para que se cumpliera con las especificaciones del acuerdo.

En el Cuadro 46 de la sección de resultados se presenta la caracterización de aguas residuales actual de la empresa, mostrando el valor máximo (648 ppm sólidos suspendidos y 81 ppm grasas y aceites). Este dato fue obtenido de las 5 áreas de descarga de la empresa, que se dirigen al alcantarillado público, denominadas como: laminadora 3, chillers, extrusión, pozo de absorción y fosa séptica. Se eligieron los valores máximos para la propuesta de los equipos, de manera que estos trabajaran en las peores condiciones del agua y asegurar que el efluente de la planta de tratamiento cumpliera con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006.

Las 4 etapas de los parámetros permitidos por el acuerdo se presentan en el mismo cuadro y para este módulo, se puede observar que, tanto los sólidos suspendidos como las grasas y aceites no cumplen desde la tercera etapa, siendo 400 ppm y 60 ppm para sólidos suspendidos y grasas, respectivamente.

El estudio de las aguas se analizó de acuerdo con los parámetros no cumplidos previamente mencionados. De acuerdo con los mismos se determinaron las operaciones unitarias necesarias, para el tratamiento preliminar y primario, de forma que el acuerdo gubernativo se cumpliera en su totalidad. Otros parámetros que no cumplen con los establecidos por el acuerdo son: color, DBO, fósforo total, nitrógeno total y coliformes fecales; los cuales serán tratados en los siguientes módulos de este trabajo.

La distribución de la planta propuesta puede observarse en la Figura 36 en forma de un esquema. En el este, todos los equipos se diseñaron para operar a presión atmosférica y a la temperatura del agua de salida de las descargas de la empresa, lo cual es 25°C. Las rejillas de limpieza manual, la trampa de grasas, el tanque de captación de flujo y los sedimentadores primarios; se propusieron con una tapadera de manera que se disminuyeran los malos olores, y para evitar sobrecargas causadas por lluvia.

En la Figura 37 se muestra la distribución del tratamiento preliminar y primario, y en la Figura 38, la distribución de tuberías para la planta de tratamiento. Las tuberías saldrán de los 5 puntos de descarga mencionados en este trabajo y en cada conexión habrá una caja unificadora de caudal para evitar sobrecargas y posibles daños a la tubería. El sistema de tuberías se unirá en una sola para entrar directamente a la planta de tratamiento de aguas. La misma estará bajo tierra, comenzando por el sistema preliminar y primario, los cuales están 4 m debajo del suelo con una inclinación de 1°, según reglas gruesas, para permitir el flujo de salida de agua residual por rebalse hacia el siguiente equipo hasta llegar al sistema secundario.

Para el tratamiento preliminar, se determinó la necesidad de un sistema de remoción de grasas y aceites, y un sistema de cribado, para evitar que sólidos gruesos dañaran equipos y accesorios posteriores en la planta de tratamiento. Los equipos escogidos fueron un sistema de rejillas de limpieza manual, para retener sólidos de gran tamaño, y una trampa de grasas, para la remoción de compuestos livianos como grasas y aceites.

De la misma manera, se estableció la necesidad de la inclusión de un sistema de captación de flujo de aguas para evitar variaciones en el caudal de entrada al resto de operaciones, seguido por un sistema de sedimentación primario. Para la captación de flujo se escogió un tanque de cúbico con pendiente para la purga de posibles sólidos sedimentados ya que va previo al proceso de sedimentación. Para el tratamiento primario, se eligió un sedimentador primario rectangular o cúbico por motivos de espacio y comportamiento de sedimentación. Las características de los equipos se tratarán posteriormente.

En cuanto al monitoreo del caudal a lo largo del tiempo, los estudios realizados por la empresa externa se encuentran en la sección de datos originales. Estas mediciones se utilizaron para el dimensionamiento del tanque de captación de flujo, lo cual será discutido más adelante.

Es necesario contar con un documento técnico sobre las aguas residuales, el cual es requerido para auditorías ambientales, y para la evaluación del cumplimiento tanto de las metas de la empresa, como del acuerdo gubernativo. Este documento debe incluir los resultados de las mediciones semestrales, según la sugerencia en la normativa. Sin embargo, si cada semestre uno de los parámetros es lo suficientemente bajo siempre y se mantiene constante, puede aumentarse su frecuencia de mantenimiento, pero debe incluirse en el documento técnico la decisión de que ese parámetro se medirá anualmente.

Otros elementos que debe contener el documento técnico son los objetivos y metas ambientales enfocados a las aguas residuales, de forma que la empresa decida mantener el cumplimiento de un parámetro ambiental establecido, o mejorarlo en función de su producción. De la misma manera, debe contener un sistema de capacitaciones, en el que se establezca y se transmita a los trabajadores la importancia de la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, uso correcto de recursos como el agua, e incluso educación sobre el uso de agua en los hogares de los trabajadores.

El caudal de diseño de agua residual proyectado para el 2030 se encuentra en el Cuadro 47 de la sección de resultados. Para el mismo se realizó una prueba de estacionalidad, prueba ARIMA y finalmente una proyección; utilizando los valores de la demanda de agua potable mensual del 2013

al 2018, y un factor de conversión de 14% para obtener el agua residual producida por consumo de agua potable.

En la prueba de estacionalidad ADF, se obtuvieron dos condiciones verdaderas y dos falsas. Las verdaderas significan que se puede aceptar la hipótesis nula sobre la raíz unitaria (referirse a la Figura 60 en la sección de datos calculados) y por lo tanto la estacionalidad de los datos de la demanda de agua potable respecto al tiempo, lo cual establece que la serie de datos tiene una tendencia determinística a través del tiempo. La tendencia hace referencia al crecimiento de la demanda de agua potable a través del tiempo debido al crecimiento de la empresa desde el 2013 al 2018, sin embargo, no hace referencia a la estacionalidad de los datos. El comportamiento de los datos puede observarse en la

Figura 62, en la sección de datos calculados, lo que apoya la falta de estacionalidad y la tendencia de crecimiento de los datos a medida que aumentan los años.

En el análisis del modelo ARIMA puede observarse en la Figura 61, el mismo muestra que el modelo se ajusta a la serie de datos. Los parámetros del modelo ARIMA (media a largo plazo, coeficiente del modelo AR y coeficiente del modelo MA) resultan satisfactorios. El coeficiente del modelo MA y la media a largo plazo son positivos, lo cual apoya que el modelo se ajusta a la serie de datos. El coeficiente del modelo AR es el único coeficiente negativo, lo cual se ajusta debido a que el componente negativo indica la autorregresión del modelo. La desviación estándar de 732.22 m<sup>3</sup>/mes, es el resultado de la no estacionalidad generada por la dispersión de los datos a través del tiempo. En la bondad de ajuste se observa que el modelo puede ser utilizado para la proyección debido al valor AIC (criterio de información Akaike), ya que es positivo. La bondad de ajuste a grandes rasgos simboliza lo bien que se ajusta el modelo a los datos que se tienen.

El resultado residual para el análisis del modelo ARIMA, también resulta satisfactorio debido a que no se tienen datos sesgados ni un exceso de curtosis, por lo que no hay grandes variaciones entre los extremos de los datos. Este análisis residual demuestra que los datos tienen un comportamiento de distribución normal. Además, no tienen ruido significativo lo que quiere decir que los datos no tienen una autocorrelación significativa, por lo que se interpreta que los datos no tienen correlación cruzada dentro de los mismos, de manera que no hay suficiente evidencia para

determinar si hay repetitividad o patrones dentro de los datos debajo del ruido de estos. Esto apoya la suposición inicial acerca de la no estacionalidad en la serie de datos y el uso del modelo.

La interpretación ARCH determina que dentro de los datos existe una correlación significativa de heteroscedasticidad, lo cual representa que los datos no tienen la misma varianza en el error o perturbaciones. Esto se da principalmente por variables no controladas para los datos, la demanda de agua depende de varios factores como el número de personas que consumen el agua, los accesorios y su consumo (si son de válvula o de tanque), la producción, estaciones en el año que influyen en la frecuencia de riego de jardines, entre otros factores. Estos no se tomaron en cuenta para el modelo, ya que este solamente contempla dos variables: demanda de agua y el tiempo. En la empresa no se maneja un valor fijo del personal con las épocas del año, este valor varía por la contratación de trabajadores temporales durante la temporada de zafra, la cual es la temporada alta en producción.

El resultado del test ARCH para el modelo ARIMA afecta la interpretación y limita el uso del modelo, ya que este es un modelo de regresión lineal con adaptaciones e inclusión de parámetros que lo hacen más preciso. Un supuesto importante acerca de la regresión lineal es que se tenga una varianza constante las perturbaciones de la serie de datos, lo que afecta al modelo en este aspecto. La consecuencia principal de la heteroscedasticidad es que los errores estándar y coeficientes de regresión den como resultado pruebas no válidas o una estimación/ proyección menos exacta.

A grandes rasgos, el modelo ARIMA muestra 2 aspectos buenos y uno que debería mejorarse. Los residuos no demuestran asimetría ni exceso de curtosis (colas gruesas), los residuos están distribuidos en una distribución normal. Sin embargo, existe correlación entre los residuos.

La Figura 62 muestran la proyección de la demanda de agua potable hasta 2030 de  $3.34 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/s, el cuadro incluye su desviación estándar y los límites superior e inferior, ya que se proyectó a 10 años y el error es arrastrado con cada proyección, para el 2030, la desviación del valor final es bastante grande con respecto a la demanda de agua mensual promedio. Se eligió el caudal máximo de ese año ya que el modelo es de tipo regresión lineal, de forma que en el año 2030 se pudiera

cumplir con el caudal de diciembre (el cual es el máximo), lo que no se podría hacer si se tomara el caudal mínimo o el promedio.

De la misma forma se eligió una proyección a 10 años para cumplir con la última etapa del acuerdo gubernativo (con fecha de vencimiento en el 2024), de esta forma se cumplirá con tiempo de sobra la planta de tratamiento.

La Figura 63 indica la demanda promedio de agua potable durante los años con el coeficiente de correlación lineal entre los años y el consumo de agua, el comportamiento demuestra un crecimiento de 265.3 m<sup>3</sup>/año que representa un crecimiento del consumo de agua del 73% respecto al 2013 y 46% respecto al 2018. Para esto debe tomarse en cuenta también si el enfoque y visión de la empresa es que se desea disminuir la relación entre producción y el uso de agua.

Para determinar el factor de conversión entre el agua potable y agua residual se utilizaron datos del 2018 ya que estos fueron los entregados por la empresa externa. Sin embargo, es necesario realizar la misma metodología con otros años y luego promediarlo para obtener un factor de conversión promedio, para que el resultado sea más significativo. Esta metodología se sugiere ya que la empresa no cuenta con un contador de aguas residuales, sino que solamente con el contador de agua potable consumida.

En cuanto a la primera parte del sistema de tratamiento preliminar, se eligieron rejillas de limpieza manual (*Cuadro 48*, sección de resultados) debido a que su mantenimiento es menos costoso, y aunque requieren de limpieza más frecuente ya que el sistema no se está limpiando periódicamente como con el mecanismo mecánico, no se agrega un costo por electricidad. Paralelamente, se escogió un sistema de rejillas de limpieza manual ya que las de limpieza mecánica implican la integración de un programa de reemplazo y mantenimiento de piezas y otras consideraciones que se deben tomar en cuenta al instalar el sistema, como la constante lubricación de piezas móviles y que algunas de las mismas que no son sumergibles, tienen que estar echas de un material inoxidable y no corrosivo.

El sistema de rejillas para sólidos gruesos o grandes, los cuales en el contexto de la empresa podrían incluir papel y otros elementos de origen sanitario. De la misma forma, ya que la cocina está

conectada al sistema de drenaje, algunos sólidos que podría retener las rejillas serían de origen alimenticio y otros elementos desechados en los drenajes. De manera que se preserve el estado físico de las rejillas y su limpieza, se deberá contar con un plan de manejo de desechos en el que se incluya la disposición de desechos sanitarios y alimenticios, si estos serán depositados en un basurero para evitar el taponamiento y se dirijan a su disposición final o si se podrán desechar en el inodoro, drenaje o lavadero según sea la naturaleza de los residuos.

El plan de manejo de desechos también deberá incluir un procedimiento para la disposición de sólidos gruesos retenidos en las rejillas, estos deberán ser retirados de las rejillas según el manual de operación y mantenimiento, y depositados en una criba para eliminar el exceso de agua y que los mismos sean desechados en la clasificación de basura general.

Según el análisis de caracterización de aguas realizado por la empresa externa, en el Cuadro 46, en la sección de resultados, la materia flotante aparece como ausente, de forma que las rejillas están colocadas como método de prevención y no se espera que haya muchos sólidos gruesos que causen taponamiento en el sistema. Sin embargo, se deberán revisar diariamente de forma que se asegure el correcto funcionamiento de las rejillas, de forma que se eviten pérdidas de carga que afecte al resto del sistema por poco flujo de agua de salida, reboses y desbordamientos causados por taponamiento.

El dimensionamiento del sistema de rejillas puede observarse en el *Cuadro 48*, en el cual se encuentran los valores tanto de las barras de del sistema, como del canal por el que fluirá el agua residual. La altura y el largo del canal (0.8m) se dimensionaron casi el doble del ancho (0.4m), pero menores que la longitud de las rejillas (1.13m). De esta forma se evita que el contrapeso cause presión en el sistema y que, con el peso de la basura y el movimiento del flujo de agua, especialmente si hay sobrecargas, se dañen las paredes del canal o se causen deformaciones a largo plazo o fisuras en la estructura de las barras.

El tratamiento preliminar se diseñó para contar con dos sistemas de rejillas por motivos de mantenimiento, limpieza y seguridad. Los primeros dos motivos son para mantener un proceso continuo de forma que, al darle mantenimiento o limpieza a uno de los sistemas, el otro pueda operar

sustituyendo al primero, por lo que es necesario contar con un bypass o compuerta que pueda direccionar el flujo de agua en tales casos.

El tercer motivo se da principalmente en caso de desbordamientos por taponamientos o sobrecargas en el sistema, de forma que el flujo se pueda dirigir al otro equipo y pueda controlarse la sobrecarga. Por la razón anterior, se agregó una altura de seguridad de 0.8m como regla gruesa, de forma que en operaciones normales el agua alcanzará un 0.17% del canal. El nivel de agua se mantendrá pequeño debido a que no se cuenta con la tasa de crecimiento de la empresa esperado para el 2030 y para se tome en cuenta posibles expansiones y aumento de caudal por el aumento de personal en las épocas de producción más alta.

En cuanto a la pérdida de carga del sistema de rejillas, la regla gruesa es un valor aproximado de 0.150 m, el cual para rejillas sucias (taponamiento de 50%) se obtuvo 0.240 m y para rejillas limpias 0.032 m. Estos valores se interpretan como la importancia de mantener un buen mantenimiento, ya que la pérdida de carga de las rejillas sucias está por encima de la regla gruesa, se debe mantener un control del taponamiento y la pérdida de carga en el sistema, de manera que esté por debajo del 50%. Se sugiere limpiar las rejillas cuando el taponamiento represente un 15 – 25%. Una forma de evitar o disminuir el taponamiento, y por lo tanto la frecuencia de limpieza y mantenimiento es la implementación de cajas recolectoras en las salidas de los puntos de descarga o desagüe, especialmente de la cocina en la que los sólidos gruesos pueden constituir vegetales y desechos alimenticios que pueden servir como compost, para un biodigestor o pueden venderse como residuos orgánicos a una empresa externa.

La trampa de grasas se dimensionó utilizando reglas gruesas establecidas por las normas DIN 4041, las cuales relacionaban caudal de entrada y tiempo de retención. De la misma forma se relacionó el área necesaria por unidad de flujo según experimentos realizados bajo la misma norma, y con la cual se obtuviera un 92% de eficiencia. El valor de eficiencia anterior cambiará según la velocidad ascensional de los compuestos livianos dentro del sistema de grasas en la práctica, y la densidad de las grasas, la cual no se mantendrá constante como el supuesto teórico utilizado en este trabajo.

Es importante que al implementar la trampa de grasas se realicen estudios de su densidad para la evaluación del desempeño de la trampa de grasas, y que de la misma manera se pueda obtener un porcentaje de remoción de grasas en la trampa en función del tiempo y para el tiempo establecido según los parámetros de diseño.

En caso de que aumente la concentración de grasas en la entrada, o que no se esté dando una correcta separación de estas, se sugiere incorporar baffles en la trampa de grasas para que entre ellos se almacenen las grasas y aceites, y que los mismos faciliten y promuevan la remoción de los componentes livianos.

En cuanto al dimensionamiento de la trampa de grasas, los resultados pueden encontrarse en el Cuadro 49. El sistema es de un tamaño considerablemente pequeño ( $0.055\text{m}^3$ ) en comparación con los encontrados usualmente en las industrias, los cuales son de mínimo  $1\text{m}^3$ . Esto es dado que las concentraciones no son tan altas, y los valores que no cumplen con el acuerdo gubernativo provienen de la línea donde está la cocina. Una alternativa a este trabajo es instalar la trampa de grasas como un equipo exclusivo para la salida de agua de la cocina. Se propuso este sistema dentro de la línea de la planta de tratamiento, por motivos de la expansión de la empresa en un futuro, y por de prevención en caso otras descargas aumenten su concentración de grasas y aceites, de forma que se puedan tratar en la planta de tratamiento de aguas residuales en conjunto con las otras líneas y los otros parámetros que no cumplen con la normativa.

El balance de masa del sistema de remoción de grasas en la Figura 33, muestra el proceso general diseñado, asumiendo el 92% de retención, según la norma DIN 4041. La salida de agua, según el balance en el Cuadro 22, tiene una concentración de grasas de  $0.075\text{ m}^3/\text{m}^3$  (6.48 ppm), lo cual cumple con los parámetros establecidos del acuerdo gubernativo 236-2006 (60 ppm). A manera que se obtenga el valor real de la eficiencia de la trampa de grasas, ya que el valor teórico difiere del valor en la práctica dependiendo de la densidad de las grasas y los aceites. Se deberá realizar un registro entre el ingreso y egreso de grasas y aceites de la trampa respecto al tiempo y a partir de esto obtener una curva de eficiencias donde se manejen estas variables. En caso se desee mejorar la eficiencia, se pueden incluir baffles entre la entrada y salida de forma que las grasas y aceites queden retenidos entre las estructuras.

En cuanto al proceso de captación de flujo, la ecuación utilizada para obtener la tasa de crecimiento anual de la demanda de agua en la empresa fue una ecuación de crecimiento exponencial. El 3.29% es una tasa de crecimiento anual que se asume constante, sin embargo, entre cada año este valor cambiará dependiendo de la demanda real de agua, la cual va ligada, como anteriormente se mencionó, a la producción, cantidad de personal, etc. El flujo proyectado de la demanda de agua potable para el 2030 calculado con la tasa de crecimiento de 3.29% fue de  $0.00238 \text{ m}^3/\text{s}$ , este valor se comparó con la demanda de agua potable dada por el crecimiento entre el 2018 al 2030 de 46% y del 2013 al 2030 del 73%, lo cual da como resultado un valor similar ( $0.00236 \text{ m}^3/\text{s}$ ), de forma que se aceptó el uso de la tasa de crecimiento anual.

El tanque con volumen de  $5.59 \text{ m}^3$  se colocó previo al sedimentador primario en línea con el resto de los equipos, de manera que este equipo recibiera un flujo constante de agua residual y se evitaran corto circuitos, es decir, un tiempo de llenado mayor o menor al establecido por el diseño. Lo que da a lugar a una consideración importante para el tanque de captación de flujo y es que se dará el fenómeno de sedimentación debido a que no se diseñó un sistema de agitación para evitar este problema. Las dimensiones del tanque pueden observarse en el cuadro 10 de la sección de resultados.

El agitador no se incluyó en el diseño por dos razones principales: costo de operación y mantenimiento, y requerimientos de la operación. La primera razón se debe a que, dado el tamaño de la planta de tratamiento, incluir un mezclador o en su defecto un sistema de aireación para el mezclado interno implicaría un costo extra de instalación, mantenimiento y operación.

La segunda razón acerca de los requerimientos de operación se debe a que los mezcladores se incluyen en los tanques de homogeneización o equalización para que no solamente se eviten variaciones de flujo, sino que también se mantenga una concentración constante de los componentes del agua residual, principalmente DBO. Por lo que este tipo de sistemas se incluyen en el diseño para aguas residuales que tienen componentes de carácter especial. Paralelamente, no se llevó a cabo un monitoreo de la variación de la carga de DBO con respecto al tiempo durante 24 horas, como se realizó durante la caracterización de aguas para la variación de flujo. De manera que se dará una sedimentación parcial por la falta de agitación, el tanque se dimensionó con una pendiente en el fondo

del tanque de 10%, lugar en el cual se acumularán los sólidos que se sedimenten y se podrán purgar para su tratamiento.

Usualmente, en el diseño de los tanques de captación de flujo, se representa el volumen acumulado en función del tiempo (referirse a la Figura 70 en la sección de datos calculados), se realiza una curva que relacione la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con el tiempo, como se mencionó anteriormente. De manera que se pueda predecir el efecto del proceso de homogeneización en este parámetro y pueda tomarse en cuenta para el tratamiento principal de DBO. Sin embargo, no se realizaron estudios ni mediciones de la cantidad de DBO en el agua monitoreada con el tiempo al igual que el caudal de agua residual.

Para asegurar que el flujo de salida de agua residual sea constante se propuso la instalación de una válvula automática proporcional accionada por un lazo de control de flujo, de forma que se gradúe el caudal de salida y este sea constante pese a las variaciones en la salida de agua de la empresa, la producción, descansos, variación en personal, etc.

Se determinó mediante un balance de masa (ver Figura 34) la sedimentación parcial que se daría en el tanque de captación de flujo. La misma está dada en función de la velocidad de sedimentación, el largo y la profundidad del tanque, para lo cual se obtuvo que la sedimentación sería de 32%, lo que contribuiría con un flujo de lodos de  $1.27 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$ . Este valor no representa una cantidad significativa de lodos y debido a que se asumió para el diseño el peor caso, de manera que los equipos cumplieran satisfactoriamente en cuanto a desempeño a las máximas concentraciones, se estableció el supuesto de que no se daría una sedimentación parcial significativa en el tanque de captación de flujo.

Para el tratamiento primario, se propusieron dos sedimentadores primarios rectangulares continuos de volumen de  $2.52 \text{ m}^3$  cada uno (referirse al Cuadro 51 de la sección de resultados). No se optó por un diseño cilíndrico, ya que generalmente estos ocupan más espacio y requieren una altura mayor para la sedimentación. De la misma forma, la construcción longitudinal de un sedimentador rectangular ofrece una mayor distancia para que los sólidos se sedimenten, ya que la forma en la que lo hacen es parabólica. Dado que no se conocen las dimensiones y propiedades reales de las partículas

a sedimentar, salvo la densidad de partícula, un sedimentador primario rectangular ofrece el suficiente espacio longitudinal para la sedimentación, lo que lo hace más ideal que uno cilíndrico.

En los sedimentadores cilíndricos continuos, el flujo de agua entra por el centro o un extremo, y si el diámetro es menor al largo de un sedimentador rectangular, la distancia desde la entrada hasta la salida del agua es menor. El área que ocupa un sedimentador circular podría ser aprovechado para el resto de la planta de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, el material de construcción de un sedimentador primario, al ser de concreto, y los circulares usualmente metálicos reforzados, tienen costos de instalación más bajos.

Las propiedades de las partículas sedimentables se asumieron debido a que estos datos no se midieron al momento de caracterizar las aguas residuales, con excepción de la densidad de las partículas, de manera que los valores elegidos provienen de la caracterización de los sólidos sedimentables de una planta pequeña de tratamiento de agua residual municipal, la cual es de carácter ordinario. Por lo que se tomó como supuesto para este trabajo que los sólidos sedimentables serían de carácter similar debido a su origen. Estas características se encuentran del rango esperado en aguas residuales ordinarias, según la literatura.

Según el tamaño de partícula de sólidos sedimentables provenientes de aguas residuales ordinarias, el modelo de Stokes es el que mejor explica el comportamiento y velocidad de sedimentación. Usualmente los modelos de Newton y de Allen se utilizan para el diseño de desarenadores debido al tamaño de partícula más grande, el cual asemeja más a una partícula de arena. Estos diseños se realizan también, cuando las aguas pluviales están incluidas en el efluente de los drenajes, lo que genera regímenes de flujo turbulentos o en transición, contrario al régimen laminar asociado comúnmente al modelo de Stokes.

Para el diseño del sedimentador, se asume que las partículas son discretas y de características uniformes (tamaño, densidad, gravedad específica, forma, etc.) de forma que aquellas partículas que tengan parámetros diferentes serán afectadas por la velocidad de arrastre y no tendrán el mismo tiempo de retención. Dado que las características de las partículas sedimentables fueron supuestos

proporcionados por la literatura, es importante monitorear la entrada y salida del sedimentador propuesto.

En cuanto a las dimensiones del tanque, ya que no se contaba con las características de los sólidos sedimentables, como previamente se mencionó, se decidió fijar el tiempo de retención estándar (2.1 horas) entre los rangos de diseño sugeridos por la literatura (1.5 – 2.5 horas), comparando también el tiempo de retención con el porcentaje de retención de sólidos. De esta manera, se eligió también la profundidad mínima del sedimentador (0.6m). De acuerdo con este dato y a las relaciones entre las dimensiones dadas por las reglas gruesas de diseño, se eligió el largo del sedimentador (3m). La forma de purga de los lodos será por la parte inferior del tanque, el cual tendrá una pendiente del 10% de la altura como regla gruesa. El volumen a forma de evitar que sobrecargas afectaran la operación del sistema se diseñó a un 10% del volumen establecido ( $2.52 \text{ m}^3$ ).

El porcentaje de sedimentación alcanzado fue de 80% para sólidos sedimentables, y para los sólidos suspendidos (parcialmente sedimentables), según el diseño y los resultados, será un 56.91%. El porcentaje de remoción de los sólidos parcialmente suspendidos está dentro del rango de 50 – 70% que da la literatura. El balance puede observarse en la Figura 3 de la sección de resultados. Con los porcentajes de retención, el agua de salida tendría una concentración de  $3.73 \text{ kg/m}^3$  (referirse al Cuadro 115 de la sección e datos calculados) equivalente a 282 ppm, este valor cumple con los parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 en la tercera etapa (400 ppm) para sólidos suspendidos. El resto de los sólidos suspendidos no sedimentables que salen de esta sección serán tratados el tratamiento secundario y terciario del siguiente módulo titulado “Propuesta de un sistema de tratamiento secundario y terciario de aguas residuales ordinarias para una planta productora de sacos”.

El supuesto para el sedimentador primario utilizado en el dimensionamiento se basó en que no hubiera sedimentación previa en el tanque de captación de flujo. Sin embargo, en la práctica parte de los sólidos se sedimentarán en este equipo, los sólidos de salida del sedimentador primario serán menores al valor teórico, de forma que deberán tomarse muestras en la entrada y salida del sedimentador primario para comparar el porcentaje de remoción de sólidos real, y ajustar el balance de masa del proceso de sedimentación.

El tanque propuesto es un tanque de sedimentación ideal, sin embargo, para la práctica debe evaluarse que la relación dada por la  $R=a+bt$  Ecuación 14, acerca de la remoción de DBO y SST. La ecuación tiene la limitante que no toma en cuenta el cambio de las características del agua residual conforme el tiempo, y a lo largo del tanque, por lo que es importante caracterizar el agua al instalar el tanque de sedimentación y obtener diagramas de concentración en función del tiempo.

De manera que se asegure la sedimentación de partículas de menor tamaño, y que no sean arrastradas por la corriente, se incluyó una pantalla difusora para promover la sedimentación por la colisión de las partículas en la superficie de esta. De la misma forma, la pantalla difusora sirve como un elemento de uniformidad de flujo dentro del sedimentador. El método de salida del vertedero se diseñó para ser por rebalse a través de un vertedero dimensionado para que el caudal de salida fuera igual al de entrada.

Utilizar placas inclinadas en el sedimentador entre 45-60° puede mejorar y asegurar la sedimentación de la mayor cantidad de partículas, ya que en la práctica la eficiencia de los sedimentadores es diferente. Estas placas promueven que la diferencia entre la eficiencia real y la teórica sea más estrecha. De manera que, a partir de la calificación de operación del equipo y su calificación de desempeño, en caso de ser necesario, se pueden implementar estas placas en el sedimentador ya dimensionado.

Las tuberías en todos los sistemas fueron diseñadas para tener un caudal de salida de agua residual igual al de entrada, el cual es el caudal de diseño ( $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ), esto se realizó de manera que el tiempo de llenado y vaciado fuera equivalente y se evitaran así, sobrecargas o vaciado del sistema, causando corto circuitos. En el caso de la trampa de grasas, se usará tubería de 2 pulgadas para evitar taponamientos, el flujo no se verá afectado ya que la descarga se da por rebalse.

Adicionalmente, para complementar los objetivos propuestos en el trabajo, se realizaron manuales de operación, limpieza y mantenimiento. Los cuales pueden encontrarse en la sección de anexos. Debe tomarse en consideración que la frecuencia de limpieza y mantenimiento establecidos en los manuales, están basados en reglas gruesas y recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, las mismas pueden variar en la práctica, por lo que se deben realizar mediciones,

observaciones y monitoreo constante al arranque y operación de la planta de tratamiento, a manera de determinar si la frecuencia es adecuada o debe ajustarse.

## B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

El objetivo principal de este trabajo fue proponer un tratamiento secundario y terciario unificado para una planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias. Esto para poder cumplir con los parámetros requeridos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Se decidió enfocarse en el punto de toma de muestras llamado “Laminadora 3”, debido a que este punto era el que más presentaba problemas de incumplimiento de los parámetros. Con los datos de este punto, se aseguró que la propuesta del tratamiento iba a colocarse en el lugar más adecuado ya que contaba con el mayor flujo de caudal. La “Laminadora 3” posiblemente contenga los mayores problemas debido a que es en este punto donde se juntan todos los baños utilizados por los operarios y personal de la empresa de sacos. Debido a que la empresa no posee procesos en donde se involucren metales pesados o la utilización de componentes altamente contaminantes, se dedujo que los baños son la principal fuente del problema. Como fue reportado por el encargado del proyecto de parte de la empresa, es muy complicado realizar una unificación de las tuberías de toda la empresa, ya que implicaría detener el proceso de producción durante algunas semanas, la construcción de la planta unificada requeriría la manipulación de la obra gris de la empresa y también sería complicado ya que la empresa está construida en los dos extremos de una carretera y uno de sus medios de comunicación es un puente subterráneo que une el área de bodega de materias primas y producto terminado y el área de producción de sacos.

Aun así, se recomienda una unificación de los drenajes de todos los efluentes de agua para evitar problemas en el futuro de incumplimiento de leyes sanitarias. Esto debido a que las leyes sanitarias son cada vez más estrictas y es más conveniente tomar medidas preventivas que medidas correctivas.

Las pruebas de laboratorio con las enzimas facultativas se realizaron con agua residual proveniente de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala. Esto se decidió así ya que lo que se deseaba medir era la eficiencia de las enzimas, es decir, su capacidad de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el nitrógeno y el fósforo en el agua residual.

El objetivo específico 1 de este módulo establecía la comparación de dos enzimas y sus porcentajes de reducción para que redujeran las dimensiones del reactor UASB. Previo a las pruebas de laboratorio que se le realizaron al agua residual de la universidad, se realizó una prueba del medidor multiparámetro HACH para establecer la mejor dilución a utilizar, debido a que se contaba con reactivos y un método que solicitaban un rango establecido de concentración de DQO. Para ello se realizaron varias diluciones y se determinó que la dilución más adecuada era 1 mL de muestra en 100 mL de agua destilada. También se aplicó la misma cantidad de ENZIPLUS que de BIOZYME 8000 para que tuvieran un comportamiento similar en el agua residual. La cantidad aplicada fue de 0.01 g en 1 L de agua residual. Esta cantidad fue de esta manera ya que se siguió el manual de aplicación de la enzima BIOZYME 8000. Las pruebas que se realizaron fueron en triplicado para asegurar que el procedimiento utilizado fuera adecuado. Al realizar el análisis estadístico de estas pruebas en triplicado se determinó que los datos eran precisos (Tablas 18 y 19 de los anexos).

Como se puede observar en el Cuadro 52. Porcentajes promedio de reducción de los parámetros estudiados con tratamiento de enzimas para agua residual de tipo ordinario, el comportamiento en la remoción de DQO y DBO fue bastante similar para ambas enzimas. El parámetro que más cambio presentó fue la demanda química de oxígeno (DQO). La reducción presentada por la enzima ENZIPLUS fue de 30% y por la enzima BIOZYME 8000 fue de 37%. Este resultado se utilizó en el cálculo para el reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) debido a que se comprobó que si había un cambio significativo en la DQO con la aplicación de estas enzimas. Como se puede observar en el anexo, la presentación de la enzima BIOZYME es más cómoda para el usuario ya que está empaquetada en dosis de 10 g. Esto es más conveniente para la empresa ya que no se necesita de una balanza para medir la cantidad a aplicar.

Los resultados de la remoción de  $DBO_5$  no fueron precisamente los esperados. El porcentaje de remoción de ENZIPLUS fue de 4.1% y el porcentaje de remoción de BIOZYME fue de 4.4%. Según ambos proveedores de las enzimas, la remoción de estos parámetros va aumentando con respecto al

tiempo, más cuando se cuenta con un reactor, en este caso con un UASB, debido a que estas enzimas promueven el crecimiento de los microorganismos en el lodo del reactor y así pueden degradar la materia orgánica más rápidamente. También se debe tomar en cuenta el tiempo de retención hidráulico y mientras más tiempo permanezcan, mejor actuarán. En el reactor UASB estarán 7 horas. Es por esto por lo que el resultado preliminar puede ser tomado en cuenta, pero debe considerarse que la remoción de DQO y DBO será mayor conforme avance el tiempo de operación del reactor.

Por otro lado, el nitrógeno y el fósforo no se lograron reducir con estas enzimas, debido a que no es la función principal de las mismas. Es por esto por lo que se dimensionó un filtro percolador que puede ser ubicado en la sección de resultados del Módulo 2.

A pesar de que la reducción de las enzimas no es tan elevada, si es conveniente utilizarlas ya que si presentan una reducción en los parámetros estudiados como se muestra en el Cuadro 53. En este mismo cuadro se puede observar la reducción que se obtuvo de la DBO, DQO, nitrógeno total y fósforo en el agua residual. Se lograron reducir todos los parámetros que exige el acuerdo gubernativo 236-2006. Es importante mencionar que la empresa reportó que su agua residual se dirige al alcantarillado público, pero el laboratorio externo, encargado de la medición de todos los parámetros del Acuerdo, reportó que el agua descarga a cuerpos receptores de agua. Es por esto que se decidió reducir los parámetros para el Acuerdo más estricto, que es el de cuerpos receptores de agua, encontrados en el anexo.

El segundo objetivo específico de este módulo establecía la propuesta de los parámetros de diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para tratar el caudal recolectado del tratamiento primario, y luego unificar el tratamiento secundario y el tratamiento terciario. Cabe mencionar que previo a la selección del reactor RAFA (o UASB por sus siglas en inglés) se estudió la posibilidad de utilizar otros tanques de proceso anaerobio y aerobio, así como un reactor de contacto, un reactor por lotes de secuencia, reactor de crecimiento suspendido y uno de lodos activados. (Metcalf & Eddy 2003). Se decidió utilizar un reactor UASB debido a que su costo de operación es significativamente menor al de los demás y cuenta con una eficiencia de remoción de DQO, DBO y sólidos suspendidos de 70% a 80%. (Van Lier 2010). Posee una producción de lodos bastante pequeña y no requiere de equipos de aireación o calentamiento para su funcionamiento.

Para el diseño del reactor se incorporó el resultado de la reducción de DQO obtenido en el objetivo específico 1. Como fue explicado anteriormente, se utilizaron parámetros de diseño típicos para un reactor UASB. Los parámetros de diseño de este reactor pueden ser observados en el Cuadro 54. Parámetros de diseño para el reactor anaerobio de flujo ascendente y Cuadro 55. Parámetros operativos para el reactor anaerobio de flujo ascendente en la sección de resultados.

El reactor tiene un volumen de diseño de  $8.45 \text{ m}^3$ , tomando un caudal proyectado a 10 años calculado en el Módulo 1, con una razón de carga orgánica de  $6.0 \text{ Kg DQO/m}^3\text{d}$  (Metcalf & Eddy 2003). Se obtuvo un tiempo de retención hidráulico de 7.03 horas. Fue necesario la incorporación de una bomba centrífuga para trasladar el afluente proveniente del tratamiento primario hasta el interior del reactor UASB. El reactor cuenta con un sistema de distribución de agua en la parte inferior de la tubería de ingreso para que exista una dispersión del flujo de entrada y así evitar que se atasque en el lodo y afecte el tratamiento biológico.

También se colocó una salida de lodos en la parte inferior del reactor para que estos puedan ser extraídos por medio de una bomba de desplazamiento positivo y una manguera para evitar que se acumulen. También para evitar que salgan en el efluente de este proceso y afecten el tratamiento de desinfección de la planta de tratamiento de agua residual. Este procedimiento se realizará de forma manual para que no exista una tubería fija adentro del reactor y así se pueden evitar problemas en el tratamiento biológico y en los procesos de operación y mantenimiento del reactor.

El tanque cuenta con una salida de gas metano. La producción de gas total en el proceso biológico del reactor UASB es de  $17.945 \text{ m}^3\text{/d}$  con una composición de  $11.665 \text{ m}^3 \text{ CH}_4\text{/d}$  con una energía de  $3.85 \times 10^5 \text{ KJ/d}$  que puede ser aprovechada en procesos internos de la empresa. Se debe implementar válvulas de bola en todas las salidas del sistema para que pueda detenerse el flujo cuando se le realice mantenimiento al equipo. La tapadera del tanque debe de estar sellada para garantizar el proceso anaerobio. También es importante mencionar que la incorporación de un techo para el filtro percolador es necesaria para evitar problemas con la lluvia y la contaminación del tratamiento. Es importante mencionar que se debe realizar una prueba piloto del reactor UASB y el filtro percolador con los parámetros de diseño calculados, debido a que se utilizaron valores típicos de diseño, pero no se comprobó experimentalmente.

Con los resultados obtenidos de los objetivos específicos 1 y 2 se puede concluir que no se logró realizar el tratamiento secundario y terciario en un solo paso, debido a que el tratamiento terciario exige que se realice una desinfección, así como la incorporación de un filtro de membranas y una remoción mayor de nitrógeno. Es por esto por lo que se debe incorporar otro proceso de eliminación de nitrógeno y fósforo para poder cumplir con este objetivo en su totalidad. Con la incorporación de un filtro percolador si se logró reducir de forma teórica, el nitrógeno total y el fósforo por debajo de la norma. La DBO se logró reducir significativamente con la incorporación del reactor anaerobio de flujo ascendente, aunque se terminó de eliminar con el filtro percolador.

Como tercer objetivo específico de este módulo se planteó la elaboración de los manuales de operación y mantenimiento del reactor anaerobio de flujo ascendente y del filtro percolador. Es necesario mencionar que la importancia de la elaboración de estos manuales radica en el buen funcionamiento del equipo.

Es necesario que los operarios y los encargados de este tratamiento biológico reciban una capacitación para prolongar la vida del equipo y garantizar que el tratamiento secundario esté ocurriendo como fue planeado. Como fue explicado anteriormente, la enzima BIOZYME 8000 ya viene separada en bolsas pequeñas para que su aplicación al proceso sea lo más rápido y fácil posible. Debido a que se eligió la utilización de la enzima ENZIPLUS, es necesario incorporar un recipiente que pueda almacenar la medida justa a aplicar al drenaje, para facilitar la aplicación de la enzima y eliminar la necesidad de utilizar una balanza. De esta manera se agiliza el proceso y se disminuye la dificultad para el operario. Los manuales de operación y mantenimiento también tienen como objetivo promover las buenas prácticas y así garantizar que el operario mantenga una buena salud. En estos manuales se evitó el uso de lenguaje muy técnico, también con la finalidad de reducir la dificultad de su comprensión y que sea lo mejor replicable posible.

### C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

El trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de un sistema de tratamiento cuaternario con el propósito de reducir el *número más probable* (NMP) sobre 100 mL de coliformes fecales en las aguas residuales de tipo ordinario de una planta de sacos, con la finalidad de cumplir con el

parámetro establecido en el artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2996 "Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos". La propuesta se hizo a partir de un primer análisis cualitativo de diferentes desinfectantes, y el análisis cuantitativo de dos, de los cuales se eligió uno para operar en la planta. Se dimensionaron los equipos necesarios para poder hacer la desinfección de las aguas residuales, llegando a un porcentaje de reducción del 99.81%. Se tomo en cuenta que el número de coliformes de entrada que se van a tener es de  $5.4 * 10^6$  NMP/100 mL y el máximo establecido por la ley para el 2024 es de 10,000 NMP/100 mL.

El primer análisis fue la investigación cualitativa de diferentes desinfectantes: hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ), hipoclorito de calcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ), dióxido de cloro, radiación UV y ozono. Las características que se estaban buscando para el desinfectante fueron las siguientes: Costo, toxicidad o peligroso de operar, complejidad del sistema, residuales y mantenimiento. Se realizó una matriz pareada para ponderar cada una de los criterios a tomar en cuenta a la hora de la selección de desinfectante se tomó en cuenta las necesidades de la empresa. Los criterios con la ponderación más alta fue la de costo (24%) y toxicidad (24%) como se puede observar en el Cuadro 60, ya que la empresa está interesada tanto por lo económico del sistema como también la salud y seguridad de los operarios. Esto se eligió así, ya que la empresa desea cumplir con el parámetro establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 pero buscando una alternativa más económica, ya que se trata de la inversión del manejo de los desechos de la empresa. Como se puede observar en el Cuadro 16, los costos del dióxido de cloro, ozono y la lámpara UV son más altos que los de hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio. El tema de seguridad se priorizó debido a que siempre se desea tener un ambiente seguro dentro de la planta.

En la matriz cualitativa se puede observar que el hipoclorito de sodio obtuvo la menor puntuación, esto significa que es la mejor opción de desinfectante para el sistema cuaternario de aguas residuales tomando en cuenta las necesidades de la empresa y sus prioridades. El cloro es el que cuenta con la mayoría de características que se describieron anteriormente, ya que es un desinfectante accesible, tiene una capacidad oxidante alta, tiene propiedades residuales, y el equipo para su dosis es el más sencillo, comparado con el de UV y ozono.

El sistema de UV y ozono fueron descartados debido a su complejo sistema de operación, lo que significa que requiere capacitaciones más complejas a los operarios. De igual manera que no cuentan con residuales, esto significa que el agua después de estar en contacto con el desinfectante, no va a seguir desinfectándose. Esto afecta debido a que se desea que incluso después de salir del tanque de tratamiento cuaternario, el agua se siga limpiado para prevenir que si llega a estar en contacto con algún material que contenga materias fecales, se vuelva a contaminar, y como no cuenta con residuales no se va a limpiar. El dióxido de cloro se descartó por su inestabilidad, ya que este se debe preparar *in situ* y genera un riesgo para los operadores, como también requiere de una capacitación constante del manejo del mismo. Los otros dos desinfectantes, el hipoclorito de calcio y de sodio, presentan un mayor número de ventajas tomando en cuenta la prioridad que se le dio a las características que se quiere en el desinfectante. Estos cuentan con un sistema sencillo de operación, donde no se requiere una compleja capacitación a los operarios y cuentan con residuales, que permiten que se siga clorando el agua incluso después del tiempo de contacto.

Para elegir entre el  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  y el  $\text{NaOCl}$ , se tomó en cuenta la presentación física del mismo. El hipoclorito de calcio se encuentra comúnmente en estado sólido, lo que hace que al proceso de tratamiento se le adicione un paso de dilución, esto requiere tiempo y un operario que se encargue de eso. Otro de los inconvenientes es que la solubilidad del hipoclorito de calcio es relativamente baja, por lo que se tienen que cuidar las características del agua en la que se esté diluyendo, por ejemplo la temperatura para evitar que se sedimente. Aun que este se mezcle correctamente con el agua de disolución, forma subproductos insolubles como el hidróxido de calcio que si no se tiene un buen mantenimiento pueden llegar a formar incrustaciones en el tanque. Con el hipoclorito de sodio se tiene una solución líquida, por lo que se descarta la necesidad de una sección adicional en la planta de tratamiento de aguas residuales que se dedique a prepararla. Cualitativamente el hipoclorito de sodio tiene mayores ventajas técnicas, pero de igual manera se hizo una experimentación a nivel laboratorio para poder tener una comparación cuantitativa.

En la experimentación a nivel laboratorio que se realizó, se comparó la reducción de unidades formadoras de colonias en aguas residuales al ponerlas en contacto con el hipoclorito de calcio y el de sodio. Para este proyecto se tomaron muestras de agua de la Universidad del Valle de Guatemala, agua que fue analizada previamente como se puede ver en el Anexo 0, ya que se tuvieron complicaciones con las tomas de muestra en la industria de sacos. Una de las complicaciones se presentaba en la toma de muestras ya que significaba parar el proceso de producción y no se tenía

contemplado en el plan de producción de la empresa. En el Manual de Metcalf y Eddy mencionan como para un rango de concentraciones de NMP/100mL se utiliza un rango de concentraciones de hipoclorito de sodio para desinfectar, y las aguas residuales de la empresa de sacos está en el mismo rango de NMP/100mL que las aguas de la Universidad del Valle, por lo que se asume que los resultados de la experimentación se puede aplicar para las dos aguas residuales.

En la Figura 95 y Figura 96 en la sección de Anexos se puede observar los distintos resultados de la experimentación, luego de esperar 24 horas (ó 48 horas) para el crecimiento de los coliformes fecales (y *E.coli*) como lo indica la guía del anexo 1.a.E. Como se puede observar en el Cuadro 155, se tienen cuatro muestras de aguas residuales con diferentes concentraciones, de las cuales las que fueron tratadas con hipoclorito de sodio muestran números más reducidos de unidades formadoras de colonias que las que fueron tratadas con hipoclorito de calcio a la misma concentración. Esta experimentación se hizo para hacer un análisis no solo cualitativo, pero también cuantitativo, a la hora de tomar una decisión final para elegir entre estos dos compuestos. A partir de este recuento, se calculó porcentualmente cuanto se redujo para poder deducir que concentración se necesita utilizar en la industria de sacos, si se quiere llegar al parámetro permitido por la ley. Para la determinación de la concentración de cloro inicial se estableció que variable se iba a variar, concentración o tiempo, en la experimentación. En este caso se eligió la concentración, como variable a cambiar.

Se eligió esta variable, debido a que ya se tenía un modelo del rango de concentraciones de hipoclorito de sodio con las que se trabajan, dependiendo del tipo de agua con la que se esté trabajando (la cantidad de NMP/100mL) y a que rango de concentración de patógenos se quiere llegar, en este caso se guio por el número que establece el Acuerdo Gubernativo 236-2006. El modelo se puede observar en el Cuadro 22. Para este modelo se tiene un tiempo de 30 minutos de contacto entre las aguas residuales y el hipoclorito de sodio.

Se decidió utilizar la concentración como variable, ya que es con la que se tiene más flexibilidad de operación. Es técnica y económicamente más viable para la industria de sacos cambiar la concentración del hipoclorito que se esté utilizando, a cambiar el volumen del tanque de contacto de tratamiento cuaternario de aguas residuales. Para este caso el caudal de agua es menor de  $0.00030 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que la cantidad de desinfectante a utilizar no va a ser muy grande. Al hacer el recuento de coliformes en el agua residual antes y después de ser clorada, se determinó el rendimiento porcentual de cada desinfectante a diferentes concentraciones, se determinó que se necesitaba una

concentración de 6 ppm si se quería reducir el número de coliformes por debajo de los 10,000 NMP/100mL, esto se puede observar en la pg. . Se puede observar que el valor esperado al hacer las pruebas con aguas residuales de las plantas, sea de 2,700 NMP/100mL, está significativamente por debajo de lo que establece el Acuerdo Gubernativo, pero se quieren tomar precauciones, por si hay algún cambio de pH o de temperatura, que puedan afectar en el rendimiento del hipoclorito de sodio.

Para el tanque de almacenamiento se calculó aproximadamente cuanto hipoclorito de sodio al 5% v/v se iba a utilizar, antes de esto se propuso un tiempo de almacenamiento basándose en la presentación en la cual ya vienen los productos y la cantidad de galones que se necesitan mensualmente. La demanda de hipoclorito de sodio actual es de aproximadamente 25 galones mensualmente, y la presentación comercial del mismo es de 60 galones. Por lo que se decidió la adquisición de dicha presentación comercial, para suplir la demanda bimensual estipulada. Se calculó a que concentración v/v de hipoclorito de sodio iba a tener al cabo de 60 días de almacenamiento. Para esto se utilizó el Cuadro 19, y como se muestra en los cálculos se dedujo que a los 60 días se iba a tener un hipoclorito comercial de 4.5%. A partir del caudal y la concentración de cloro necesaria para desinfectar, se calculó la nueva demanda de 27.5 galones por mes, 55 galones los dos meses con un 8.4% de seguridad. Esto se hizo ya que una de las desventajas del hipoclorito de sodio, es que se degrada con mayor rapidez que el hipoclorito de calcio, por lo que se quiere asegurar que esa propiedad no va a afectar en el rendimiento de desinfección, teniendo previsto cuanto teóricamente se tendría después de un tiempo de almacenamiento. Otro limitante es la temperatura, para evitar su degradación al tanque se le recomienda colocarlo bajo sombra. El tipo de material que se eligió para este tanque es el HDPE, polietileno, como se mencionó en Almacenamiento del hipoclorito de sodio (pg. ) este es uno de los más utilizados ya que tiene una vida útil larga de 10 a 20 años y su precio no es tan elevado. Este tanque es cilíndrico, su diámetro es de 0.59 m y su altura de 0.92 m, por lo que su volumen es de  $0.25m^3$ .

Para dosificar el cloro se eligió una bomba peristáltica, ya que se requiere una inyección constante del desinfectante. Esto es se debe principalmente a que no se tiene un agitador estático ya que el fluido se presenta con un flujo turbulento (con Reynolds de 18,253) permitiendo que se mezcle el hipoclorito de sodio con el agua residual. La marca para la bomba peristáltica elegida es stenner® y modelo E10VXA, tiene una capacidad de bombear la demanda requerida de 4.0 L/d pero su rango está entre 3 a 28 L por día lo que significa que si en el futuro, se llega a aumentar el número de coliformes fecales o se llega a disminuir el parámetro establecido por el Acuerdo Gubernativo sobre

los coliformes, se puede variar el flujo de la bomba conforme a las necesidades. También cuenta con un manual detallado para que los operarios tengan un mejor conocimiento de la bomba, y le puedan dar el correcto mantenimiento.

El volumen del tanque de contacto es dependiente del tiempo de residencia que debe tener el agua ya dosificada con hipoclorito de sodio. Este tiempo como ya se mencionó, era de 30 minutos, y con el caudal se calculó el volumen necesario para que a un flujo continuo permaneciera el tiempo completo antes de salir por la tubería inferior para el alcantarillado. Se sobredimensionó el tanque a un 20%, por recomendación de (Couper, Penney, Fair, & Walas, 2012), donde se tiene un rango de 12-20%. Esto tomando en cuenta que el caudal debe ser el mismo de entrada y de salida, para que el nivel de agua se mantenga constante, y su tiempo de residencia sea el necesario. Se tomó una relación de  $H/L=2$ , por recomendación (Couper, Penney, Fair, & Walas, 2012), para la relación de un tanque cilíndrico. Al obtener el diámetro y altura, se redondearon los valores a dos decimales, para facilitar el proceso de cotización y se concluyó con la obtención de un volumen de  $0.68m^3$ , diámetro de 0.76 m y altura de 1.5 m. Con este nuevo volumen se obtuvo un nuevo tiempo de residencia de 34 minutos, debido a que el tiempo es proporcional a la reducción de coliformes esto significa que el agua va a tener menos patógenos.

Para transportar el agua del tratamiento terciario al cuaternario se necesita una bomba centrífuga, para que succione el agua desde un punto más bajo (el fondo del tratamiento terciario) hasta un punto más alto de descarga (el tanque de contacto). Para dimensionar la bomba, se realizó un balance de energía mecánica desde el punto de succión (A) hasta el punto de descarga (B), como se puede ver en Figura 57, esto incluye las pérdidas por fricción, por altura y por presión. La potencia que se obtuvo fue de 0.01 hp, pero la mínima que se encontró en el mercado fue de 0.5 hp por lo que se seleccionó esa bomba.

El sistema fue diseñado para cumplir con el parámetro establecido por la ley del *número más probable* sobre 100mL, sin embargo si esta llegara a cambiar, se puede replicar los cálculos con el nuevo número de coliformes fecales.

#### D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

El objetivo de este trabajo consistió en proponer el tratamiento de lodos, provenientes del sedimentador primario y el digestor anaerobio del tratamiento secundario, de la planta de tratamiento de agua. Para ello, se realizó un balance de masa para conocer los flujos entrantes al tratamiento de lodos. El objetivo del tratamiento de lodos es acondicionarlos, para su aprovechamiento o disposición final y poder así cumplir con lo establecido en el acuerdo gubernativo 236-2006. Este reglamento establece los límites máximos permisibles de las propiedades fisicoquímicas en aguas y lodos, para poder efectuar la disposición final. Establece los posibles usos que se le puede dar al producto resultante del tratamiento. En el presente trabajo se evaluó el uso de los lodos como abono orgánico.

Para el diseño de la planta se consideró la estabilización con un digestor anaerobio, ya que si se desea aplicar como abono se deben de remover patógenos e inactivar los microorganismos presentes. Este sistema aprovecha las bacterias presentes en la materia orgánica y las transforma en ausencia de oxígeno, produciendo biogás. Es preferido sobre el digestor aerobio por su bajo capital requerido y bajos costos operacionales. Para el dimensionamiento, se debe de tomar en cuenta el proveer suficiente tiempo de residencia para lograr la estabilización. En este proceso la temperatura influye en la estabilización y la producción de metano. La mayoría de los digestores trabajan a temperaturas mesofílicas, esto quiere decir a temperaturas entre 30 y 38°C<sup>1</sup>. Esto coincide con el rango óptimo de temperatura para la producción de biogás, el cual está entre 22-42°C. La temperatura está relacionada con las velocidades de las reacciones involucradas y características de las comunidades microbianas como supervivencia, crecimiento y competición entre especies. Tiene un efecto en el aspecto cinético (velocidad de crecimiento de microorganismos) y en el termodinámico (conversión de sustrato a producto). Para obtener la temperatura de operación es importante tomar en cuenta las reacciones que están involucradas en el proceso.<sup>2</sup> Los microorganismos acetogénicos trabajan a temperaturas de 30°C y los metanogénicos a 35°C, es por esto que se prefiere operar en un rango de temperatura mesofílico.

---

<sup>1</sup> Metcalf & Eddy 2003

<sup>2</sup> Hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis (Bergamo et al. 2009)

Los incrementos de estabilización a temperaturas mayores a 35°C, son relativamente pequeños por lo que se elige usar esa temperatura.

A temperaturas menores como se observa en el Cuadro 102 el reactor comienza a acidificar. Una de las ventajas de este proceso de estabilización, es la producción de biogás que se puede aprovechar para distintos usos.

El tiempo de retención está relacionado a la temperatura ya que estudios han demostrado que cuando se modifica la temperatura de operación, se produce una disminución no lineal en la velocidad máxima de consumo de sustrato y por lo tanto un aumento en el tiempo. La velocidad a la cual la materia orgánica se degrada durante el proceso de digestión anaerobia depende de la concentración del sustrato, que sirve como donador de electrones y de la velocidad de consumo del sustrato por el catalizador, en este caso la biomasa activa.

Se tomó un tiempo de bombeo de 2 horas, ya que en el digestor se debe de bombear en ciclos para mantener condiciones constantes en el reactor. Si se bombeara en un tiempo de 8h o 24h, se debería de retirar el lodo que ya esté en el reactor ya que la remoción de patógenos ya estará avanzada en dicho producto y no sería conveniente mezclarlo con la alimentación.

Se eligió una bomba de diafragma, ya que esta es de operación simple y trabaja a bajas potencias que es lo necesario para este proceso.

Los lodos que entran al digestor serán los del sedimentador primario y el tratamiento secundario. El 99.5% de estos proviene del tratamiento primario. Se eligió un reactor de una etapa y baja carga ya que, para la cantidad a tratar, no sería necesario construir un tanque secundario para almacenamiento. Estos digestores son conocidos como convencionales. Son aquellos en los que el proceso se lleva a cabo sin calentamiento ni mezclado, para favorecer la estratificación del lodo. Generalmente se emplea en plantas pequeñas.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Plantas pequeñas: Capacidad menor a 4,000 m<sup>3</sup>/día (Metcalf & Eddy 2003)

Las ventajas de no tener mezclado ni calentamiento inciden en los costos de operación. Para este tipo de digestores se recomienda un tiempo de retención de 30-60 días, por los que los costos de inversión aumentan, ya que el volumen resulta mayor en comparación de los de alta carga.

El calentamiento es innecesario ya que la reacción que se lleva a cabo dentro del reactor es exotérmica. La temperatura debe de ser controlada con una termocupla y esta se debe de mantener en un rango entre 30-35°C.

Los microorganismos de las reacciones involucradas son altamente sensibles al pH. Este debe de ser controlado por lo que el reactor debe contener una compuerta para poder adicionar cal en caso de la acidificación.

La forma del digestor debe ser cilíndrica ya que permite el almacenamiento de gas y los costos de construcción son económicos. Se decidió que tuviera un fondo cónico en la parte para minimizar la acumulación de material en el fondo y reducir las necesidades de limpieza.

El material para la construcción será concreto con recubrimiento de pintura epóxica en el interior. Estos materiales fueron elegidos tomando en cuenta el costo y la disponibilidad de los mismos. El concreto se utiliza debido a su fuerza y resistencia. El interior se recubre para brindar resistencia química a sustancias corrosivas, dando una mayor durabilidad a la estructura. Se propone una tapa fija.

El porcentaje de estabilización obtenido fue de 65%, según Metcalf & Eddy, un valor mayor a 56% puede considerarse aceptable.

Este valor muestra la conversión de los sólidos volátiles del lodo a compuestos gaseosos (biogás), resultando en una eliminación de patógenos, potencial a putrefacción y malos olores.

La estabilización del lodo se alcanza cuando se produce metano y dióxido de carbono. El gas metano es altamente insoluble y su desprendimiento de la solución representa la estabilización real del lodo.

La mayoría de los digestores anaerobios operan a presiones por debajo de 3.5 kPa.<sup>4</sup> Deben de contener una válvula de purga en dado caso el digestor se sobrecargara. Las líneas de conducción de gas, serán de 3/8". El gas producido durante la reacción debe ser quemado por una antorcha antes de liberarlo a la atmósfera, ya que el metano es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono. Si este se desea aprovechar, debe de ser almacenado en un gasómetro y luego ser transportado a su aprovechamiento.

En este proyecto se evalúan los posibles usos del biogás producido en la digestión, este tiene un gran potencial, ya que tiene un alto porcentaje de metano con un poder calórico elevado.<sup>5</sup> Para ello primero se realizó el cálculo teórico de cuanto metano se produce en la digestión. En la producción de biogás influye la temperatura y la degradación de la materia orgánica, ya que los sólidos suspendidos volátiles en el lodo se transforman en gas en el proceso.

En la planta de tratamiento de aguas residuales se produce biogás en 2 etapas: Reactor anaerobio UASB (De flujo ascendente) de agua y digestor anaerobio de lodos. Se utilizó la suma de estos dos valores, ya que se pretende unir las líneas de conducción del gas para su aprovechamiento.

El valor obtenido fue de 23.06 m<sup>3</sup>/día de metano, es decir 35.47 m<sup>3</sup>/día de biogás. La energía producida por este gas es de 4782.56 W/mes. Al comparar este valor con el consumo promedio de energía en Guatemala, se podría llegar a suplir las necesidades de energía de un comercial. Es importante mencionar que el biogás solo puede ser transportado aproximadamente 35m desde el digestor hasta su aprovechamiento. En el Cuadro 29, se presentan los posibles usos para este gas. En

---

<sup>4</sup> (Water Environment Federation; American Society of Civil Engineerings, 1998).

<sup>5</sup> Contiene 65% de metano.

este trabajo se consideraron 2, los cuales son el uso en estufas y en iluminación. Se eligieron estos ya que son los que menor cantidad de metano requieren como se puede observar en el Cuadro 152.

El biogás debe de ser transportado por medio de mangueras flexibles. La línea del biogás del reactor UASB se deberá unir a la del reactor de lodos. En la línea debe de haber una válvula de alivio de presión para dejar escapar biogás si se excede la presión. El biogás liberado debe pasar por una antorcha para ser quemado. Seguido de esto, debe de haber una válvula de control de flujo. El sistema debe de contener flujómetros para medir el volumen de biogás y manómetros.

El acondicionamiento del biogás no siempre es necesario, únicamente la remoción de agua. El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría, el vapor se condensa en las tuberías y si no se lo evacua adecuadamente, pueden bloquearse los conductos con agua. Para eliminarla, las tuberías deben de ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia una trampa de agua donde esta se almacena y se extrae.

Antes de utilizar el biogás es recomendable eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) ya que este en pequeñas cantidades es nocivo para la salud.<sup>6</sup> Al ser un gas altamente corrosivo puede dañar las tuberías que lo transportan. Para eliminarlo, comúnmente se utiliza un filtro que contiene hidróxido de hierro. Se hace pasar el biogás, y el  $H_2S$  se combina con el hidróxido, formando sulfuro de hierro.

Para utilizar el biogás en las estufas de gas de la empresa, es necesario modificar el quemador, tomando en cuenta el poder calórico del biogás y su forma la combustión (longitud de llama).

Los quemadores recomendados para hornillas grandes son “tipo estrella” y se fabrican a partir de tubos de hierro galvanizado con agujeros de 2.5mm de diámetro, espaciados a 25 mm.<sup>7</sup> También se pueden utilizar estufas convencionales de gas propano, ampliando 2 veces el agujero del inyector. El uso de biogás en estufas es recomendado ya que se puede utilizar el gas puro o una mezcla de aire

---

<sup>6</sup> Concentración máxima 50ppm

<sup>7</sup> ICAITI 1983

o gas, que es preferible para la eficiencia calórica. En la empresa se podría aprovechar en la cocina de alimentos para los trabajadores.

Otra alternativa es el uso en iluminación. Para esto es necesario adicionar una válvula de presión a la línea de transporte del biogás a la lámpara, ya que se requiere una presión de 1000 Pa aproximadamente para este proceso. El biogás se puede utilizar, en lámparas de keroseno y gas propano agrandando el inyector del gas.<sup>8</sup> Estas lámparas se podrían utilizar en la empresa, reduciendo el consumo eléctrico.

Se eligió estas alternativas ya que son baratas en comparación al uso para cogeneración, el cual requiere de una alta inversión, hay disponibilidad de equipos (existentes que se pueden modificar) y no es necesario un proceso de acondicionamiento para el gas.

Como un tratamiento secundario para los lodos se propuso un patio de secado junto con una estabilización alcalina utilizando cal hidratada. Esto con el fin de perder humedad en el lodo y eliminar todos los patógenos que no se hayan eliminado en el digestor. La cal se utiliza para subir el pH y así eliminar todos los microorganismos que puedan presentar un riesgo para la salud humana o para el medio ambiente. Este proceso se basa en crear un ambiente en el que los microorganismos no puedan sobrevivir. El pH se debe elevar a 12 y mantener en este valor por 2 horas. Se utiliza cal hidratada ya que la reacción de esta con los lodos es exotérmica y las altas temperaturas resultan en la inactividad de los microorganismos.

En el cálculo No.17 se muestra la cantidad de cal requerida para este tratamiento, aunque el pH siempre debe ser controlado y en caso de ser necesario, adicionar más cal. Se determinó que por cada kg de lodo con un 80% de humedad, se requieren 0.03kg de cal. Se prefiere utilizar cal hidratada ya que la reacción de esta con el agua contenida en el lodo, es exotérmica, sube la temperatura sobre los 50°C. Esta temperatura es suficiente para inactivar los huevos de gusanos y otros

---

<sup>89</sup> ICAITI 1983

microorganismos. El compuesto se debe de mezclar uniformemente con el lodo, por lo que se requerirá de operarios que realicen este proceso a diario con el uso de rastrillos.

Durante el procedimiento, se tomó una muestra de los lodos procedentes de la fosa séptica de la empresa y se determinó la humedad, dando como resultado 83%, por lo que en este trabajo no se tomó en cuenta un tratamiento de acondicionamiento al lodo para eliminar exceso de humedad. Los patios de secado pueden trabajar con un lodo con contenido de humedad máximo de 85%.

Se eligió realizar un secado de lodos, para disminuir la capacidad de putrefacción de estos debido al contenido de agua. Para la aplicación de los lodos en tierras es necesario, reducir la humedad, para que no se produzcan lixiviados en el sitio de uso. Se eligió un patio de secado, ya que este no requiere consumo de energía y el costo de inversión es bajo. Las condiciones climáticas en Guatemala (la radiación solar) favorecen la evaporación en este proceso.

Una de las desventajas de este método es el tamaño que ocupan los patios, por lo que son recomendados para plantas pequeñas como la de este trabajo. Como se puede observar en los cálculos, la mayor pérdida de agua se da por los lixiviados, por lo que se eligió un patio convencional de concreto con arena y grava como lechos filtrantes. En este proceso se debe de tomar en cuenta el espesor de las capas. La capa de lodo no puede ser muy gruesa, ya que esto dificulta la transferencia de humedad. Las capas de arena y grava tampoco deben de ser gruesas ya que pueden retardar el filtrado. Generalmente se utilizan capas de lodo de 0.3m y 0.2m de grava y arena.

El patio debe de contar con un drenaje, con una pendiente mínima de 1% para recuperar los lixiviados que serán llevados al ingreso nuevamente en la planta de tratamiento de aguas.

El patio de secados se dividió en 10 cavidades para realizar un proceso continuo, en el que el lodo pasa por cada cavidad y al finalizar (10 días), se obtiene un lodo con 60% de humedad.

Por último, se realizó un análisis de los elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio) en los lodos residuales, para determinar si estos podían ser utilizados como abono, comparando sus propiedades con un lompricompost como se puede observar en el Cuadro 68. Estos elementos son

importantes en los abonos ya que mejoran la estructura del suelo para que las plantas puedan tener hojas, raíces y tallos fuertes. El análisis se tomó como una aproximación ya que estos, al provenir de aguas residuales de tipo ordinario, no tienen una composición definida. Es decir, las características de estos lodos pueden variar dependiendo de la alimentación o salud de los usuarios. Se determinó una deficiencia en los nutrientes del lodo, por lo que para utilizarse como abono se debe de realizar un compost para mejorar sus propiedades. Sin perder de vista que la aplicación del abono dependerá del pH que presente el suelo en donde se planea aplicar.

Se analizaron los elementos fósforo y nitrógeno en los lodos ya que el nitrógeno influye en la vida vegetativa y desarrollo de la planta, mientras que el fósforo cumple un papel importante en la generación de energía de la planta.<sup>9</sup> Para realizar el compost, el lodo se podría mezclar con compuestos como: harinas de productos vegetales, gallinaza y ceniza.

## E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos

En la investigación realizada se evidencian hallazgos importantes que enlazan la importancia de implementar un programa de capacitación, esto es reflejado en la interpretación de la entrevista, observación directa y estudio sociodemográfico. Como resultado de la observación directa y de acuerdo con el objetivo propuesto qué consistió en comprender el funcionamiento actual de la planta de tratamiento, así como las oportunidades de aprendizaje, se puede determinar la poca información visual sobre el uso adecuado de las instalaciones de agua, carteles en mal estado, calcomanías informativas borrosas, así como también el malas prácticas por parte de los colaboradores de las instalaciones de agua, chorros abiertos, inodoros tapados con desechos no orgánicos, uso de manguera para limpiar desperdicios y basura del suelo.

La entrevista por parte de Recursos Humanos consistió en conocer el proceso de capacitación, así como definir las necesidades a trabajar, las opciones y posibles temas a capacitar, se puede

---

<sup>9</sup> (Monge *et al.*, 2006).

determinar que los procesos de capacitación están poco estructurados, existen áreas en las que no se ha logrado capacitar por factor tiempo, los procesos de capacitación son magistrales ya que no cuentan con estrategias didácticas que incentiven a un cambio de actitud ni motivación en los colaboradores, las capacitaciones no son periódicas y no llevan una secuencia lógica. El estudio sociodemográfico logró comprender las necesidades de los sujetos en función del criterio edad y nivel de escolaridad, con lo cual se logró diseñar recursos de acuerdo a sus intereses, como base se tomó en cuenta los principios de Andragógicos.

El análisis de los resultados obtenidos de la intervención realizada a los colaboradores, por medio de un programa de capacitación, destacan los principales y más significativos hallazgos durante todo el proceso.

Los resultados del diagnóstico sobre los conceptos de agua se pueden apreciar en la figura 7 a 11, en donde revelan que más del 85% de los sujetos desconocen respecto al tema del uso apropiado del agua, esto quiere decir que no están enterados de la problemática de contaminación.

El 90% de los 40 sujetos menciona que la señalización o información en las instalaciones respecto al uso del agua es escasa, haciendo referencia con los datos obtenidos con la observación directa, carteles de información y señalización se muestran deteriorados y en malas condiciones, en algunas instalaciones de baño no se encuentra ninguna señalización ni información.

En cuanto al proceso de capacitación el 88% de los 40 sujetos menciona que de por parte de la empresa no han recibido información respecto al uso adecuado del agua, el 12% menciona que han recibido más de alguna información, haciendo mención a información electrónica.

Los resultados revelaron que efectivamente el proceso de capacitación sobre el uso del agua dentro de la empresa es beneficiosos para los colaboradores puesto que más allá de la capacitación tradicional, es decir, del simple hecho de impartir un conocimiento, la educación ambiental respecto al uso de agua, relaciona al hombre con su ambiente, con su entorno y busca un cambio de actitud, una toma de conciencia sobre la importancia de conservar para el futuro y para mejorar nuestra calidad

de vida, esto fue evidenciado en el pretest, los colaboradores mostraron avances notorios en sus conocimientos del uso del agua.

El 85% de 40 sujetos obtuvo una ponderación satisfactoria según la escala de rango, lograron mencionar entre sus respuestas que el acuerdo Gubernativo 236- 2006, trata de Velar por la calidad del medio ambiente, ejercer control de las aguas por medio de un reglamento, Requisitos que se deben cumplir para la descarga y rehúso de agua en las empresas. Un 15% obtuvo una ponderación por debajo de lo esperado, apreciándose en la Figura 12.

El 100% de los colaboradores pudo mencionar lo más consejos para el uso eficiente del agua, entre ellos se mencionan, cerrar grifos al momento del baño lavado de trastos al enjabonarlos, utilizar cubetas para regar y lavar carros, evitar las mangueras, utiliza un vaso de agua para lavarte los dientes, reportar en la empresa donde laboras si existe alguna fuga en los baños, evita lavar pavimento, apreciándose en la Figura 13.

El 65% de los colaboradores obtuvo una calificación máxima respondiendo sobre qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual, dentro de las respuestas mencionan que el agua residual causa diferentes enfermedades y afecta a los recursos naturales, el 35% obtuvo una calificación satisfactoria, evidenciando que los 40 sujetos pueden mencionar las consecuencias de las aguas residuales, apreciándose en la Figura 14

El 88% de los 40 colaboradores lograron una puntuación satisfactoria respecto a mencionar el objetivo de la planta de tratamiento, expresando que su objetivos es preservar la salud del medio que les rodea, eliminar las bacterias que contiene las aguas negras, estabilizar la materia orgánica presente en las aguas negras. El 12% obtuvo una puntuación satisfactoria, apreciándose en la Figura 15.

Se realizó un análisis de la prueba de signo entre el pre y post test para explorar los efectos de la capacitación sobre el uso adecuado del agua, si los participantes adquirieron nuevos aprendizajes. Evidenciando que el 83% de los colaboradores si agregó conocimiento al exponerse a la capacitación, apreciándose en el Cuadro 16.

Otra medida considerada para estudiar fue que el grupo de personas a capacitar era heterogéneo en sus edades. Se esperaba que la capacitación fuera adecuada y no solamente que un grupo específico de personas aprendiera. Como medida de relación, se planteó buscar correlaciones entre los resultados de dos de las preguntas de la evaluación y las edades de los participantes. Se encontró que la hipótesis planteada no cumple con la relación de ambas y por lo tanto no hay correlación entre la edad de los participantes y los resultados de la prueba.

## IX. CONCLUSIONES

- La proyección para el caudal de diseño del año 2030 de agua residual utilizando el modelo ARIMA fue de  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual representa un incremento del 46% con respecto al 2018, con este efluente se propusieron y dimensionaron las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- La caracterización de aguas residuales actual no cumple con los siguientes parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 para la descarga de aguas residuales: DBO, fósforo total, grasas y aceites, nitrógeno total, sólidos suspendidos y coliformes fecales.
- Las rejillas, como primer equipo del sistema de tratamiento preliminar, consta de dos canales de volumen de  $0.26 \text{ m}^3$  (0.40m de ancho y 0.80m de largo) con rejillas de limpieza manual. Cada sistema cuenta con un total de 8 barras de 1.13 m de largo con  $45^\circ$  de inclinación, y fue propuesto para un flujo de agua residual de  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .
- La trampa de grasas se diseñó para un flujo de agua residual de  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , y un porcentaje de retención de 92% v/v con una capacidad de  $0.055 \text{ m}^3$  y almacenamiento de aceites y grasas de  $0.013 \text{ m}^3$ . La salida de agua de la trampa de grasas fue de  $0.007 \text{ kg/m}^3$  (6.48 ppm) por lo que si cumple con el límite permitido de 60 ppm.
- Se propuso un tanque cúbico de volumen de  $5.58 \text{ m}^3$  para la captación de flujo, para un flujo de agua residual de  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . El tanque fue diseñado con una pendiente del 10% para la purga de sólidos sedimentables. Además, incluirá una válvula automática proporcional con controlador de flujo para mantener un efluente constante. El tanque tendrá una sedimentación parcial del 32.09%, lo que representa una producción de lodos de  $6.03 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ .
- El tratamiento primario propuesto para un flujo de agua residual de  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , incluye dos sedimentadores rectangulares, cada uno con una pendiente del 10% para la purga de sólidos sedimentables. La retención está diseñada para la remoción de 80% de sólidos sedimentables y 56.91% de sólidos suspendidos parcialmente sedimentables.
- Los sólidos suspendidos en el agua de salida del sedimentador primario tendrán una concentración de  $3.73 \text{ kg/m}^3$  (282 ppm) lo que cumple con la tercera etapa del acuerdo gubernativo.
- Se propuso un sistema de tuberías con una caja unificadora de caudal en cada conexión. Las fosas actuales se cerrarán y el sistema de tuberías se unirá en una sola tubería, la cual entrará directamente a la planta de tratamiento de agua.

- En el agua residual analizada, la enzima Biozyme tuvo una reducción promedio de  $36.7 \pm 0.1$  % para la DQO y  $4.40 \pm 0.1$  % para la DBO. La enzima Enziplus tuvo una reducción promedio de  $30.4 \pm 0.1$  % para la DQO y  $4.10 \pm 0.1$  % para la DBO. La medición de estos resultados se realizó por triplicado a una temperatura de  $24.4^{\circ}\text{C}$ .

Las enzimas utilizadas no produjeron una reducción detectable de nitrógeno total, ni fósforo, en el agua residual analizada, bajo las condiciones del estudio ( $T = 24.4^{\circ}\text{C}$  y sin agitación).

- La unificación del tratamiento secundario y terciario produjo solo reducción en la DQO y en la DBO, por lo que se dimensionó un filtro percolador para reducir el nitrógeno total y el fósforo en el agua residual (Cuadro 57. Parámetros de diseño para el filtro percolador). La concentración de nitrógeno se redujo de  $156 \text{ g} / \text{m}^3$  (en la salida del reactor anaerobio de flujo ascendente) hasta  $16.6 \text{ g} / \text{m}^3$  (en la salida del filtro percolador). Con respecto al fósforo, de  $23.8 \text{ g} / \text{m}^3$  a  $10 \text{ g} / \text{m}^3$ .
- El tratamiento propuesto cumplió con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 dando como resultado una concentración de DQO de  $221.71 \text{ g} / \text{m}^3$ , DBO de  $89.97 \text{ g} / \text{m}^3$ , nitrógeno total de  $16.6 \text{ g} / \text{m}^3$  y fósforo de  $9.996 \text{ g} / \text{m}^3$ .
- Con la operación del reactor UASB, se produciría  $11.83 \text{ kg} / \text{d}$  de biogás con un contenido de metano del 65% m/m correspondiente a  $7.69 \text{ kg} / \text{d}$  en el reactor UASB.
- El manual de operaciones se desarrolló según la descripción de la planta y el funcionamiento de equipo con las secciones de la dosis requerida de enzimas para aplicar, así como su aplicación y el funcionamiento del tanque anaerobio de flujo ascendente. El manual de mantenimiento incluye especificaciones de la limpieza del reactor, así como la frecuencia con que se le debe de realizar.
- El desinfectante elegido fue el hipoclorito de sodio, al analizar los siguientes factores: Costo de Inversión Alto, Tóxico/Peligroso, Complejidad del sistema, Residuales y Mantenimiento en una matriz ponderada cualitativa los diferentes desinfectantes: Ozono, hidróxido de sodio, hipoclorito de calcio y rayos UV.
- El sistema propuesto de dosificación tiene los siguientes equipos: el tanque de almacenamiento (TK-1) es de material HDPE, polietileno de alta densidad, con un volumen de  $0.248 \text{ m}^3$ , y bomba peristáltica (P-2) con un caudal de  $4.0 \times 10^{-5} \text{ L/s}$ , cabeza de 17.34 metros, potencia de 0.03 kW, y el diámetro de succión y descarga de 0.013 metros.
- El tanque de contacto (R-1) propuesto tiene una forma cilíndrica, es de 0.760 m de diámetro y 1.5 m de alto, con un volumen de  $0.68 \text{ m}^3$ , para un tiempo de contacto de 34 minutos.
- La bomba centrífuga (P-1) para ingresar el agua residual, localizada en los 3 esquemas de resultados, tiene una potencia de 0.372 kW, 50% de eficiencia, con un diámetro de succión de 0.0254 m y de descarga de 0.019 m.

- El manual de operaciones propuesto está compuesto por: operación y mantenimiento de los equipos, responsabilidades de los encargados y el monitoreo ha realizar en el sistema cuaternario de aguas residuales. Este manual indica que variables se deben controlar como también métodos correctivos en caso no se cumpla con lo establecido.  
Se propuso un digestor semicontinuo anaerobio de una etapa y baja carga, mesofílico. El volumen calculado es de 10.44 m<sup>3</sup>, con un diámetro de 2.68 m, altura 2.24m, construido de concreto. Este trabaja con un tiempo de retención de 30 días para lograr un 65.81% de estabilización en el lodo.
- Se propuso un patio de secado de lodos, convencional, con 10 divisiones con un área total de 12.24 m<sup>2</sup>. Con dimensiones de 1.53 m de ancho y 8 m de largo, para disminuir la humedad de los lodos hasta un 60%, realizar la estabilización alcalina y así destruir patógenos, con un tiempo de retención total de 10 días.
- En la planta de tratamiento de aguas y lodos residuales de tipo ordinario, se calculó una producción total teórica de 23.06 m<sup>3</sup> de biogás, con un % de metano de 65%, el cual puede ser aprovechado como fuente de energía en estufas de gas de la empresa modificando el quemador.
- Los valores de nitrógeno, fósforo y potasio presentes en los lodos residuales, difieren en porcentajes de 18, 79 y 98 respectivamente en comparación al lombricost, por lo que se debe de realizar un compostaje con otros materiales para fortalecer estos nutrientes.
- Los resultados del diagnóstico de necesidades evidenció que la muestra poseía poco conocimiento sobre el uso adecuado del agua, siendo este un 85% de la población, existiendo la necesidad de generar cultura sobre el buen uso del agua, además se necesitan medios para informar y enseñanza a la población sobre cómo hacer un buen uso de la misma.
- El canal para distribuir información de la empresa respecto al uso adecuado del agua no esta impactando a la mayoría de colaboradores, solo el 12% de la población posee conocimientos sobre el mismo proceso, haciendo mención que la información fue brindada vía electrónico, siendo esta una limitante en el desarrollo de capacidades para el personal de la empresa.
- El estudio sociodemográfico evidencia que el 87% de los colaboradores son personas adultas y necesitan un proceso de capacitaciones de acuerdo a sus necesidades y principios andragógicos, con un proceso educativo, integral e interdisciplinario, es por ello que se debe de involucrar a todos los colaboradores y no solo a una muestra de cuarenta personas de setecientas.
- De acuerdo a las necesidades encontradas se elaboró una capacitación del uso apropiado del agua que incluía diversas estrategias para afianzar los conocimientos y actitudes que se pretenden modificar. Los resultados demuestran que el 83% de los colaboradores incrementaron sus conocimientos a través de la capacitación, desarrollando identificación y resolución de problemas

a través de la adquisición de conocimientos, valores, actitudes y habilidades por medio de participación activa de centros de aprendizaje.

Los resultados del análisis estadísticos de la prueba de signos el taller revelan que más del 85% de los colaboradores mostraron que si existe un incremento en los resultados del conocimiento del uso del agua comparándolo con antes y después de la prueba, haciendo referencia que si de parte de la empresa existen más sesiones sobre el uso adecuado del agua puede que el personal empiece a cambiar sus prácticas diarias dentro y fuera de la empresa.

- Como parte del proceso de educación ambiental y capacitación se implementó un manual que incluye continuidad con el taller brindado, planificaciones divididas en sesiones, información bibliográfica y material didáctico para que se brinde continuidad de parte del departamento de Recursos Humanos a los colaboradores.

## X. RECOMENDACIONES

- Utilizar un modelo de proyección multivariable, para incorporar el número de trabajadores en las diferentes épocas del año. De esta forma se podría reducir el efecto de heterocedasticidad entre la varianza de las perturbaciones de los datos, causada por la variación en la población de la empresa.
- Hacer un estudio conjunto sobre el crecimiento en producción de la empresa, y compararlo con el crecimiento de la demanda de agua potable realizado, para obtener una relación entre ambos aspectos.
- Se recomienda actualizar los planos de tuberías y drenaje, para proponer una mejor distribución de agua en la empresa.
- Para mantener un monitoreo del desempeño del sedimentador primario se deben realizar pruebas de sedimentación como potenciométricas (zetámetros) que utilizan mediciones con electroforesis, o detectores de corriente, ya que la prueba de jarras tradicionalmente utilizada se considera peligrosa por el tipo de agua a analizar.
- Purificar el biogás de salida para la obtención de metano y así utilizarlo en otras aplicaciones dentro de la empresa.
- La empresa productora de sacos debe de tomar muestras de los parámetros en la entrada y salida del sistema de tratamiento, para garantizar el buen funcionamiento del sistema.
- Evaluar la implementación de un tratamiento de lodos activados en lugar del sistema propuesto, tomando en cuenta que los lodos activados tienen una eficiencia de remoción de parámetros mayores, pero su operación y mantenimiento es más complicada y costosa.
- Analizar el comportamiento del NMP de coliformes fecales de las aguas residuales, cambiando el tiempo de contacto entre el hipoclorito de sodio y las aguas residuales, y dejando la concentración del desinfectante fija.
- Analizar si el agua de salida del tratamiento cuaternario se puede reutilizar (para riego o para los sanitarios), determinando cuáles son los límites del Acuerdo y que se tendría que implementar para que esto suceda.
- Realizar un análisis económico a detalle sobre cada uno de los desinfectantes, tanto como inversión inicial como costos de operación.

- Realizar estudios a profundidad de la cinética de reacción en el reactor anaerobio, para obtener el avance de la degradación de materia orgánica, con respecto al tiempo a distintas condiciones de operación.
- En el patio de secado se recomienda tomar muestras periódicas del lodo para asegurar este salga con una humedad de 60% y que luego de agregar la cal, el pH se mantenga en un valor de 12 por 2 horas.
- Realizar un compostaje con el material obtenido luego de la estabilización, para fortalecer su contenido de nutrientes y poder utilizarlo para mejorar la estructura de suelos.
- Evaluar el proceso de estabilización de residuos orgánicos con el digester anaerobio, para aprovechar el equipo y obtener una mayor producción de biogás.
- Continuar con el proceso de capacitación sobre la reducción del consumo del agua, políticas de gestión del agua residual, en donde se tome en cuenta a todo el personal de la empresa.
- Realizar diversos estudios sociodemográficos con una muestra significativa para conocer las necesidades de los colaboradores y poder reestructurar el programa de capacitación.
- Como parte de la propuesta de capacitación se recomienda realizarlas de modalidad de taller y vivenciales para profundizar en el aprendizaje de los temas para comprender el grupo etario y la educación que el personal necesitan.
- El programa de capacitación debe incluir evaluaciones periódicas con estrategias de acuerdo a su edad, con preguntas claras y sencillas para determinar su impacto en la organización.
- Proporcionar herramientas de comunicación funcionales, como carteles visuales, videos informativos que favorezcan a la fijación de conocimientos..
- Más que un programa de capacitación, se propone crear un espacio para implementación de un programa de educación ambiental, desarrollando un adecuado manejo al recurso hídrico y a otros recursos naturales que cuenta la empresa.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- 3M. (2006). *Placas Petrifilm para el Recuento de E. Coli/Coliformes*. México .
- Acuerdo Gubernativo 236-2006. “Reglamento De Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Diario de Centroamérica. Fecha de publicación: 5 de mayo 2006.
- Aguila,S. (2007), Alfonso, Capacitación y desarrollo de personal, 4ª edición, Limusa, México, D. F., 2007.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración de un cultivo. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 277 Pp.
- Baquero, M. (2013). Manual Práctico de Control Interno. Barcelona: PROFIT.
- Bautista, M. (2007). Gerencia de proyectos de construcción inmobiliaria, Fundamentos para la gestión de la calidad. (1ª. Ed.). Colombia. Editorial Pontificia Universidad Javeriana
- Bergamo, C., Di Mònaco, R., Ratusznei, S., Rodrigues, J., Zaiat, M., Foresti, E. 2009. Effects of temperature at different organic loading levels on the performance of a fluidized-bed anaerobic sequencing batch bioreactor. *Chemical Engineering and Processing*, 48 (3), 789–796.
- Bhatia, A. S.F. *Design of Potable Water Plumbing Systems*. Continuing Education and Development Engineering, Inc. Estados Unidos. 41 pps.
- Bonifaz, M. M. García, M. Hipp, J. Melgar, M. Jiménez, S. Landaverde, M. Sánchez, M. González, M Hernández, C. Martínez. 2017. Rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico de aguas residuales y creación de programa de educación ambiental de un complejo comercial y residencial. Universidad del Valle de Guatemala.
- Branan, C. 2005. Rules of Thumb for chemical engineers. Cuarta Edición. Ámsterdam: ELSEVIER. 469 págs.
- Brendan, E. 2008. Dimensional Equation for Sludge Drying Bed. University of Nigeria. <http://www.unn.edu.ng/publications/files/images/Eze%20Brendan.pdf> [2 de octubre, 2019].
- Cáceres, A. 2015. *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que son generadas en el campus Edison Riera km 1 ½ vía a guano para su reutilización en el riego de áreas verdes*. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador. 181 pps.

- Carolina, C. (2015). Diferencias entre fertilizante y abono. Guía de Jardinería. Disponible en línea: <http://www.guiadejardineria.com/diferencias-entre-fertilizante-y-abono/>
- Castillo A, y González E. (2009). Educación ambiental y manejo de ecosistemas en México. Universidad Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Castillo, J.C. (2010). Análisis de Lombricompuestos a partir de diferentes sustratos. Tesis de posgrado: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1991. *Manual de disposición de aguas residuales*. Tomo II. Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Perú. 1002 pps.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1973. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Serie técnica 13. CEPIS. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 558pps.
- CNEE. 2017. *Informe Estadístico 2016*. Guatemala. 79 págs. <sup>[1]</sup> <sub>[SEP]</sub>
- Colvin, M. & Rutland, F. (2008). Is Maslow's Hierarchy of Needs a Valid Model of Motivation. Louisiana Tech University. Documento en línea recuperado 15 abril de 2011 de <http://www.business.latech.edu/>
- Comisión Nacional del Agua. 2016. *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: pretratamiento y tratamiento primario*. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A. C. México.
- Comisión Nacional del Agua. 2016. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: pretratamiento y tratamiento primario. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A.C. México. 94 pps.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Corporación Minera de Bolivia. 1968. *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales*. IICA, Bolivia. Pp. 34-36, 74-78. Obtenido de:

<https://books.google.com.gt/books?id=lnnqaK9UCZAC&pg=PA75&dq=evaluaci%C3%B3n+de+dbo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjUk66T653hAhUhwlkKHWITALUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=evaluaci%C3%B3n%20de%20dbo&f=false>

- Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2004. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Primera Edición. McGraw-Hill. Colombia.
- Cyclus, Empresa. 2002. *Digestión Anaerobia*. Obtenido de: [www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-sekundario/digestion-anaerobia/](http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-sekundario/digestion-anaerobia/)
- De la Fuente, S. S.F. *Series temporales: modelo ARIMA*. Universidad Autónoma de Madrid. 53 pps.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1969. *Manual de Tratamiento de Aguas Negras*. Editorial Limusa - Wiley, S.A. México, D.F. 295 pps.
- Dessler, Gary. (2001). *Administración de personal*. Octava Edición. Pearson Educación de México, S.A. de C.V. México
- Deublein, D. & Steinhauser A. 2011. *Biogas from Waste and Renewable Resources, An Introduction*. 2ª ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Alemania. p. 520.
- Diaz, A. 2010. *Determination of kinetic and operational parameters for full-scale UASB design*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Ellis, Henry C. (1989) *Fundamentos del aprendizaje y procesos cognoscitivos del hombre*. Editorial Trillas, S.A. México.
- Espinoza, C. y Bautista, J. 2004. *Análisis estadístico de la demanda de agua potable de la ciudad de Valencia. Aplicación a la predicción con análisis de series temporales*. Universidad Politécnica de Valencia. España. 11 pps.
- FAO. 2011. *Manual de Biogás*. Chile. 119 págs. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf> [04 de octubre, 2017].
- Feldman, R.S. (2005) “*Psicología: con aplicaciones en países de habla hispana*”. (Sexta Edición) México, McGrawHill.
- Fernández, R. (2010). *La mejora de la productividad en la pequeña y mediana empresa*. España. Editorial Club Universitario.
- GAGNE, R. (1987). *Las condiciones del aprendizaje*. México: Interamericana.

- García, A. y Llul, J. (2009). El juego infantil y su metodología. Madrid, España: Editex.
- Gerardi, Michael H. 2003. The Microbiology of Anaerobic Digester. Wastewater Microbiology Series. 1a edición. pp 51-58, 89-92.
- Glen, S. 2016. ADF – Augmented Dickey Fuller Test. Statistics How To. Disponible en: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/adf-augmented-dickey-fuller-test/> [Consultado: 22/08/219]
- Global Water & Energy. 2019. Descripción del tratamiento aerobio de aguas residuales. Bélgica.
- Gómez, G. (2001). Auditoría de Control Interno. Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/Auditoría-del-control-interno/>
- González, M. (2001). actitud e interacción docente y su influencia en el desarrollo del preescolar (Tesis de licenciatura inédita). Recuperado de <http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/2125/121759.pdf?sequence=1>
- Gordon, G., Adam, L., Bubnis, B., & Hoyt, B. (1993). Controlling the Formation of Chlorate Ion in Liquid Hypochlorite Feedstock. *Journal (American Water Work Association)*, 89-97.
- HACH. 2003. *DRB / 890 Colorimeter Procedures Manual*. 48470-22. Estados Unidos.
- Hernández, R. Fernández C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. (6ª ed.) México: Mc Graw Hill.
- Hosseini SE, Wahid MA. 2014. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. *Renew Sustain Energy Rev*. 40. 868 Pp.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). 1985. Biogás y bioabono aplicaciones. Proyecto de leña y fuentes alternas de energía. 55 Pp.
- Jocol, L. 2006. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria cárnica alimenticia de Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala.
- Kates, E. Y W. Luck. 1982. Motores diésel y de gas de alta compresión. Reverté. 550 Pp.
- Kepp, U., McKendry, P. (2008) Anaerobic Digestion of Residual Municipal Solid Waste- Comparison of Process Options. SLR Consulting.
- Knowles, M., Holton, F y Swanson, R (2001) . Andragogía: el aprendizaje de los adultos. México: Mexicana.

- Koltko M. (2006). Rediscovering the Later Version of Maslow's Hierarchy of Needs: Self-Transcendence and Opportunities for Theory, Research, and Unification. *Review of General Psychology by the American Psychological Association* Vol. 10, No. 4, 302–317.
- Lopera, Amparo. 2010. *Manual de Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Corantioquía: Gobierno de Colombia. 77 págs.
- López, V (2013). *Investigaciones en Formación Deportiva*. Wanceulen Editorial Deportiva, S.L.
- Mansur, M. 2000. Tratamiento de aguas residuales en reactores anaeróbicos, de flujo ascendente, en manto de lodos. *Hojas de divulgación técnica CEPICIS*. Brasil.
- Marbello, R. 2005. *Vertederos y calibración de vertederos de medida*. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 43 pps.
- Marín Ibáñez, R., (1977), “La educación continuada, una nueva frontera educativa”, en *La enseñanza a distancia y los medios de telecomunicación*, Madrid, Fundación para el Desarrollo de la Función Social de las Comunicaciones, núm. 23, pp. 67-119
- Marrero, T. (2004) *Hacia una educación para la emancipación*. Núcleo Abierto UNESR, 11.
- Martín, E. y Solé, I. (2001). *El aprendizaje significativo y la teoría de la asimilación*. Madrid, España: Alianza.
- Maslow, A.H. (1969) . Various meanings of transcendence. *Journal of Transpersonal Psychology*, 1, 56-66
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. México D.F.: McGraw Hill.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Cuarta Edición. McGraw-Hill Companies, Inc. Estados Unidos. 1878 pps.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. New York: McGraw Hill.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. Cuarta Edición. McGraw-Hill Companies, Inc. Pp. 1771.
- Meyer, P. (1970). *Probabilidad y aplicaciones estadísticas*. Massachusetts, E.U.A: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, C.A. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. 2006. Guatemala

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. *Acuerdo Gubernativo 236-2006*. Guatemala. 25 pps.
- Miranda, F., Chamorro, A. y Rubio, S. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. (1ª. Ed.). España. Delta, Publicaciones Universitarias
- Morales, V. 2019. *Consejos arquitectónicos para la construcción de un reactor de concreto*. Guatemala.
- Moro, M. 2016. *Tecnología industrial*. Ediciones paraninfo, España. 336 Pp.
- Muñoz, A. 2008. *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. España. 305 pps.
- Nuevo, D. 2018. *Tratamientos secundarios en depuración de aguas residuales*. EDAR, ingeniería. Obtenido de: <https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/>
- Organización Panamericana de la Salud. 2005. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Organización de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Perú. 34 pps.
- Osorio, P. 2018. *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Essbío S.A. Obtenido de: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf)
- Pérez, L. (2007). *Los Derechos de la Sustentabilidad*. Argentina. Universidad Coliheu.
- Perry, R., & Green, D. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Nueva York: McGraw Hill.
- Petersson, A., Wellinger, A. (2009) *Biogas upgrading technologies-developments and innovations*. IEA Bioenergy. Available in: [https://www.iea-biogas.net/les/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading\\_rz\\_low\\_nal.pdf](https://www.iea-biogas.net/les/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_nal.pdf)
- Pinto Villatoro, Roberto (2000) *Planeación estratégica de capacitación empresarial*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Ramalho, R. 1983. *Tratamientos de aguas residuales*. Editorial Reverté, S.A. España. 707 pps.
- Ramalho, R. 1996. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverté S.A. Canadá. Pp. 27, 28, 35-38, 91, 253, 411, 531, 585. Obtenido de: <https://books.google.com.gt/books?id=30etGjzPXyWC&pg=PA585&dq=tratamiento+secundario+de+aguas+residuales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjgpYaB0PrgAhVypIkKHbuyA4>

[sQ6AEIJjAA#v=onepage&q=tratamiento%20secundario%20de%20aguas%20residuales&f=false](#)

- Reid-Cunningham A. (2008). Maslow's Theory of Motivation and Hierarchy of Human Needs: A Critical Analysis. PhD Qualifying Examination School of Social Welfare University of California, Berkeley.
- Rodríguez, G. (2010). La educación ambiental en Guatemala. Guatemala. USAC
- Rojas Romero, Alberto Jairo. (2009). Calidad del Agua. Colombia. Nuevas Ediciones, S.A. Pág 217-299.
- Rojas, R. 2002. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Obtenido de: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002\\_Sistema\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residual.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190927%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20190927T043959Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=9fb79855da1f8a3d32a4ce056d87274da4ef37bbca754288116aae7471b27ea7](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190927%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190927T043959Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=9fb79855da1f8a3d32a4ce056d87274da4ef37bbca754288116aae7471b27ea7)
- Ronzano, E. 1995. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Ediciones Díaz de santos. 1era edición. 594 Pp.
- Ruíz, I. (2012). Constructivismo y educación: La concepción constructivista del aprendizaje, síntesis de Lectura de Coll. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Schmeck, R.R. (1988). Individual differences and learning strategies. En C.E. Weinstein, E.T. Goetz y P.A. Alexander (Eds.), Learning and study strategies: Issues in assessment, instruction and evaluation. New York: Academic Press.
- Shuell, T. J. (1988). The role of the student in learning from instruction. Contemporary Educational Psychology, 13, 276-295.
- Sinnott R.K.; Chemical Engineering Design: Chemical Engineering, Vol 6; Elsevier, Fourth Edition, 2005.
- Solís L, y López J. (2003). Principios básicos de contaminación ambiental. México. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Tapia, S. 2018. Puesta en marcha de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de la crianza intensiva de cerdos. *Agroind. Sci.* 8(2): 137 – 145 (2018). Universidad de Trujillo.
- Tarpy, Roger. M. (2000). *Aprendizaje: Teoría e Investigación Contemporáneas*. España. McGraw Hill.
- Torres, R. 2014. *Proyecto de sistema de sedimentación para la compañía Minera el Aguilar*. Universidad Nacional de Córdoba. Práctica Supervisada. Argentina. 87 pps.
- Van Lier, J. 2010. *Anaerobic Sewage Treatment using UASB Reactors: Engineering and Operational Aspects*. Universidad de tecnología Delft. Holanda.
- Vygotsky, L. (1932). *El Desarrollo de los Procesos Psicológicos Superiores*. México. Grijalbo, 1979.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Cambridge: Harvard University Press. Wertsch, J.V. (1988).
- WEF & ASCE. 1992. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Volume 1*. American Society of Civil Engineers. New York, United States. 829pp.

## XII. ANEXOS

Datos originales

A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Cuadro 83. Caudal de agua residual de junio y diciembre del 2018 medido por una empresa externa para 3 áreas de descarga de agua residual

Línea	Caudal agua residual junio 2018 (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de agua residual diciembre 2018 (m <sup>3</sup> /s)
Fosa séptica	4.20x10 <sup>-5</sup>	6.00x10 <sup>-5</sup>
Pozo de absorción	3.70x10 <sup>-5</sup>	1.10x10 <sup>-5</sup>
Laminadora 3	1.00x10 <sup>-4</sup>	1.10x10 <sup>-4</sup>

Los datos en este cuadro se obtuvieron a partir del monitoreo y caracterización de agua residual realizada por una empresa externa, estos pueden observarse en la sección de anexos.

Cuadro 84. Variación de flujo de agua residual promedio respecto al tiempo para las áreas denominadas por la empresa como Laminadora 3, Pozo de absorción y fosa séptica; medidos por una empresa externa en los meses de junio y diciembre del año 2018

Tiempo (h)	Caudal de agua residual ( $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ )		
	Laminadora 3	Pozo de absorción	Fosa séptica
1	0.14429	0.08275	0.17976
2	0.14114	0.07934	0.17217
3	0.13800	0.07593	0.16458
4	0.13486	0.07253	0.15699
5	0.13171	0.06912	0.14941
6	0.12857	0.06571	0.14182
7	0.13000	0.06231	0.05000
8	0.12000	0.06000	0.05000
9	0.13000	0.10000	0.05000
10	0.12000	0.06000	0.50000
11	0.13000	0.02000	0.04000
12	0.10000	0.01000	0.10000
13	0.09000	0.03000	0.03000
14	0.10000	0.03000	0.05000
15	0.09000	0.04000	0.08000
16	0.06000	0.05000	0.09000
17	0.10000	0.00000	0.04000
18	0.10000	0.06000	0.03000
19	0.12000	0.03000	0.04318
20	0.08000	0.01000	0.03559
21	0.08143	0.01462	0.02801
22	0.07829	0.01121	0.02042
23	0.07514	0.00780	0.01283
24	0.07200	0.00440	0.00524

B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Cuadro 85. Características del afluente actual del agua residual de la empresa

Parámetro	Unidades	Valor
Caudal Promedio	L / s	0.10
Carga DBO	Kg / día	15.8
Cianuro	ppm - CN <sup>-</sup>	< 0.010
Color	u Pt-Co	850
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm - O <sub>2</sub>	1,763
Demanda Química de Oxígeno <sup>(3)</sup>	ppm - O <sub>2</sub>	2,645
Relación DQO / DBO	---	1.5
Fósforo total <sup>(3)</sup>	ppm - P	23.80
Grasas y aceites	ppm	81
Materia flotante	---	Ausente
Nitrógeno total <sup>(3)</sup>	ppm - N	166.0
pH	---	9.07
Sólidos sedimentables	mL / L	15.0
Sólidos suspendidos (TSS)	ppm	648
SO <sub>4</sub>	ppm	200.0
Temperatura promedio	°C	23.7
Coliformes fecales	NMP / 100 mL	54,000,000

\*Datos tomados del análisis del laboratorio realizado por la empresa para la Laminadora 3

Cuadro 86. Datos de caudal del afluyente actual de la empresa

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal Promedio	m3/d	9.504
Flujo mínimo	m3/d	4.9248
Flujo máximo	m3/d	12.96
Caudal para diseño	m3/d	25.92

\*Datos tomados del análisis del laboratorio realizado por la empresa para la Laminadora 3

Cuadro 87. Parámetros de diseño teóricos de tabla 10-10 de Metcalf & Eddy

Ítem	Unidad	Valor
Y	g VSS/g DQO	0.08
Kd	g VSS/g VSS d	0.03
$\mu_m$	g VSS/g VSS d	0.2
fd	g VSS cell debris/g VSS decaimiento de biomasa	0.15
Ks	mg/L	360
Metano @35°C	L CH <sub>4</sub> /gCOD	0.4
Factor de efectividad del reactor	%	0.85
Altura para recolección de gas	m	2.5
Contenido de gas	%	0.65

Cuadro 88. Criterios de diseño para un reactor anaerobio de flujo ascendente de literatura: Van Lier

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura mínima	°C	20
TRH con flujo promedio	horas	8.0-12.0
TRH mínimo	horas	4
Velocidad máxima de apertura a	m/h	5
Densidad máxima de entrada	m <sup>2</sup> /punto de alimentación	4
Ángulo del colector de gas	grados	50
Grosor del colector de gas	m	0.44
Distancia entre deflector y colector	m	0.15
Ángulo del deflector	grados	45
Velocidad de flujo ascendente	m/h	0.5-0.6
Producción de biogás	m <sup>3</sup> kg / DQOrem d	0.08-0.12
Concentración del manto de lodo	kgTSS/m <sup>3</sup>	65-70
Altura del manto de lodo	% de gas colector	80-90
SRT	días	32-45
VSS degradado	%	50
Coefficiente de formación bacterial	kgVSS/kgbDQO	0.08
Razón de carga volumétrica	kgDQO/m <sup>3</sup> d	1.15-1.45
Eficiencia de remoción de DQO	%	65-70
Eficiencia de remoción de DBO	%	75-80
Eficiencia de remoción de TSS	%	75-80

(Van Lier 2010)

Cuadro 89. Densidades de los flujos másicos del reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
ρ agua	kg/m <sup>3</sup>	992.98
ρ gas	kg/m <sup>3</sup>	0.66
ρ lodo	kg/m <sup>3</sup>	1050

C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

Cuadro 90. NMP de coliformes en las distintas áreas de la empresa.

Área	Coliformes fecales (NMP/100 mL)
Laminadora 3	54,000,000
Fosa Séptica	3,500,000
Pozo Absorción	3,500,000

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

Cuadro 91. Demanda química de oxígeno del efluente actual y el obtenido luego de pasar por el diseño de la planta de tratamiento, obtenidos por análisis realizados por la empresa

Parámetro	Valor (kg/m3)
DQO afluente	1.85
DQO efluente	0.55

El afluente es el actual, que ingresará a la planta de tratamiento y el efluente es la descarga luego de pasar por la planta de tratamiento. Tomando en cuenta que el DQO se reducirá en un 30% en el tratamiento secundario.

Cuadro 92. Caudales obtenidos de los tratamientos primario y secundario del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Caudal	Valor (m3/día)
Lodos primarios	0.35
Lodos secundarios	0.0020
Metano de digestor secundario	10.49
Agua	28.51

Los caudales se calcularon a una proyección de 10 años. Estos resultados fueron obtenidos del diseño de la planta de tratamiento de agua.

Cuadro 93. Parámetros de diseño teóricos utilizados para el dimensionamiento de equipo

Parámetro	Valor
Y	0.08 kg VSS/kg DQO
Kd	0.03 día <sup>-1</sup>
Densidad lodos secundarios	1005 kg/m <sup>3</sup>

Se utilizan estos valores de Y y kd, ya que en el reactor se dan las reacciones combinadas de fermentación y metanogénesis. En el cuadro 10-10 de Metcalf y Eddy 2003, muestran distintos valores según la reacción que se lleva a cabo.

(Metcalf & Eddy 2003)

Cuadro 94. Datos experimentados utilizados para calcular la densidad del lodo primario, extraído de la fosa séptica de la empresa.

Masa lodo (kg)	Volumen desplazado (L)
0.044	0.038
0.035	0.030
0.052	0.045

La masa del lodo se obtuvo pesando el lodo dentro de la bolsa de plástico.

Cuadro 95. Parámetros de operación digestor anaerobio

Digestor	Temperatura °C	Tiempo de retención días
Anaerobio mesofílico convencional	35	30

Este es un digestor denominado convencional de una etapa y alta carga.

(Metcalf & Eddy 2003).

Cuadro 96. Datos teóricos utilizados para calcular la evaporación de agua en Guatemala

Parámetro	Valor
Radiación solar	5.5 kwh/m <sup>2</sup> *día
Tiempo de luz solar	11 h
Calor latente de vaporización del gua	2257.08 kJ/kg
Densidad del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>

(ISIVUMEH, 2006) (INSYT, 2015)<sup>1</sup><sub>SEP</sub>

Cuadro 97. Datos experimentales de humedad realizados a los lodos de la fosa séptica de la empresa

Muestra	Humedad % ( $\pm 0.005$ )
1	85.81
2	78.79
3	85.47

Cuadro 98. Datos utilizados para cálculo de energía producida por el gas metano

Parámetro	Valor
Factor teórico de conversión	0.4 m <sup>3</sup> /kg
Poder calórico	22400 kJ/m <sup>3</sup>

(Metcalf & Eddy 2003).

Cuadro 99. Datos teóricos utilizados para el dimensionamiento del patio de secado de lodos

Parámetro	Valor
Tiempo	10 días
Espesor de capa de lodo	0.3 m
Número de divisiones	10
Humedad final de lodos	60%

(Metcalf & Eddy 2003).

Cuadro 100. Densidad grava y arena, utilizados como lecho filtrante en el patio de secado.

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Grava	1450
Arena	1600

(Metcalf & Eddy 2003).

Cuadro 101. Velocidades recomendadas para fluidos viscosos en tuberías

Parámetro	Rango
Entrada de bomba	0.06 - 0.15
Salida bomba	0.15 – 0.6

(Branan 2005).

Cuadro 102. Coeficientes de pérdida por fricción

Válvula o accesorio	Kf
Codo estándar de 45°	0.35
Unión universal	0.04
Válvula de globo	6

(Sinnott 2005)

Cuadro 103. Consumo promedio de energía en Guatemala

Distribuidora	General kWh*mes	Residencial kWh*mes	Comercial kWh*mes	Industrial kWh*mes
EGGSA	323	151	6149	101226
DEOCSA	112	76	4873	60550
DEORSA	153	97	5229	36252

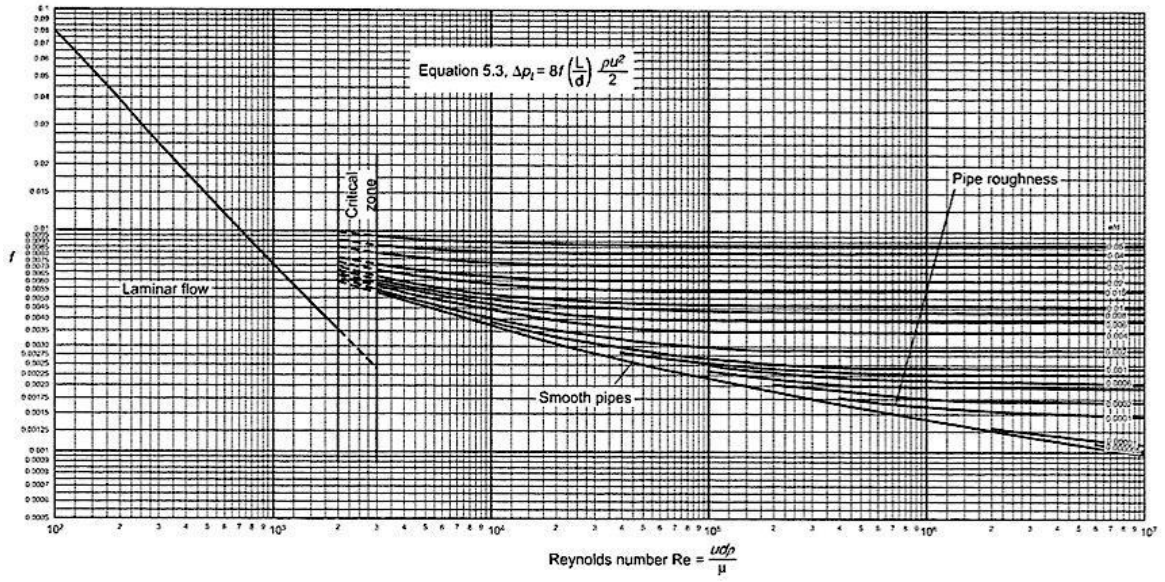
(CNEE 2017)

Cuadro 104. Temperatura de operación recomendada en un reactor anaerobio

Temperatura (°C)	Operación
35	Óptima
32-34	Mínima
21-31	Digestor comienza a acidificar
21	Digestor acidificado

(Gerardi, 2003)

Figura 52. Factor de fricción en tuberías



(Sinnott 2005)

## E. Módulo 5: Capacitación y apoyo didáctico sobre el uso del agua para el personal de una planta de fabricación de sacos

### A. Observación directa

Universidad Del Valle De Guatemala  
Facultad de educación  
Psicopedagogía  
Trabajo de Graduación  
Modalidad: Mega proyecto  
Segundo semestre 2018



### Formato de observación

<b>Aspecto</b>	<b>Comentario</b>
Planta productora	
Instalaciones de agua	

## B. Entrevista Jefe de Recursos Humanos

Universidad Del Valle De Guatemala  
Facultad de educación  
Psicopedagogía  
Trabajo de Graduación  
Modalidad: Mega proyecto  
Segundo semestre 2018  
Jefe de Recursos Humanos



### **Formato de Entrevista**

¿Cuál es la situación actual en el programa de capacitación de la empresa?

¿Cómo es el proceso de capacitación al personal?

¿Qué temas se han tratado en las últimas capacitaciones?

¿Cuál es el nivel de conocimiento que posee el personal respecto al tema del cuidado y manejo del recurso hídrico en la empresa?

¿Se ha capacitado o proporcionado información del uso consiente del agua al personal?

¿Cómo desea que involucre el aspecto educativo para resolver la problemática expuesta?

### C. Estudio sociodemográfico

Universidad Del Valle De Guatemala

Facultad de educación

Psicopedagogía

Trabajo de Graduación

Modalidad: Mega proyecto

Segundo semestre 2019

Personal



## ESTUDIO SOCIODEMOGRÁFICOS

Instrucciones: Complete la información que se le solicita.

1. Sexo

Masculino	Femenino
-----------	----------

2. ¿Cuántos años tiene?

3. ¿Cuál fue el último año que cursó de estudios?

D. Diagnóstico de necesidades

Universidad Del Valle De Guatemala  
Facultad de educación  
Psicopedagogía  
Trabajo de Graduación  
Modalidad: Mega proyecto  
Segundo semestre 2019  
Personal



**FORMATO DNC**

Instrucciones: Marca con una X, la respuesta de cada pregunta.

4. ¿Sabe usted de la situación actual en Guatemala acerca de la contaminación del agua?

SÍ	NO
----	----

5. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de agua, tanto en los lavábolos, retretes o aguas residuales?

SÍ	NO
----	----

6. ¿Qué capacitaciones o información le ha brindado la empresa acerca del uso correcto del agua?

ALGUNA	NINGUNA
--------	---------

7. ¿Conoce el acuerdo Gubernativo 236- 2006?

SÍ	NO
----	----

En la escala del 1 al 5 qué tanta señalización o información existe sobre el uso correcto del agua en las instalaciones.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

#### E. Postest

Universidad Del Valle De Guatemala  
Facultad de educación  
Psicopedagogía  
Trabajo de Graduación  
Modalidad: Mega proyecto  
Segundo semestre 2018



#### POSTEST

Instrucciones: A continuación encontrará una serie de preguntas, las cuales deberá leer atentamente y responder según lo solicitado, si tiene alguna duda, puede preguntar al entrevistador para facilitar sus respuestas.

1. ¿De qué trata el acuerdo Gubernativo 236- 2006?
2. Mencione 1 consejo para el uso eficiente del agua.

3. ¿Qué pasa en el ambiente y vida cotidiana con el agua residual?

4. Menciona el objetivo de una planta de tratamiento.

F. Consentimiento informado

**Consentimiento informado**

**Adulto**



Yo \_\_\_\_\_

estoy de acuerdo en participar en la entrevista para el diagnóstico de necesidades de capacitación y planificación del taller psicopedagógico de concientización en el uso eficiente de la energía.

Comprendo que para realizar un análisis de resultados exacto es necesario que esta entrevista sea transcrita, para fines de la investigación y recopilación de la mayor información posible. Esta información se considerará confidencial.

---

Nombre y firma del entrevistado/a

Fecha

G. Plan de capacitación

**PLAN DE CAPACITACIÓN**

**TEMÁTICA:**

Diseño y ejecución de un programa de capacitación para concientizar sobre el uso del agua potable al personal de una planta de fabricación de sacos de polietileno y polipropileno.

### Competencia

Diseñar un programa enfocado en la concientización del uso del agua potable, para promover su reducción.

### Contenido

- Uso y necesidad del agua para la vida.
- Hábitos de consumo responsable.
- Hábitos de cuidado y respeto del medio ambiente.
- Planta de tratamiento y para qué sirve.
- Acuerdo gubernativo 236- 2006 qué es y objetivos.

Actividad	Descripción	Tiempo
Bienvenida		
Mientras los colaboradores entran al salón en donde se desarrollará la capacitación, proporcionar gafetes o stickers para que cada uno escriba su nombre o cómo desea ser llamado.		
Presentación	Presentación del facilitador Presentación de objetivos de la capacitación	5 minutos
Actividad Rompe hielo	Habrà una línea trazada en el suelo, el personal estará sobre la línea, se explicará a los participantes que se leerá una lista de situaciones o eventos. Cada vez que puedan responder "sí" a la pregunta, deben dar un paso adelante. De lo contrario, deben permanecer donde están y no moverse. Reflexión final, tenemos más cosas en común con personas que están cerca.	5 minutos.
Pre test	Se entregará un breve cuestionario para conocer los pre saberes.	5 minutos
Centros de Aprendizaje	Se dividirá al grupo en 2 centros de aprendizaje, cada centro dura 10 minutos, los participantes deberán ir rotando para poder realizar todas las actividades:	40 minutos

### **Centro 1: Plantas de tratamiento, acuerdo gubernativo**

Se les brindará al grupo información visual de 2 temas:

- Planta de tratamiento y para qué sirve.
- Acuerdo gubernativo 236- 2006 qué es y objetivos

Cada uno deberá leerla y organizar sus ideas.

Trabajarán en un periódico durante este tiempo. Serán los encargados de tomar las decisiones, diseñar y publicar la portada del mismo con noticias.

- Entrega a cada uno una plantilla de la portada.
- Pedirles que la rellenen con dos titulares y el desarrollo de dos noticias, invitándoles a escribirlas y también plantear una imagen que las complete.

### **Centro 2:**

A través de un pequeño caso y la resolución del problema que se plantea, se dará a conocer cómo se puede transmitir la contaminación cuando no existe acceso al agua potable y al saneamiento, y las consecuencias que tiene para la salud de las personas.

Proceso:

Leer el caso

- Repartir tarjetas.
- Aclara las posibles dudas de lo que se representa en las tarjetas.
- Déjales tiempo para que las intenten ordenar y relacionar. Primero deben decidir qué tarjeta es el origen del problema y cuál es la consecuencia final.
- Cuando lo hayan conseguido, deberán determinar las posibles causas o cadena de acciones que han enfermado a Jairo ordenando las tarjetas y estableciendo relaciones entre ellas.
- Dinámica de debate
  - ❖ ¿Qué acciones se podrían establecer para romper la cadena de contaminación que enferma a Jairo y solucionar la epidemia que está sufriendo la comunidad?
  - ❖ ¿Cuáles están relacionadas con el tratamiento del agua?

	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ¿Qué métodos conocen para desinfectar el agua?</li> <li>❖ ¿Cuál se podría utilizar allí?</li> <li>❖ ¿Y a nosotros, nos podría pasar algo parecido?</li> <li>❖ ¿Conoce alguna enfermedad asociada al agua?</li> </ul>	
Post Test y cierre	Solicitar a los participantes que llenen encuestas de satisfacción del desarrollo de la capacitación.  Post test	5 minutos
Refrigerio		

### **MATERIALES**

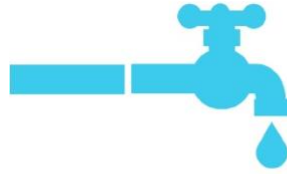
Papelógrafos, marcadores, lápices, lapiceros, fichas de colores, gafetes o identificadores, computadora.

### **ACOMODACIÓN**

Mesas (4) con materiales como: marcadores, lapiceros, pliegos de papel manila, hojas de papel de colores, tijeras, goma, revistas, etc.

Diez sillas en cada mesa para trabajar con un grupos de 5 a 20 colaboradores.

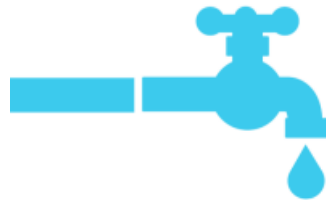
## H. Programa de capacitación



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

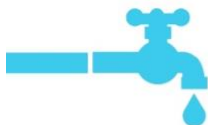
# Educación Ambiental sobre el uso del agua

Empresa productora de sacos agroindustriales



*La educación ayuda mejorar la calidad de vida de las personas y para lograr que cada una de ellas asuma una postura transformadora del entorno en el cual se desenvuelve. Siendo un proceso de socialización que estimula a un individuo para que desarrolle plenamente sus capacidades cognitivas, físicas, destrezas, técnicas y formas de comportamiento para poder así ser un miembro activo e integrado de la sociedad a la que pertenece.*





## Introducción

La capacitación es un proceso que cada vez ha cobrado mayor importancia en el mundo empresarial. Actualmente son pocas las instituciones que exploran las necesidades de sus colaboradores para generar un verdadero cambio en ellos.

Con el fin de generar un sistema integrado en el proceso de capacitación en el entorno a la concientización del uso de agua dentro de una institución, se realizó el presente trabajo de investigación.

En este programa de capacitación se incluye una descripción de procesos de investigación, descripción del contexto, objetivos generales y específicos, marco teórico y procesos de cómo abordar el proceso de capacitación sobre el uso eficiente del agua dentro y fuera de la empresa.



## Marco Teórico

Para sustentar el proceso de Educación Ambiental sobre el uso del agua se cuenta con una base teórica que sirve como referencia para la enseñanza del mismo.

### 1. EDUCACIÓN AMBIENTAL

Castillo y González (2009) al citar a Castillo, Serrat y Gonzalez-Gaudino *et al.*, mencionan que la Educación Ambiental es un proceso formativo, lo cual contribuye a la promoción, adquisición y construcción individual como colectiva de conocimientos, valores y habilidades para la transformación de las formas de relación entre las sociedades humanas, hacia el ambiente en el que habitan y los sistemas naturales.

La Carta de Belgrado sobre Educación Ambiental, convocada por la UNESCO se produce y adopta en octubre de 1975, tanto para las personas como para los grupos sociales, los siguientes objetivos:

- Formar y despertar la conciencia ambiental.
- Generar conocimientos, para ganar una comprensión básica del ambiente en su totalidad.
- Desarrollar actitudes, basadas en la adquisición de valores sociales como del interés por el ambiente.
- Descubrir y cultivar las aptitudes, para resolver problemas ambientales, por sí mismas y poder actuar colectivamente.
- Estimular la participación, con base en el apoyo y profundización del sentido de responsabilidad.
- Desarrollar la capacidad de evaluación, para evaluar las medidas y los programas de Educación Ambiental. (Solís y López, 2003:23-24)

Pérez (2007), señala que La Declaración Producto de la Conferencia de Estocolmo estableció una serie de principios fundamentales para un nuevo modelo de desarrollo.

Se citan algunos de ellos:

- El hombre posee derechos, pero también tiene la obligación de proteger y mejorar el medio para las generaciones presentes y futuras.
- Cuidadosa planificación u ordenación, para preservar los recursos naturales de la tierra y los ecosistemas.
- Contribución a la restauración o mejoramiento de la capacidad de la tierra para producir recursos vitales renovables.
- Los recursos no renovables se deben utilizar, al grado de evitar el peligro de su futuro agotamiento y se asegure que toda la humanidad comparta los beneficios.
- Lucha justa de todos para frenar la contaminación, así dar fin a la descarga de sustancias tóxicas o de otras materias perjudiciales al medio ambiente.

La Educación Ambiental relaciona a la persona con su ambiente, con su entorno y busca un cambio de actitud, una toma de conciencia sobre la importancia de conservar recursos para el futuro que permitan mantener una adecuada calidad de vida.

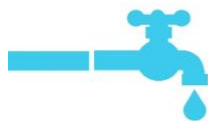




## Definiciones

Para los efectos de la aplicación e interpretación del proceso de Educación Ambiental, se comprenderán diferentes conceptos como:

- **AFLUENTE:** el agua captada por un ente generador.
- **AGUAS RESIDUALES:** las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
- **AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL:** las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
- **AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO:** las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavabastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
- **ALCANTARILLADO PÚBLICO:** el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.
- **COLIFORMES FECALES:** el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
- **CUERPO RECEPTOR:** embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
- **META DE CUMPLIMIENTO:** la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.
- **MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA:** el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.
- **MONITOREO:** el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos.
- **MUESTRA:** la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.
- **REÚSO:** el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.
- **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.



## Contexto

Este programa de Educación Ambiental está dirigido a una empresa de fabricación de sacos, ubicado en carretera a San Puerto las Huertas. Esta empresa cuenta con un aproximado de 400 colaboradores. Fue fundada en 1986, se dedica a fabricar y comercializar productos de calidad mundial para envase, empaque y otras soluciones plásticas, tanto para la industria como para la agricultura, con la finalidad de conservar los productos e imagen de nuestros clientes. Actualmente cuentan con una capacidad instalada de más de 200 millones de sacos de polipropileno al año, siendo la empresa más grande de Centro América y El Caribe en la fabricación de sacos de polipropileno. La búsqueda constante de la mejora en sus procesos, utilizar materias primas de alta calidad y brindar un buen servicio al cliente, les ha permitido ser la empresa líder en su rama en la región centroamericana, comercializando nuestros productos a más de 10 países en los mercados de Norte y Centroamérica, así como El Caribe.

Su visión es ser reconocidos a nivel mundial como líderes de calidad, eficiencia, servicio e innovación en productos para envase, empaque y otras soluciones plásticas. Teniendo un crecimiento sostenido basado en valores, principios éticos y responsabilidad social empresarial.





## ¿Por qué capacitar?

La capacitación es una manera de proporcionar a los empleados las habilidades necesarias para desempeñar su trabajo con mayor eficiencia. Este término está conformado por dos elementos personales: capacitador y capacitando. En la capacitación se busca cumplir con las necesidades que se están presentando ya sea dentro de la empresa o si la sociedad las está solicitando; también es relevante en lo que concierne a la mejora o al lanzamiento de un nuevo producto, el cual debe ser de calidad (Dessler, 2000: 27).

Las empresas o instituciones tienen el objetivo de crecer y consolidarse, para lograrlo se precisa de la conjunción de varios factores: mercado disponible, capacidad de producción, desarrollo tecnológico, liderazgo efectivo y personal competitivo.

Los programas de capacitación se dividen en cinco etapas, como menciona Dessler en sus estudios (2000):

Análisis de las necesidades de capacitación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Identificar las habilidades específicas para el desempeño del trabajo que se necesitan para mejorar.</li><li>• Analizar al público para asegurar que el programa es adecuado de acuerdo a su grado de necesidad, experiencia y habilidades.</li><li>• Realizar investigaciones de los conocimientos y el desempeño.</li></ul>
Diseño de la capacitación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Buscar información, métodos, secuencias de contenido para la enseñanza. Organizar un plan de estudio de acuerdo a la teoría de aprendizaje para adultos.</li><li>• Asegurar de los materiales, ya sean materiales visuales, que estén relacionados con claridad y adaptados de forma directa al grupo.</li></ul>
Validación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Introducir y validar la capacitación ante un público representativo, para asegurar la eficacia del programa.</li></ul>
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"><li>• El impacto de toda capacitación está relacionado con su correcta aplicación. Se recomienda rediseñar el curso mediante un taller de capacitación al instructor, para adquirir habilidades adicionales al contenido de la capacitación.</li></ul>
Evaluación y seguimiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para determinar si la capacitación alcanzó los objetivos establecidos ésta debe evaluarse, ya que esta reevaluación se podría reforzar las áreas más débiles que son detectadas.</li></ul>

Elaboración propia basándose en (Dessler, 2000: 251-253).

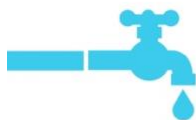


## Análisis del desarrollo de la experiencia

Como parte del proceso de investigación para el programa de Educación Ambiental se identificó la necesidad de un programa de capacitación laboral para reforzar los temas de manejo y cuidado del agua. Para esto, se planificó y realizó un taller pedagógico que permitió abordar el tema de forma general, se abordaron temas de cuidado del agua, leyes que sustentan el medio ambiente, plantas de tratamiento, se enfatizó la importancia del cuidado del agua dentro de la empresa, así también el compromiso con su comunidad y el ambiente.

El taller se realizó en jornada completa, un día atendiendo una muestra total de 40 colaboradores, se evidenció que todos los sujetos presentaron buena actitud e interés por aprender sobre el tema. El punto a favor del mismo taller fue que se trabajó en modalidad de centros de aprendizaje, en lo que se evitó el uso de presentaciones *Power Point* o material de lectura largo. Se trató de realizar material visual, así también actividades vivenciales y prácticas.

Respecto a la prueba que se realizó después del taller, se evidencia que el proceso tuvo impacto en la fijación de nuevos conocimientos. Se comparó a los mismos sujetos en un pre y post test para comparar si la capacitación fue un éxito. Dicho esto se requiere continuar con el programa de capacitación respecto a este tema.



## Plan de capacitación

### TEMÁTICA:

Diseño y ejecución de un programa de capacitación para concientizar sobre el uso del agua potable al personal de una planta de fabricación de sacos de polietileno y polipropileno.

### OBJETIVOS

#### General

Diseñar un programa enfocado en la concientización del uso del agua potable, para promover su reducción.

#### Específicos

- Proporcionar información bibliográfica para desarrollar habilidades que conlleven a la reducción del uso del recurso hídrico.
- Planificar talleres de educación ambiental para concientizar sobre el uso del recurso hídrico al personal de la empresa.

### CONTENIDOS

- Uso y necesidad del agua para la vida.
- Hábitos de consumo responsable.
- Hábitos de cuidado y respeto del medio ambiente.
- Planta de tratamiento y para qué sirve.
- Acuerdo gubernativo 236-2006 que es y objetivos.
- Comprensión de qué es agua potable.
- Comprensión del manejo y uso adecuado del agua.
- Comprensión del manejo y uso inadecuado del agua.
- Plan para garantizar el correcto manejo y uso adecuado del agua potable.





## Primera sesión

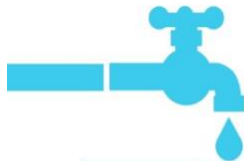
Tiempo	Actividad	Desarrollo
5 minutos	<p><b>Presentación de participantes</b></p> <p><b>Dinámica: YO A TÍ Y TÚ A MÍ.</b></p> <p>En esta dinámica también se crea un ambiente de trabajo se rompe el hielo y se conocen entre ellos.</p>	<p>Esta dinámica consiste en colocar a los participantes en parejas. Se juntan y conversan entre ellos, el primero presenta al segundo y viceversa, indicando el nombre del compañero y alguna información adicional como su comida favorita, gustos, entre otros.</p>
10 minutos	<p>El capacitador hace preguntas sueltas y un secretario va tomando nota. «¿Qué es una fuente de agua?», «¿Qué tipo de sistemas de abastecimiento de agua tenemos?», «¿Para qué es importante el agua?», «¿Cuándo se contaminan el agua y qué produce?», «¿Cómo podemos tratar el agua a nivel del hogar?»</p>	<p>Se coloca un pliego de papel para cada tema y van clasificando las respuestas. Se recomienda realizar un dibujo o esquemas de los puntos tratados.</p>
30 minutos	<p>Presentación de temas de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fuentes de agua</li> <li>Importancia del agua</li> <li>Como se contaminan el agua</li> <li>Tratamiento de aguas en el hogar</li> </ul>	<p>Se dividirá el grupo en subgrupos, cada grupo tendrá información gráfica de los temas y deberá hacer una presentación creativa de forma gráfica.</p> <p>Se debe tener información gráfica, la cual debe ser mostrada en forma general y uno por uno, acercándose para que lo vean y lo conozcan bien, pero la explicación es en forma conjunta.</p>
10 minutos	<p>Presentación de carteles y cierre.</p>	<p>Los sujetos presentarán lo que elaboraron y la capacitadora hará un cierre de la actividad.</p>





## Segunda sesión

Tiempo	Actividad	Desarrollo
5 minutos	Actividad rompe hielo. Habrá una línea trazada en el suelo, el personal estará sobre la línea, se explicará a los participantes que se leerá una lista de situaciones o eventos.	Cada vez que puedan responder "sí" a la pregunta, deben dar un paso adelante. De lo contrario, deben permanecer donde están y no moverse. Reflexión final: tenemos más cosas en común con personas que están cerca.
15 minutos	Se dividirá al grupo en dos centros de aprendizaje, cada centro dura 10 minutos, los participantes deberán ir rotando para poder realizar todas las actividades.	<b>Centro 1: Plantas de tratamiento, acuerdo gubernativo</b> Se le brindará al grupo información visual de dos temas: Planta de tratamiento y para qué sirve. Acuerdo gubernativo 236-2006 qué es y objetivos. Cada uno deberá leerla y organizar sus ideas. Trabjarán en un periódico durante este tiempo. Serán los encargados de tomar las decisiones, discutir y publicar la portada del mismo con noticias. Se entregará a cada uno una plantilla de la portada. Se les pedirá que la rellenen con dos titulares y el desarrollo de dos noticias, invitándolos a escribirlas y también plantear una imagen que las complete.
15 minutos	A través de un pequeño caso y la resolución del problema que se plantea, se dará a conocer cómo se puede transmitir la contaminación cuando no existe acceso al agua potable y al saneamiento, y las consecuencias que tiene para la salud de las personas.	<b>Centro 2:</b> Proceso: Leer el caso y repartir tarjetas. Aclarar las posibles dudas de lo que se representa en las tarjetas. Dejar tiempo para que las intenten ordenar y relacionar. Primero deberán decidir qué tarjeta es el origen del problema y cuál es la consecuencia final. Cuando lo hayan conseguido, deberán determinar las posibles causas o cadenas de acciones que han enfermado a Jairo ordenando las tarjetas y estableciendo relaciones entre ellas. <b>Dinámica de debate</b> ¿Qué acciones se podrían establecer para romper la cadena de contaminación que enferma a Jairo y solucionar la epidemia que está sufriendo la comunidad? ¿Cuáles están relacionadas con el tratamiento del agua? ¿Qué métodos conocen para desinfectar el agua? ¿Cuál se podría utilizar ahí? ¿Y a nosotros, nos podría pasar algo parecido?



## Tercera sesión

Tiempo	Actividad	Desarrollo
5 minutos	Actividad rompe hielo. Juego Adivina quién soy	Cada sujeto tendrá una carta y en conjunto le diremos pistas para que sepa quién es o qué cosa es.
2 minutos	Formación de grupos	Mientras van paseando sin rumbo cuando suena una palmada se detienen y el capacitador pide que formen grupos de 2, 3, 5, 8. Cuando ya son ocho, se busca lugares estratégicos para realizar el trabajo y se les entregan los temas.
10 minutos	Problemática en dibujos	Dibujar el mal uso de los retretes y lavamanos. Dibujar el buen uso de los retretes y lavamanos.
20 minutos	Plenaria	Luego del dibujo de los grupos, cada grupo nombra un representante y se expone. Luego el capacitador retoma los temas. Importancia del uso adecuado de retretes y lavamanos.
20 minutos	Compromiso	Después de haber terminado el trabajo, se realiza un protocolo y se construye un compromiso, para luego ser asumido por todos los participantes a que se comprometan a utilizar las instalaciones del baño correctamente.



## Material visual

Hoja informativa del agua

### 1. El agua

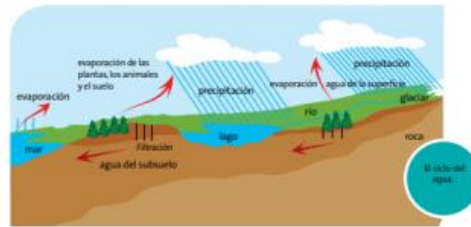
El 97% del agua del planeta es salada y está en los océanos, los cuales cubren dos tercios de la superficie de la Tierra. El agua dulce sólo es el 3%; y de tal porcentaje, el 2% no es de fácil acceso pues se encuentra en estado sólido, formando capas de hielo y glaciares. Así, el agua que hay en los lagos, ríos y en la humedad atmosférica, en el suelo, en la vegetación y en el subsuelo representa sólo el 1% del total.

El agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente (Dublin, 1992).

#### Ciclo hidrológico

Las fuentes de agua se recargan debido a la acción del ciclo hidrológico. Se dice que éste actúa como una bomba gigante que continuamente transfiere agua dulce de los océanos a la tierra y que luego retorna al mar.

En este ciclo de energía solar, el agua se evapora de la superficie terrestre y llega a la atmósfera, de donde cae en forma de lluvia o nieve. Parte de esta precipitación vuelve a evaporarse, mientras que otra parte comienza el viaje de vuelta al mar a través de arroyos, ríos y lagos. Aun otra parte se filtra dentro del suelo y se convierte en humedad del suelo (agua subterránea) o en agua superficial.



Hoja informativa del agua

### 2. ¿Por qué es importante el agua?

- El agua es muy importante para la vida de las personas, animales y plantas.

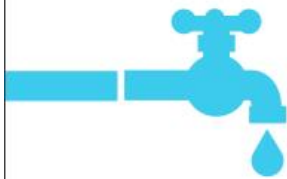


- Sin agua no habría vida.
- Para la salud. La falta de agua produce deshidratación y muerte.



- Las comunidades se forman donde hay fuentes de agua.





## Hoja informativa del agua

### 5. ¿Para que usamos el agua?

El agua la usamos:

▣ Para el consumo, como bebida.



▣ Para preparar nuestros alimentos



▣ Para nuestra higiene personal



▣ Lavado y limpieza de nuestra ropa



▣ Para el aseo de nuestras viviendas.  
▣ Para el cuidado de nuestros animales.  
▣ Para nuestras chacras.

**TRABAJEMOS JUNTOS  
CUIDEMOS EL AGUA, NO LA CONTAMINEMOS  
ASÍ PROTEGEMOS NUESTRA SALUD.**

### 6. ¿Cómo se contamina el agua?

El agua se puede contaminar por:

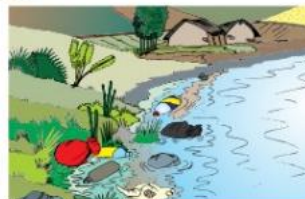
- ▣ Uso de detergentes, agroquímicos y blanqueadores. Inadecuado tratamiento de aguas residuales (desagües).
- ▣ Desprendimientos de sustancias tóxicas provenientes de actividad minera, volcanes etc.
- ▣ Inadecuada eliminación y disposición de excretas de las personas y animales.
- ▣ Desastres naturales: Huaycos o derrumbes.
- ▣ Echar basura a las fuentes de agua de la comunidad como ríos, lagos o lagunas, campo abierto, chacras o alrededor de la casa.



### ¿Qué efectos tiene la contaminación del agua?

▣ Daña el medio ambiente.

▣ Daña y vuelve inutilizable el agua de ríos y manantes es decir que ya no sirven.



1. Propuesta del sistema de rejillas

- a. La propuesta del sistema de rejillas para el tratamiento preliminar se basó en los siguientes parámetros de diseño.

Cuadro 105. Parámetros de diseño de un sistema de rejillas de limpieza manual basados en rangos estándar según Metcalf & Eddy

Parámetro	Valor
Velocidad para evitar la deposición y sedimentación $V_d$ (m/s)	0.4
Velocidad a través de barras limpias $v_b$ (m/s)	0.9
Velocidad de aproximación (m/s)	0.6
Coefficiente de rejillas limpias ( $C_L$ )	0.7
Coefficiente de rejillas sucias ( $C_S$ )	0.6
Ancho de barra (m)	$1.00 \times 10^{-2}$
Profundidad de barra (m)	$3.15 \times 10^{-2}$
Espacio entre barras (m)	$3.75 \times 10^{-2}$
Ángulo de inclinación respecto a la vertical ( $^\circ$ )	45

- b. La pérdida de carga de las rejillas sucias y limpias se calculó utilizando la  $L = \frac{1}{C_L} \left( \frac{v^2 - v^2}{2g} \right)$

Ecuación 2

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left( \frac{(0.9 \text{ m/s})^2 - (0.6 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \right) = 0.032 \text{ m}$$

El cálculo anterior se realizó también para rejillas sucias con un taponamiento del 50%, para lo cual se obtuvo una pérdida de carga de 0.24 m

- c. El área libre necesaria para el paso de agua se obtuvo de la siguiente ecuación con el valor de velocidad de aproximación del Cuadro 103. y el caudal de diseño

$$v_i = \frac{Q_i}{A_i} \text{ Ecuación 21}$$

$$A_{\text{libre}} = \frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0.6 \text{ m/s}} = 5.56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- d. Fijando un ancho de canal de 0.4 m, se obtiene el nivel máximo de agua en el canal con la siguiente ecuación.

$$A_i = a_i * h_i \text{ Ecuación 22}$$

$$h_{\text{agua}} = \frac{5.56 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}} = 1.39 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- e. El número de barras en el sistema de rejillas se calculó utilizando la  $n = \left( \frac{0.4}{0.0375m + 0.01m} \right) e + S - 1$  Ecuación 4 y los datos del Cuadro 103.

$$n = \left( \frac{0.4}{0.0375m + 0.01m} \right) e + S - 1 = 7.42 \text{ barras}$$

El resultado de este cálculo se aproximó a 8 barras

- f. El largo de las barras para las rejillas se calculó utilizando la  $L = \frac{h + H_s}{\sin \theta}$  Ecuación 3 y un valor teórico de 0.8m para la altura de seguridad

$$L = \frac{1.39 \times 10^{-3} m + 0.8 m}{\sin(45^\circ)} = 1.13 m$$

- g. Para el largo del canal se utilizó el teorema de Pitágoras utilizando la siguiente ecuación y los datos del Cuadro 103.

$$L_c = \frac{h + H_s}{\tan \theta} \text{ Ecuación 23}$$

$$L_c = \frac{1.39 \times 10^{-3} m + 0.8 m}{\tan(45^\circ)} = 0.801 m$$

## Cálculos de muestra

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

#### 2. Proyección del caudal de agua residual

- a. Se evaluaron los datos de demanda de agua del 2013 al 2018 utilizando la prueba de estacionalidad ADF con Excel con un nivel de significancia del 5%.

1) Se rechazó la hipótesis nula. Este resultado y el resumen estadístico se encuentran en la sección de datos calculados Figura 60.

- b. Se realizó el modelo ARIMA utilizando Excel, sobre la serie de datos con las siguientes especificaciones:

- 1) Orden de integración: 1
- 2) Orden de autorregresión: 1
- 3) Orden de media móvil: 1
- 4) Coeficientes determinados por el modelo
- 5) Significancia de 0.05

6) Iteraciones: 100

El resultado del análisis para evaluar el uso del método ARIMA se encuentra en la Figura 61 en la sección de datos calculados

El modelo ARIMA fue aprobado dados los resultados

- c. Se hizo la proyección para el método ARIMA utilizando Excel, para la demanda de agua potable en el 2030, resultando en  $6178.35 \text{ m}^3/\text{mes}$  ( $2.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ). Estos resultados pueden observarse en la sección de datos calculados Cuadro 110 y gráficamente pueden observarse en la Figura 63.
- d. El caudal promedio de agua residual mensual por área se obtuvo utilizando los datos del Cuadro 81 en la sección de datos originales. Este cálculo se realizó para las 3 áreas mostradas en el Cuadro 81.

$$\frac{4.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} + 6.00 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 5.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

- e. Con los valores obtenidos por el cálculo anterior, se hizo una sumatoria para las tres áreas para obtener el caudal promedio mensual total en el año 2018.

$$5.10 \times 10^{-5} + 2.40 \times 10^{-5} + 1.05 \times 10^{-4} = 1.80 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

- f. El cálculo del promedio se realizó también para los datos de la demanda de agua potable mensual del 2018 del Cuadro 51 en la sección de datos originales.

$$\frac{(3935 + 3874 + 4051 + 3240 + 4192 + 3602 + 3384 + 2730 + 2366 + 2355 + 2945 + 3276) \text{ m}^3}{12}$$

$$= \frac{3329.17 \text{ m}^3}{\text{mes}} \text{ equivalente a } 1.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- g. Se determinó el factor de conversión de agua potable a residual de la siguiente manera

$$\frac{5.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{1.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} = 0.1401$$

- h. El valor de agua residual para diciembre del 2030 se obtuvo con la demanda de agua potable proyectada y el factor de conversión de la siguiente manera

$$0.1401 * 2.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

- i. A partir del aforo realizado en el Cuadro 82 la sección de datos originales se obtuvo utilizando la herramienta de Excel el caudal mínimo y promedio de la descarga de agua residual actual.

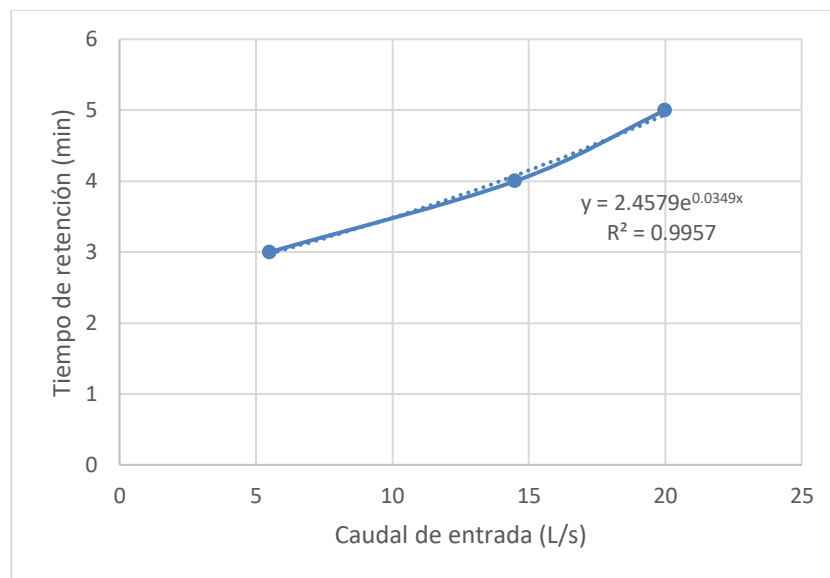
j. Se realizó una proyección utilizando el valor de crecimiento anual de 3.29% (ver Ecuación 29.) para encontrar el caudal mínimo y promedio para el 2030.

- 1) Caudal mínimo:  $6.88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- 2) Caudal promedio:  $1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

### 3. Propuesta del sistema de remoción de grasas

a. A partir del Cuadro 4 se obtuvo la siguiente figura que relaciona el tiempo de retención y el caudal en la trampa de grasas

Figura 53. Tiempo de retención en función del caudal de entrada de acuerdo con la norma DIN 4041



b. Para calcular el tiempo de retención con el caudal de diseño (en litros por segundo) se utilizó la ecuación de la tendencia de la Figura 53, la cual se muestra a continuación.

$$t = 2.4579 * e^{0.349 * Q_i} \text{ Ecuación 24}$$

$$2.4579 * e^{0.349 * 0.334 \frac{L}{s}} = 2.48 \text{ min lo cual es equivalente a 149 segundos}$$

c. El volumen ideal para la trampa de grasas se calculó con la siguiente ecuación

$$V_i = Q_i * t \text{ Ecuación 25}$$

$$V_{ideal} = \frac{3.34 \times 10^{-4} m^3}{s} * 149s = 4.98 m^3$$

Debido a motivos de seguridad y para evitar sobrecargas se utiliza un volumen 10% mayor al de diseño.

- d. Para obtener una eficiencia del 92% como regla gruesa, según la norma DIN 4041, se diseñan 0.25 m<sup>2</sup> por 1x10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s de caudal de diseño.

$$0.25 m^2 * \frac{1}{1 \times 10^{-3} m^3/s} * \frac{3.34 \times 10^{-4} m^3}{s} = 8.34 \times 10 m^2$$

- e. Las dimensiones también se calcularon utilizando reglas gruesas de relación entre largo y ancho en las que el largo es 1.8 veces el ancho, de forma que se calculó de la siguiente manera.

$$L = 1.8aA = 1.8a^2a = \sqrt{\frac{A}{1.8}} = \sqrt{\frac{8.34 \times 10^{-2} m^2}{1.8}} = 0.22m$$

$$L = 1.8 * 0.22m = 0.39m$$

- f. Utilizando el área encontrada y el volumen para el diseño se encuentra la altura de la siguiente manera.

$$L = \frac{5.48 m^3}{8.34 \times 10 m^2} = 0.656m$$

- g. Para determinar la concentración de grasas y aceites en el agua de salida de la trampa de grasas se utiliza la siguiente ecuación y la concentración máxima de entrada medida por la empresa externa.

Este valor puede observarse en el Cuadro 112 en la sección de anexos, el dato fue utilizado con unidades del Sistema Internacional.

$$C_f = C_o - (C_o P\%) \text{ Ecuación 26}$$

$$\frac{0.081 m^3}{m^3} - \left( 0.92 * \frac{0.081 m^3}{m^3} \right) = 0.006 m^3 \text{ grasa} / m^3 \text{ solución}$$

- h. De la misma forma, la cantidad de grasa retenida se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$C_R = C_o - C_f \text{ Ecuación 27}$$

$$\frac{(0.081-0.006)m^3 \text{grasa}}{m^3 \text{solución}} = 0.075m^3 \text{grasa}/m^3 \text{solución}$$

- i. Para obtener los flujos de grasas y aceites en el sistema se utilizó la siguiente ecuación. Los resultados del balance de masa se encuentran en el Cuadro 113 en la sección de datos calculados.

$$F_i = Q_i * C_i \text{ Ecuación 28}$$

$$F_o = \frac{3.34x10^{-4}m^3}{s} * \frac{0.081m^3}{m^3} = 2.70x10^{-5} m^3/s$$

#### 4. Propuesta sistema de captación de flujo

- Una empresa externa midió la variación de flujo con respecto al tiempo en los meses de junio y diciembre del 2018 para 3 áreas de descarga de agua residual denominadas por la empresa: fosa séptica, laminadora 3 y pozo de absorción.
- El flujo se proyectó linealmente utilizando una la función “pronóstico” en Excel, para las horas en las que la empresa no midió la variación del caudal en cada área y utilizando los flujos medidos. La variación de caudal medido por la empresa externa se puede encontrar en el Cuadro 82 en la sección de datos originales.
- Para determinar el volumen del tanque homogeneizador primero se realizó una curva que relacionara el tiempo con el volumen acumulado.
- Se obtuvo el volumen promedio para las tres áreas de la siguiente manera

$$\frac{(0.144 + 0.083 + 0.180)x10^{-3}m^3}{3} = 1.356x10^{-4}m^3/s$$

Este cálculo se realizó para el resto de las horas.

- Los datos se pasaron de segundos a horas para obtener el volumen de agua a cada hora del día de la siguiente manera

$$\frac{1.356x10^{-4}m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 h} = 0.488 m^3/h$$

Este cálculo se realizó para el resto de las horas en el día

- f. Se obtuvo el volumen acumulado sumando el volumen de la hora anterior con el volumen por hora, de la siguiente manera

$$V_{Acumulado}(segunda\ hora) = 0.488 \frac{m^3}{h} * (1\ h) + 0.471 \frac{m^3}{h} * (1\ h) = 0.959\ m^3$$

$$V_{Acumulado}(tercera\ hora) = 0.488 \frac{m^3}{h} * (1\ h) + 0.471 \frac{m^3}{h} * (1\ h) + 0.454 \frac{m^3}{h} * (1\ h) = 1.414\ m^3$$

Este cálculo se realizó hasta alcanzar las 24 horas, el volumen acumulado por hora puede observarse en el Cuadro 114 en la sección de datos calculados

- g. Se graficó el volumen acumulado a cada hora del día, lo cual se presenta en la Figura 70 en la sección de datos calculados.
- h. Sobre la Figura 70 se trazó una línea recta desde el origen hasta el punto final de la curva del volumen acumulado, la pendiente de esta representa el volumen promedio del día (color celeste)
- i. Se trazó, adicionalmente, una línea paralela a la línea del volumen promedio anterior y tangente a la curva de volumen acumulado de entrada al tanque (color naranja).
- j. Se trazó una línea vertical (color negro) desde el punto de tangencia de la línea trazada en el paso anterior hasta su conexión con la línea de volumen promedio (línea color celeste).
- k. Se realizó una lectura en el eje de volumen para obtener el volumen ideal del tanque de captación de flujo, el cual es  $3\ m^3$  para los requerimientos del 2018, según se observa en la Figura 70.
- l. Para la tasa de crecimiento anual, se utilizó la ecuación de crecimiento exponencial y los datos de la demanda de agua potable en el 2018 y la proyectada para el 2030 calculada anteriormente en esta sección.

$$N_i = N_o(1 + r)^{t_i} \text{ Ecuación 29}$$

$$2.38 \times 10^{-3} m^3/s = 1.62 \times 10^{-3} m^3/s(1 + r)^{12}$$

$$r = 3.29\%$$

- m. Utilizando la misma ecuación con la tasa de crecimiento anual calculada y el volumen para el tanque de captación de flujo en el 2018 calculado con el método gráfico, se encontró el volumen para el tanque en el 2030 de la siguiente forma.

$$V_{2030} = 3m^3(1 + 0.0329)^{12} = 4.42m^3$$

- n. Se obtuvo el volumen real al sumar un 10% de sobrediseño según la literatura en caso de sobrecargas en el sistema de la siguiente forma:

$$4.42m^3 + (0.10 * 4.42m^3) = 5.08m^3$$

- o. Para las dimensiones del tanque se utilizó la relación de reglas gruesas de diseño del tanque y la ecuación a continuación.

$$h = l = 0.5a$$

$$V = h * l * a = h * h * 2h$$

$V = 2h^3$  Ecuación 30

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{2}} = \sqrt[3]{\frac{5.08 m^3}{2}} = 1.36m$$

$$a = 2.73m$$

- p. Se agregó una pendiente del 10% de la altura, según reglas gruesas de diseño, en donde se purgarán los lodos sedimentados.

$$1.36m + (0.10 * 1.36m) = 1.50m$$

- q. El volumen se volvió a calcular incluyendo la pendiente en el tanque

$$5.08m^3 + ((1.36m - 1.50m) * 1.36m * 2.73m) = 5.59 m^3$$

- r. Para la sedimentación parcial se utilizaron los valores calculados en la siguiente sección para la propuesta del tratamiento primario, específicamente la velocidad de sedimentación de las partículas y la Figura 2 sobre la relación entre porcentaje de remoción de sólidos sedimentables.

$$t = \frac{l}{v_s} = \frac{1.36 m}{8.15 \times 10^{-4} m/s} = 1674 s$$

El tiempo es equivalente a 0.465 h o 27.90 min

- s. Utilizando la herramienta de Excel se realizó una interpolación con la Figura 2 para 27.9 min y 1.3 m de profundidad del tanque para calcular el porcentaje de retención de sólidos, de 32.09%.
- t. Se realizó el balance de masa utilizando como base de cálculo el tiempo de 1674 s (referirse a de la siguiente sección para la propuesta del tratamiento primario).

$$C_{fss} = C_{oss} - (C_{oss}R\%)$$

$$\frac{0.648 \text{ kg}}{\text{m}^3} - \left( 32.09\% * \frac{0.648 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) = 0.208 \text{ kg/m}^3$$

u. Por lo tanto, la concentración de lodos sedimentados se obtuvo mediante la

$$R = C_o - C_f \text{ Ecuación 27}$$

$$C_{RSS} = C_{oss} - C_{fss}$$

$$\frac{(0.648 - 0.208) \text{ kg}}{\text{m}^3} = 0.44 \text{ kg/m}^3$$

v. Para la obtención del flujo másico de lodos en la entrada, salida y los lodos retenidos

se utilizó la  $i = Q_i * C_i$  Ecuación 28

$$\dot{M}_{lss} = Q_i * C_i$$

$$\left( \frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{\text{s}} \right) * \left( \frac{0.648 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) = 2.16 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

w. El flujo volumétrico de lodos se calculó con la  $i = \frac{\dot{M}_x}{\rho_x}$  Ecuación 43

$$Q_{lss} = \frac{\dot{M}_{lss}}{\delta_p * \rho_{agua}} = \frac{\frac{2.16 \times 10^{-4} \text{ kg}}{\text{s}}}{1.15 * \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3}} = 1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

## 5. Propuesta sistema de tratamiento primario

a. Se utilizó el modelo de Stokes en la Ecuación 10 debido al tamaño de partícula, utilizando los siguientes parámetros y gravedad específica del agua de 1.

La gravedad específica de partícula fue obtenida de forma experimental en el módulo de este trabajo titulado: "Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias" para una densidad de 1150 kg/m<sup>3</sup>, equivalente a gravedad específica de 1.15

Cuadro 106. Características de sólidos sedimentables en aguas residuales

Parámetro	Valor
Constante k	0.05
Diámetro de partícula (m)	$1.000 \times 10^{-4}$
Coefficiente de fricción Darcy-Weisbach	0.025
Viscosidad ( $m^2/s$ )	$1.000 \times 10^{-6}$

Los valores fueron obtenidos de datos de una planta de tratamiento municipal pequeña de agua residual (Metcalf & Eddy, 2003)

$$v_s = \frac{1}{18} (9.81) \left( \frac{1.15 - 1}{1 \times 10^{-6}} \right) (1 \times 10^{-4})^2 = 8.15 \times 10^{-4} m/s$$

- b. Para comprobar que el modelo de Stokes se ajusta a los datos, se calculó el número de Reynolds utilizando la  $R = \frac{v_p d_p \rho_p}{\mu} = \frac{v_p d_p}{\nu_s}$  Ecuación 7, con el resultado de la velocidad de sedimentación encontrado, y los valores del Cuadro 113

$$\frac{1 \times 10^{-4} m * 8.15 \times 10^{-4} m/s}{1 \times 10^{-6} m^2/s} = 0.0813$$

El número de Reynolds cumple con la especificación establecida en el Cuadro 5, por lo que el modelo de Stokes si se ajusta a los datos.

- c. Se calculó la velocidad horizontal de las partículas y la velocidad de desplazamiento, utilizando la  $d = \left( \frac{8k(\delta-1)gd_p}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$  Ecuación 11 y  $H = \frac{100*Q}{B*H}$  Ecuación 12 para la velocidad de desplazamiento y la velocidad horizontal, respectivamente.

$$v_d = \left( \frac{8 * 0.05 * (1.15 - 1) * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1 \times 10^{-4} m}{0.025} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.049 m/s$$

$$v_H = \frac{100 * 3.34 \times 10^{-4} m^3/s}{1.33 m * 0.6 m} = 4.17 \times 10^{-4} m/s$$

$V_d > V_H$ , se cumple la condición.

- d. Para el área mínima de sedimentación se utilizó la  $i = \frac{Q_i}{A_i}$  Ecuación 21 utilizando el caudal de diseño y la velocidad de sedimentación

$$A_{s1} = \frac{Q}{v_s} = \frac{3.337 \times 10^{-4} m^3/s}{8.15 \times 10^{-4} m/s} = 0.41 m^2$$

- e. De acuerdo con los datos de la Figura 2 se eligió la altura mínima de 0.6m. Los datos de la figura se graficaron en función del porcentaje de retención a esa altura (Figura 7I, sección de datos calculados) y se extrapoló para un tiempo de retención de 2 horas. La ecuación de la tendencia de la curva obtenida fue la siguiente:

$$R\% = 17.938 \ln \ln (t) - 80.406 \text{ Ecuación 31}$$

- f. Con la relación anterior, para 7200s se obtuvo el porcentaje de remoción de sólidos sedimentables

$$R\% = 17.938 \ln \ln (7200s) - 80.406 = 79\%$$

- g. Con el tiempo de retención de 7200 segundos (2 horas) y el caudal de diseño se obtuvo el volumen ideal para el tanque de sedimentación de 2.4 m<sup>3</sup> utilizando la  $i=Q_i * t$  Ecuación 25.

$$V_i = Q * t = \left(3.337 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right) * (7200s) = 2.4 m^3$$

- h. La nueva área de sedimentación se obtuvo utilizando el volumen ideal calculado y la altura mínima.

$$A_{s2} = \frac{V_i}{H1} \text{ Ecuación 32}$$

$$\frac{2.4 m^3}{0.6m} = 0.8 m^2$$

Esta nueva área representa un incremento del 51% con respecto al volumen mínimo calculado anteriormente.

- i. Fijando un largo de 3 m, según reglas gruesas, para el sedimentador, se obtuvo el ancho del sedimentador.

$$B = \frac{A_{s2}}{L} \text{ Ecuación 33}$$

$$\frac{0.8 m^2}{3m} = 1.33 m$$

- j. Para la inclinación del tanque se utilizó el valor recomendado, según la literatura, del 10% de la altura con la siguiente ecuación

$$H2 = H1 + (H1 * 0.01) \text{ Ecuación 34}$$

$$0.6m + (0.6m * 0.01) = 0.66 m$$

k. De manera que el volumen del tanque se calculó de la siguiente manera:

$$V_{pendiente} = (H2 - H1) * B * L \text{ Ecuación 35}$$

$$((0.66m - 0.6m) * 3m * 1.33m = 0.12m^3$$

$$V_{real} = V_i + V_{pendiente} \text{ Ecuación 36}$$

$$2.4m^3 + 0.12m^3 = 2.52m^3$$

l. Para este valor, utilizando la  $i=Q_i * t$  Ecuación 25 se obtuvo un nuevo tiempo de retención

$$\frac{(2.52m^3)}{3.337 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}} = 7560s$$

m. Utilizando la relación de la Figura 71, se obtuvo el porcentaje de retención de sólidos depara el nuevo tiempo de retención.

$$R\% = 17.938 \ln \ln (7560s) - 80.406 = 79.8\% = 80\%$$

n. Para dimensionar la pantalla difusora se utilizaron los siguientes valores

Cuadro 107. Velocidad de paso y diámetro de orificios en una pantalla difusora

Parámetro	Valor
Velocidad de paso entre los orificios $v_p$ (m/s)	0.002
Diámetro de orificios $d_o$ (m)	0.075

(OPS, 2005)

o. El número de orificios se calculó utilizando la  $n=$  oao Ecuación 15, de la cual el área total de orificios y el área de cada orificio se obtuvieron de la siguiente forma:

$$A_o = \frac{Q}{v_p} \text{ Ecuación 37}$$

$$\frac{3.34 \times 10^{-4} m^3/s}{0.002 m/s} = 0.17m^2$$

$$a_o = \frac{1}{4} \pi d_o^2 \text{ Ecuación 38}$$

$$\frac{\pi * (0.075m)^2}{4} = 4.42 \times 10^{-4} m^2$$

$$n = \frac{0.17m^2}{4.42 \times 10^{-4} m^2} = 37.78 \text{ orificios} = 40 \text{ orificios}$$

- p. Para dimensionar el vertedero de Thomson con ángulo de 90° de salida se utilizó la  $Q=1.34$  2.47 Ecuación 13 utilizando el caudal de diseño

$$h = \sqrt[2.47]{\frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{1.34}} = 0.035 \text{ m}$$

- q. La altura se encontró utilizando el teorema de Pitágoras de la siguiente forma:

$$c = \frac{h}{\cos\left(\frac{\theta^\circ}{2}\right)} = \frac{0.035 \text{ m}}{\cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right)} = 0.066 \text{ m Ecuación 39}$$

$$b' = \sqrt{c^2 - h^2} = \sqrt{0.066^2 - 0.035^2} = 0.056 \text{ m Ecuación 40}$$

$$b = 2b' = 2 * 0.056 \text{ m} = 0.113 \text{ m Ecuación 41}$$

- r. El área del vertedero se obtuvo utilizando la siguiente ecuación:

$$A_v = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{0.035 \text{ m} \cdot 0.113 \text{ m}}{2} = 0.002 \text{ m}^2 \text{ Ecuación 42}$$

- s. La velocidad de salida del caudal se calculó utilizando la  $i = \frac{Q_i}{A_i}$  Ecuación 21

$$\frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0.002 \text{ m}^2} = 0.17 \text{ m/s}$$

- t. La concentración de salida de lodos producidos por los sólidos sedimentables se calculó utilizando la  $f = C_o - (C_o P\%)$  Ecuación 26 con el porcentaje de retención de sólidos sedimentables y la concentración máxima inicial de sólidos sedimentables del siguiente cuadro.

Cuadro 108. Concentraciones máximas de sólidos en el agua residual de la empresa

Tipo de sólidos	Concentración (kg/m <sup>3</sup> )
Sedimentables <sup>10</sup> (C <sub>oSS</sub> )	18.75
Suspendidos (C <sub>oTSS</sub> )	0.648

Los valores presentados en este cuadro fueron medidos por la empresa externa que caracterizó el agua residual de la empresa, estos datos pueden observarse en el Cuadro 112.

<sup>10</sup> La concentración de sólidos sedimentables se obtuvo del valor máximo de 15 ml/L del Cuadro 112, utilizando la gravedad específica del

$$C_{fss} = C_{oss} - (C_{oss}R\%)$$

$$\frac{17.25kg}{m^3} - \left(0.80 * \frac{17.25kg}{m^3}\right) = 3.45 kg/m^3$$

u. Por lo tanto, la concentración de lodos sedimentados se obtuvo mediante la

$$R=C_o - C_f \text{ Ecuación 27}$$

$$C_{RSS} = C_{oss} - C_{fss}$$

$$\frac{(17.25-3.45)kg}{m^3} = 13.80kg/m^3$$

v. Para la obtención del flujo másico de lodos en la entrada, salida y los lodos retenidos se utilizó la  $i= Q_i * C_i$  Ecuación 28

$$\dot{M}_{lss} = Q_i * C_i$$

$$\left(\frac{3.34 \times 10^{-4} m^3}{s}\right) * \left(\frac{17.25 kg}{m^3}\right) = 5.76 \times 10^{-3} kg/s$$

w. El flujo volumétrico de lodos se calculó con la siguiente ecuación

$$Q_i = \frac{\dot{M}_x}{\rho_x} \text{ Ecuación 43}$$

$$Q_{lss} = \frac{\dot{M}_{lss}}{\delta_p * \rho_{agua}} = \frac{\frac{5.76 \times 10^{-3} kg}{s}}{1.15 * \frac{1000 kg}{m^3}} = 5.01 \times 10^{-6} m^3/s$$

x. El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos se calculó utilizando la  $R=-a+bt$

$$\text{Ecuación 14}$$

$$R = \frac{7560s}{0.0075 + 0.014 * (7560s)} = 56.34\%$$

y. Los cálculos anteriores se utilizaron para obtener los valores de flujo másico y volumétrico para los sólidos sedimentables y suspendidos en la entrada y salida de agua, y la salida de lodos. Estos resultados pueden observarse en el Cuadro 115 en la sección de datos calculados.

## 6. Dimensionamiento de tubería

a. Para el cálculo de la tubería se utilizaron los siguientes parámetros para el cálculo de la velocidad de salida de agua en la trampa de grasas y el tanque homogeneizador:

- 1) Caudal de diseño:  $3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
  - 2) Temperatura:  $25^\circ\text{C}$
  - 3) Densidad de del agua residual:  $997 \text{ kg/m}^3$ ,
- b. El flujo másico de salida de agua residual para la trampa de grasas y el tanque homogeneizador se calculó con la  $i = \frac{\dot{M}_x}{\rho_x}$  Ecuación 43 de la siguiente manera:

$$\dot{M}_{lss} = Q_{lss} * \delta_p * \rho_{agua}$$

$$\dot{M}_{lss} = \frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{997 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 0.3327 \text{ kg/s}$$

- c. Se calculó la velocidad de salida de la trampa de grasas se utilizó la siguiente ecuación.

$$v_i = \frac{12m^{0.1}}{\rho^{0.36}} \text{ Ecuación 39}$$

$$v_{t.grasas} = \frac{12 * 0.33 \text{ kg/s}^{0.1}}{997 \text{ kg/m}^3^{0.36}} = 0.895 \text{ m/s}$$

El cálculo se utilizó también para la velocidad salida del tanque de captación de flujo

- d. Para determinar el área de la tubería se utilizó la  $o = \frac{Q}{v_p}$  Ecuación 37

$$A_{tuberia} = \frac{3.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0.895 \text{ m/s}} = 3.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- e. El diámetro se calculó con la Ecuación 33

$$d_o = \sqrt{\frac{4a_o}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (3.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{\pi}} = 0.022 \text{ m}$$

Los cálculos anteriores se realizaron para el sistema de rejillas con la velocidad de paso y el sedimentador primario con la velocidad de paso a través del vertedero.

Los resultados de cada equipo y su tubería se encuentran en el Cuadro 116. en la sección de datos calculados.

- B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

1. Porcentaje de remoción de DQO con ENZIPLUS

$$\eta = \left( \frac{S_{afl} - S_{efl}}{S_{afl}} \right) \times 100$$

$$\eta = \left( \frac{8000ppm - 5066.67ppm}{8000ppm} \right) \times 100 = 37\%$$

Donde:

$\eta$  = porcentaje de remoción

$S_{afl}$  = concentración del sustrato en afluente, mg/L

$S_{efl}$  = concentración del sustrato en efluente, mg/L

\*De la misma manera se calculó el porcentaje de remoción para BIOZYME 8000 y para el cálculo de remoción en DBO<sub>5</sub> y Nitrógeno.

## 2. DQO soluble (sDQO)

$$sDQO = DQO * 0.85$$

$$sDQO = 1757.82ppm * 0.85 = 1494.15ppm$$

Donde:

sDQO = demanda química de oxígeno soluble, ppm

DQO = concentración de DQO en agua residual, ppm

0.85 = relación entre DQO y sDQO, tomado de Metcalf & Eddy, p. 1012.

## 3. Sólidos suspendidos volátiles (VSS)

$$VSS = DQO * (Y)$$

$$VSS = 1757.82ppm * \left( \frac{0.08gVSS}{gDQO} \right) = 140.63 ppm$$

Donde:

VSS = cantidad de sólidos suspendidos volátiles, ppm

DQO = concentración de DQO en agua residual, ppm

Y = formación de sólidos, g VSS/g DQO

#### 4. Relación DQO/TSS

$$Rel = \frac{DQO}{TSS}$$

$$Rel = \frac{1757.82ppm}{282ppm} = 6.23$$

Donde:

TSS = sólidos suspendidos totales, ppm

DQO = concentración de DQO en agua residual, ppm

#### 5. Volumen efectivo del reactor

$$v_n = \frac{Q \cdot S_o}{L_{org}}$$

$$v_n = \frac{28.83m^3/d \cdot 1.758 \frac{Kg DQO}{m^3}}{6.00 \frac{Kg DQO}{m^3 d}} = 8.45m^3$$

Donde:

V<sub>n</sub>=Volumen de líquido nominal del reactor, m<sup>3</sup>

Q=Flujo, m<sup>3</sup>/h

S<sub>o</sub>=influyente DQO,kgCOD/m<sup>3</sup> d

L<sub>org</sub>=razón de carga orgánica,kgCOD/m<sup>3</sup> d, tabla 10-12 Metcalf & Eddy

6. Área transversal del reactor

$$A = \frac{Q}{v \cdot 24h}$$
$$A = \frac{28.83m^3/d}{0.6m/h \cdot 24h} = 2.4m^2$$

Donde:

A = Área transversal, m<sup>2</sup>

N = velocidad de flujo ascendente, m/h

7. Diámetro del reactor

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.4m^2}{\pi}} = 1.75m$$

Donde:

D = diámetro, m

A = área transversal, m<sup>2</sup>

8. Altura del líquido en el reactor

$$h = \frac{v_l}{A}$$
$$h = \frac{8.45m^3}{2.4} = 3.5m$$

Donde:

h = altura, m

$V_1$  = volumen de diseño,  $m^3$

$A$  = área transversal,  $m^2$

9. Altura del cono inferior del tanque

$$h_c = \frac{r}{6}$$
$$h = \frac{0.87m}{6} = 0.15m$$

Donde:

$h_c$  = altura del cono, m

$r$  = radio del tanque, m

6 = relación de radio y cono de Metcalf & Eddy

10. Tiempo de retención hidráulico del reactor

$$\tau = \frac{v_1 \cdot 24h}{Q}$$
$$\tau = \frac{8.93m^3 \cdot 24h}{\frac{25.92m^3}{d}} = 8.27h$$

Donde:

$\tau$  = tiempo de retención hidráulico, h

$v_1$  = volumen de diseño,  $m^3$

$Q$  = Flujo,  $m^3/h$

11. Sólidos suspendidos volátiles no biodegradables (nbVSS)

$$nbVSS = sDQO(1 - \%remoción \text{ de } DQO \text{ en el UASB})$$

$$nbVSS = 1494.15 \text{ g}/m^3(1 - 0.5) = 70.31g/m^3$$

Donde:

nbVSS = Sólidos suspendidos volátiles no biodegradables,  $\text{g/m}^3$

sDQO = DQO soluble,  $\text{g/m}^3$

#### 12. DQO particulado degradado (pDQO)

$$pDQO = 0.5(DQO - sDQO)$$

$$pDQO = 0.5 \left( 1757.82 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 1494.15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{131.84 \text{g}}{\text{m}^3}$$

Donde:

pDQO = DQO particulado degradado,  $\text{g/m}^3$

DQO = demanda química de oxígeno,  $\text{g/m}^3$

sDQO = DQO soluble,  $\text{g/m}^3$

#### 13. Influyente total degradado ( $S_o$ )

$$S_o = pCOD + sDQO$$

$$S_o = \frac{131.84 \text{g}}{\text{m}^3} + 1494.15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 1625.99 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$S_o$  = Influyente total degradado,  $\text{g/m}^3$

pCOD = DQO particulado degradado,  $\text{g/m}^3$

sDQO = DQO soluble,  $\text{g/m}^3$

#### 14. DQO degradado

$$DQO \text{ degradado} = S_o - S$$

$$DQO \text{ degradado} = \frac{(1625.99 - 485.60)g}{m^3} = \frac{1140.39g}{m^3}$$

Donde:

$S_{o1}$  = Efluente total degradado DQO, g/m<sup>3</sup>

S = efluente soluble de DQO, g/m<sup>3</sup>

#### 15. Tiempo de retención de sólidos

$$P_{X,vss} = \frac{Q(Y)(S_0 - S)}{1 + k_d \cdot SRT} + \frac{f_d \cdot k_d \cdot Q(Y)(S_0 - S) \cdot SRT}{1 + k_d \cdot SRT} + Q(nb \vee SS) - QX_e$$

$$0 = \frac{2364.71}{1 + 0.03g \text{ VSS}/g \text{ VSSd} \cdot SRT} g/d + \frac{10.64 \cdot SRT}{1 + 0.03g \text{ VSS}/g \text{ VSSd} \cdot SRT} g/d + 1594.70g/d$$

Con solver:

SRT = 20.70 días

Donde:

Q = Flujo, m<sup>3</sup>/d

Y = rendimiento sólido, g VSS / g DQO

S = efluente soluble de DQO, g/m<sup>3</sup>

$S_o$  = Influyente total degradado, g/m<sup>3</sup>

$K_d$  = coeficiente de decaimiento, g VSS / g VSS d

$f_d$  = constante, g VSS cell debris / g VSS decaimiento de biomasa

SRT = tiempo de retención de sólidos, d

nbVSS = Sólidos suspendidos volátiles no biodegradable, g/m<sup>3</sup>

$X_e$  = pCOD, g/m<sup>3</sup>

#### 16. DQO removido con sulfato (DQOsr)

$$DQOsr = \% \text{ remoción} * SO4 * 0.67$$

$$DQO_{sr} = 0.675 * 200 \frac{g}{m^3} * 0.67 = 90.45 \frac{g}{m^3}$$

Donde:

$DQO_{sr}$  = DQO removido con sulfato,  $g/m^3$

$SO_4$  = sulfato,  $g/m^3$

% remoción = porcentaje de remoción DQO con enzimas.

0.67 = sección 10-3 Metcalf & Eddy.

#### 17. DQO utilizado por bacteria metanogénicas

$$DQO_{mb} = (COD \text{ degradado} - COD_{sr}) \cdot Q$$

$$DQO_{mb} = \left( \frac{1140.39g}{m^3} - 90.45 \frac{g}{m^3} \right) \cdot \frac{28.83m^3}{d} = \frac{30271.47g}{d}$$

Donde:

$COD_{mb}$  = COD usado por bacterias metanogénicas, g/d.

$COD_{sr}$  = CDO removido con sulfato,  $g/m^3$

$Q$  = Flujo,  $m^3/d$

#### 18. Producción de metano a 23.7°C

$$metano \ 23.7^\circ C = \frac{Metano \ a \ 35^\circ C \cdot (273.51K + T)}{273.51K + 35^\circ C}$$

$$metano \ 23.7^\circ C = \frac{0.4 \ L \ CH_4/g \ DQO \cdot (273.51K + 23.7^\circ C)}{273.51K + 35^\circ C} = 0.39 \ L/g$$

Donde:

metano a 23.7°C = producción de metano a 23.7°C,  $L \ CH_4/g \ DQO$

metano a 35°C = producción de metano a 35°C, L CH<sub>4</sub> / g DQO, tabla 10-10 de Metcaf & Eddy

T = Temperatura, °C

#### 19. Cantidad de metano producido

$$CH_4 = 23.7^\circ C \cdot DQO_{mb}$$

$$CH_4 = (0.385L/g \cdot 27,214.38g/d)/(1000m^3/L) = 11.67m^3/d$$

Donde:

CH<sub>4</sub> = cantidad producida de CH<sub>4</sub>, m<sup>3</sup>/d

metano a 23.7°C = corrección metano producido a 23.7°C, L CH<sub>4</sub>/g DQO

DQO<sub>mb</sub> = DQO usado por bacterias metanogénicas, g/d.

#### 20. Total de gas producido en el UASB

$$Gas\ Total = \frac{CH_4}{\%GAS}$$

$$Gas\ Total = \frac{11.67m^3/d}{0.65} = 17.95\ m^3/d$$

Donde:

CH<sub>4</sub> = cantidad producida de CH<sub>4</sub>, m<sup>3</sup>/d

%GAS = cantidad porcentual de Gas, %, tabla 10-10 de Metcalf & Eddy

#### 21. Corrección de densidad de metano a 23.7°C

$$\rho@T^\circ C = \rho@35^\circ C * \frac{273.15K + 35^\circ C}{273.15 + T^\circ C}$$

$$\rho@23.7^\circ C = 0.635g/L * \frac{273.15K + 35^\circ C}{273.15 + 23.7^\circ C} = 0.659g/L$$

Donde:

$\rho@T^{\circ}\text{C}$  = densidad a la temperatura deseada, g/L

$\rho@35^{\circ}\text{C}$  = densidad a 35°C, g/L

T = Temperatura, °C

## 22. Energía producida por el metano

$$E = CH_4 \cdot \rho@23.7 * \text{contenido energético de metano}$$

$$E = 11664.56\text{L/d} \cdot 0.659\text{g/L} * 50.1\text{KJ/g} = 384,973.85 \text{ KJ/d}$$

Donde:

E = Energía producida, KJ/d

contenido energético de metano = tabla 10-10 de Metcalf & Eddy

CH<sub>4</sub> = cantidad producida de CH<sub>4</sub>, m<sup>3</sup>/d

## 23. DQO no soluble

$$DQO \text{ no soluble} = DQO - sDQO$$

$$DQO \text{ no soluble} = (1757.82 - 1494.15) \text{ g/m}^3 = 263.67\text{g/m}^3$$

Donde:

sDQO = demanda química de oxígeno soluble, ppm

DQO = concentración de DQO en agua residual, ppm

## 24. DQO no soluble como TSS (sólidos suspendidos totales)

$$DQO \text{ no soluble como TSS} = \frac{DQO \text{ no soluble}}{\text{razón DQO/TSS}}$$

$$DQO \text{ no soluble como TSS} = \frac{\frac{263.67g}{m^3}}{6.23} = \frac{42.3g}{m^3}$$

25. TSS no degradable

*TSS no degradable = DQO no soluble como TSS (1 – fracción degradable de TSS)*

$$TSS \text{ no degradable} = 42.3g/m^3(1 - 0.75) = 10.58g/m^3 \text{ TSS}$$

Donde:

Fracción degradable de TSS = ver Cuadro 7.

26. Producción de lodos

$$P_{X,TSS} = \frac{Q(Y)(S_0 - S)}{(1 + k_d \cdot SRT) \cdot 0.85} + \frac{f_d \cdot k_d \cdot Q(Y)(S_0 - S) \cdot SRT}{(1 + k_d \cdot SRT) \cdot 0.85} + Q(TSS \text{ no degradable})$$

$$P_{X,TSS} = \frac{28.83m^3/d(0.08g \text{ VSS} / g \text{ COD})(1625.99 - 485.60)g/m^3}{(1 + 0.03g \text{ VSS} / g \text{ VSS} d \cdot 20.7d) \cdot 0.85}$$

$$+ \frac{0.15 \frac{g \text{ VSS} \text{ cell} \text{ debris}}{g \text{ VSS} \text{ decaimiento de biomasa}} \cdot 0.03 \frac{g \text{ VSS}}{g \text{ VSS} d} \cdot 25.92m^3/d \left( 0.08 \frac{g \text{ VSS}}{g \text{ DQO}} \right) (1625.99 - 485.60)g/m^3 \cdot 20.7d}{(1 + 0.03g \text{ VSS} / g \text{ VSS} d \cdot 20.7d) \cdot 0.85}$$

$$+ 25.92m^3/d(24.3g/m^3 \text{ TSS})$$

$$P_{X,TSS} = 2.28 \text{ Kg/d}$$

Donde:

$P_{X,TSS}$  = producción de lodos en el reactor, Kg/d

Q = Flujo, m<sup>3</sup>/d

Y = rendimiento sólido, g VSS / g DQO

S = efluente soluble de DQO, g/m<sup>3</sup>

S<sub>o</sub> = Influyente total degradado, g/m<sup>3</sup>

K<sub>d</sub> = coeficiene de decaimiento, g VSS / g VSS d

f<sub>d</sub> = constante, g VSS cell debris / g VSS decaimiento de biomasa

SRT = tiempo de retención de sólidos, d

nbVSS = Sólidos suspendidos volátiles no biodegradable, g/m<sup>3</sup>

X<sub>e</sub> = pCOD, g/m<sup>3</sup>

## 27. Velocidad nominal en tuberías

$$U_{opt} = \frac{12Q^{0.1}}{\rho^{0.36}}$$

$$U_{opt} = \frac{12(0.33 \text{ Kg/s})^{0.1}}{(992.98 \text{ Kg/m}^3)^{0.36}} = 0.896 \text{ m/s}$$

Donde:

U<sub>opt</sub> = velocidad óptima en tuberías, m/s

Q = flujo másico, Kg/s

ρ = densidad del agua a 23.7°C, kg/m<sup>3</sup>

\*se realizó el mismo cálculo para la salida de gas, efluente de agua y salida de lodos del reactor UASB

## Proceso de remoción de nitrógeno y fósforo

### 28. Eficiencia del filtro percolador

$$E_1 = \frac{229.19 \text{ mg/L} - 89.97 \text{ mg/L}}{229.19 \text{ mg/L}} = 60.64\%$$

29. Carga de DBO al filtro, lb/día

$$W1 = DBO (mg/L) * \text{flujo volumétrico}$$

$$W1 = 229.19mg/L * 0.0076 Mgal/d * 8.34 = 14.56 lbDBO/d$$

Donde:

W1 = carga de DBO al filtro, lb/d

30. Volumen del filtro percolador

$$V = \frac{W1(0.0561)^2}{F(100/E1 - 1)^2}$$

$$V = \frac{14.56 lbDBO/d(0.0561)^2}{1(100/60.64 - 1)^2} = 109.71ft^3$$

Donde:

V = volumen del filtro percolador,  $ft^3$

F = recirculación

31. Área transversal del filtro percolador

$$A = \frac{v}{\text{Profundidad del filtro}}$$

$$A = \frac{109.71ft^3}{5ft} = 21.96ft^2$$

Donde:

V = volumen del filtro percolador,  $ft^3$

32. Diámetro interno del filtro

$$d = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$
$$d = \sqrt{\frac{21.96ft^2 * 4}{\pi}} = 5.29ft$$

33. Tiempo de residencia en el filtro percolador

$$Tr = \frac{12}{Q^{0.43}}$$
$$Tr = \frac{12}{(1.64 \times 10^{-4} m^3/m^2s)^{0.43}} = 509.5s$$

Donde:

Q = carga hidráulica en el filtro percolador,  $m^3/m^2s$

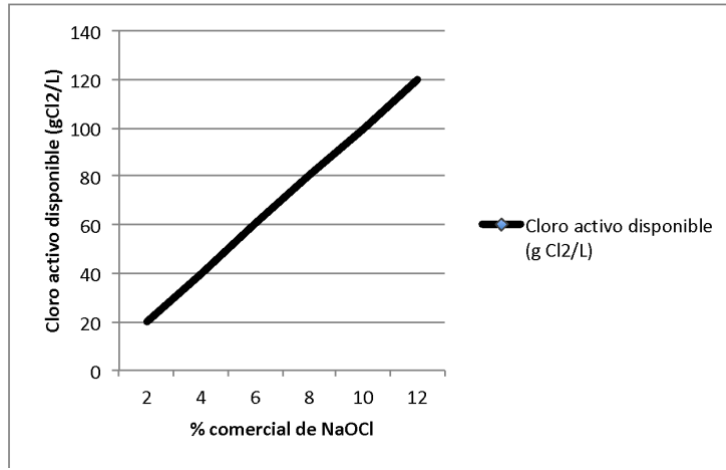
C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

1. Determinación del cloro activo de la solución de hipoclorito de sodio comercial después del tiempo de almacenamiento.

Utilizando el Cuadro 19, se encontró el cloro activo disponible en gCl<sub>2</sub>/L para la solución comercial que se va a utilizar en la planta de tratamiento. Para esto se debía determinar con que concentración de NaOCl se iba a adquirir para el tratamiento cuaternario, en este caso se va a comprar NaOCl líquido con una concentración de 5% v/v.

Al tener una concentración de hipoclorito de sodio al 5% v/v, se puede observar en la Figura 54 que el valor de cloro activo disponible va a ser de 50 g/L.

Figura 54. Cloro activo disponible para las diferentes concentraciones de NaOCl.



Se calculó a partir del cloro activo disponible de la solución, la concentración de ion hipoclorito que tiene la solución en el tiempo 0

$$[OCl^{-1}]_0 = Cl_2 \frac{mg}{L} * \frac{1}{P.M. Cl_2} * \frac{P.M. [OCl^{-1}]_0 mg}{1} \quad (5.0)$$

$$[OCl^{-1}]_0 = 50 \frac{mgCl_2}{L} * \frac{1 mol}{70.906 mgCl_2} * \frac{51.453 mg [OCl^{-1}]_0}{1 mol} = 36.23 mg[OCl^{-1}]/L$$

Se estableció un periodo de almacenamiento de 60 días. Para conocer la concentración de cloro activo en este tiempo, se utilizó la ecuación 5.1 (Gordon, Adam, Bubnis, & Hoyt, 1993).

$$[OCl^{-1}]_t = \left( \left( \frac{9k_2}{2} \right) t + \frac{1}{[OCl^{-1}]_0} \right)^{-1} \quad (5.1)$$

Cuadro 109. Constante de velocidad de reacción para la degradación de la concentración de hipoclorito a distintas temperaturas

Temperatura (K)	k (g L <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
283	6.45*10 <sup>-7</sup>
288	9.87*10 <sup>-6</sup>
297	2.65*10 <sup>-5</sup>

(Gordon, Adam, Bubnis, & Hoyt, 1993).

Al interpolar los datos del cuadro 106, para una temperatura de 296.2 K, se obtuvo la siguiente regresión:

$$k_2 = 1.84 * 10^{-6} T - 0.52 * 10^{-3}$$

$$k_2 = 1.84 * 10^{-6} (296.2 K) - 0.52 * 10^{-3} = 2.50 * 10^{-5} g OCl^{-1} L^{-1} d^{-1}$$

Utilizando la ecuación 5.1,

$$[OCl^{-1}]_t = \left( \left( \frac{9(2.50 * 10^{-5} mg OCl^{-1} L^{-1} d^{-1})}{2} \right) 60 \text{ dias} + \frac{1}{36.23 mg[OCl^{-1}]/L} \right)^{-1}$$

$$= 29.1402 mg[OCl^{-1}]/L$$

$$[Cl]_2 = 2.50 * 10^{-5} \frac{mg OCl^{-1}}{L} * \frac{1 mol}{51.453 mg [OCl^{-1}]_0} * \frac{70.906 mg Cl_2}{1 mol} = 40.14 mg Cl_2/L$$

Con este dato se sacó una media entre las dos concentraciones, la inicial y la final después de 60 días.

$$\underline{[Cl]}_2 = \frac{40.14 \frac{g Cl_2}{L} + 50.0 \frac{g Cl_2}{L}}{2} = 45.07 mg Cl_2/L$$

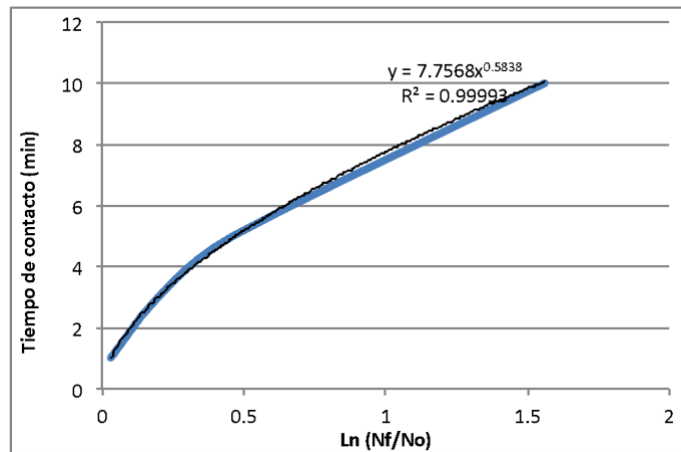
Se puede observar que al tener un valor de  $45.07 \frac{mg Cl_2}{L}$ , se tiene una concentración comercial de hipoclorito de sodio del 4.5% v/v.

2. Determinación del tiempo de contacto entre el NaOCl y las aguas residuales

Se observa que para una solución comercial al 5% se tiene  $50 \frac{mgCl_2}{L}$  de cloro libre en la solución.

Utilizando el valor obtenido de  $50 \frac{mgCl_2}{L}$ , y graficando el Cuadro 18, para  $0.05 \frac{gCl_2}{L}$  de cloro libre se utiliza la ecuación de la línea exponencial para encontrar el tiempo de contacto requerido para el logaritmo de la inactivación del sistema.

Figura 55. Tiempo de contacto requerido para las diferentes inactivaciones logarítmicas.



Ecuación del sistema

$$y = 7.7568 * \left( \frac{1x 10^4}{5.4x 10^6} \right)^{0.5838} = 25.85 \text{ minutos}$$

3. Determinación de la concentración de la solución de NaOCl a 4.5% v/v a utilizar

En el Cuadro 22, podemos observar las diferentes concentraciones de cloro para cada una de las aguas. Para este caso, se tiene un "Efluente filtrado de lodos activados", por lo que la cuenta inicial de coliformes va a ser del grado 4 hasta el 6. Para llegar a un NMP de grado 3, se tiene un rango de concentraciones de cloro que se pueden utilizar.

Cada una de estas concentraciones se probó experimentalmente como se mencionó con anterioridad, para ver cuál era la más efectiva. En anexos se puede observar los diferentes para cada concentración.

Se asume por el Cuadro 22. que después de los 3 tratamientos (primario, secundario y terciario) que recibe, el agua que antes era de grado 7 va a bajar a grado 6. Para saber cuál es el mejor rendimiento se utilizó la siguiente ecuación,

$$NMP, final = NMP, actual * \% \text{ de reducción}_{ppm} = 5.4 * 10^6 * 99.95\%_6 = 2,700 \text{ NMP}$$

- Este mismo cálculo se realizó para cada una de las concentraciones.

Con este valor y el caudal de agua residual, se determinó el flujo de solución de NaOCl necesario para el tratamiento.

$$\begin{aligned} & \left( \frac{0.3337 \text{ L}}{s} \right) \left( \frac{6 \text{ mg}}{L} \right) \left( \frac{1}{4.5\% \text{ v/v}} \right) \left( \frac{1 \text{ kg sol NaOCl}}{1 * 10^6 \text{ mg sol NaOCl}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3 \text{ sol. NaOCl}}{1110 \text{ kg sol. NaOCl}} \right) \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \left( \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) \\ & = 3.4 * 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ sol NaOCl/día} \end{aligned}$$

4. Determinación del volumen y peso necesario de los desinfectantes a utilizar en la experimentación, para cada una de sus concentraciones.

Primero se pasó las partes por millón a concentración %v/v,

$$\% \frac{v}{v} = \frac{C}{1 * 10^6} * 100 = \frac{5 \text{ ppm}}{1 * 10^6} * 100 = 0.0004\%$$

Luego, se multiplicó por el volumen de agua residual que se iba a tratar de agua, en este caso para todas las muestras se utilizaron 100 mL y se dividió dentro de la concentración comercial de desinfectante que se iba a utilizar.

$$\text{Vol. Solución comercial} = \frac{0.0004\% * 100}{3.5\% \text{ v/v}} = 1.143 \text{ mL de NaOH para 5ppm}$$

Esto se realizó también para encontrar el peso necesario de hipoclorito de calcio, con las concentraciones de (5,6,7,8) ppm.

## 5. Determinación del tanque de almacenamiento de la solución de NaOCl

Con el tiempo de almacenamiento y el caudal volumétrico diario, se calculó el volumen efectivo de la solución de hipoclorito.

$$V_{efectivo} = 60 d \left( \frac{3.4 * 10^{-3} m^3}{día} \right) = 0.207 m^3$$

Esto equivale a 54.97 galones, por lo que se propone adquirir un tanque con capacidad para 60 galones, ya que es lo que se vende comercialmente. Esto nos da un factor de seguridad de 8.4% en volumen de hipoclorito de sodio. Los 60 días, son los que se establecieron en los cálculos anteriores.

## 6. Dimensionamiento de tuberías

Para dimensionar la tubería, primero se asumió un diámetro y con este se obtuvo la velocidad.

El diámetro de entrada y salida de la bomba, se utilizó la referencia de, (Couper, Penney, Fair, & Walas, 2012), que menciona que si el fluido es agua debería fluir a 1m/s aproximadamente. Se asume que es agua, ya que la densidad de la solución es de 1100 kg/m<sup>3</sup>.

La ecuación 5.2 nos muestra la relación entre el caudal y el área transversal con la velocidad. Esta ecuación se utiliza para obtener la velocidad de las tuberías.

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

(5.2)

Donde:

$V$  es la velocidad lineal a la que viaja el fluido (m/s)

$Q$  es el caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

$S$  es el área transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

El diámetro que se eligió de entrada de la bomba fue de 1 pulgada. Con la ilustración 8, se obtuvo el área transversal con el diámetro elegido y se utilizó la ecuación 5.2

$$V = \frac{0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.494) \text{ in}^2 * \left(\frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}}\right)^2} = 0.941 \text{ m/s}$$

Para obtener el diámetro de salida se utilizó la misma ecuación, 5.2. El diámetro que se eligió de salida fue de  $\frac{3}{4}$  in.

$$V = \frac{0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.433) \text{ in}^2 * \left(\frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}}\right)^2} = 1.07 \text{ m/s}$$

Figura 56. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar.

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in. <sup>2</sup>	Área de la sección interior, ft <sup>2</sup>	Circunferencia, ft, o superficie, ft <sup>2</sup> /ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1120	2.17
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1995	3.00
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4600	5.02
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10275	10.25
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158350	88.57

(Perry & Green, 2008)

Para la tubería de salida del tanque, se utilizó la ecuación de Bernoulli,

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{gz_a}{g_c} + \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c} + \eta W = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gz_b}{g_c} + \frac{\alpha * u_b^2}{2g_c} + h_f$$

(5.3)

Donde:

$P$  = presión en el punto

$u$  = velocidad lineal del flujo

$z$  = altura del punto con relación a una referencia

$W$  = cabeza que debe proporcionar la bomba

$\eta$  = eficiencia de la bomba

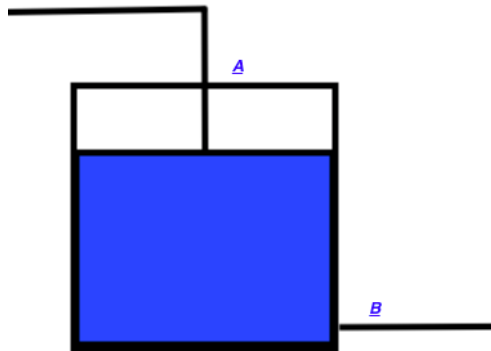
$h_f$  = caída de presión relacionada a pérdidas por fricción

$g$  = aceleración debido a la gravedad

$\rho$  = densidad del fluido

$g_c$  = gravedad específica

Figura 57. Representación del punto A y B en la ecuación de Bernoulli.



El punto A se va a utilizar como punto de referencia, y no se va a utilizar bomba, por lo que se simplifica la ecuación,

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gz_b}{g_c} + \frac{\alpha * u_b^2}{2g_c} h_f \quad (5.4)$$

Cuadro 110. Accesorio utilizado en la tubería de salida del tanque y su coeficiente de pérdida de fricción.

Accesorio	Cantidad	Kf <sup>a</sup>
Válvula de bola	1	0.05

(Perry & Green, 2008)

Despejando,

$$u_b = \sqrt{\left( \frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c} - \frac{\rho * g * h}{\rho} + \frac{gz_b}{g_c} \right) * \frac{2g_c}{\alpha} + h_f}$$

Sustituyendo,

$$u_b = \sqrt{\left( \frac{101325 Pa}{992.98 \frac{kg}{m^3}} + \frac{2 * \left( \frac{1.07m}{s} \right)^2}{2(1)} - \frac{992.98 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.35m}{992.98 \frac{kg}{m^3}} + \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * -1.25m}{1} \right) * \frac{2}{2} + 2.29}$$

$$u_b = 8.93 m/s$$

\*Las alturas que se utilizaron entre el punto A y B están descritas en el plano

A partir de la velocidad, se obtiene el área de la tubería, con el caudal de salida, utilizando la ecuación 5.2

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{0.0003337 \frac{m^3}{s}}{8.93 \frac{m}{s}} = 0.000035 m^2$$

A partir del área se obtiene el diámetro de tubería,

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.000035 m^2}{\pi}} = 0.006m \left[ \frac{39.37 in}{1m} \right] = 0.25 in$$

Se elige un diámetro de ¼ in.

Este cálculo es importante debido a que el caudal de entrada debe ser el mismo que el de salida en el tanque de contacto para que se tenga el tiempo de residencia correcto. Para esto se utilizó la ecuación de Bernoulli despejando la variable de velocidad, y utilizando la ecuación 5.2, se logra obtener el área transversal y por un último despeje, el diámetro de tubería que debe tener si se tiene el mismo caudal.

#### 7. Dimensionamiento del tanque de contacto.

Para dimensionar el tanque de contacto, se debe contar con el caudal y el tiempo de contacto. El tiempo de contacto, de 25.85 minutos, que fue calculado anteriormente como se puede ver en la pág. .La experimentación fue hecha con este tiempo, por lo que el tanque de contacto se va a calcular con dicho tiempo.

$$\left(\frac{0.0003337 \text{ m}^3}{\text{segundo}}\right) \left(\frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}\right) (25.85 \text{ minutos}) = 0.5177 \text{ m}^3$$

El tanque debe tener un factor de seguridad, este va a ser de 20% por lo tanto,

$$(0.5177 \text{ m}^3)(1.20) = 0.6212 \text{ m}^3$$

Con una relación de H/D de 2 (Couper, Penney, Fair, & Walas, 2012) se tiene,

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{4\pi}} = 0.367 \text{ m}$$

Entonces la altura es de,

$$h = 4 * r = 4 * 0.367 = 1.468 \text{ m}$$

Al aproximar los valores para obtener medidas más reales se obtiene,

$$R = 0.38 \text{ m}, D = 0.76 \text{ m}, h = 1.5 \text{ m}$$

Con estas nuevas medidas se obtiene un volumen de,

$$v = \pi * r^2 * h = \pi * \left(\frac{0.76}{2}\right)^2 * 1.5m = 0.68 m^3$$

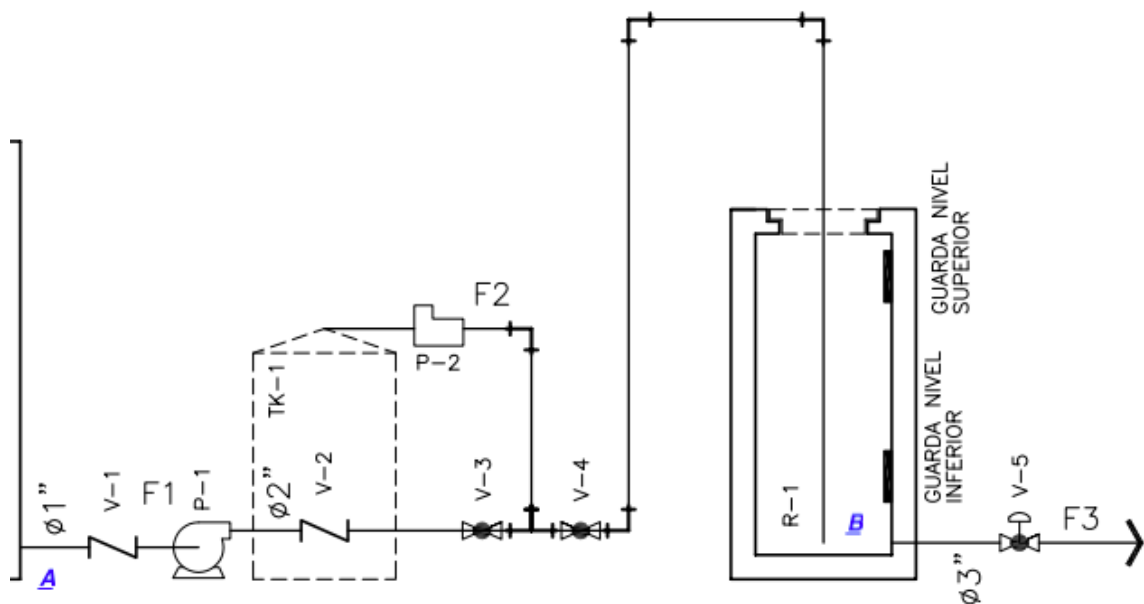
Con el nuevo volumen se obtiene un nuevo tiempo de contacto,

$$\tau = 0.68m^3 \left(\frac{1 \text{ min}}{0.02 m^3}\right) = 34 \text{ min}$$

a. Bomba centrífuga

Para calcular la potencia y cabeza necesaria de la bomba, se utilizó la ecuación de Bernoulli. Colocando el punto A en el punto de succión de la bomba y el B en el punto de descarga.

Figura 58. Representación del punto A y B en la ecuación de Bernoulli



Se utilizó la ecuación 5.3, la cual por el sistema demostrado en la ilustración 10, se reduce a,

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c} + \eta W = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gz_b}{g_c} + \frac{\alpha * u_b^2}{2g_c} + h_f \quad (5.5)$$

Despejando,

$$W = \frac{gz_b}{g_c} + \frac{\alpha * u_b^2}{2g_c} + h_f - \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c}$$

Donde, las alturas se pueden encontrar en los planos del equipo, las velocidades en los cálculos de tuberías anteriores y presiones las dos se toman como atmosféricas.

Solamente nos queda las pérdidas ( $h_f$ ), la cual se calcula de la siguiente manera,

$$h_f = h_{fs} + h_{fc} + h_{ff} \quad (5.6)$$

Donde,

$h_{fs}$  = pérdidas de fricción por superficie

$h_{ff}$  = pérdidas de fricción por accesorios

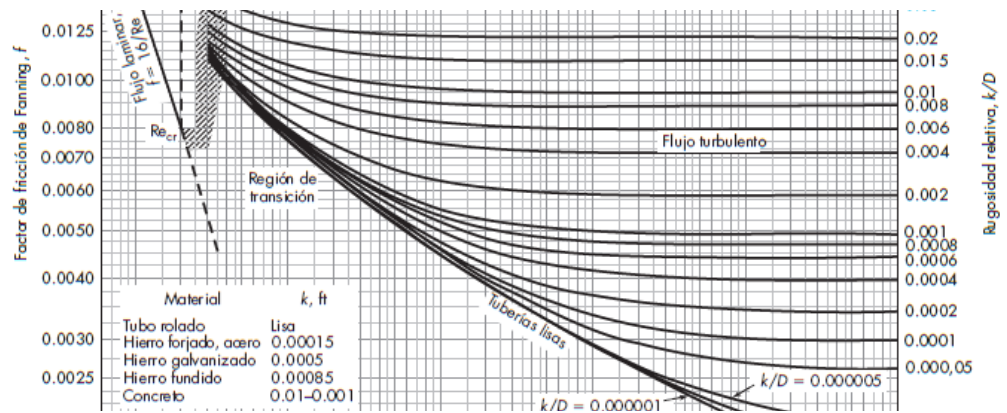
$h_{fc}$  = pérdidas de fricción por contracción

Para encontrar las pérdidas de fricción por superficie, se debe encontrar el número de Reynolds

$$Re = \frac{\left(0.941 \frac{m}{s}\right) * (0.0254 m) * (992.98 \frac{kg}{m^3})}{0.0013 kg/m * s} = 1.82 * 10^4$$

Con la rugosidad relativa obtenida con el diámetro y la constante de rugosidad (0.0000015m para PVC), se leyó un factor de Fanning de 0.0065 en la Figura 11.

Figura 59. Diagrama de Moody para determinación del factor de fricción de Fanning.



(Perry & Green, 2008)

$$h_{fs} = 4f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{u^2}{2gc} \right) \quad (5.7)$$

Donde:

$\Delta P_{pipe}$  = caída de presión que se da en la tubería

$f$  =factor de fricción de Fanning

$L/D$  =relación de largo/diámetro de la tubería

$u$  = velocidad lineal del flujo

$g$  =gravedad específica

Sustituyendo,

$$h_{fs} = 4(0.0065) \left( \frac{2.9m}{0.0254 m} \right) \left( \frac{\left( \frac{0.941 \frac{m}{s}}{2(1)} \right)^2}{2(1)} \right) = 1.31 m^2/s^2$$

Cuadro 111. Accesorios colocados en la trayectoria del fluido y sus coeficientes de pérdidas por fricción

Accesorio	Cantidad	Kf <sup>a</sup>
Codo 90°	3	0.75
T	1	0.40
Válvula de bola	3	6
Válvula de cheque	2	10.0

(Perry & Green, 2008)

$$h_{ff} = \sum K_f * \left( \frac{ua^2}{2gc} \right) \quad (5.8)$$

Donde,

$h_{ff}$  = coeficiente de fricción por accesorios

$K_f$  = suma del coeficiente de pérdida por fricción para cada uno de los accesorios

$u$  = velocidad lineal del flujo en el punto a

$g$  = gravedad específica

Sustituyendo,

$$h_{ff} = 40.65 * \frac{\left(0.941 \frac{m}{s}\right)^2}{2(1)} = 18.00 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Por último se obtiene el coeficiente de pérdidas por contracción, por medio de la ecuación 5.10,

$$K_c = 0.4 \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) \quad (5.9)$$

Donde:

$K_e$  es el coeficiente de pérdidas por expansión

$S_a$  es el área transversal de la sección estrecha

$S_b$  es el área transversal de la sección más ancha

Sustituyendo,

$$K_c = 0.4 \left( 1 - \frac{\frac{3}{4}'' * \left( \frac{1m}{39.37in} \right)^2}{1'' \left( \frac{1m}{39.37in} \right)^2} \right) = 0.1$$

Sustituyendo en la ecuación 5.10 para obtener el coeficiente por contracción,

$$h_{fc} = \sum K_f * \left( \frac{ub^2}{2gc} \right)$$

(5.10)

Donde,

$h_{fc}$  = coeficiente de fricción por accesorios

$K_f$  = suma del coeficiente de pérdida por fricción para cada uno de los accesorios

$u$  = velocidad lineal del flujo en el punto b

$g$  = gravedad específica

Sustituyendo en la ecuación 5.10,

$$h_{fc} = 0.1 * \frac{\left( \frac{1.07 \frac{m}{s}}{2(1)} \right)^2}{2(1)} = 0.057 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Utilizando la ecuación 5.5, se obtiene el trabajo de la bomba,

$$W = \frac{gz_b}{g_c} + \frac{\alpha * u_b^2}{2g_c} + h_f - \frac{\alpha * u_a^2}{2g_c}$$

$$w = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.15m}{1} + \frac{1.042 * \left( \frac{1.007 \frac{m}{s}}{2(1)} \right)^2}{2(1)} + \frac{(18.00 + 1.31 + 0.057)m^2}{s^2} - \frac{2 * \left( \frac{0.941 \frac{m}{s}}{2(1)} \right)^2}{2(1)}$$

$$= 20.51 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Para obtener los potencia,

$$P = 20.51 \text{ m}^2/\text{s}^2 * 0.3314 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 20.51W * \frac{0.00134 \text{ HP}}{1W} = 0.01 \text{ HP}$$

La cabeza de la bomba es por lo tanto,

$$W = \frac{20.51 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2.0 \text{ m}$$

b. Bomba dosificadora

Para la bomba dosificadora, se eligió una bomba peristáltica, a partir del flujo de hipoclorito diario.

$$Q = 4.0 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \left( \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = 3.46 \text{ L/día}$$

Se investigaron bombas peristálticas que cumplan con ese caudal al día. Se encontró una de marca Stenner modelo E10VXA , que tiene un rango de 3 a 28 L por día. El caudal se obtuvo del cálculo No.2, pg .

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

1. Densidad de los lodos primarios. Se utilizaron los datos experimentales del Cuadro 92.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0.044 \text{ kg}}{0.038 \text{ L}} = 1.15 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 1000 = 1150 \text{ kg/m}^3$$

2. Masa de los sólidos biológicos sintetizados. Se utilizaron datos teóricos, tiempo de retención del reactor anaerobio y valores del DQO. (Ecuación 1).

$$Px = \frac{0.08 \frac{kg VSS}{kg DQO}}{1 + (0.03 \text{ día}^{-1} * 30 \text{ días})} * (1.85 - 0.55) \frac{kg}{m^3} * (28.51 m^3) = 1.56 kg VSS/día$$

3. Volumen de digester de lodos. Se utilizó el tiempo de retención de un digester convencional y el flujo de lodos provenientes del tratamiento primario y secundario del diseño de la planta de tratamiento de agua (Ecuación 2).

$$V = (30 \text{ días}) * (0.35 m^3/día) = 10.44 m^3$$

4. Diámetro del digester. Se utilizó la relación de Altura = 0.7\*Diámetro y el volumen de un cilindro. (Ecuación 2).

$$D = \sqrt[3]{\frac{10.44 m^3}{0.7 * \frac{\pi}{4}}} = 2.67 m$$

5. Altura del digester. Se utilizó la relación de altura-Diámetro y un sobredimensionamiento del 20%.

$$H = 0.7 * 2.67 m * 1.2 = 2.24 m$$

6. Volumen de metano. Se utilizó el factor teórico de conversión del metano, el flujo, valores de DQO y el resultado del cálculo 2. (Ecuación 5).

$$V_{CH_4} = \left(0.4 \frac{m^3}{kg}\right) \left[ (1.85 - 0.55) \frac{kg}{m^3} * (28.51 m^3) - 1.42 * (1.56 \frac{kg}{día}) \right] = 12.57 m^3/día$$

7. Volumen de metano total producido en la planta. Se utilizó el valor de producción de metano del tratamiento secundario y del tratamiento de lodos.

$$V_{CH_4} = 12.57 \frac{m^3}{día} + 10.49 \frac{m^3}{kg} = 23.06 \frac{m^3}{día}$$

8. Gas total producido. El gas total contiene 65% de metano (teórico).

$$V_{gas} = \frac{23.06 \frac{m^3}{día}}{0.65} = 35.47 \frac{m^3}{día}$$

9. Energía producida por el gas metano. Se utilizó el valor del cálculo 7 y el poder calórico del metano.

$$23.06 \frac{m^3}{día} * \frac{1 día}{86400 seg} * 22,400 \frac{kJ}{m^3} = 5.97 kW$$

10. Carga en el afluente. Se utilizó el DQO del afluente y el caudal de agua.

$$Carga = \left( 1.85 \frac{kg}{m^3} * 28.51 \frac{m^3}{día} \right) = 52.79 \frac{kg}{día}$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar la carga del efluente

11. Porcentaje de estabilización en el digestor. Se utilizaron las cargas en el afluente y efluente y el resultado del cálculo 2. (Ecuación 4).

$$\frac{(52.79 - 15.84) \frac{kg}{día} - 1.42 * (1.89 \frac{kg}{día})}{52.79 \frac{kg}{día}} = 0.65 * 100 = 65.81 \%$$

12. Número de moles de metano producido. Se realizó a la temperatura y presión de operación del digestor.

$$n = \frac{\left( \frac{12.57 m^3}{día} \right) * (0.034 atm)}{(308.15 K) * (0.082057 \frac{atm * m^3}{kmol * K})} = 0.017 kmol metano$$

13. Masa de metano producido en el digestor. Se utilizó la masa molecular del metano.

$$m = (0.017 kmol) * \left( \frac{16.04 kg}{kmol} \right) = 0.27 kg metano$$

14. Masa de lodos en la salida del digestor anaerobio. Se utilizó la masa de entrada al digestor y la masa de metano.

$$m = (401.07 - 0.27) kg = 400.80 kg$$

15. Área individual de patio de secado. Se utilizó el espesor de 0.3m. El flujo que entrará al patio de secado será el de la salida de lodos del digestor que se obtuvo por medio del balance de masa.

$$A = \frac{\left(\frac{0.347 \text{ m}^3}{\text{día}}\right) * (1\text{día})}{0.3\text{m}} = 1.15 \text{ m}^2$$

16. Área total de patio de secado. Se tomó en cuenta el número de divisiones del patio.

$$A = 10 * 1.15 \text{ m}^2 = 11.58 \text{ m}^2$$

17. Cantidad de cal requerida en el patio de secados. Se tomó en cuenta la humedad de la muestra y el valor teórico de cal para esta cantidad.

$$\begin{aligned} 401.07 \frac{\text{kg sólido}}{\text{día}} * \left(\frac{1 \text{ ton}}{907.185 \text{ kg}}\right) * \left(\frac{380 \text{ lb Ca(OH)}_2}{1 \text{ ton}}\right) * \frac{1 \text{ kg Ca(OH)}_2 \text{ pura}}{2.205 \text{ lb Ca(OH)}_2} \\ * \frac{99 \text{ pureza Ca(OH)}_2 \text{ comercial}}{100 \text{ kg Ca(OH)}_2 \text{ pura}} * (1 - 0.83) \\ = 12.55 \text{ kg Ca(OH)}_2 \text{ comercial} \end{aligned}$$

18. Masa de agua en sólidos que entran al patio de secado. Se utilizó el caudal de lodos en kg/día, provenientes del digestor anaerobio (cálculo 14) y la humedad.

$$400.80 \text{ kg} * 0.83 = 334.09 \text{ kg}$$

19. Sólidos secos que entran al patio de secado. A la cantidad total de lodos húmedos se le restó el agua

$$400.80 \text{ kg} - 334.09 \text{ kg} = 66.71 \text{ kg}$$

20. Cantidad de agua evaporada en patio de secado. Se utilizaron los valores teóricos de radiación en Guatemala y el calor latente de vaporización.

$$\begin{aligned}
& 5.5 \frac{kwh}{m^2 * día} * \left( \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hora}} \right) \\
= & \left( 19800 \frac{kJ}{m^2 * día} \right) * \left( \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) * \left( \frac{1}{2257.08 \frac{kJ}{kg}} \right) * \left( \frac{11 \text{ h}}{24 \text{ h}} \right) * (11.58 \text{ m}^2) \\
* & \left( \frac{1 \text{ m}^3}{100 \text{ kg}} \right) = 0.0019 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{día}} * 1000 \frac{kg}{\text{m}^3} = 1.94 \text{ kg}
\end{aligned}$$

21. Agua en lodos al salir del patio de secado. Se asumió una humedad de 60%. Se utilizó el valor de sólidos secos.

$$\frac{66.71 \text{ kg}}{0.4} * 0.6 = 100 \text{ kg}$$

22. Lixiviados. Por balance de masa los lixiviados son el agua que entra menos la evaporación y el agua contenida en los sólidos.

$$334.09 \text{ kg} - (1.94 + 100) \text{ kg} = 232.09 \text{ kg}$$

23. Volumen de grava y arena. Se utilizó un espesor de 0.2m y el área del patio de secado.

$$V = 0.2 \text{ m} * (11.58 \text{ m}^2) = 2.32 \text{ m}^3$$

Se realiza el mismo cálculo para ambos materiales

24. Masa de grava. Se utiliza la densidad del material y el volumen

$$m = 2.32 \text{ m}^3 * 1450 \frac{kg}{\text{m}^3} = 3359.20 \text{ kg}$$

Se realiza el mismo cálculo para la arena.

25. Área de la tubería. Se fijó un diámetro de tubería de 0.0127m (0.5 pulg).

$$A = \frac{\left( \frac{0.0127 \text{ m}}{2} \right)^2}{\pi} = 0.00013 \text{ m}^2$$

Se realizó el mismo procedimiento para el diámetro de 0.0095m

26. Velocidad lineal en tubería. Se fijó un tiempo de bombeo de 2 horas.

$$V = \frac{0.32 \text{ m}^3}{120 \text{ min}} * \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) * \frac{1}{(7.13 * 10^{-5}) \text{ m}^2} = 0.35 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo cálculo para el otro diámetro de tubería.

27. Pérdidas por válvulas y accesorios. Se sumaron los coeficientes de fricción de todos los accesorios en el tramo de tubería a calcular.  $K_f = 6.74$

$$h_{ff} = (6.74) * \frac{(0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 0.40 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Se realiza el mismo cálculo para el otro diámetro de tubería y su respectiva velocidad.

28. Número de Reynolds. Se calculó para cada diámetro, utilizando la velocidad lineal, densidad y viscosidad.

$$N_{Re} = \frac{(0.0127 \text{ m})(0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}})(1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.04 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 113.62$$

Con el número de Reynolds se determinó el factor de fricción.  $f = 0.026$ .

29. Pérdidas por superficie. Se utilizó el factor de fricción, el largo de la tubería y el respectivo diámetro y velocidad.

$$h_{fs} = \frac{4 * (1.5 \text{ m}) \left( 0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 (0.026)}{(0.0127 \text{ m}) * 2} = 0.76 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Con el número de Reynolds se determinó el factor de fricción.  $f = 0.026$ .

30. Pérdidas por válvulas y accesorios. Se utilizó la suma de todos los coeficientes de fricción de válvulas y accesorios, y la velocidad lineal.

$$k_f = 0.35 + 6 + (2 * 0.04) = 6.43$$

$$h_{ff} = (6.43) \frac{(0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 0.40 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Con el número de Reynolds se determinó el factor de fricción.  $f = 0.02$

31. Bernoulli para cálculo de bombas. Se utilizó la suma de las pérdidas por fricción, el largo de la tubería y el respectivo diámetro y velocidad. Este ejemplo es de la bomba del digester anaerobio que opera a una presión de 3.5 kpa al patio de secado.

$$\frac{108329.34 \text{ Pa}}{1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + (1.5\text{m}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + \frac{(0.62 \text{ m/s})^2}{2} + 9.01 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - \frac{3500 \text{ Pa}}{1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} - \frac{(0.35 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 119.78 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \eta w_p$$

La eficiencia se tomó de 85% según el proveedor LMI pumps.

$$w_p = \frac{119.78 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0.85} * \left(0.0041 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.00058 \text{ kW}$$

32. Porcentaje de diferencia entre elementos mayores lodos residuales y lombricompost de estiércol.

$$\% \text{ diferencia}_{\text{Nitrógeno}} = \frac{2.11 - 1.73}{2.11} * 100 = 18\%$$

Se realizó el mismo cálculo para el fosforo y potasio.

## Datos calculados

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Figura 60. Test ADF de estacionalidad y resumen estadístico utilizando Excel con 5% de significancia para el caudal de la demanda de agua potable mensual del año 2013 al 2018

Resumen Estadístico			Pruebas de Significancia			5.00%			Prueba	Valor P	Significado
Promedio:	2302.35		Objetivo	Valor P	Significado			Ruido Blanco	0.00%	FALSO	
STDEV:	885.63		0.000	0.00%	VERDADERO			Distribución Normal?	7.61%	VERDADERO	
Sesgar:	0.58		0.000	2.64%	FALSO			Efecto ARCH?	0.00%	VERDADERO	
Exceso de Curtosis:	-0.60		0.000	11.00%	FALSO						
Mediana:	2125.63										
Mínimo:	861.72										
Máximo:	4291.00										
1er Cuartil:	1595.27										
3er Cuartil:	2857.87										
Prueba Estacionaria			Prueba	Puntuación	Valor P	C.V.	Estacionalidad	5.0%			
ADF											
No Const	-0.4	52.7%	-2.0	FALSO							
Constante-Solamente	-2.3	18.8%	-3.0	FALSO							
Constante + Tendencia	-5.1	0.0%	-1.6	VERDADERO							
Const+Tend+Tend^2	-5.4	0.0%	-1.6	VERDADERO							

Figura 61. Modelo ARIMA en Excel para el caudal de la demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018 utilizando un orden de integración, autorregresión y media móvil de 1; coeficientes determinados automáticamente por el modelo; significancia del 5% y 100 iteración.

ARIMA(1,1,1)		Bondad de Ajuste			Análisis Residual (estandarizado)						
Param	Valor	Verosimilitud	AIC	Revisar	PROMEDIO	DESV.STD	Sesgar	Curtosis	Ruido?	Normal?	ARCH?
$\mu$	20.57	-569.71	1147.43	1	0.00	1.01	0.03	1.39	FALSO	VERDADERO	VERDADERO
$\phi_1$	-0.93				Objetivo	0.00	1.00	0.00	0.00		
$\theta_1$	1.00				Significado	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		
$\sigma$	732.22										
d	1										

Cuadro 112. Promedio mensual, desviación estándar y límites de la proyección de agua potable del 2019 al 2030 utilizando el modelo ARIMA y la demanda de agua potable mensual de la empresa del 2013 al 2018.

<b>Año</b>	<b>No.</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Límite superior</b>	<b>Límite inferior</b>
2019	1	3180.33	732.22	4615.46	1745.20
	2	3309.33	2268.75	7756.00	-1137.35
	3	3228.77	4143.59	11350.05	-4892.51
	4	3343.67	6264.56	15621.98	-8934.64
	5	3276.26	8569.11	20071.41	-13518.89
	6	3378.90	11013.04	24964.07	-18206.27
	7	3322.93	13563.39	29906.68	-23260.83
	8	3414.90	16194.68	35155.88	-28326.09
	9	3368.88	18886.71	40386.14	-33648.39
	10	3451.56	21623.19	45832.24	-38929.12
	11	3414.20	24390.83	51219.36	-44390.96
	12	3488.81	27178.67	56758.02	-49780.40
2020	13	3458.98	29977.60	62214.00	-55296.04
	14	3526.57	32780.07	67774.32	-60721.18
	15	3503.29	35579.74	73238.29	-66231.72
	16	3564.76	38371.33	78771.19	-71641.67
	17	3547.18	41150.43	84200.55	-77106.18
	18	3603.34	43913.35	89671.93	-82465.24
	19	3590.72	46657.02	95036.80	-87855.36
	20	3642.26	49378.90	100423.12	-93138.61
	21	3633.95	52076.90	105702.81	-98434.90
	22	3681.46	54749.32	110988.16	-103625.24
	23	3676.91	57394.78	116168.62	-108814.80
	24	3720.91	60012.20	121342.66	-113900.83
2021	25	3719.63	62600.72	126414.79	-118975.53
	26	3760.59	65159.71	131471.28	-123950.10
	27	3762.15	67688.73	136429.61	-128905.32
	28	3800.46	70187.46	141365.35	-133764.44
	29	3804.49	72655.75	146207.14	-138598.16
	30	3840.49	75093.54	151021.13	-143340.15
	31	3846.67	77500.90	155745.63	-148052.29
	32	3880.67	79877.94	160438.55	-152677.21
	33	3888.72	82224.87	165046.51	-157269.08
	34	3920.97	84541.97	169620.19	-161778.25
	35	3930.65	86829.55	174113.45	-166252.15

	36	3961.38	89087.97	178570.60	-170647.83
2022	37	3972.48	91317.63	182951.74	-175006.78
	38	4001.89	93518.95	187295.66	-179291.88
	39	4014.22	95692.38	191567.83	-183539.39
	40	4042.48	97838.39	195802.20	-187717.24
	41	4055.88	99957.47	199968.91	-191857.15
	42	4083.15	102050.10	204097.67	-195931.38
	43	4097.48	104116.80	208162.65	-199967.70
	44	4123.87	106158.07	212189.86	-203942.12
	45	4139.01	108174.42	216156.97	-207878.94
	46	4164.65	110166.36	220086.74	-211757.44
	47	4180.50	112134.40	223959.89	-215598.89
	48	4205.48	114079.05	227796.32	-219385.36
2023	49	4221.94	116000.82	231579.37	-223135.49
	50	4246.35	117900.20	235326.49	-226833.80
	51	4263.35	119777.68	239023.29	-230496.60
	52	4287.25	121633.76	242685.03	-234110.53
	53	4304.72	123468.90	246299.31	-237689.87
	54	4328.19	125283.57	249879.48	-241223.10
	55	4346.06	127078.25	253414.85	-244722.74
	56	4369.15	128853.38	256917.14	-248178.83
	57	4387.37	130609.40	260377.10	-251602.36
	58	4410.14	132346.75	263805.01	-254984.73
	59	4428.67	134065.86	267192.92	-258335.59
	60	4451.15	135767.13	270549.83	-261647.53
2024	61	4469.94	137450.97	273868.89	-264929.01
	62	4492.17	139117.78	277158.02	-268173.67
	63	4511.20	140767.94	280411.30	-271388.90
	64	4533.22	142401.84	283635.69	-274569.25
	65	4552.44	144019.82	286826.10	-277721.22
	66	4574.27	145622.26	289988.66	-280840.12
	67	4593.67	147209.50	293118.99	-283931.65
	68	4615.34	148781.88	296222.46	-286991.78
	69	4634.89	150339.72	299295.33	-290025.56
	70	4656.41	151883.36	302342.33	-293029.50
	71	4676.10	153413.10	305360.24	-296008.05
	72	4697.50	154929.24	308353.23	-298958.23
2025	73	4717.30	156432.08	311318.55	-301883.95
	74	4738.59	157921.91	314259.85	-304782.67
	75	4758.49	159399.01	317174.81	-307657.82
	76	4779.69	160863.65	320066.65	-310507.26

	77	4799.68	162316.09	322933.37	-313334.00
	78	4820.80	163756.59	325777.82	-316136.22
	79	4840.86	165185.40	328598.30	-318916.57
	80	4861.91	166602.76	331397.33	-321673.51
	81	4882.04	168008.92	334173.47	-324409.39
	82	4903.03	169404.09	336928.94	-327122.89
	83	4923.22	170788.50	339662.53	-329816.10
	84	4944.15	172162.38	342376.21	-332487.91
2026	85	4964.39	173525.92	345068.94	-335140.17
	86	4985.27	174879.34	347742.48	-337771.94
	87	5005.55	176222.83	350395.96	-340384.85
	88	5026.40	177556.59	353030.93	-342978.13
	89	5046.72	178880.81	355646.67	-345553.24
	90	5067.53	180195.67	358244.56	-348109.51
	91	5087.88	181501.35	360824.00	-350648.24
	92	5108.66	182798.03	363386.21	-353168.90
	93	5129.04	184085.87	365930.70	-355672.63
	94	5149.79	185365.03	368458.57	-358158.99
	95	5170.19	186635.68	370969.40	-360629.01
	96	5190.92	187897.97	373464.18	-363082.34
2027	97	5211.35	189152.06	375942.58	-365519.87
	98	5232.06	190398.09	378405.46	-367941.34
	99	5252.51	191636.21	380852.57	-370347.55
	100	5273.20	192866.55	383284.68	-372738.29
	101	5293.66	194089.25	385701.60	-375114.28
	102	5314.33	195304.45	388104.02	-377475.35
	103	5334.81	196512.27	390491.78	-379822.15
	104	5355.47	197712.84	392865.52	-382154.57
	105	5375.96	198906.28	395225.11	-384473.19
	106	5396.61	200092.72	397571.13	-386777.91
	107	5417.11	201272.26	399903.50	-389069.27
	108	5437.75	202445.03	402222.72	-391347.21
2028	109	5458.26	203611.13	404528.74	-393612.21
	110	5478.90	204770.67	406822.03	-395864.24
	111	5499.41	205923.76	409102.56	-398103.73
	112	5520.04	207070.49	411370.74	-400330.67
	113	5540.56	208210.98	413626.58	-402545.45
	114	5561.18	209345.31	415870.45	-404748.09
	115	5581.71	210473.59	418102.36	-406938.94
	116	5602.32	211595.90	420322.66	-409118.01
	117	5622.86	212712.34	422531.38	-411285.66

	118	5643.47	213822.99	424728.82	-413441.89
	119	5664.01	214927.95	426915.04	-415587.02
	120	5684.61	216027.29	429090.31	-417721.09
2029	121	5705.16	217121.10	431254.69	-419844.38
	122	5725.75	218209.46	433408.44	-421956.94
	123	5746.30	219292.46	435551.62	-424059.01
	124	5766.90	220370.15	437684.46	-426150.67
	125	5787.45	221442.63	439807.04	-428232.14
	126	5808.04	222509.97	441919.57	-430303.48
	127	5828.60	223572.23	444022.12	-432364.93
	128	5849.19	224629.49	446114.90	-434416.53
	129	5869.74	225681.82	448197.98	-436458.50
	130	5890.33	226729.28	450271.56	-438490.90
	131	5910.89	227771.94	452335.70	-440513.92
	132	5931.48	228809.87	454390.58	-442527.63
2030	133	5952.04	229843.12	456436.28	-444532.21
	134	5972.62	230871.77	458472.97	-446527.73
	135	5993.18	231895.86	460500.72	-448514.35
	136	6013.77	232915.46	462519.69	-450492.15
	137	6034.33	233930.63	464529.94	-452461.29
	138	6054.91	234941.43	466531.64	-454421.82
	139	6075.48	235947.90	468524.86	-456373.91
	140	6096.06	236950.10	470509.72	-458317.61
	141	6116.62	237948.10	472486.32	-460253.08
	142	6137.20	238941.93	474454.77	-462180.37
	143	6157.77	239931.65	476415.16	-464099.62
	144	6178.35	240917.31	478367.60	-466010.91

Figura 62. Demanda de agua potable mensual del 2013 al 2018 y proyección de la demanda de agua potable mensual del 2019 al 2030 utilizando el modelo ARIMA

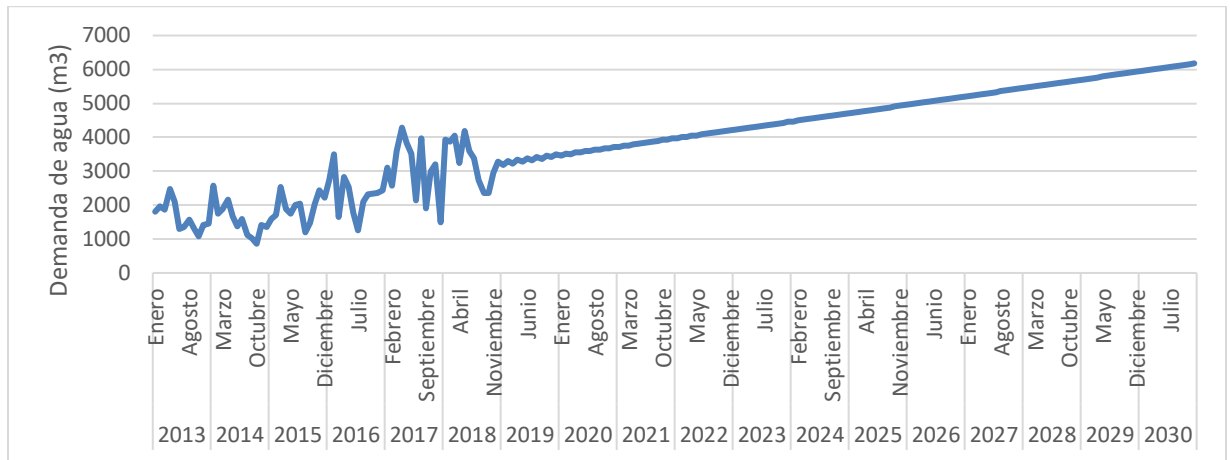
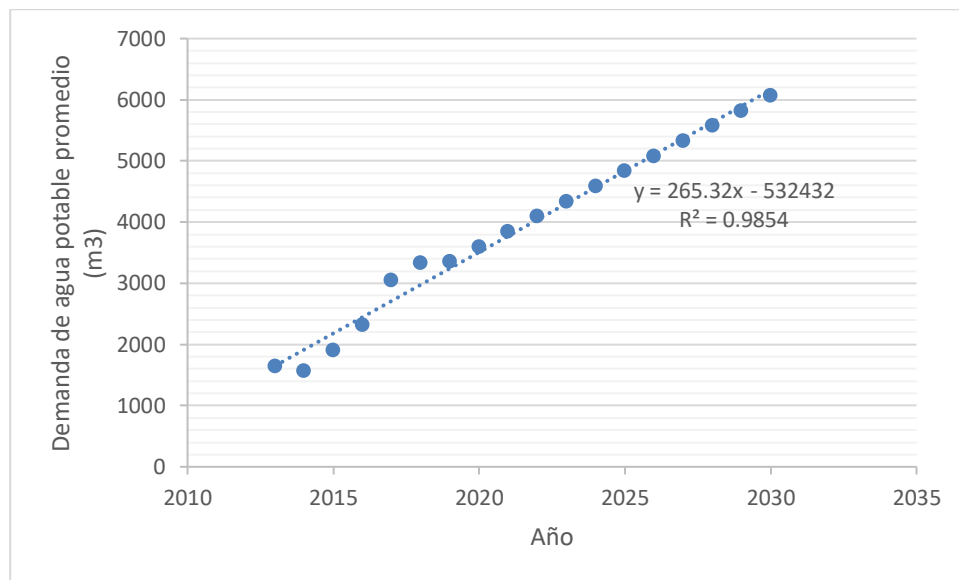


Figura 63. Promedio de la demanda de agua potable anual de la empresa del 2013 al 2030 utilizando el modelo ARIMA para la proyección



Cuadro 113. Caudal promedio y total de agua residual del 2018 para 3 diferentes áreas denominadas por la empresa como fosa séptica, pozo de absorción y laminadora 3

<b>Línea</b>	<b>Promedio de caudal agua residual de línea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fosa séptica	$5.10 \times 10^{-5}$
Pozo de absorción	$2.40 \times 10^{-5}$
Laminadora 3	$1.05 \times 10^{-4}$
Agua residual total (m <sup>3</sup> /s)	$1.8 \times 10^{-4}$

Los datos en este cuadro se obtuvieron a partir del monitoreo y caracterización de agua residual realizada por una empresa externa, estos pueden observarse en el Cuadro 112

Cuadro 114. Caracterización promedio de aguas residuales de la empresa para los 5 puntos de descarga denominados por la empresa como laminadora 3, pozo de absorción, fosa séptica, chillers y extrusión en el año 2018.

Análisis	Área				
	Laminadora 3	Pozo de absorción	Fosa séptica	Chillers	Extrusión
Caudal Promedio (L / s)	0.11	0.037	0.06	---	---
Carga DBO (Kg / día)	15.8	0.55	0.74	---	---
Cianuro (ppm – CN)	<0.01	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Color (u Pt-Co)	850	614	683	25	15
Demanda Bioquímica de Oxígeno (ppm - O <sub>2</sub> )	1763	551	198	29	< 4
Demanda Química de Oxígeno (ppm - O <sub>2</sub> )	2645	993	371	44	< 4
Relación DQO / DBO	1.8	1.8	1.9	1.5	< 1
Fósforo Total (ppm – P)	23.8	29.2	10.5	0.34	< 0.030
Grasas y Aceites ppm	81	16	< 5	< 5	< 5
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total (ppm – N)	166	196	88	4.7	0.62
pH	9.07	7.97	8.54	8.05	8.54
Sólidos Sedimentables (ml / L)	15	0.1	0.5	< 0.1	< 0.1
Sólidos Suspendedos (ppm)	648	100	90	12	16
Temperatura Promedio (°C)	23.7	21.8	22.4	23.7	13.1
Coliformes Fecales (NMP / 100 ml)	54000000	3500000	5400000	13	< 1.8
Arsénico (ppm – As)	0.002	0.0013	0.0052	< 0.0012	< 0.0012
Cadmio (ppm – Cd)	< 0.010	< 0.009	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre (ppm – Cu)	0.098	0.039	0.045	0.029	0.149
Cromo (VI) (ppm – Cr)	< 0.0025	< 0.025	0.03	< 0.018	< 0.018
Mercurio (ppm – Hg)	< 0.00085	< 0.00085	< 0.00085	< 0.0007	< 0.0007
Níquel (ppm – Ni)	0.17	< 0.170	< 0.17	< 0.170	< 0.170
Plomo (ppm – Pb)	< 0.065	0.075	< 0.065	< 0.060	< 0.060
Zinc (ppm – Zn)	0.55	0.099	0.545	0.259	0.641

Figura 64. Variación de caudal en el área de laminadora 3 en junio del 2018

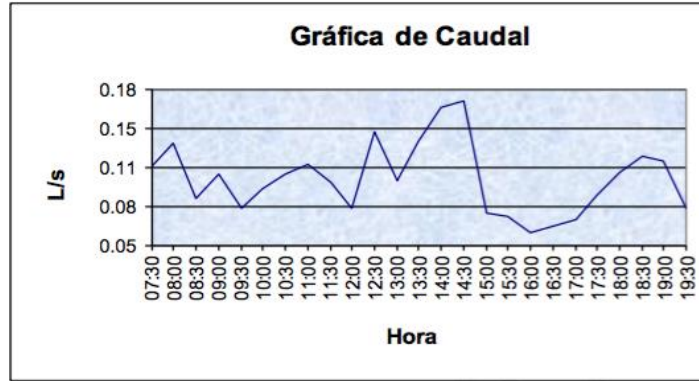


Figura 65. Variación de caudal en el área de laminadora 3 en diciembre del 2018

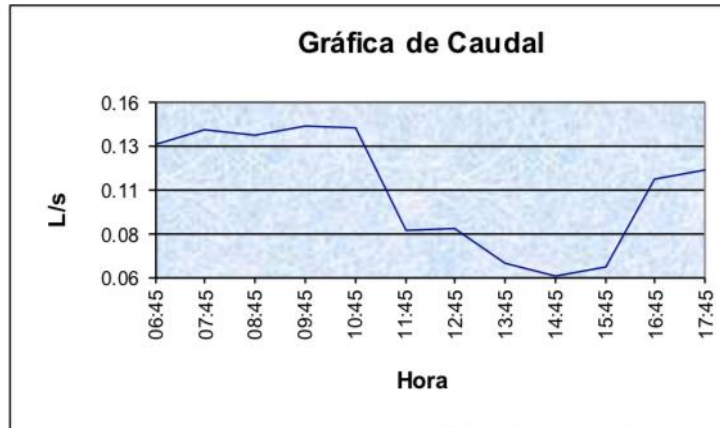


Figura 66. Variación de caudal en el área del pozo de absorción en junio del 2018

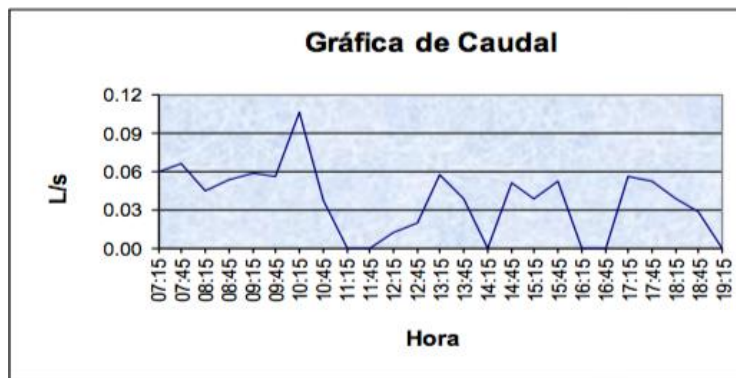


Figura 67. Variación de caudal en el área del pozo de absorción en diciembre del 2018

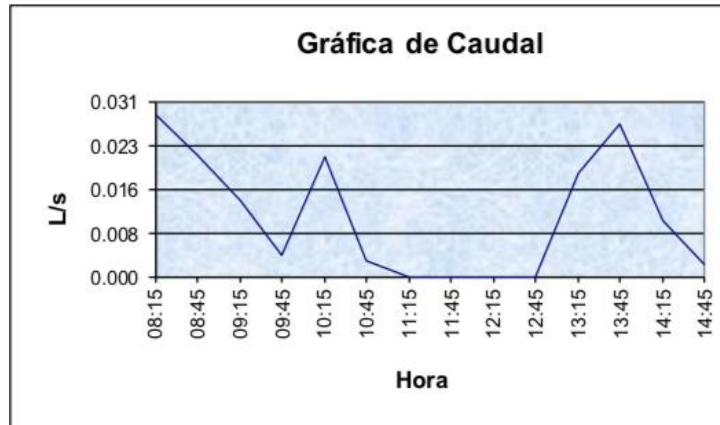


Figura 68. Variación de caudal en el área de la fosa séptica en junio del 2018

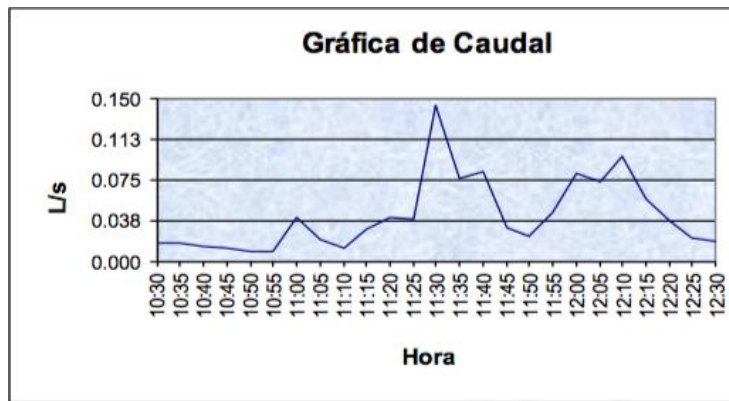


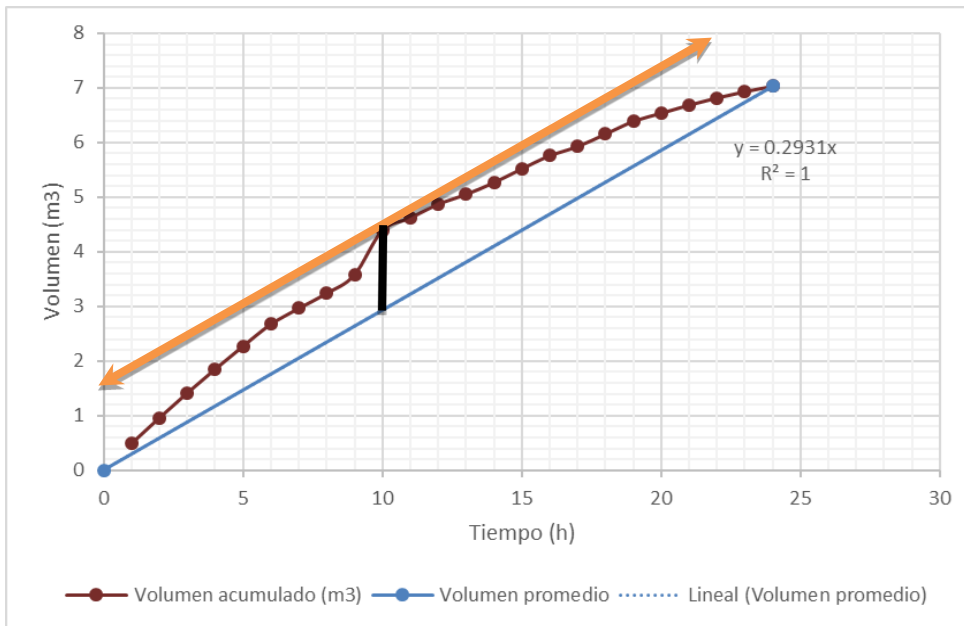
Figura 69. Variación de caudal en el área de la fosa séptica en junio del 2018



Cuadro 115. Balance de masa de la trampa de grasas de 0.937 kg/m<sup>3</sup> de densidad y retención de grasas del 92%

Línea	Concentración (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s)
Entrada de agua	0.081	2.70x10 <sup>-5</sup>
Salida de agua	0.075	2.49x10 <sup>-5</sup>
Grasas y aceites retenidos	0.006	2.16x10 <sup>-6</sup>

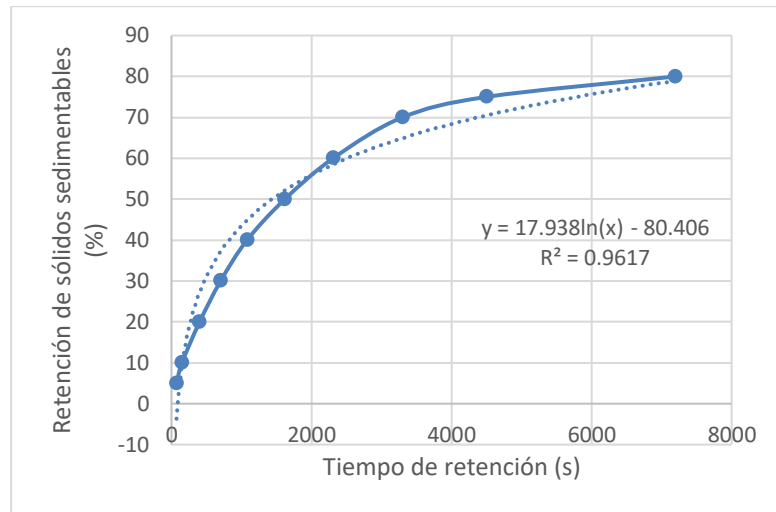
Figura 70. Volumen acumulado promedio de 3 áreas de descarga de agua residual en función del tiempo medido por una empresa externa en los meses de junio y diciembre del 2018



Cuadro 116. Variación de caudal promedio y volumen acumulado de agua residual en función del tiempo en el año 2018

Tiempo (h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Volumen por hora (m <sup>3</sup> )	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> )
0-1	0.000136	0.488146	0.488146
1-2	0.000131	0.471182	0.959327
2-3	0.000126	0.454217	1.413545
3-4	0.000121	0.437253	1.850798
4-5	0.000117	0.420289	2.271087
5-6	0.000112	0.403325	2.674412
6-7	0.000081	0.290769	2.965181
7-8	0.000077	0.276000	3.241181
8-9	0.000093	0.336000	3.577181
9-10	0.000227	0.816000	4.393181
10-11	0.000063	0.228000	4.621181
11-12	0.000070	0.252000	4.873181
12-13	0.000050	0.180000	5.053181
13-14	0.000060	0.216000	5.269181
14-15	0.000070	0.252000	5.521181
15-16	0.000067	0.240000	5.761181
16-17	0.000047	0.168000	5.929181
17-18	0.000063	0.228000	6.157181
18-19	0.000064	0.231818	6.388999
19-20	0.000042	0.150713	6.539712
20-21	0.000041	0.148861	6.688573
21-22	0.000037	0.131897	6.820470
22-23	0.000032	0.114933	6.935403
23-24	0.000027	0.097968	7.033371

Figura 71. Porcentaje de retención de sólidos sedimentables en función del tiempo para una altura de 0.6m



Cuadro 117. Balance de masa del sedimentador primario con densidad de 1150 kg/m<sup>3</sup> para retención de sólidos sedimentables de 80% y 56% para sólidos suspendidos parcialmente sedimentables

Línea	Concentración (kg/m <sup>3</sup> )	Flujo másico (kg/s)	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s)
Entrada de agua			
Sólidos sedimentables	17.25	$5.76 \times 10^{-3}$	$5.01 \times 10^{-6}$
Sólidos suspendidos	0.648	$2.16 \times 10^{-4}$	$1.88 \times 10^{-7}$
Salida de agua			
Sólidos sedimentables	3.45	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-6}$
Sólidos suspendidos	0.283	$9.44 \times 10^{-5}$	$8.21 \times 10^{-11}$
Salida de lodos			
Sólidos sedimentables	13.80	$4.61 \times 10^{-3}$	$4.00 \times 10^{-6}$
Sólidos suspendidos	0.365	$1.22 \times 10^{-4}$	$1.06 \times 10^{-10}$

Cuadro 118. Especificaciones de tubería de salida de los equipos de tratamiento preliminar y primario

Equipo	Diámetro (m)	Diámetro (in)
Rejillas	0.027	1.05
Trampa de grasas	0.022	0.86
Tanque homogeneizador	0.022	0.86
Sedimentador	0.050	1.97

B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Cuadro 119. DQO medido de agua sin tratar.

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	83	8300
2	85	8500
3	72	7200
Promedio	80	8000
Desviación estándar	-	700

Cuadro 120. DQO medido de agua tratada con ENZIPLUS

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	67	6700
2	48	4800
3	37	3700
Promedio	50.67	5066.67
Desviación estándar		1517.67

Cuadro 121. DQO medido de agua tratada con BIOZYME 8000

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	34	3400
2	66	6600
3	67	6700
Promedio	55.67	5566.67
Desviación estándar		1877.05

Cuadro 122. Porcentaje de remoción de DQO

Enzima	Porcentaje de remoción de DQO
Biozyme	37%
Enzyplus	30%
Promedio	33.5%

Cuadro 123. Resultados de análisis de DBO5

Enzima	Prueba	Inicial (ppm)	Final (ppm)	DBO5 (ppm)	Conversión	Promedio (ppm)	Desviación Estándar
Biozyme	1	4.35	0.17	125.4	3762	3819	54.25
	2	4.43	0.18	127.5	3825		
	3	4.47	0.17	129	3870		
Enzyplus	1	4.45	0.19	127.8	3834	3831	40.58
	2	4.38	0.17	126.3	3789		
	3	4.47	0.17	129	3870		
Sin tratar	1	4.62	0.22	132	3960	3993	57.16
	2	4.6	0.2	132	3960		
	3	4.69	0.18	135.3	4059		

Cuadro 124. Porcentaje de remoción de DBO5

Enzima	Porcentaje de remoción
Biozyme	4.37%
Enzyplus	4.06%
Promedio	4.21%

Cuadro 125. Nitrógeno medido de agua sin tratar

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	1.4	140
2	1.2	120
3	2.1	210
Promedio	1.57	156.67
Desviación estándar		47.26

Cuadro 126. Nitrógeno medido de agua tratada con ENZIPLUS

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	1.6	160
2	2.4	240
3	1.6	160
Promedio	1.867	186.67
Desviación estándar		46.19

Cuadro 127. Nitrógeno medido de agua tratada con BIOZYME

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	2.7	270
2	1.6	160
3	2.6	260
Promedio	2.3	230
Desviación estándar		60.83

Cuadro 128. Porcentaje de remoción de Nitrógeno

Enzima	Porcentaje de remoción
Biozyme	-46.809%
Enzyplus	-19.149%
Promedio	-32.979%

Cuadro 129. Fósforo medido en agua sin tratar

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	27.4	2740
2	30.7	3070
Promedio	29.05	2905
Desviación estándar		233.3452378

Cuadro 130. Fósforo medido en agua tratada con ENZIPLUS

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	30.8	3080
2	28.3	2830
Promedio	29.55	2955
Desviación estándar		176.7766953

Cuadro 131. Fósforo medido en agua tratada con BIOZYME

Prueba	Lectura (mg/L)	Corrección de dilución (ppm)
1	28.6	2860
2	29.9	2990
Promedio	29.25	2925
Desviación estándar		91.92388155

Cuadro 132. Porcentaje de remoción de Fósforo con las enzimas analizadas

Enzima	Porcentaje de remoción
Biozyme	-2%
Enziplus	-1%
Promedio	-1.205%

Cuadro 133. Parámetros previos al dimensionamiento del reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
sDQO	g/m <sup>3</sup>	1494.14948
Sólidos Suspendidos Volátiles (VSS)	g/m <sup>3</sup>	140.625833

Cuadro 134. Determinación del volumen del reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
Q (Flujo)	m <sup>3</sup> /d	28.83
So (influyente DQO)	Kg DQO/m <sup>3</sup>	1.76
Lorg (razón de carga orgánica)	Kg DQO/m <sup>3</sup> d	6.00
Vn (columen efectivo)	m <sup>3</sup>	8.45

Cuadro 135. Dimensionamiento del reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
Q (Flujo)	m <sup>3</sup> /d	28.83
v (velocidad flujo ascendente)	m/h	0.50
Área transversal	m <sup>2</sup>	2.40
Diámetro interno	m	1.75
Altura de líquido	m	3.52
Radio del tanque	m	0.87
h (altura cono)	m	0.15

Cuadro 136. Tiempo de retención hidráulico en el reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
Q (Flujo)	m <sup>3</sup> /d	28.83
Vl (volumen diseño)	m <sup>3</sup>	8.45
τ (tiempo de retención hidráulica)	h	7.03

Cuadro 137. Tiempo de retención de sólidos en el reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
S	g/m <sup>3</sup>	485.60
nbVSS (VSS no biodegradable)	g/m <sup>3</sup>	70.31
pCOD (COD particulado) degradado	g/m <sup>3</sup>	131.84
Influente total degradado DQO, So	g/m <sup>3</sup>	1625.99
Qxe	g/d	3417.21
SRT	d	20.70

Cuadro 138. Producción de metano y energía en el reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
Influente total degradado DQO, So	g/m <sup>3</sup>	1625.99
S	g/m <sup>3</sup>	485.60
COD degradado	g/m <sup>3</sup>	1140.39
CODsr	g/m <sup>3</sup>	90.45
CODmb	g/d	30271.47
Metano a 23.7°C	L/g	0.385
CH <sub>4</sub> producido	L/d	11664.56
CH <sub>4</sub> producido	m <sup>3</sup> /d	11.67
Gas total	m <sup>3</sup> /d	17.95
Densidad a 35°C	g/L	0.63
Densidad a 23.7°C	g/L	0.66
Energía producida	KJ/d	384973.85

Cuadro 139. Producción de lodos en el reactor UASB

Ítem	Unidad	Valor
COD no soluble	g/m <sup>3</sup>	263.67
Razón COD/TSS	-	6.23
COD no soluble como TSS	g/m <sup>3</sup>	42.3
Fracción degradable de TSS	-	0.75
TSS no degradable	g/m <sup>3</sup> TSS	10.56
Término 1	d	1801.98
Término 2	gCOD/gVSSd	167.94
Término 3	mg/L	304.9
Px,TSS (lodo)	g/d	2275.82

Cuadro 140. Tubería del Afluente de agua de Balance (m1 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados)

Ítem	Unidad	Valor
Flujo Másico	Kg/s	0.33
Uopt	m/s	0.90
Flujo Volumétrico	m <sup>3</sup> /s	3.33E-04
Área transversal	m <sup>2</sup>	3.37E-04
Diámetro	m	0.02
Diámetro	in	0.82
Tamaño nominal	in	1.00
Diámetro externo	in	1.32
Diámetro interno	in	1.05

Cuadro 141. Tubería del Gas de salida de Balance (m2 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados)

Ítem	Unidad	Valor
Flujo Másico	Kg/s	1.23E-04
Uopt	m/s	5.67
Flujo Volumétrico	m <sup>3</sup> /s	1.87E-04
Área transversal	m <sup>2</sup>	3.29E-05
Diámetro	m	6.48E-03
Diámetro	in	0.25
Tamaño nominal	in	0.50
Diámetro externo	in	0.84
Diámetro interno	in	0.62

Cuadro 142. Tubería del Efluente de agua de Balance (m3 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados)

Ítem	Unidad	Valor
Flujo Másico	Kg/s	0.33
Uopt	m/s	0.90
Flujo Volumétrico	m <sup>3</sup> /s	3.31E-04
Área transversal	m <sup>2</sup>	3.38E-04
Diámetro	m	0.02
Diámetro	in	0.82
Tamaño nominal	in	1
Diámetro externo	in	1.32
Diámetro interno	in	1.05

Cuadro 143. Tubería del Salida de lodos (m4 en Figura 39. Esquema del tratamiento propuesto de Resultados)

Ítem	Unidad	Valor
Flujo Másico	Kg/s	2.90E-05
Uopt	m/s	0.34
Flujo Volumétrico	m <sup>3</sup> /s	2.76E-08
Área transversal	m <sup>2</sup>	8.01E-08
Diámetro	m	3.19E-04
Diámetro	in	0.01
Tamaño nominal	in	0.50
Diámetro externo	in	1.32
Diámetro interno	in	1.05

C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

Cuadro 144. NPM/100 después de la dosificación de hipoclorito de sodio. Tomando los NMP iniciales de  $5.4 \times 10^6$  NPM/100 m

Concentración (ppm)	NPM/100 m
5	14,850
6	2,700
7	0
8	0

Cuadro 145. NPM/100 después de la dosificación de hipoclorito de calcio. Tomando los NPM iniciales de  $5.4 \cdot 10^6$  NPM/100 m

Concentración (ppm)	NPM/100 m
5	20,250
6	11,250
7	1,350
8	0

Cuadro 146. Volumen, para hipoclorito de sodio, y peso, para hipoclorito de calcio, utilizado para las pruebas de desinfección de agua a diferentes concentraciones.

C (ppm)	Vol. NaOH (mL)	Peso $Ca(ClO)_2$ (g)
5	1.143	0.062
6	1.429	0.077
7	1.714	0.092
8	2.000	0.108

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

Cuadro 147. Densidad de los lodos obtenidos en la fosa séptica de la empresa.

Densidad
1150 kg/m <sup>3</sup>

Cuadro 148. Masa de los sólidos biológicos sintetizados.

Px
1.56 kg VSS/día

Cuadro 149. Flujos de entrada y salida del digester anaerobio de lodos

Entrada lodos (kg/día)	Salida lodos (kg/día)	Salida metano (kg/día)
401.07	400.80	0.27

Cuadro 150. Balance de masa salida del digestor, entrada a patio de secado.

Componente	Masa (kg)
Agua	334.09
Sólidos	66.71
Total	400.80

Cuadro 151. Balance de masa salida de patio de secado de lodos

Componente	Masa (kg)
Agua evaporada	1.94
Sólidos secos	66.71
Agua contenida en lodos	100.06
Lixiviados	232.09
Total	400.80

Cuadro 152. Válvulas, accesorios y bombas requeridos en el tratamiento de lodos

Válvula o accesorio	Cantidad
Codo estándar de 45°	6
Unión universal	6
Válvula de globo	4
Bombas de diafragma	3

Cuadro 153. Cantidad de biogás producido en el diseño de la planta de tratamiento de agua y lodos

Digestor de lodos (m3/día)	Reactor UASB (m3/día)	Total (m3/día)
19.34	16.14	35.48

La cantidad de biogás producida en el reactor UASB, se obtuvo por medio de los cálculos realizados en el tratamiento secundario de aguas residuales.

Cuadro 154. Usos principales para la cantidad de gas producido en el digestor

Uso	Cantidad requerida
Cocina	0.6 m3/h
Iluminación	0.1 m3/h

(ICAITI 1983)

Cuadro 155. Especificaciones de bomba y tubería

Tipo de bomba	Potencia (kW)	Diámetro nominal de tubería de succión (m)	Diámetro nominal de tubería de descarga (m)
Diafragma	0.022	0.0127	0.0095

Datos calculados para el transporte de lodos. Estas bombas se utilizarán del sedimentador al digestor, del digestor al patio y para extraer los lixiviados del patio.

Cuadro 156. Cantidad de materiales requeridos para el funcionamiento del patio de secado

Material	Cantidad (kg)
Cal	12.55
Arena	3706.70
Grava	3359.20

Estos materiales se utilizarán como medios filtrantes en el patio de secado de lodos.

## Manuales de operación, limpieza y mantenimiento

### A. Módulo 1: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Para todos los equipos se deberá un registro de utilización, limpieza y mantenimiento. El mismo documento deberá contener si el mantenimiento fue correctivo o preventivo, hora de revisión, acciones correctivas, nombre de la persona que lo realizó, persona que lo revisó y observaciones.

De la misma forma se deberá contar con un programa de mantenimiento y calendarización de este, de forma que el personal operativo y de mantenimiento tenga acceso a este y puedan realizar las acciones pertinentes según sea el caso.

## Manual de operación, limpieza y mantenimiento del sistema de rejillas

### a. Objetivo

El objetivo del siguiente procedimiento es asegurar la utilización, limpieza y mantenimiento del del sistema de rejillas para remoción de sólidos gruesos del tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales.

### b. Alcance

El presente procedimiento aplica para el sistema de rejillas del tratamiento preliminar.

### c. Frecuencia

La limpieza debe realizarse semanalmente o cada vez que el nivel de agua en la salida de las rejillas sea bajo considerablemente debido al taponamiento del sistema.

### d. Equipo de protección personal

- 1) Casco
- 2) Lentes de seguridad
- 3) Uniforme
- 4) Guantes
- 5) Botas de hule
- 6) Mascarilla

### e. Materiales

- 1) Rastrillo
- 2) Pala
- 3) Carretilla

### f. Procedimiento

#### 1) Operación

a) Verificar constantemente que el nivel de agua de la salida del canal en las rejillas sea constante, este debe estar a un nivel similar al de entrada en las rejillas.

b) En caso el nivel disminuya proceder a la limpieza de las rejillas

## 2) Limpieza

- a) Con el bypass cambiar la entrada del agua a las rejillas limpias para poder limpiar las sucias.
- b) Pasar el rastrillo a lo largo de las rejillas de abajo hacia arriba, asegurándose que los dientes pasen entre los espacios de las barras del sistema
- c) Depositar el material recolectado en la carretilla
- d) Una vez terminado de limpiar la rejilla, transportar los desechos para su disposición final según el procedimiento de manejo de desechos sólidos.

## 3) Mantenimiento

- a) Verificar que la operación de las rejillas sea el adecuado y se retengan sólidos, de lo contrario verificar el estado de las rejillas.
- b) Si el nivel de agua de salida es bajo, las rejillas necesitan limpieza
- c) Si las rejillas no están reteniendo sólidos, verificar la integridad física de las mismas o fugas en el sistema

## 4) Acciones correctivas

- a) En caso de olores intensos y acumulación de basura se debe aumentar la frecuencia de limpieza
- b) En caso de taponamiento con material inusual en las rejillas se debe identificar la fuente de donde proviene el material

## Manual de operación, limpieza y mantenimiento de la trampa de grasas

### a. Objetivo

El objetivo del siguiente procedimiento es asegurar la utilización, limpieza y mantenimiento del sistema de remoción de grasas para el tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales.

b. Alcance

El presente procedimiento aplica para la trampa de grasas del tratamiento preliminar.

c. Frecuencia

Las trampas de grasa deben limpiarse semanalmente para evitar que se sature el equipo de los compuestos livianos.

d. Equipo de protección personal

- 1) Casco
- 2) Lentes de seguridad
- 3) Uniforme
- 4) Guantes
- 5) Botas de hule
- 6) Mascarilla

e. Materiales

- 1) Esponja
- 2) Solución de jabón y agua
- 3) Cepillo
- 4) Cubeta plástica

f. Procedimiento

1) Operación

- a) La trampa de grasas se llenará y conforme pase el tiempo retendrá grasas y aceites
- b) Se debe observar el nivel de grasa y aceites retenidos para que no superen el 75% de la capacidad de la trampa de grasas (aproximadamente 10 litros de grasas y aceites).

2) Limpieza

- a) Aunque la limpieza se haga semanalmente, se determinará mediante la observación que se mantenga por debajo del 75% de la capacidad de retención de grasas

- b) Al vaciar el sistema para el mantenimiento de la planta, limpiar con solución de jabón y una esponja o cepillo las superficies de la trampa de grasas
- 3) Mantenimiento
- a) El mantenimiento se realiza semestralmente
  - b) Deben realizarse observaciones de la integridad física de la trampa de grasas.
- 4) Acciones correctivas
- a) En caso sea necesario sustituir la trampa de grasas si tiene grietas o aberturas
  - b) Si se acumula más del 75% de grasas y aceites antes del tiempo previsto de limpieza, aumentar la frecuencia
  - c) En caso se deseen retener más grasas, instalar baffles en la trampa de grasas para mejorar su eficiencia.

#### Manual de operación, limpieza y mantenimiento del tanque de captación de flujo

a. Objetivo

El objetivo del siguiente procedimiento es asegurar la utilización, limpieza y mantenimiento del sistema de captación de flujo para la planta de tratamiento de aguas residuales.

b. Alcance

El presente procedimiento aplica para el tanque de captación de flujo.

c. Frecuencia

La limpieza se debe realizar semestralmente para asegurar un tiempo largo de vida del tanque y un mejor funcionamiento de este.

d. Equipo de protección personal

- 1) Casco
- 2) Lentes de protección
- 3) Uniforme
- 4) Guantes
- 5) Botas de hule

6) Mascarilla

e. Materiales

- 1) Manguera
- 2) Pala
- 3) Cubeta

f. Procedimiento

1) Operación

- a) La válvula automática debe estar debidamente calibrada al igual que el medidor de flujo.
- b) El tanque tendrá un tiempo de llenado al momento del arranque de 4.65 horas
- c) Para el arranque se debe mantener cerrada la válvula automática
- d) Al llenarse el tanque accionar la válvula para dejar fluir el agua al siguiente equipo
- e) Durante la operación la persona encargada debe monitorear el panel de control y asegurarse que el flujo sea el correcto
- f) Se debe monitorear el nivel dentro del tanque en caso de sobrecargas

2) Limpieza

- a) El tanque idealmente debe limpiarse por dentro semestralmente
- b) La purga de lodos, en caso se acumulen debe hacerse semanalmente

3) Mantenimiento

- a) El mantenimiento del tanque homogeneizador debe hacerse idealmente semestralmente
- b) Se debe limpiar el tanque y verificar la integridad física del mismo
- c) A la válvula se le debe realizar mantenimiento según las especificaciones del fabricante.

4) Acciones correctivas

- a) En caso el tanque presente daños físicos como rajaduras o fugas, este debe ser corregido y recubierto con pintura epóxica
- b) Si la válvula está mal calibrada, la debe calibrar un técnico especializado
- c) Si la válvula no funciona correctamente se debe revisar por un técnico especializado o debe reemplazarse por una nueva.

## Manual de operación, limpieza y mantenimiento del sedimentador primario

### a. Objetivo

El objetivo del siguiente procedimiento es asegurar la utilización, limpieza y mantenimiento del sedimentador para el tratamiento primario de la planta de tratamiento de aguas residuales.

### b. Alcance

El presente procedimiento aplica para los dos tanques de sedimentación primaria

### c. Frecuencia

El drenado para el mantenimiento del tanque de sedimentación primaria se hará anualmente. La limpieza del tanque se debe realizar antes del arranque del sistema y después del paro y vaciado del sistema de sedimentación.

### d. Equipo de protección personal

- 1) Casco
- 2) Lentes de protección
- 3) Uniforme
- 4) Guantes
- 5) Botas de hule
- 6) Mascarilla

### e. Materiales

- 1) Manguera

### f. Procedimiento

## 1) Operación

a) Verificar lo siguiente antes de arrancar la operación:

- i. El tanque está limpio y sin obstrucciones
- ii. Las compuertas o bypass del tanque están funcionando correctamente
- iii. La bomba para la purga de lodos está funcionando
- iv. El tanque no presenta grietas ni daños en su construcción

b) Accionar la válvula del homogeneizador para que comience el proceso de llenado del tanque

c) El agua ingresa al sedimentador primario y se distribuye a lo largo de la estructura rectangular. Conforme el tiempo de retención (2 horas) los sólidos se sedimentarán en el fondo del tanque y se descargarán por el vertedero hacia la tubería que lleva al tratamiento secundario

d) Para desviar el afluente al otro tanque de sedimentación utilizar el bypass para redirigir el flujo de agua

e) Verificar de forma periódica si hay generación de gases (en forma de burbujas) o aumento en los lodos

f) Es recomendable monitorear 2 veces por turno las condiciones del agua en cuanto a pH, sólidos suspendidos y sedimentables, grasas, temperatura, DBO y DQO

## 2) Limpieza

a) El tanque de sedimentación debe ser limpiado antes del arranque

b) El tanque de sedimentación tendrá una purga de lodos en la parte inferior para su tratamiento

c) Revisar regularmente que no haya obstrucciones en la salida del sedimentador primario

d) Para lavar el tanque, drenarlo y luego con una manguera lavar las paredes y la pantalla difusora de forma que se eliminen los lodos y suciedad

## 3) Mantenimiento

- a) Se debe mantener un control de sólidos suspendidos a lo largo del tanque de sedimentación respecto al tiempo para la evaluación del funcionamiento del sedimentador primario
- b) Se debe llevar un control de la cantidad de lodos producidos semanalmente
- c) Debe darse el mantenimiento adecuado del sistema de purga de lodos, referirse al manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de lodos
- d) Al drenar el tanque inspeccionarlo para verificar que no haya grietas o daños en la estructura

#### 4) Acciones correctivas

- a) En caso de que el volumen de agua llegue a la salida del tanque en menor tiempo a lo esperado (corto circuito) se debe revisar el nivel de la placa del vertedero
- b) En caso de que el tanque de sedimentación primaria no se esté llenando en el tiempo adecuado verificar el funcionamiento del tanque de captación de flujo, la válvula y su tubería.
- c) En caso de una sobrecarga que supere el diseño del tanque de sedimentación primaria, desviar el flujo de agua hacia el segundo sedimentador.

### Metodología para la caracterización de aguas

1. Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos utilizando espectrofotometría de absorción atómica y UV visible y otros equipos como balanzas analíticas, incubadoras, conos Imhoff y potenciómetros. Utilizando métodos estándar conocidos como los establecidos por Merck y COGUANOR.
2. Se tomaron muestras del agua residual ordinaria y especial de las 5 áreas de descarga de la empresa utilizando materiales estériles y se refrigeraron a 5°C con hielo.
3. Para realizar los análisis según Standard Methods 23rd edition 2017, método 1060 B y el acuerdo ministerial 105-2008.
4. La empresa externa que realizó los análisis fisicoquímicos del agua cuenta con un certificado del Ministerio de Economía con el registro de acreditación OGA-LE-051-13.

B. Módulo 2: Caracterización de efluentes y propuesta de un sistema de tratamiento preliminar y primario para aguas residuales en una empresa productora de sacos

Manual de operación del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)

Aplicación de la enzima ENZIPLUS

El objetivo de las enzimas es reducir la DQO y la DBO del agua residual y evitar incrustaciones en las tuberías.

1. La aplicación de las enzimas se realiza diariamente con un flujo de agua residual de  $26 \text{ m}^3 / \text{d}$ .
2. Para iniciar el tratamiento enzimático se debe aplicar una dosis de la enzima en polvo de 20 g el primer día y una dosis de 30 g el segundo día, alternando esta aplicación diariamente.
3. Depositar la dosis en un vaso con 500 mL de agua.



4. Mezclar vigorosamente con movimientos circulares hasta que la mezcla sea homogénea.



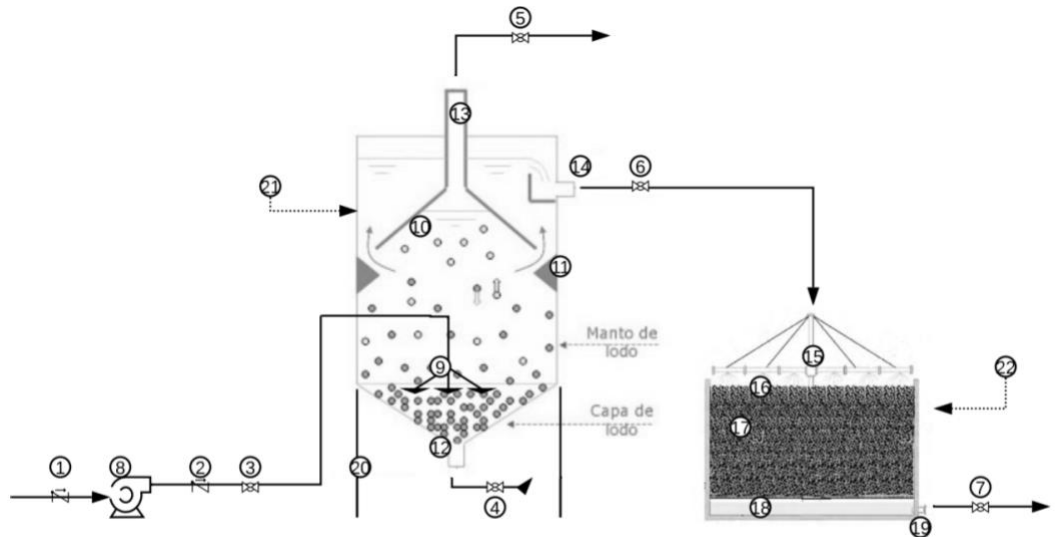
5. Dejar asentar durante 1 hora para que las enzimas se activen.
6. Agitar vigorosamente hasta que la mezcla sea homogénea.

7. Inmediatamente después de agitar, depositar la mezcla en un inodoro de los baños de “Patio 1” y descargar el agua del depósito.
8. Las enzimas deben ser almacenadas en un lugar fresco donde no tengan contacto con la luz solar para que no pierdan sus propiedades.

**Operación del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB):**

En el reactor UASB (21) sucede un crecimiento de microorganismos cuyo objetivo es degradar y descomponer la materia orgánica en productos más simples. En el filtro percolador (22) se degrada en nitrógeno y el fósforo remanente. Esto para disminuir la contaminación en el ambiente. En el reactor ocurre el tratamiento secundario.

Partes del equipo:



Parte	Descripción	Parte	Descripción
1	Válvula de bola	12	Salida de lodos
2	Válvula de bola	13	Salida de gas
3	Válvula de bola	14	Salida de efluente
4	Válvula de bola	15	Brazo distribuidor (rociador)
5	Válvula de bola	16	Aspersores
6	Válvula de bola	17	Empaque filtrante
7	Válvula de bola	18	Recolección de agua filtrada
8	Bomba centrífuga	19	Salida de agua filtrada
9	Sistema de distribución de agua	20	Soporte del reactor UASB
10	Recolector de gas	21	Reactor UASB
11	Deflector	22	Filtro Percolador

1. El efluente ingresa por una bomba centrífuga (8) al reactor. El gas metano sale por la parte superior del reactor (13). El efluente egresa por el costado del reactor (14) en la parte superior para su siguiente proceso (filtro percolador).
2. Se debe remover 2 kg de lodos diariamente por la parte inferior del reactor (12) para que prosigan al tratamiento de lodos.
3. Para esto se abre la válvula de bola (4) que se encuentra en la parte inferior del reactor y se deben recibir los lodos con un recipiente hasta obtener 2 kg de estos.
4. Para garantizar el buen funcionamiento del reactor se debe verificar los parámetros para aguas residuales de tipo ordinario con descarga al alcantarillado público que establece el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
5. Para esto se debe desacoplar la unión universal de una sección de la tubería de entrada y salida del sistema completo y tomar una muestra en ambos puntos (3) y (7).
6. Una vez se determine que los parámetros si presenten las reducciones propuestas se puede establecer que el sistema está funcionando correctamente.

## Manual de mantenimiento del equipo del tratamiento secundario y terciario

1. Objetivo
  - a. Asegurar la utilización, limpieza, mantenimiento y operación del tanque anaerobio de flujo ascendente (UASB) de tratamiento de aguas residuales.
2. Alcance
  - a. Aplicable al reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) (21).
  - b. Aplicable al filtro percolador (22).
3. Frecuencia
  - a. La limpieza de tuberías debe realizarse mensualmente para evitar el deterioro del tratamiento. Procurar que los sólidos no superen los deflectores en la parte superior del reactor (14). Si esto sucede, se debe de purgar más lodos por la válvula inferior (4).
4. Procedimiento para el mantenimiento del reactor anaerobio de flujo ascendente y filtro percolador
  - a. Limpieza
    - i. Cerrar la válvula de bola en la entrada del reactor UASB (1).

- ii. Cerrar las válvulas de bola en las salidas del reactor UASB y el filtro percolador (2), (3), (4), (5), (6) y (7).
    - iii. Retirar las secciones de la tubería acoplada por secciones universales.
    - iv. Lavar con agua las tuberías y remover los atascamientos con un cepillo circular.
    - v. No utilizar desinfectante ya que mataría los microorganismos dentro del reactor UASB (21).
  - b. Mantenimiento
    - i. Verificar que no existan sólidos retirando la sección de tubería de salida de los reactores (14) y (19).
  - c. Acciones preventivas
    - i. Evitar el desecho de metales y materiales que puedan tapan las tuberías en los desagües e inodoros.
  - d. Acciones correctivas
    - i. En caso de uso excesivo de los servicios sanitarios por alguna actividad o acontecimiento, se debe aumentar la dosis y acortar la frecuencia de mantenimiento.
- 5. Equipo de protección personal para evitar daños en la salud de los operarios
  - a. Casco
  - b. Lentes de seguridad
  - c. Uniforme
  - d. Guantes
  - e. Botas de hule
  - f. Mascarilla



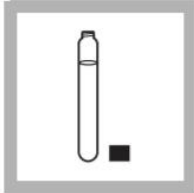

# Determinación de DQO

Figura 72. Método OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, Reactor Digestion Method; Colorimetric Determination, 0 to 150 mg/L COD

**Method 8000**  
**For water, wastewater and seawater**

**OXYGEN DEMAND, CHEMICAL**

**Reactor Digestion Method\* USEPA approved for reporting wastewater analysis\*\***  
**Digestion**

- 1.** Homogenize 500 mL of sample for 2 minutes in a blender.  
*Note: For the 0-15,000 mg/L range, homogenize 100 mL of sample. Pour the blended sample into a 250-mL beaker. Stir with a magnetic stirrer while withdrawing a sample aliquot. This improves accuracy and reproducibility.*
- 2.** Turn on the DRB 200 Reactor. Preheat to 150 °C.  
*Note: See DRB 200 user manual for selecting pre-programmed temperature applications.*
- 3.** Remove the cap of a COD Digestion Reagent Vial for the appropriate range:
 

Sample Conc. Range (mg/L)	COD Digestion Reagent Vial Type
0 to 150	Low Range
0 to 1500	High Range
0 to 15,000	High Range Plus
- 4.** Hold the vial at a 45-degree angle. Pipet 2.00 mL (0.2 mL for the 0 to 15,000 mg/L range) of sample into the vial.  
*Note: For the 0-15,000 mg/L range, pipet only 0.20 mL of sample, not 2.00 mL of sample, using a TenSette Pipet. For greater accuracy analyze a minimum of three replicates and average the results.*

*Note: The reagent mixture is light-sensitive. Keep unused vials in the opaque shipping container, in a refrigerator if possible. The light striking the vials during the test will not affect results.*

*Note: Spilled reagent will affect test accuracy and is hazardous to skin and other materials. Do not run tests with vials which have been spilled. If spills occur, wash with running water.*

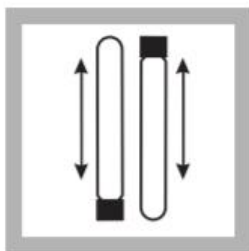
**Caution:** Some of the chemicals and apparatus used in this procedure may be hazardous to the health and safety of the user if inappropriately or accidentally misused. Please read all warnings and the safety section of this manual. Wear appropriate eye protection and clothing. If contact occurs, flush the affected area with running water. Follow all instructions carefully.

\* Jirka, A.M.; Carter, M.J. *Analytical Chemistry*, 1975, 47(8). 1397.  
\*\* *Federal Register*, April 21, 1980, 45(78), 26811-26812. The 0-15,000 mg/L range is **not** USEPA approved.

## OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, continued



5. Replace the vial cap tightly. Rinse the outside of the COD vial with deionized water and wipe the vial clean with a paper towel.



6. Hold the vial by the cap and over a sink. Invert gently several times to mix the contents. Place the vial in the preheated DRB 200 Reactor.

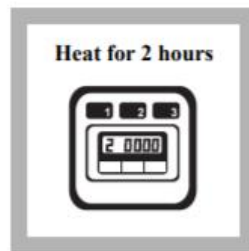
*Note: The vial will become very hot during mixing.*



7. Prepare a blank by repeating Steps 3 to 6, substituting 2.00 mL (0.2 mL for the 0 to 15,000 mg/L range) deionized water for the sample.

*Note: Be sure the pipet is clean.*

*Note: One blank must be run with each set of samples. Run samples and blanks with vials from the same lot number (lot # is on the container label).*

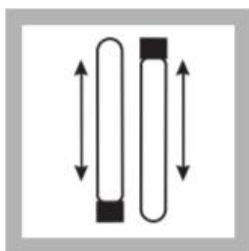


8. Heat the vials for 2 hours.

*Note: Many samples are digested completely in less than two hours. If desired, measure the concentration (while still hot) at 15 minute intervals until the reading remains unchanged. Cool vials to room temperature for final measurement.*



9. Turn the reactor off. Wait about 20 minutes for the vials to cool to 120 °C or less.



10. Invert each vial several times while still warm. Place the vials into a rack. Wait until the vials have cooled to room temperature.

*Note: If a pure green color appears in the reacted sample, measure the COD and, if necessary, repeat the test with a diluted sample.*

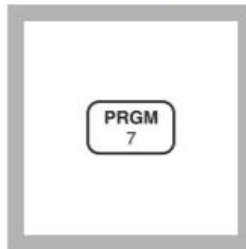


11. Use one of the following analytical techniques to measure the COD:

- Colorimetric method, 0-150 mg/L COD
- Colorimetric method, 0-1,500 mg/L COD
- Colorimetric method, 0-15,000 mg/L COD

## OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, continued

### Colorimetric Determination, 0 to 150 mg/L COD

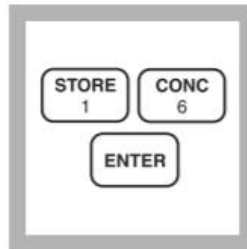


**1.** Enter the stored program number for chemical oxygen demand (COD), low range.

Press: **PRGM**

The display will show:

**PRGM ?**



**2.** Press: **16 ENTER**

The display will show **mg/L, COD** and the **ZERO** icon.

*Note:* For alternate form ( $O_2$ ), press the **CONC** key.



**3.** Insert the COD/TNT Adapter into the cell holder by rotating the adapter until it drops into place. Then push down to fully insert it.

*Note:* For increased performance, a diffuser band covers the light path holes on the adapter. Do not remove the diffuser band.



**4.** Clean the outside of the blank with a towel.

*Note:* Wiping with a damp towel, followed by a dry one, will remove fingerprints or other marks.



**5.** Place the blank in the adapter.

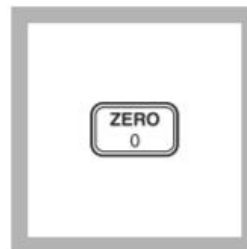
Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

*Note:* Do not move the vial from side to side as this can cause errors.



**6.** Tightly cover the vial with the instrument cap.

*Note:* The blank is stable when stored in the dark. See Blanks for Colorimetric Determination following these procedures.



**7.** Press: **ZERO**

The cursor will move to the right, then the display will show:

**0 mg/L COD**



**8.** Clean the outside of the sample vial with a towel.

## OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, continued

---



**9.** Place the sample vial in the adapter.

Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

*Note: Do not move the vial from side to side as this can cause errors.*



**10.** Tightly cover the vial with the instrument cap.



**11.** Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L COD will be displayed.

(HACH 2003)

## Determinación de Nitrógeno


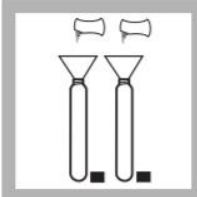
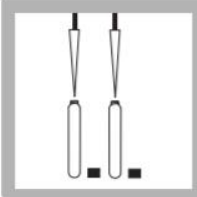
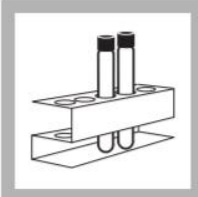
Figura 73. Método NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, TNT Persulfate Digestion Method.

**Method 10071**

**NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube (0.0 to 25.0 mg/L N)**

---

**TNT Persulfate Digestion Method** **For water and wastewater**

			
<p><b>1.</b> Turn on the DRB 200 Reactor. Heat to 103-106 °C (optimum temperature is 105 °C).</p> <p><i>Note: For proof of accuracy, run a 20 mg/L NH<sub>3</sub>-N standard through digestion and analysis.</i></p>	<p><b>2.</b> Using a funnel, add the contents of one Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow to each of two Total Nitrogen Hydroxide Reagent vials.</p> <p><i>Note: Wipe off any reagent that may get on the lid or the tube threads.</i></p> <p><i>Note: One reagent blank is sufficient for each set of samples.</i></p>	<p><b>3.</b> Add 2 mL of sample to one vial. Add 2 mL of organic-free water to another vial (the reagent blank). Cap both vials and shake vigorously (about 30 seconds). Place the vials in the Reactor. Heat for 30 minutes.</p> <p><i>Note: The reagent may not dissolve completely after shaking.</i></p> <p><i>Note: Alternate water must be free of all nitrogen-containing species.</i></p>	<p><b>4.</b> Using finger cots or gloves, remove the hot vials from the reactor and allow to cool to room temperature.</p> <p><i>Note: It is very important to remove the vials from the Reactor after exactly 30 minutes.</i></p>

## NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued

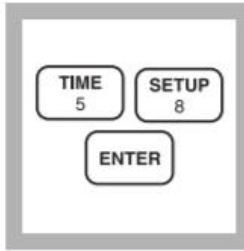


5. Enter the stored program number for Test 'N Tube Total Nitrogen.

Press: **PRGM**

The display will show:

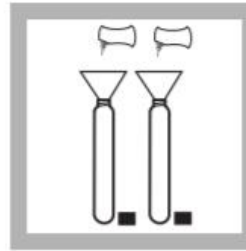
**PRGM ?**



6. Press: **58 ENTER**

The display will show **mg/L, N** and the **ZERO** icon.

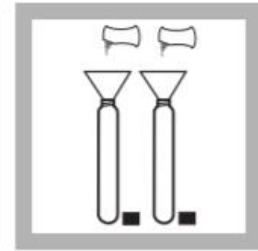
*Note: For alternate forms ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ), press the **CONC** key.*



7. Remove the caps from the digested vials and add the contents of one TN Reagent A Powder Pillow to each vial. Cap the vials and shake for 15 seconds.

Press: **TIMER ENTER** after shaking.

A three-minute reaction period will begin.



8. After the timer beeps, remove the caps from the vials and add one TN Reagent B Powder Pillow to each vial. Cap the vials and shake for 15 seconds. The display will show:

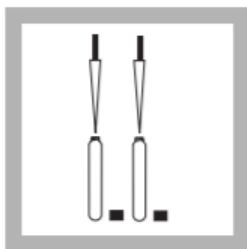
**02:00 Timer 2**

Press **ENTER** after shaking.

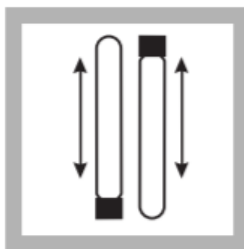
A two-minute reaction period will begin.

*Note: The reagent will not completely dissolve. The solution will begin to turn yellow.*

## NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued

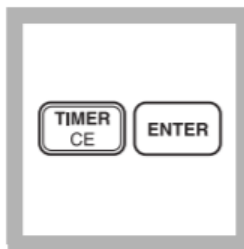


**9.** After the timer beeps, remove the caps from two TN Reagent C Vials. Add 2 mL of digested, treated sample to one vial. Add 2 mL of the digested, treated reagent blank to the second TN Reagent C Vial.



**10.** Cap and invert 10 times to mix. Use slow, deliberate inversions for complete recovery. The vials will be warm.

*Note: Follow these instructions for inversion or low results may occur. Hold the vial vertical with the cap up. Invert the vial and wait for all of the solution to flow to the cap end. Pause. Return the vial to the upright position and wait for all of the solution to flow to the vial bottom. This is one inversion (10 inversions = 30 seconds).*



**11.** The display will show: **05:00 Timer 3**

Press: **ENTER**

A five-minute reaction period will begin.

*Note: The yellow color will intensify.*



**12.** During the reaction period, insert the COD/TNT Adapter into the cell holder by rotating the adapter until it drops into place. Then push down to fully insert it.

*Note: For increased performance, a diffuser band covers the light path holes on the adapter. Do not remove the diffuser band.*

## NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued



**13.** After the timer beeps, wipe the TN Reagent C vial containing the reagent blank. Place the vial in the adapter. Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

*Note:* Do not move the vial from side to side as this can cause errors.



**14.** Tightly cover the vial with the instrument cap.

Press: **ZERO**

The cursor will move to the right, then the display will show:

**0.0 mg/L N**

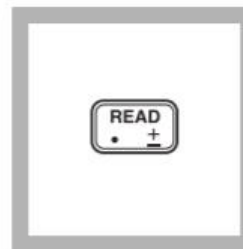
*Note:* Wiping with a damp towel, followed by a dry one, will remove fingerprints or other marks.

*Note:* The reagent blank is stable when stored in the dark; see Blanks For Colorimetric Measurement following these steps.



**15.** Wipe the TN Reagent C vial containing the sample and place it into the adapter. Tightly cover the vial with the instrument cap.

*Note:* Multiple samples may be read after zeroing on one reagent blank.



**16.** Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L nitrogen (N) will be displayed.

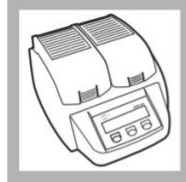
*Note:* Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Standard Adjust in Section 1).

*Note:* If the display flashes "limit", dilute the sample and repeat the digestion and the colorimetric finish. The digestion must be repeated for accurate results; diluting and repeating the color finish does not yield complete results. Multiply the result by the dilution factor; see Section 1.

Figura 74. Método PHOSPHORUS, TOTAL, PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion\*  
 USEPA Accepted for reporting wastewater analysis\*\* Test 'N Tube Procedure

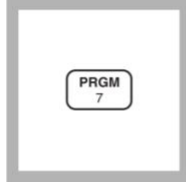
Method 8190

**PHOSPHORUS, TOTAL (0.00 to 3.50 mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) For water, wastewater and seawater**  
**PhosVer 3 with Acid Persulfate Digestion\* USEPA Accepted for reporting wastewater analysis\*\***  
**Test 'N Tube Procedure**



**1.** Turn on the DRB200 Reactor. Heat the reactor to 150 °C.

*Note: See DRB200 instrument manual for selecting preprogrammed temperature applications.*



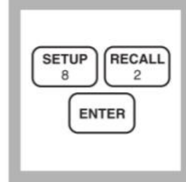
**2.** Enter the stored program number for total phosphorus, (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), Test 'N Tube.

Press: **PRGM**

The display will show:

**PRGM ?**

*Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).*



**3.** Press: **82 ENTER**  
 The display will show **mg/L, PO<sub>4</sub>** and the **ZERO** icon.

*Note: For alternate forms (P, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), press the CONC key.*



**4.** Insert the COD/TNT Adapter into the cell holder by rotating the adapter until it drops into place. Then push down to fully insert it.

*Note: A diffuser band covers the light path holes on the adapter to give increased performance. The band should NOT be removed.*

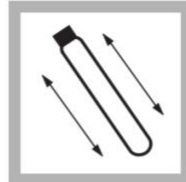


**5.** Use a TenSette Pipet to add 5.0 mL of sample to a Total and Acid Hydrolyzable Test Vial.

*Note: Adjust the pH of stored samples to 6-8 before analysis.*



**6.** Using a funnel, add the contents of one Potassium Persulfate Powder Pillow for Phosphonate to the vial.



**7.** Cap tightly and shake to dissolve.

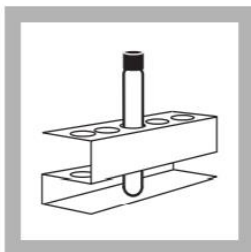


**8.** Place the vial in the DRB200 Reactor. Heat the vial for 30 minutes.

\* Adapted from *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

\*\* Procedure is equivalent to USEPA Method 365.2 and Standard Method 4500-P B, 5 and P.E.

## PHOSPHORUS, TOTAL, continued



**9.** Carefully remove the vial from the reactor. Place it in a test tube rack and allow to cool to room temperature.

*Note: Vials will be hot.*



**10.** Use a TenSette Pipet to add 2.0 mL of 1.54 N sodium hydroxide to the vial. Cap and mix.



**11.** Clean the outside of the vial with a towel.

*Note: Wiping with a damp towel, followed by a dry one, will remove fingerprints or other marks.*

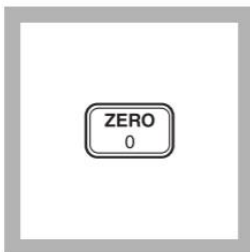


**12.** Place the sample vial in the adapter. Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

*Note: Do not move the vial from side to side as this can cause errors.*



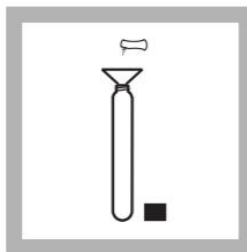
**13.** Tightly cover the vial with the instrument cap.



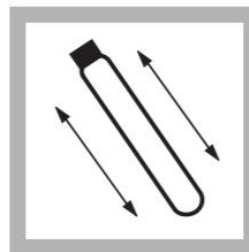
**14.** Press: **ZERO**  
The cursor will move to the right, then the display will show:

**0.00 mg/L PO<sub>4</sub>**

*Note: For multiple samples, zero only on the first sample. Read the remaining samples after adding the PhosVer 3 reagent.*



**15.** Remove the cap from the vial. Using a funnel, add the contents of one PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow to the vial.



**16.** Cap tightly and shake for 10-15 seconds.

*Note: The powder will not completely dissolve.*

C. Módulo 3: Propuesta del proceso de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario para el cumplimiento del reglamento 236-2006.

a. Manual de Operación y Mantenimiento

El presente manual contiene las acciones necesarias que se deben desarrollar para la buena operación y mantenimiento del sistema de tratamiento cuaternario de aguas residuales de tipo ordinario.

Elementos que componen la planta

1. Tanque de contacto

Función:

Su función principal es la de proveer el tiempo de residencia entre el desinfectante, hipoclorito de sodio, y las aguas residuales. Esto es necesario para que las aguas residuales lleguen a un NMP/100mL para cumplir con el parámetro del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos", que es de  $1 * 10^4$  NPM/100 mL.

Operación:

Registrar el caudal de agua de entrada y el de salida, diariamente. Asegurar que estos dos caudales sean iguales, esto indica que el tiempo de contacto está siendo el preestablecido.

Mantenimiento:

Diario:

Limpieza de la estructura externa y revisar la estructura para encontrar fugas, daños o deterioro del conjunto. Limpiar y eliminar cualquier suciedad de la estructura. Esta limpieza se hace con espátula y cepillo, eliminando con cuidado toda la suciedad.

Mensual:

Limpieza de la estructura interna, Esta limpieza se hace con espátula y cepillo, eliminando con cuidado toda la suciedad, con una solución que no contenga jabón. Las válvulas de entrada, salida y de paso, deben cuidarse de la corrosión. Por lo tanto, se le debe proteger con pintura anticorrosiva y lubricarlas.

## 2. Tanque de almacenamiento

### Función:

Su función principal es la de almacenar durante dos meses el hipoclorito de sodio. De este tanque va a ser succionado el hipoclorito de sodio para ser inyectado en la tubería, por medio de una bomba peristáltica.

### Operación:

Verificar que no existan escapes de hipoclorito de sodio, en el tanque y en las tuberías. Tomar una muestra del desinfectante almacenado para verificar con la concentración que se cuenta de hipoclorito de sodio. Si se tiene menos de 4.5%, se debe recalcular la cantidad de hipoclorito de sodio a utilizar, esto se hace con los cálculos descritos en los Anexos, pg . Al tener la nueva concentración, ajustar la bomba peristáltica al nuevo flujo que se debe utilizar. Si la concentración es igual o 4.5% de hipoclorito de sodio, no se debe mover nada.

### Cada dos meses:

Apagar la bomba peristáltica. Cerrar la válvula de paso colocada a la izquierda de la bomba peristáltica, luego la del lado derecho. Retirar la manguera del tanque de almacenamiento, y conectar el nuevo tanque. Abrir la válvula de paso colocada a la izquierda de la bomba peristáltica, luego la del lado derecho y encender la bomba peristáltica.

### Mantenimiento:

#### Diario:

Limpieza de la estructura externa y revisar la estructura para encontrar fugas, daños o deterioro del conjunto. Limpiar y eliminar cualquier suciedad de la estructura.

## 3. Mantenimiento de la planta

A la hora de realizar el mantenimiento de la planta, se deben seguir lo siguiente pasos:

- Cerrar la válvula de salida de la bomba centrifugadora, esta válvula de bola se encuentra después de la bomba centrifugadora. Esto se hace así para evitar dejar la bomba sin agua y que esta cavite. Después se cierra la válvula de entrada de agua de la bomba centrifugadora.

- Se cierra de igual manera la válvula de la bomba peristáltica.
- Se espera que toda el agua que tenía contenido el tanque de contacto se desinfecte y se vaya al alcantarillado, y después ya se puede comenzar a limpiar las partes del sistema de tratamiento cuaternario de aguas residuales.

#### 4. Personal, responsabilidades y equipamiento Administrativo.

Personal de planta:

Debe estar conformado por un área de operación y mantenimiento.

- Un jefe de planta: Tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación de los operarios encargados de la operación y mantenimiento. Él debe desarrollar las siguientes actividades:
  - Mantener el inventario de reactivo y equipos, en este caso es el hipoclorito de sodio. Asegurarse que cada dos meses se entregue un nuevo tanque de NaOCl.
  - Implementar un programa preventivo de mantenimiento continuo de las instalaciones, estructuras y equipos.
  - Capacitarse en el campo de tratamiento de aguas residuales, utilizando información de la operación que conlleva la optimización de la planta de tratamiento de aguas.
- Operador: Estará encargado de realizar la lectura del caudal de entrada y salida por lo menos dos veces al día. Revisar las tuberías para detectar fugas y daños, en los accesorios de la misma y arreglarlo si es necesario.
- Uno de los laboratoristas asignados a la planta de tratamiento estará encargado de tomar pruebas de agua en la salida del tratamiento cuaternario una vez al día para asegurarse que el agua cumpla con los parámetros establecidos por la ley.
  - Debe registrar y archivar adecuadamente los resultados del análisis realizados a las muestras de aguas residuales.
- Obrero: estará encargado de realizarle mantenimiento a la unidad de tratamiento cuaternario, para mantener el suelo sin vegetación.
  - Apoyar en la toma y transporte de muestras de aguas residuales.
  - Apoyar en el transporte de materiales y herramientas de trabajo.

Accesorios de protección para personal:

- Casco de seguridad
- Mascarilla

- Guantes de protección de goma para evitar infecciones al extraer muestras de aguas servidas o de cuero para mantenimiento de equipo
- Botas de hule
- Se debe contar con un botiquín de primeros auxilios para el tratamiento inmediato de cortaduras o heridas.

## 5. Monitoreo

Niveles de control:

Tabla 1. Descripción de las diferentes variables a controlar y la frecuencia con la que se deben medir.

Parámetro	Lugar de muestreo	Frecuencia
Análisis de aguas en el laboratorio para identificar cuál es su NMP/100mL	Entrada y salida del tanque de contacto del tratamiento cuaternario de aguas residuales.	Cada 2 meses
Pruebas de agua residual con placas 3M Petrifilm	Entrada y salida del tanque de contacto del tratamiento cuaternario de aguas residuales.	Diario
Caudal	Entrada y salida del tanque de contacto del tratamiento cuaternario de aguas residuales	Diario
pH	En el tanque de contacto del tratamiento cuaternario de aguas residuales y en la salida del tanque.	Diario

Procedimiento para realizar un muestreo:

La caracterización de aguas residuales debe hacerse en la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas, las muestras van a tomarse cada hora durante 4 < las concentraciones. En caso que esto suceda, se debe hacer quincenal hasta que el número más probable no varíe en gran medida, digamos en 500 NMP/100mL entre cada muestreo.

Puntos críticos que afectan el funcionamiento de la planta de tratamiento:

Infraestructura: deterioro de elementos a la falta o inadecuada limpieza, válvulas rotas, etc.

Seguridad: falta de elementos de seguridad como barandas, rótulos preventivos o informativos, antideslizantes alrededor del tanque y otros elementos.

Nivel cognoscitivo: falta de capacitaciones periódicas, carencia de listado de actividades a realizar, y falta de registros.

Parámetros de control:

- Caudal en la salida y entrada del tanque de contacto, ya que de este depende el tiempo de residencia en el tanque de contacto. Se debe asegurar que el caudal de entrada sea el mismo que el de salida.
- pH: es uno de los factores más importantes en la eficiencia del hipoclorito de sodio, entre menos alcalina está el agua residual que proviene del tratamiento secundario, es más efectiva la desinfección por lo que se debe procurar trabajar con un pH entre 6-7, ya que también se quiere cumplir con el parámetro establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, sobre el pH, que debe estar entre 6-9. Para esto se deben tomar pruebas del mismo en el tanque de contacto y en la salida, para asegurarse que tenga el correcto pH.
- 

Métodos correctivos

pH:

- Cuando el hipoclorito de sodio se disuelve en agua, se generan dos productos que forman parte de la oxidación. Estos son ácido hipocloroso y el ion de hipoclorito el cual es menos activo. El pH del agua determina la cantidad de ácido hipocloroso que se forma. Si el pH del agua que sale del tanque de contacto está por arriba de 6, se debe agregar ácido acético para disminuirlo.

Coliformes fecales:

- Si el agua que está saliendo del tanque de contacto está sobre el límite establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se debe seguir el procedimiento que se hizo en este trabajo para el nuevo número más probable (NMP) de coliformes fecales y obtener una nueva concentración de hipoclorito de sodio.
- Si el método no funciona aunque se aumente la concentración de dosificación de hipoclorito de sodio, se puede deber a baja efectividad de la dosis actual hacia la oxidación de los microorganismos. En este caso se pueden hacer dos cosas: la primera es alternar desinfectantes en el tratamiento y utilizando la matriz cualitativa calculada tomar una decisión sobre cual se puede analizar para utilizar o una carga shock. Una carga shock es cambiar la concentración bruscamente, y después regresarla a su dosis normal.

D. Módulo 4: Propuesta de sistema de tratamiento de lodos residuales evaluando el uso de los subproductos para un tratamiento de aguas residuales ordinarias

1. Operación

Equipo de trabajo:

En la planta de tratamiento se requiere principalmente equipo para el mantenimiento. Es aconsejable que se cuente con las herramientas descritas en el siguiente cuadro:

Cuadro 157. Herramientas necesarias para el mantenimiento de la planta

Herramienta	Cantidad	Uso
Carretillas de mano	2	Se utilizarán para transportar el lodo del patio de secado al almacenaje o uso.
Pala	2	Se utilizarán para mezclar el lodo y la cal en el patio de secado.
Phmetro	1	Medirá el pH del lodo luego de adicionar la cal

Equipo de protección personal:

Todo el personal de la planta debe portar el siguiente equipo:

1. Casco de seguridad
2. Mascarilla
3. Guantes para extraer muestras para laboratorio
4. Botas de hule

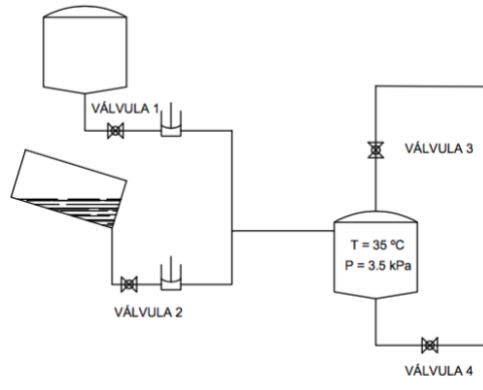
Digestor anaerobio:

Material: Concreto con recubrimiento de pintura epóxica para evitar corrosión de las paredes.

El lodo proveniente del sedimentador primario y reactor secundario se bombea por la parte superior del digestor (ver *Figura 41*).

El bombeo se realizará durante 2 horas. Para esto las válvulas 1 y 2 deben de estar abiertas. Encender las bombas.

Figura 75. Válvulas del tratamiento de lodos



El digestor tendrá una termocupla para controlar la temperatura, la cual debe de estar en un rango entre 30-38°C.

Al ser un digestor de una etapa y baja carga no requiere agitación ni calentamiento.

Se debe de dejar el lodo dentro del reactor por 30 días. Luego de este tiempo, abrir la válvula (Figura 75) y prender la bomba para poner extraer los lodos por la parte inferior del reactor.

El digestor cuenta con un fondo cónico para evitar aglomeración de material en la parte inferior.

- Si al abrir la válvula no salen los lodos, inspeccionar que no haya alguna obstrucción dentro del digestor.

Para extraer el biogás, se debe de abrir la válvula 3. Este pasará por un filtro desulfurizador y un deshidratador.

Se debe de revisar periódicamente que en el filtro desulfurizador las láminas de hidróxido de hierro se encuentren en buen estado. Si no, estas se deben de reemplazar.

En el interior del filtro deshidratador se encuentra silica gel por lo que se debe de revisar que esta no este saturada. En caso se encuentre cubierta de agua y ya no retenga el líquido es necesario reemplazarla.

Se debe de supervisar la bolsa en la que se almacena el gas, la cual es de polietileno. Se debe de inspeccionar que tenga ningún hoyo o fuga.

Lecho de secado:

Material: Concreto con arena y grava como lechos filtrantes.

Es un proceso en el cual, el lodo proveniente del reactor anaerobio de lodos pierde humedad y, por lo tanto, reduce su volumen, por medio de evaporación y filtración del agua. Esta unidad cuenta con un medio filtrante conformado por arena y grava, además de un sistema de drenaje por donde desaguan los líquidos. La arena y la grava se separa del lodo mediante una electromalla. El patio contará con una marca para establecer el nivel al que se deben de colocar los medios filtrantes.

Se debe de utilizar arena gruesa y grava media.

Preparación:

1. Se coloca la grava al fondo con una altura de 0.3 m
2. Luego se coloca una capa de 0.3 m de arena.
3. Se coloca una electromalla.
4. El lodo es bombeado a la primera cavidad del patio de secado.

Operación:

La evaporación se lleva a cabo debido a la radiación solar. El patio de secados debe estar expuesto a esta y debe tener una lámina en la parte superior para proteger el material de la lluvia. Debe de estar alejado para evitar las molestias por malos olores o vectores. Se puede rodear con arbustos para aislar el equipo.

1. El lodo permanecerá 1 día en cada cavidad. En el día 1 este es bombeado a la cavidad No.1.
2. Diariamente se debe de adicionar a cada cavidad, 11 kg de cal viva. Esta se debe de pesar y agregar directamente a los lodos. Con la ayuda de un rastrillo, mezclar con el lodo.
3. Utilizando el pHmetro medir el pH del lodo. Este debe de estar en un valor de 12.
4. Monitorear el pH durante dos horas, este se debe de mantener en un valor de 12. Si este valor disminuye, adicionar más cal y mezclar.
5. Si la cantidad de lodos producida varía, se debe adicionar 0.03kg de cal por cada kg que se aumente la producción de lodos.

6. Luego de que el lodo permaneció un día en la cavidad No. 1, un operario debe de pasar el lodo, con la ayuda de una pala a la cavidad No.2.
7. Los lodos se deben de cambiar de cavidad a diario, hasta llegar a la cavidad No.10.
8. Remover el lodo de la cavidad No.10 con la ayuda de palas y transportarlo por medio de carretillas hasta su disposición final.
9. El operador debe controlar que no haya obstrucciones en la tubería de lixiviados y que estos fluyan de manera constante. Al evaporarse el agua con el paso del tiempo, se observará una reducción en el volumen del lodo.
10. Evitar colocar sobre el lecho, lodo que no ha sido estabilizado ya que éstos pueden presentar serios problemas como malos olores y proliferación de insectos.

(Metcalf & Eddy 2003).

## 2. Mantenimiento

### Digestor anaerobio:

El mantenimiento de este equipo se basa en la limpieza del tanque. Debe de contar con una compuerta de servicio para poder vaciar el digestor, la limpieza se da cada 3-5 años.

Este contiene una termocupla y medidor de pH que debe de ser inspeccionado diariamente. En caso se llegarán a dañar, remplazar la pieza.

### Lecho de secado:

Se debe de verificar que el nivel de arena permanezca constante, si esté varía, remover el lodo e inspeccionar el lecho. Para ello seguir el siguiente procedimiento:

1. Remover electro malla utilizando guantes [SEP]
2. Reemplazar la capa de arena y piedrín utilizando una pala. Verificar que quede al nivel requerido [SEP]
3. Colocar nuevamente electro malla.
4. Verificar durante la operación que la arena no se obstruya, si se da este caso, remplazar la arena por una de mayor granulometría. (Lopera, 2014). [SEP]

Cada operario debe eliminar de inmediato las obstrucciones, fugas y reparar daños que se presenten en la estructura.

## Dibujos técnicos de los equipos

Figura 76. Dibujo técnico sistema de rejillas

Adjunto a este trabajo

Figura 77. Dibujo técnico trampa de grasas

Adjunto a este trabajo

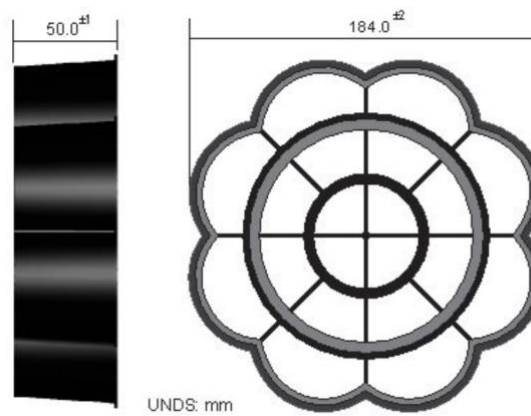
Figura 78. Dibujo técnico tanque homogeneizador

Adjunto a este trabajo

Figura 79. Dibujo técnico sedimentador primario

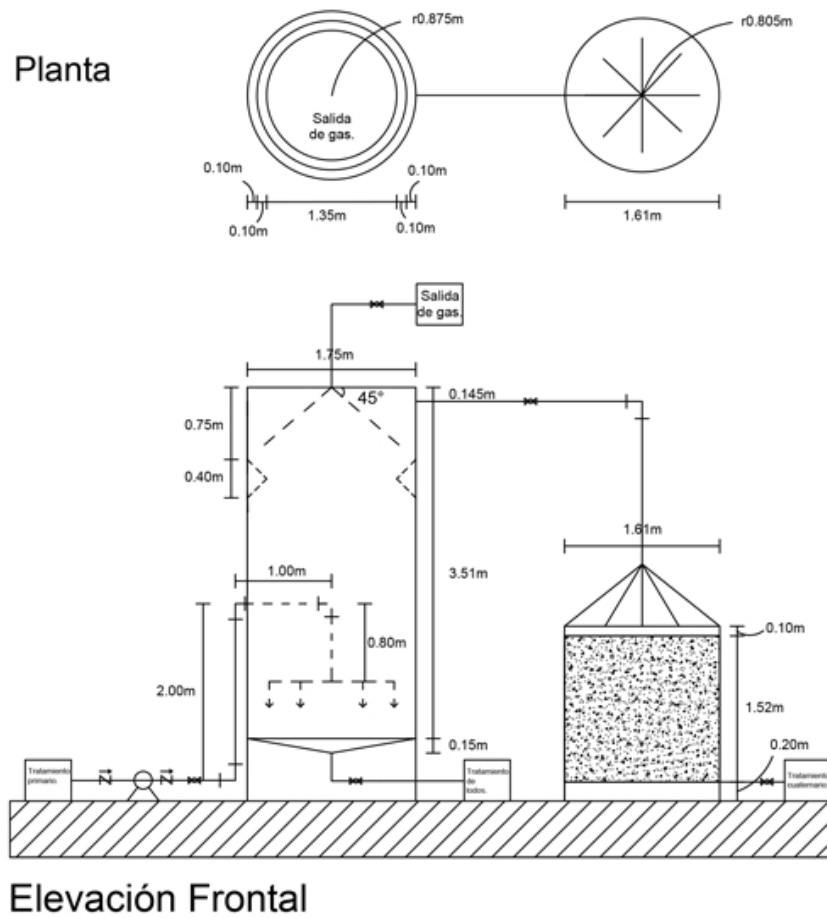
Adjunto a este trabajo

Figura 80. Medio filtrante: Rosetón de polipropileno



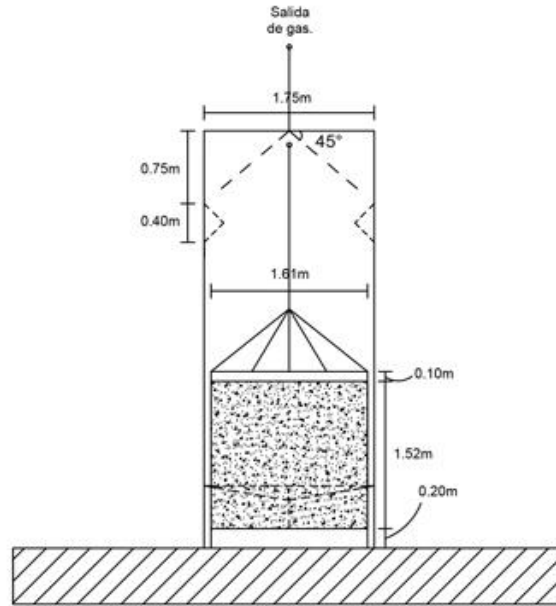
(Plásticos B&R 2017)

Figura 81. Vista de elevación y planta del tratamiento propuesto



Propietario: José Andrés Barillas Trennert	Material: Concreto	Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y filtro perco- lador.
Fecha: 30/9/2019	Escala: 1:0.67	
		Esquema 1 / 3

Figura 82. Vista de sección del tratamiento propuesto



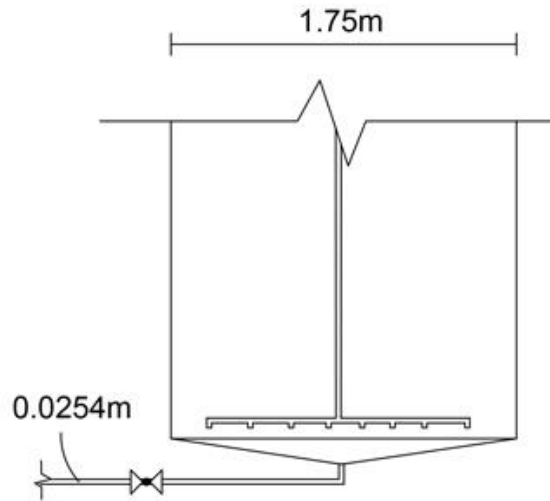
Sección

Propietario: José Andrés Barillas Trennert	Material: Concreto	Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y filtro perco- lador.
Fecha: 30/9/2019	Escala: 1:0.67	
		Esquema 2 / 3

Figura 83. Detalles de aspersores y distribución de agua del tratamiento

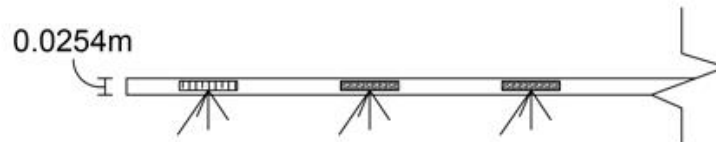
Detalle de sistema de distribución de agua.

Escala:  
1:0.38



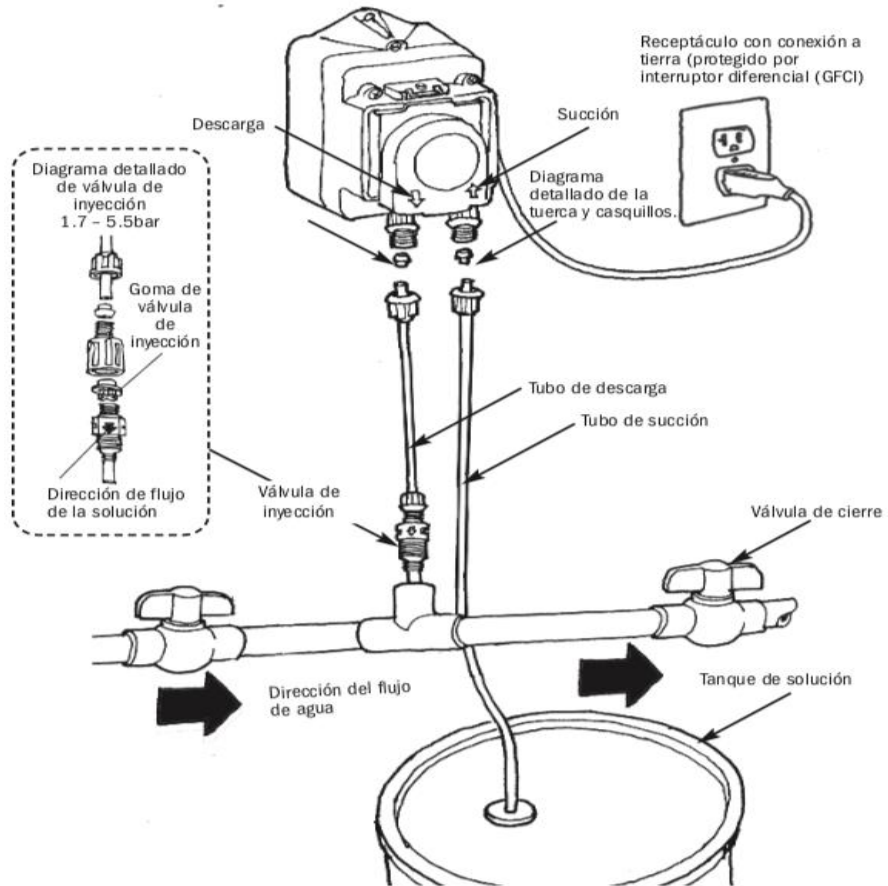
Detalle de aspersores de agua.

Escala:  
1:0.08



Propietario: José Andrés Barillas Trennert	Material: Concreto	Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y filtro perco- lador.
Fecha: 30/9/2019		
	FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA	Esquema
		3 / 3

Figura 84. Esquema de la bomba peristáltica



## ECON VX

Prefijo del Número de Parte	Tubo de Bombeo	Conjunto de Rodillos	Galones por Día	Presión psi	Litros por Día	Presión bar
E10VXB	B	White	1.2 to 14.0	25	4.5 to 52.9	1.7
E10VXA	A	White	0.8 to 7.4	25	3.0 to 28.0	1.7
E20VXC	C	White	4.4 to 38.8	25	16.6 to 146.7	1.7
E20VXB	B	White	1.6 to 24.8	25	6.0 to 93.7	1.7
E10VXH	H	Black	1.7 to 14.0	80	6.4 to 52.9	5.5
E20VXH	H	Black	2.7 to 23.5	80	10.2 to 88.8	5.5

Caudales aproximados @ 50/ 60Hz

Figura 85. Esquema detallado del motor

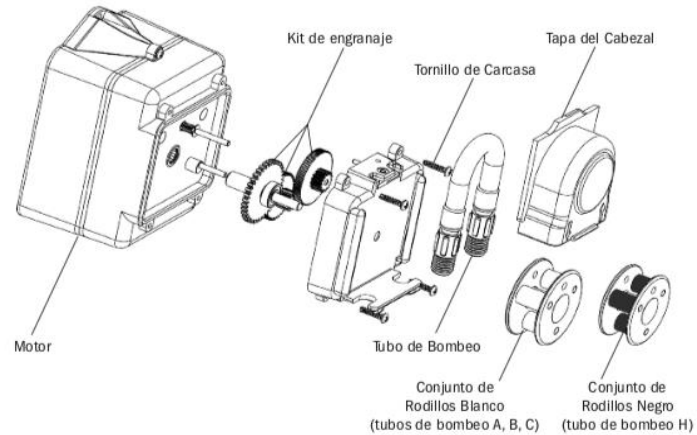
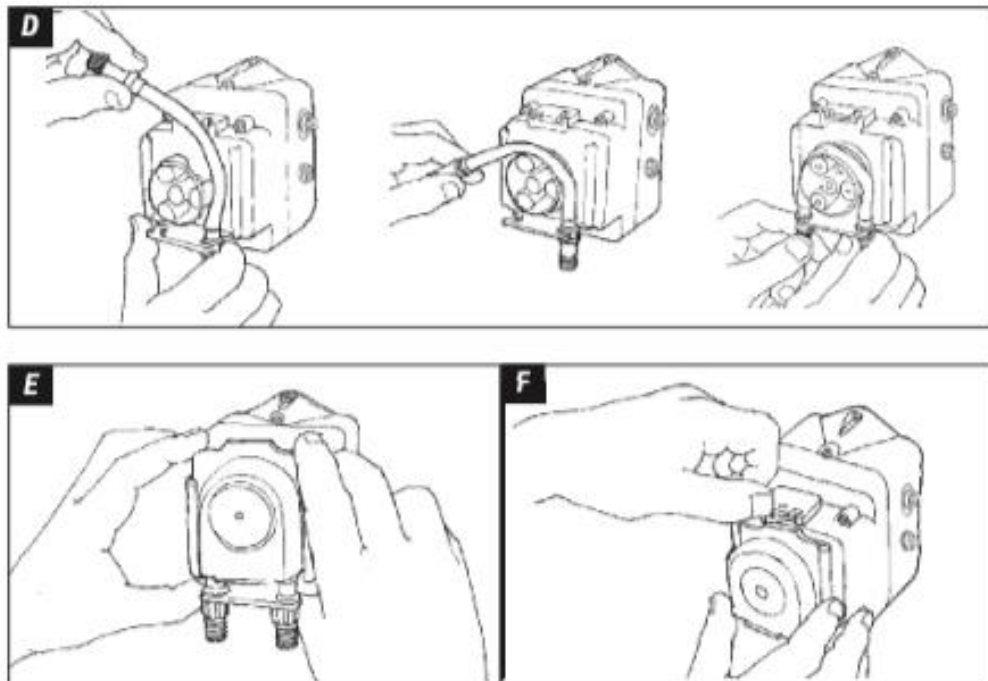


Figura 86. Diagrama de cambio de tubo



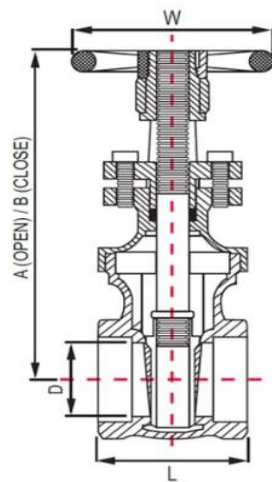
### Válvula de vástago

A la salida del tanque de contacto, se va utilizar una válvula de nivel, en este caso se va a utilizar una válvula de vástago. Esta válvula es on/off, lo que va a permitir que la bomba válvula se cierre cuando no ha llegado a su nivel mínimo el agua residual y se abra cuando llegue a su nivel máximo.

Figura 87. Válvula de Vástago que se propone utilizar



Figura 88. Especificaciones de la válvula



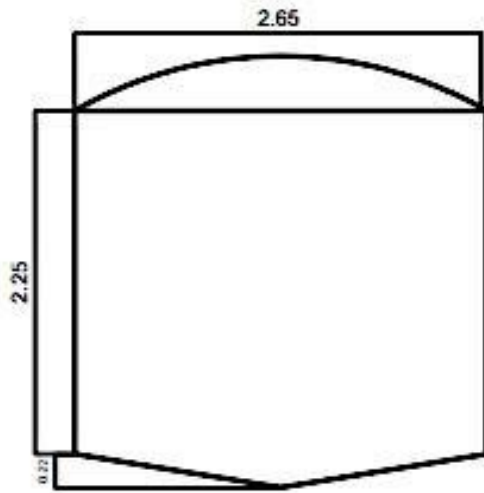
PART	SPECIFICATION
Set Screw	Hardened Steel
Handwheel	Cast Iron
Gland Bolts	Steel ASTM A307 plated
Yoke Bushing	Brass
Packing Gland	Bronze
Packing	Graphite
Bonnet	Bronze C83600
Stem	Brass
Wedge	Bronze C38600
Body	Bronze C83600

Dimensions (Inches)

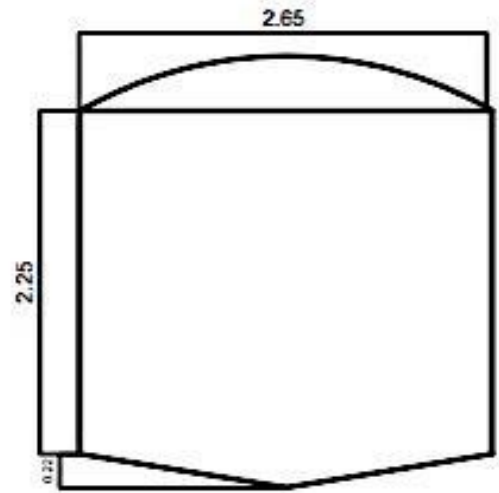
SIZE	A	B	L	D	W
1"	7.74"	6.42"	2.72"	1.00"	3.15"
1-1/4"	8.69"	7.15"	2.95"	1.25"	3.15"
1-1/2"	9.57"	7.76"	3.23"	1.50"	3.94"
2"	10.87"	8.94"	3.57"	2.00"	4.73"

(Industrias Especializadas Oliva)

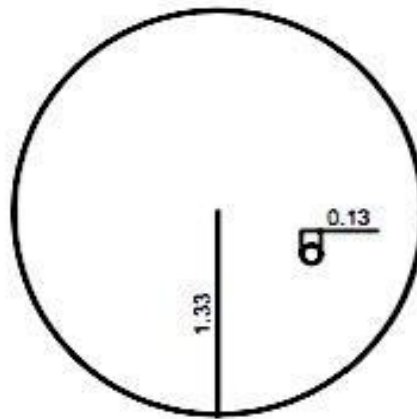
Figura 89. Vistas del reactor anaerobio.



Vista lateral

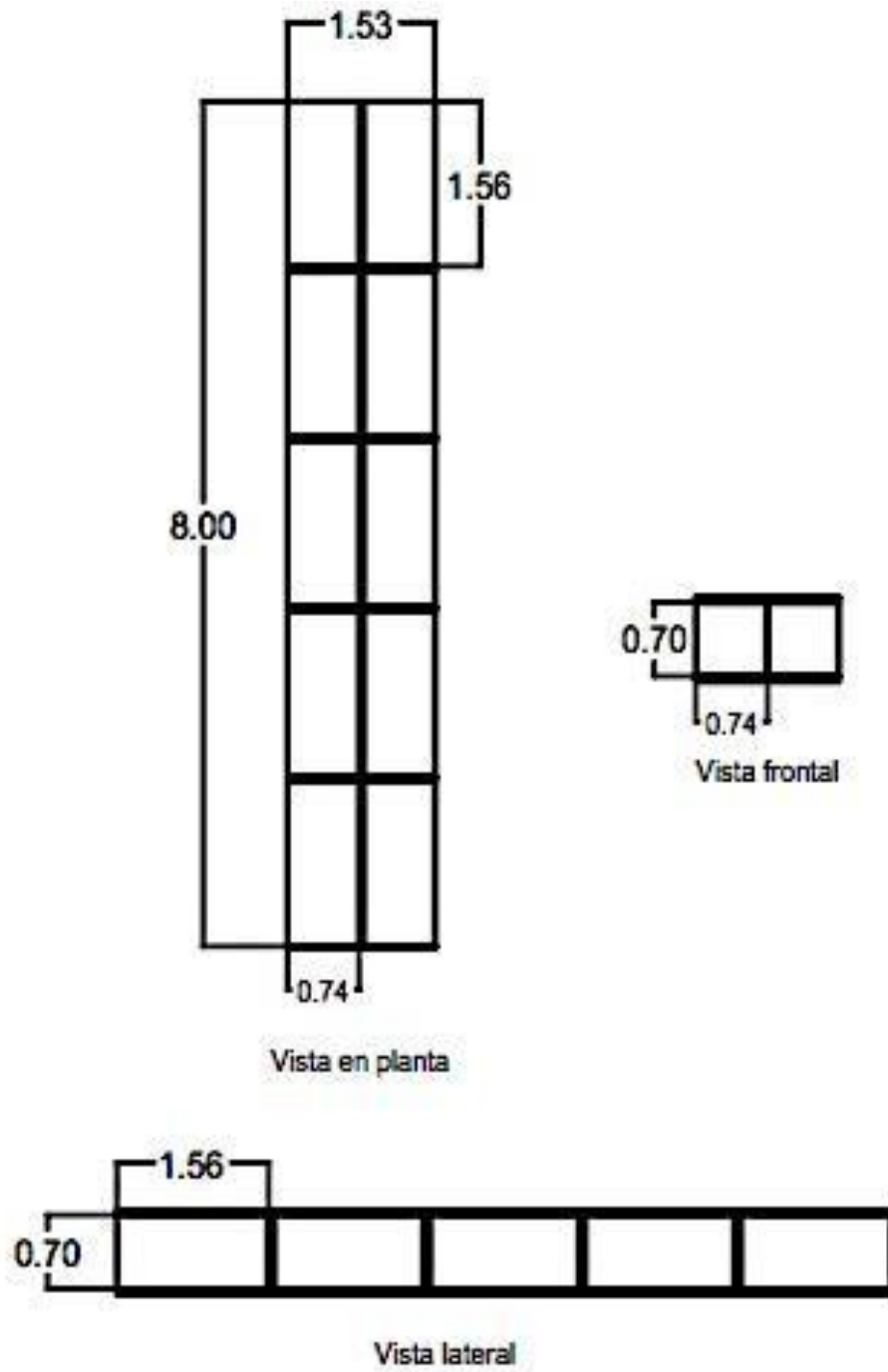


Vista frontal



Vista en planta

Figura 90. Vistas del patio de secado de lodos.



## Imágenes de metodología

Figura 91. Análisis de DQO y Nitrógeno



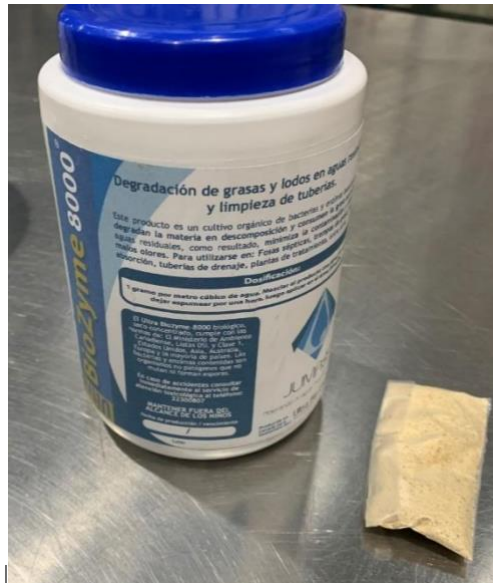
Elaboración propia por Jose Andrés Barillas Trennert 2020

Figura 92. Análisis de DBO5



Elaboración propia por Jose Andrés Barillas Trennert 2020

Figura 93. Presentación de BIOZYME 8000



Elaboración propia por Jose Andrés Barillas Trennert 2020

Figura 94. Presentación de ENZIPLUS



Elaboración propia por Jose Andrés Barillas Trennert 2020

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: UVG  
Responsable: Srta. Gabriela Barillas  
Dirección: 18 avenida 11-95 zona 15, Vista Hermosa III

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	UVG	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Desagüe	Responsable del muestreo:	LUIS TAX
Fecha de monitoreo:	23 de julio de 2019	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	14:20	Recipiente utilizado:	Bolsa estéril
Tipo de muestra:	Agua residual ordinaria	Método de muestreo:	PRO19-MUE
Código de muestra:	19-3804-1	Método de preservación:	INS04-MUE
Lote:	19-3804	Ubicación:	N 14°36'15.1" O 90°29'22.0"

### Datos de Laboratorio

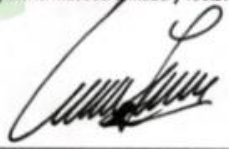
Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 23 de julio de 2019  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 16:50  
Fecha de informe: 31 de julio de 2019

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	Método de análisis <sup>(2)</sup>
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.8	9,200,000	STM 9221 C y E

(1) NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

El presente resultado es válido únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Ing. Erick López Estrada  
Ingeniero Químico Industrial  
Colegiado No. 2152

E. Recuento de coliformes fecales, UFC, en las placas petrifilm.

Figura 95. Placa petrifilm después de introducirle una muestra de agua residual, proveniente de la fosa séptica de la Universidad del Valle de Guatemala a una dilución 1:100.

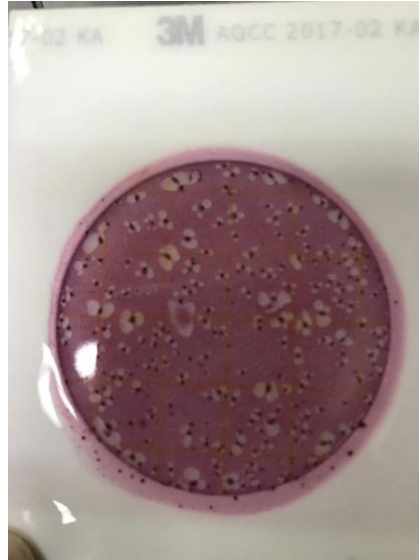

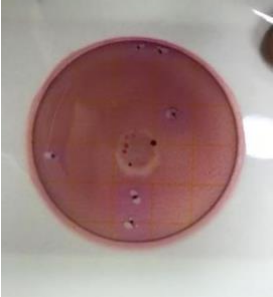




Figura 96. Método que se utilizó para contar la cantidad de UFC que existían en cada placa. Esta placa es la misma que se muestra arriba, en este caso el valor obtenido fue de 12,000 UFC.

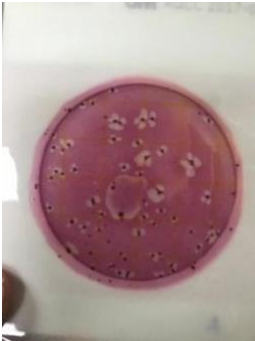

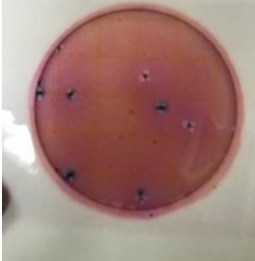


Cuadro 158. Recuento de coliformes fecales en las placas petrfilm, para las aguas residuales provenientes de la Universidad del Valle de Guatemala. Utilizando con desinfectante hipoclorito de sodio..

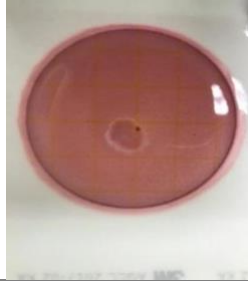
Concentración (ppm)	Recuento	UFC/mL	Reducción porcentual
5		25 ± 2	99.73 ± 0.03 %
6		6 ± 1	99.95 ± 0.01 %
7		0 ± 1	100 ± 0.01 %
8		0 ± 1	100 ± 0.01 %

Los valores mostrados en UFC/mL y de remoción porcentual son el resultado del promedio y desviación estándar de las mediciones en triplicado.

Cuadro 159. Recuento de coliformes fecales en las placas petrfilm, para las aguas residuales provenientes de la Universidad del Valle de Guatemala. Utilizando con desinfectante hipoclorito de calcio

Concentración (ppm)	Recuento	UFC/mL	Reducción porcentual
5		$45 \pm 2$	$99.63 \pm 0.03 \%$
6		$33 \pm 1$	$99.79 \pm 0.01 \%$
7		$3 \pm 1$	$99.98 \pm 0.01 \%$

8

 $0 \pm 1$  $100 \pm 0.01 \%$ 

Estos valores son la media del triplicado que se le hizo a cada muestra.

## F. Procedimiento para recuento de coliformes en placas petrifilm

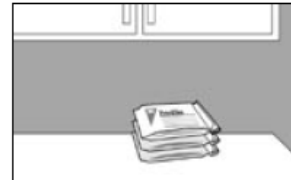
### Almacenamiento



**1** Almacene los paquetes cerrados a una temperatura  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 46^{\circ}\text{F}$ ). Las placas deben usarse antes de su fecha de caducidad. En áreas de alta humedad, donde la condensación puede ser un inconveniente, es recomendable que los paquetes se atemperen al ambiente del lugar de trabajo antes de abrirlos. Las Placas Petrifilm tienen un tiempo de vida útil de 18 meses desde su fecha de elaboración. Observe la fecha de caducidad en la parte superior de la placa.



**2** Para cerrar un paquete abierto, doble el extremo y séllelo con cinta adhesiva para evitar el ingreso de humedad y, por lo tanto, la alteración de las placas.



**3** Mantenga los paquetes cerrados (según se indica en el punto 2) a temperatura  $\leq 25^{\circ}\text{C}$  ( $577^{\circ}\text{F}$ ) y una humedad relativa  $\leq 50\%$ . **No refrigere** los paquetes que ya hayan sido abiertos. Utilice las Placas Petrifilm máximo un mes después de abierto el paquete.

### Preparación de la muestra



**4** Prepare una dilución de una muestra de alimento.\* Pese o pipete la muestra en un recipiente adecuado, como una bolsa Stomacher, una botella de dilución o cualquier otro contenedor estéril apropiado. \*Vea las indicaciones para Productos Lácteos y Jugos.



**5** Adicione la cantidad apropiada de uno de los siguientes diluyentes estériles: tampón Butterfield (tampón IDF fosfato, 0.0425 g/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y con pH ajustado a 7.2); agua de peptonada al 0.1%; diluyente de sal peptonada (método ISO 6887); buffer de agua peptonada (método ISO 6579); solución salina (0.85 a 0.90%); caldo letheen libre de bisulfato o agua destilada.



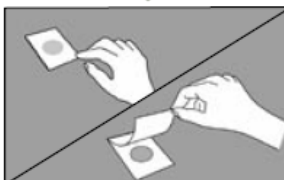
**6** Mezcle u homogenice la muestra mediante los métodos usuales.

Ajuste el pH de la muestra diluida entre 6.6 y 7.2:

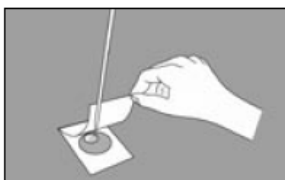
- Para productos ácidos: use solución 1N de NaOH.
- Para productos básicos: use solución 1N de HCl.

No utilice buffers que contengan citrato, bisulfito o tiosulfato de sodio, porque pueden inhibir el crecimiento.

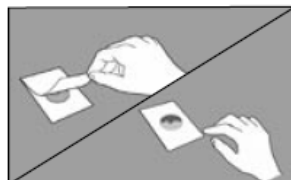
### Inoculación



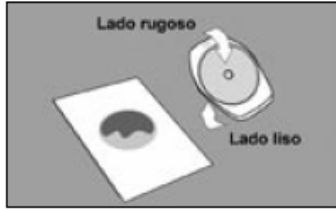
**7** Coloque la Placa Petrifilm en una superficie plana y nivelada. Levante la película superior.



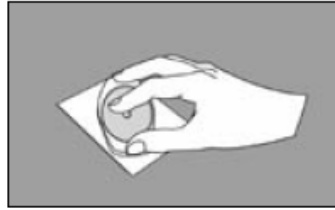
**8** Con la Pipeta Electrónica 3M™, o una pipeta equivalente perpendicular a la Placa Petrifilm, coloque 1 mL de la muestra en el centro de la película inferior.



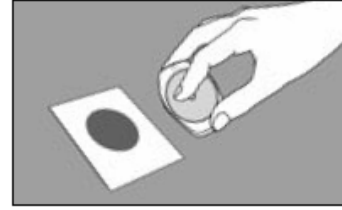
**9** Baje con cuidado la película superior para evitar que atrape burbujas de aire. **No la deje caer.**



**10** Con el lado **liso** hacia abajo, coloque el dispersor en la película superior sobre el inóculo.

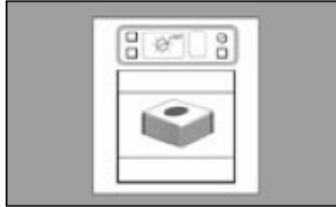


**11** Presione **suavemente** el dispersor para distribuir el inóculo sobre el área circular. No gire Ni deslice el dispersor.



**12** Levante el dispersor. Espere, por lo menos un minuto, a que solidifique el gel.

### Incubación



**13** Incube las placas cara arriba en grupos de no más de 20 piezas. Puede ser necesario humectar el ambiente de la incubadora con un pequeño recipiente con agua estéril, para minimizar la pérdida de humedad.

### Interpretación



**14** Las Placas Petrifilm pueden ser contadas en un contador de colonias estándar u otro tipo de lupa con luz. Consulte la Guía de Interpretación para leer los resultados.



**15** Las colonias pueden ser aisladas para su posterior identificación. Levante la película superior y tome la colonia del gel.

El tiempo de incubación y la temperatura varían según el método.  
Los métodos aprobados más conocidos son:

• **AOAC método oficial 991.14**

Para coliformes:  
Incubar 24 h  $\pm$  2 h a 35 °C  $\pm$  1 °C.  
Para *E. coli*:  
Incubar 48 h  $\pm$  2 h a 35 °C  $\pm$  1 °C.

• **AOAC método oficial 996.08**

Para *E. coli* (carnes, aves, marinos):  
Incubar 24 h  $\pm$  2 h a 35 °C  $\pm$  1 °C.

• **Método NMKL (147.1993)**

Para coliformes:  
Incubar 24 h  $\pm$  2 h a 37 °C  $\pm$  1 °C.  
Para *E. coli*:  
Incubar 48 h  $\pm$  2 h a 37 °C  $\pm$  1 °C.

### Comentarios adicionales

- Nota: Recuerde inocular y poner el aplicador antes de pasar a la siguiente placa.
- Para contactar localmente a 3M Microbiología en Latinoamérica, visítenos en nuestra página de internet: [www.3M.com/microbiology](http://www.3M.com/microbiology)
- Para servicio técnico en Latinoamérica, contacte la dirección [serviciotecnomicro@mmm.com](mailto:serviciotecnomicro@mmm.com) o llame al 5255-5270-2223.

Tomado de: (3M, 2006)

## INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

INTERESADO: JARILEEN RUCAL	DOC. ACIL-1743-19
FINCA: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	PROF.
MUESTRA: LODO 1	FECHA: 18-10-2019

NUTRIENTES	base humeda
Nitrógeno N-total (g/kg)	1.73
Fósforo P (g/kg)	0.38
Potasio K (g/kg)	0.07
Calcio Ca (g/kg)	1.97
Magnesio Mg (g/kg)	0.12
Azufre S (g/kg)	0.14
Sodio Na (g/kg)	0.02
Hierro Fe (mg/kg)	3600.00
Cobre Cu (mg/kg)	<0.01
Manganeso Mn (mg/kg)	<0.01
Zinc Zn (mg/kg)	<0.01
Boro B (mg/kg)	<0.01
pH	12.49
C.c. (mS/m)	1.01
Materia Orgánica (%)	32.46
C/N	18.82
Humedad (%)	82.75

Ref. 19-1506

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.

Ing. Agr. María Margarita Hurtarte  
 Especialista en Análisis de suelos, plantas y  
 Fisiología Vegetal

## XIII. GLOSARIO

1. Afluente: agua captada por un ente generador
2. Agua residual: agua utilizada con características modificadas por el proceso en el que fue utilizada
3. Aguas residuales especiales: aguas generadas por actividades industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias.
4. Aguas residuales ordinarias: aguas residuales de origen doméstico.
5. Alcantarillado pluvial: tuberías y canales diseñados para recolectar agua de lluvia.
6. Alcantarillado público: tuberías y canales utilizados por la municipalidad para recolectar aguas residuales ordinarias o especiales.
7. ARIMA: modelo econométrico autorregresivo integrado de media móvil para la predicción de valores a partir de datos pasados sin estacionalidad.
8. Caudal de diseño: caudal utilizado máximo para el diseño de una planta de tratamiento.
9. Caracterización de efluente: determinación de características fisicoquímicas y biológicas del agua residual.
10. Caudal: volumen de agua por unidad de tiempo
11. Cribado: Operación unitaria que consiste en la remoción de sólidos grandes del agua residual sin tratar mediante el uso de rejillas.
12. Efluente: Líquido de descarga de un proceso unitario por un ente generador.
13. Ente generador: persona pública o privada generadora de aguas residuales.
14. Homogeneización: Operación unitaria que consiste en la retención temporal del flujo de agua para mantener un flujo y composición constante de sólidos suspendidos y demanda biológica de oxígeno.
15. Lodos: sólidos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales.
16. Operaciones unitarias: Operaciones utilizadas para el tratamiento de agua residual por medios físicos o químicos.
17. Parámetro: Factor que puede medirse
18. Sedimentación primaria: Operación unitaria utilizada para la remoción de sólidos sedimentables y material flotante para reducir los sólidos suspendidos del agua residual.
19. Sólidos: Material que puede removerse del agua residual mediante procesos físicos

20. Tanque de sedimentación: Equipos que reciben aguas residuales crudas previo al tratamiento biológico.
21. Tratamiento preliminar: Operaciones unitarias involucradas con la remoción de sólidos de gran tamaño, grasas y aceites que puedan dañar los equipos de posteriores tratamientos de agua residual.
22. Tratamiento primario: Remoción de una porción de los sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual.
23. NMP: es una medida del número que existen de coliformes fecales en el fluido que se está analizando. Esta medida es utilizada por el Acuerdo Gubernativo.