

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

Informe de proyecto de trabajo final de graduación para optar por el
grado de licenciatura en Ingeniería Química

**“Evaluación del Sistema Actual de Pretratamiento de
Aguas Residuales del Laboratorio de Soluciones
Parenterales de la Caja Costarricense del Seguro Social”**

Natalia Mora Mendoza

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2017

COMITÉ ASESOR

Proyecto de graduación presentado a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química.

Sustentante

Natalia Mora Mendoza

Aprobado por:



PhD. Esteban Durán
Presidente del tribunal
Director, Escuela de Ingeniería Química, UCR.



Ing. Erick Solano Carmona
Director del proyecto
Profesor, Escuela de Ingeniería Química,
UCR.



Ing. Rodolfo Watson Gómez
Miembro lector
Profesor, Escuela de Ingeniería Química,
UCR.



Ing. Randal Herrera Muñoz
Miembro lector
Director, Laboratorio de Soluciones
Parenterales, CCSS.



Ing. Allan Mora Vindas
Miembro lector invitado
Profesor, Escuela de Ingeniería Química,
UCR.

Epígrafe

“Si mañana por la mañana pudieses hacer agua limpia para el mundo, habrías hecho lo mejor que puedes hacer para mejorar la salud humana y la calidad medioambiental.”

-William C. Clark.

Dedicatoria

A mis guías Mami y Papi,

A mis cómplices Hazel y Juan Diego,

A mis Abuelos.

Agradecimientos

Expreso mi más sincera gratitud a las siguientes personas por haber colaborado en la realización de este Proyecto

Al Ing. Randall Herrera y al Lic. Gerardo Chacón, por darme la oportunidad de trabajar en L.S.P y confiar en mi persona.

Al Lic. Allan Quesada Rojas por haber compartido sus conocimientos y valioso tiempo conmigo.

A Pamela Mora, a Juan y a Jorge por asistirme durante el periodo de muestreo.

A la Lic. María Chacón, Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA.

A la Ing. Paula Solano, Laboratorio de Ambiental.

Al Lic. Víctor Quirós, CICA.

Al Ing. Luis Mora Acuña

Al Ing. Fernando González Ch.

Resumen

El Laboratorio de Soluciones Parenterales (L.S.P) pertenece a la Dirección de Producción Industrial de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), y se encarga de la producción de sueros y soluciones para hemodiálisis. Actualmente el Laboratorio cuenta con un sedimentador que sería el tratamiento primario para tratar las aguas residuales que se generan en el proceso de producción; no obstante, existe un desconocimiento por parte del personal del L.S.P sobre el verdadero estado del sistema de tratamiento y si este cumple con su función de forma efectiva, debido a que en ocasiones el sistema genera olores e irregularidades que afectan el entorno del Laboratorio.

Dadas las condiciones mencionadas anteriormente el presente proyecto buscó determinar el estado real de las aguas residuales del afluente y del efluente del sedimentador mediante una caracterización de dichas corrientes, con el fin de entender el proceso de tratamiento de las aguas residuales para así poder dar recomendaciones técnicas que garanticen el tratamiento efectivo de las aguas que genera el Laboratorio y que exista, en el personal, un entendimiento de las condiciones de operación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residual (STAR).

La primera etapa del proyecto consistió en estudiar el proceso productivo del L.S.P para posteriormente realizar un análisis de las condiciones de operación del sedimentador. Una vez entendidos los procedimientos que se llevan en los procesos mencionados, se trazó la metodología de muestreo con el objetivo de determinar los escenarios que permitirían un muestreo representativo de la realidad del Laboratorio.

La caracterización de las aguas residuales que se generan en el proceso de producción, la determinación de las corrientes que llegan al STAR y la caracterización del afluente y efluente permitieron conocer los distintos escenarios a los que se ve sometido el sedimentador; determinar la calidad de las aguas tanto a la entrada y la salida del mismo y cómo el tratamiento está afectando las aguas residuales tratadas.

Mediante un análisis estadístico de correlaciones múltiples de los parámetros medidos in situ se logró determinar con una confianza del 95 % que no existe una diferencia significativa entre las aguas del afluente y efluente del sedimentador, y que además existe un factor no medible que explica el 30 % de la variabilidad observada.

Para establecer conclusiones y recomendaciones el proyecto se basó principalmente en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales Decreto N° 33601 y en el Manual de Operación del Sistema de Pretratamiento de Aguas Residuales de Proceso del Laboratorio de Soluciones Parenterales.

El estudio permitió concluir que el sedimentador se encuentra operando en condiciones distintas para las que fue diseñado dando como resultado un tratamiento insuficiente principalmente cuando el producto en proceso contiene dextrosa, siendo el DBO y el DQO los parámetros que evidencian un mayor impacto en el sistema.

Por lo que se recomienda volver al concepto de diseño brindado en el Manual de Operación del Sedimentador. Para ello se deben separar las aguas grises y de mantenimiento de las aguas de proceso e implementar un sistema de recuperación de residuos a fin de disminuir la carga contaminante que llega al sedimentador.

Como parte de la importancia del manejo adecuado del recurso hídrico se planteó el uso de un Manual de Buenas Prácticas de Manejo del Recurso Hídrico.

Índice General

Capítulo 1.....	3
Propuesta de proyecto.....	3
1.1 Estado de la Cuestión.....	3
1.1.1. Descripción de la Empresa.....	3
1.1.2 Tratamiento de las aguas residuales.....	4
1.1.3 Delimitación del proyecto.....	6
1.1.4 Problema.....	6
1.2. Objetivo General.....	6
1.3. Objetivos Específicos.....	7
2 Capítulo 2.....	9
Marco Teórico.....	9
2.1. Marco legal.....	9
2.1.1 Ley de aguas, No.276 del 26 de agosto de 1942.....	9
2.1.2 Ley General de la Salud, No.5395 del 30 octubre de 1973.....	9
2.1.3 Reglamento de aprobación y operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (Decreto N° 31545-S-MINAE del 22 de diciembre del 2003).....	9
2.1.4 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (Decreto N°-33601-MINAE-S del 19 marzo del 2007).....	10
2.1.5 Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos (Decreto N° 34431-MINAE-S del 17 de abril del 2008).....	10
2.2. Industria Farmacéutica.....	11
2.2.1. Contaminación acuosa.....	11
2.3. Caracterización de aguas residuales.....	12
2.3.1. Aguas Residuales.....	12
2.3.2. Parámetros de calidad del agua.....	12
2.3.3. Parámetros de caracterización de aguas.....	14

2.4.	Sistemas de Tratamiento de aguas residuales	20
2.4.1.	Nivel de Tratamiento.....	21
2.4.2.	Muestreo y análisis periódicos de los STAR	23
2.5.	Muestreo de Aguas Residuales	24
2.5.1.	Colección de información.....	26
2.5.2.	Cantidad de muestras.....	26
2.6.	Conciencia Ambiental	27
2.6.1.	Manual de Buenas Prácticas	27
3.	Capítulo 3.	29
	Metodología	29
3.1.	Plan de trabajo	29
3.1.1.	Análisis preliminar (Fase 1).	29
3.1.2.	Metodología de muestreo (Fase 2).	31
3.2.	Análisis de Datos	34
3.3.	Materiales y Equipos	35
3.4.	Análisis de Laboratorio	35
3.5.	Variables de estudio	36
3.6.	Diagrama Experimental	36
4.	Capítulo 4.	37
	Análisis de Resultados.....	37
4.1.	Análisis caracterización de aguas.....	37
4.2.	Análisis Estadístico.....	46
4.3.	Laboratorio de Soluciones Parenterales y Sistema de Pretratamiento.....	49
4.4.	Consumo del recurso hídrico	54
4.5.	Mejora al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	55
4.5.1.	Criterios de Diseño del Sedimentador	56
4.5.2.	Propuesta rediseño del sistema de tratamiento	57

5. Capítulo 5.....	59
Conclusiones y Recomendaciones Técnicas	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones Técnicas.....	60
Capítulo 6	63
6. Manual de Buenas Prácticas del Recurso Hídrico	63
6.1. Introducción.....	63
6.2. Algunos Conceptos importantes	63
6.2.1. Producción más limpia.....	63
6.2.2. Usos del agua en las organizaciones	64
6.2.3. Indicadores de desempeño.....	64
6.3. Estrategias para el Ahorro de Agua	65
6.3.1. Etapa 1	65
6.3.2. Etapa 2.....	65
6.3.3. Etapa 3.....	67
6.3.4. Etapa 4	68
6.3.5. Etapa 5.....	68
6.4. Concientización	68
6.5. Indicadores de desempeño.....	69
7. Bibliografía.....	71
Nomenclatura	75
Apéndices.....	77
A. Datos Experimentales.....	79
B. Resultados Intermedios	105
C. Muestra de Cálculo	107
C.1. Cálculo del tiempo de retención en el sedimentador.	107
C.2. Cálculo de la biodegradabilidad de las aguas.....	107

Anexos	109
Anexo 1. Listado de productos que se fabrican el L.S.P	111
Anexo 2. Productos fabricados en el Laboratorio de Soluciones Parenterales.....	113
Anexo 3. Planos constructivos del sedimentador del L.S.P.....	117
Anexo 5. Diagrama de transporte del agua del L.S.P	121
Anexo 6. Caudales	123
Anexo 7. Determinación de Sólidos Sedimentables.....	125
Anexo 8. Dureza del Agua	127
Anexo 9. Conductividades acuosas a 25 °C	129
Anexo 10. Parámetros de Vertido medidos de las aguas a tratar según caracterización realizada por el Laboratorio AQYLASA.....	131
Anexo 11. Registro de desperdicio de producto mayo-setiembre del 2016.....	133
Anexo 12. Cuadro para la estimación de litros consumidos por mes en el sector público costarricense.	135
Anexo 13. Resultados Laboratorio de Análisis Ambiental, UNA.....	137
Anexo 14. Resultados Laboratorios Lambda, S.A.	139
.....	141

Índice de cuadros

Cuadro 1.1. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.	13
Cuadro 2.1. Frecuencias mínimas de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo especial ..	24
Cuadro 2. 2. Clases de muestreo (Alberro, 2011).	26
Cuadro 3.1. Parámetros de caracterización de las aguas que conforman el afluente del STAR del L.S.P.	30
Cuadro 3.2. Plan de muestreo para el mes de mayo y junio del 2016.	32
Cuadro 3.3. Muestreo segundas pruebas de DBO y DQO en el mes de setiembre del 2016.	33
Cuadro 3.4.Puntos de recolección de muestras	33
Cuadro 3. 5. Equipo experimental utilizado en las mediciones de campo.	35
Cuadro 4.1. Estadísticos prueba de hipótesis	47
Cuadro 4.2. Matriz de correlaciones utilizando los parámetros medidos in situ.	48
Cuadro 4.3. Cargas factoriales para los factores medidos in situ	49
Cuadro A 1.Datos medición de parámetros en el afluente el 3 de mayo, 2016.	79
Cuadro A 2. Datos medición de parámetros en el afluente el 4 de mayo, 2016.	79
Cuadro A 3. Datos medición de parámetros en el afluente el 10 de mayo, 2016.	79
Cuadro A 4. Datos medición de parámetros en el afluente el 16 de mayo, 2016.	80
Cuadro A 5. Datos medición de parámetros en el afluente el 24 de mayo, 2016.	80
Cuadro A 6. Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.	81
Cuadro A.7. Datos medición de parámetros en el afluente el 25 de mayo, 2016.	87
Cuadro A.8. Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.	87
Cuadro A 9. Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de mayo, 2016.	92
Cuadro A 10. Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de junio, 2016.	93
Cuadro A.11. Datos medición de parámetros en el afluente el 1 de setiembre, 2016.....	94
Cuadro A.12. Datos medición de parámetros en el afluente el 2 de setiembre, 2016.....	95
Cuadro A.13. Datos medición de parámetros en el efluente el 03 de mayo, 2016.	95
Cuadro A.14. Datos medición de parámetros en el efluente el 04 de mayo, 2016.	95

Cuadro A.15. Datos medición de parámetros en el efluente el 10 de mayo, 2016.	96
Cuadro A.16. Datos medición de parámetros en el efluente el 16 de mayo, 2016.	96
Cuadro A.17. Datos medición de parámetros en el efluente el 24 de mayo, 2016.	96
Cuadro A.18. Datos medición de parámetros en el efluente el 25 de mayo, 2016.	97
Cuadro A.19. Datos medición de parámetros en el efluente el 30 de mayo, 2016.	98
Cuadro A.20. Datos medición de parámetros en el efluente el 02 de junio, 2016.	99
Cuadro A.21. Datos medición de parámetros en el efluente el 1 de setiembre, 2016.	100
Cuadro A.22. Datos medición de parámetros en el efluente el 2 de setiembre, 2016.	101
Cuadro A.23. Datos Sólidos Totales	101
Cuadro A.24. Datos Sólidos Sedimentables.	102
Cuadro A.25. Sólidos Suspendedos Totales.	102
Cuadro A.26. Resultados de análisis químicos de las aguas que conforman el afluente del STAR del Laboratorio de Soluciones Parenterales, 2 de junio del 2016.	103
Cuadro A.27. Resultados de análisis químicos de las aguas que conforman el afluente del STAR del Laboratorio de Soluciones Parenterales, 1 y 2 de setiembre del 2016.	104
Cuadro B.1. Biodegradabilidad de las aguas involucradas en el proceso de producción del Laboratorio de Soluciones Parenterales.	105
Cuadro B.2. Biodegradabilidad del afluente y efluente del sedimentador del Laboratorio de Soluciones Parenterales.	105
Cuadro 1. Listado de Productos que se fabrican en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la CCSS.	111
Cuadro 2. Aplicación de los sueros producidos en el L.S.P	113
Cuadro 3. Dimensiones del sedimentador	119
Cuadro 4. Caudales de Consumo de agua del área de producción del Laboratorio de Soluciones Parenterales.	123
Cuadro 5. Dureza del agua según la conductividad.	127
Cuadro 6. Conductividades acuosas reportadas a una temperatura de 25 °C.	129
Cuadro 7. Volumen de producto desechado correspondiente a los días de muestreo.	133
Cuadro 8. Estimación de litros consumidos por mes.	135

Índice de figuras

Figura 2. 1.Ejemplo de una prueba de DBO durante 5 días (Von Sperling, 2012).	15
Figura 2. 2.Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales	18
Figura 2.3.Esquema típico del tratamiento preliminar.	21
Figura 2. 4. Esquema de un sedimentador rectangular de flujo horizontal. a) Vista lateral. b) Vista superior (Ramalho, 1993).....	22
Figura 3. 1.Diagrama de operaciones del proceso de producción del L.S.P	30
Figura 3. 2. Puntos de muestreo: (a) afluente del sedimentador. (b) efluente del sedimentador... 36	
Figura 4.1. Muestras de sólidos totales del día 3 de mayo. a) Afluente, b) Primera sección del sedimentador, c) Efluente.....	38
Figura 4. 2.Promedio de sólidos totales.....	38
Figura 4.3.Variación de la turbiedad con respecto al tiempo, 03 de mayo.	40
Figura 4.4. Variación de la turbiedad con respecto al tiempo, 2 de junio.....	41
Figura 4.5.Comportamiento de la temperatura en el sedimentador.	42
Figura 4.6. Medición de conductividad y sólidos disueltos totales en el afluente del sedimentador.	43
Figura 4.7. a) Valores mínimos de conductividad en el efluente del STAR b) Valores máximos de conductividad en el efluente del STAR.....	44
Figura 4 8.Comparación del DBO del efluente y el afluente del sedimentador.	45
Figura 4.9. Corrientes de agua que llegan al sedimentador.	52
Figura 4.10. Porcentaje de las corrientes que conforman la totalidad del afluente del sedimentador.	54
Figura 1.Diagrama de transporte del agua.....	121
Figura 2.Determinación de sólidos sedimentables :(a) Afluente; (b) Proceso Esterilización; (c) Entrada Sedimentador; (d) Efluente.	125
Figura 3. Parámetros de Vertido medidos de las aguas a tratar en los que se basó el diseño del STAR del L.S.P. (Quesada , 2010).....	131

Introducción

En la actualidad el tema ambiental representa un alto costo a nivel monetario para las industrias y un alto costo al planeta, pues día a día nos enfrentamos al cambio climático producto de la contaminación ambiental.

En todo el mundo se calcula que se vierten dos millones de toneladas de desechos que contaminan 2000 millones de toneladas de agua diariamente y se prevé que la situación empeorará en los próximos 35 años. Y es que las cifras son alarmantes, cerca de 4 millones de personas mueren cada año de enfermedades cuyo vector es el agua, además, el 41% de la población mundial carece de un acceso de saneamiento adecuado; el 54% del agua dulce disponible en ríos ya pertenece a los seres humanos y más de la mitad de los humedales del mundo han desaparecido, en los últimos 50 años. Cada año se acumulan entre 300 millones y 500 millones de toneladas de metales pesados, disolventes, lodos tóxicos y otros desechos contaminantes provenientes de la industria en ríos y mares (Corcoran, 2010).

Costa Rica es un país conocido actualmente por estar catalogado como una de las naciones “verdes” del mundo, y para mantener este título debe luchar en todas las direcciones, controlando el destino y la composición de los residuos sólidos, de las emisiones de gases y de las aguas residuales. Por lo tanto debe hacer cumplir las leyes y reglamentos que regulan el marco ambiental en el país. Y que mejor ejemplo, para incentivar el cuidado del ambiente, que hacerlo desde las instituciones del Estado.

El L.S.P actualmente se encuentra haciendo un esfuerzo por mejorar las condiciones ambientales de la institución y, es por esto, que se requiere un análisis del funcionamiento del sistema de pre tratamiento de aguas residuales con que cuenta la institución, debido a que en éste se presentan una serie de irregularidades que causan preocupación a la gerencia del Laboratorio (Herrera, 2015).

Las aguas residuales son responsabilidad de quien las genera, pero el agua es responsabilidad de todos, bajo este contexto es necesario que el laboratorio cuente con un Manual de Buenas Prácticas de Manejo del Agua, con el objetivo de capacitar a los trabajadores del laboratorio, fomentando en estos el consumo racional del agua y la importancia del adecuado tratamiento de ésta.

Capítulo 1.

Propuesta de proyecto

1.1 Estado de la Cuestión

1.1.1. Descripción de la Empresa

El Laboratorio de Soluciones parenterales (L.S.P) es parte de la división de la Dirección de Producción Industrial de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) y se localiza en el cantón de Heredia, al costado Norte del Centro Comercial Plaza Real Cariari. Actualmente el L.S.P produce 34 productos diferentes; el Cuadro 1 (ver anexo 1) muestra el listado de productos que se fabrican en el Laboratorio y sus respectivas composiciones.

La aplicación de los sueros que se producen en el Laboratorio es a criterio del médico tratante, no obstante, generalmente son para recuperar el volumen de electrolitos en procesos de cirugías y otros padecimientos. Algunas soluciones más específicas se usan en el tratamiento de personas con daños renales, males cardíacos, diarreas y procesos urológicos, el Cuadro 2 resume el principal uso que se le da a los productos que se fabrican en el Laboratorio.

La producción del Laboratorio abastece el 70 % de la demanda de sueros que poseen las distintas unidades médicas de la CCSS, lo que se traduce en una producción de 2,4 millones de litros de suero y en un ahorro para la Institución cerca de ¢ 600 000 000 al año (Solís , 2015).

1.1.1.1 Marco Estratégico

El marco estratégico establece la ruta de los objetivos a alcanzar del Laboratorio de Soluciones Parenterales a futuro, mediante la definición de la misión y la visión; ambas se muestran a continuación:

Misión

“Producir soluciones parenterales y para hemodiálisis en forma eficiente, eficaz e innovadora, de acuerdo con la reglamentación vigente, con el fin de cubrir oportunamente la necesidad de las unidades proveedoras de atención integral de la salud.”

Visión

“Modernizar y mejorar las condiciones de producción de las soluciones parenterales con relación a las condiciones actuales, en aras de una mayor maximización de los recursos disponibles con el objetivo de poder satisfacer plenamente las demandas futuras de este importante producto, no solo a nivel de los diferentes Centros Médicos de la Caja Costarricense de Seguro Social, sino también de clínicas y hospitales privados del país, así como de valorar la posibilidad de establecer una cuota de exportación de producto.”

1.1.2 Tratamiento de las aguas residuales

Actualmente el Laboratorio de Soluciones Parenterales utiliza para su proceso productivo más de 95 millones de litros de agua al año, provenientes de 2 pozos que se encuentran dentro de la propiedad, no obstante menos del 5 % del agua extraída se transforma en materia prima para la producción de sueros. La Figura 1 (ver anexo 2) muestra el diagrama transporte de agua del Laboratorio.

Las aguas residuales provenientes del proceso de producción del Laboratorio reciben un pretratamiento que consiste en la sedimentación y separación de sólidos que se adicionan al agua durante el proceso de producción y el trasiego de la misma. El caudal de diseño empleado para el sedimentador es de 84,77 m³/día, y un máximo de 320,54 m³/día, que comprenden un aumento de la producción del 40 % (Quesada , 2010). En el anexo 4 se pueden observar los detalles constructivos del sedimentador.

El sistema de pretratamiento está conformado por los siguientes elementos (Quesada , 2010):

1. Canal de rejillas y desarenador: la función de la rejilla a la entrada del sistema es la de retener todos los sólidos con un tamaño mayor a 25,4 mm. El desarenador consiste en una cavidad (gaveta) ubicada en el piso del canal de entrada inmediatamente después de las rejillas que cumple la función de depósito de partículas como piedras y arenas que arrastra el flujo de agua y caen ahí por su propio peso.
2. Estructura de entrada, compuertas y pantalla difusora: consisten en dos compuertas inst
3. aladas a la entrada de cada uno de los tanques sedimentadores con la finalidad de cortar el flujo para realizar labores de mantenimiento. Cada compuerta se acciona por

medio de una manivela que gira un tornillo sobre su propio eje de manera que suba o baje la compuerta cerrando o abriendo el paso al flujo de agua.

4. Dos tanques sedimentadores: Compuesto por dos tanques en paralelo contruidos en concreto armado, poseen una pantalla deflectora con orificios en su entrada para distribuir el flujo uniformemente y una de retención de boyantes a la salida para evitar el paso de sólidos flotantes al vertedero de salida.
5. Vertedero de salida: el vertedero de salida corresponde a una pequeña losa de concreto de 80 cm de longitud ubicada entre la pantalla deflectora de boyantes y la boca de las tuberías de drenaje, es la última estructura por la que pasa el agua antes de abandonar el sedimentador. El vertedero debe ser limpiado diariamente, eliminando el musgo y hongo que se forme, y permanecer libre de cualquier cuerpo extraño (basura, piedras, etc.) que altere el flujo normal a la salida del sedimentador.
6. Sistema de desinfección con cloro: La desinfección de las aguas de proceso se realiza mediante una máquina productora de Hipoclorito de Sodio (Cloro) a base de sal, modelo Easyclor de 2 libras, el equipo se encuentra instalado en la caseta ubicada contiguo al sedimentador.



Figura 1. 1. Sedimentador de Laboratorio de Soluciones Parenterales.

1.1.3 Delimitación del proyecto

El presente proyecto tiene dos propósitos, el primero y fundamental consiste en evaluar el sistema de tratamiento de aguas del L.S.P para que con base en los resultados obtenidos se puedan plantear una serie de recomendaciones técnicas para la mejora del sistema actual. Y el segundo, en crear conciencia en los trabajadores del Laboratorio sobre la importancia que tiene utilizar de manera racional el recurso hídrico y darle el tratamiento adecuado a las aguas residuales, esto mediante el diseño de un manual de buenas prácticas del manejo de recurso hídrico.

1.1.4 Problema

El L.S.P sufrió una reestructuración en el año 2010, con ella se construyó en la propiedad un sedimentador que sería el pretratamiento que se le daría a las aguas provenientes del proceso de producción del Laboratorio, para posteriormente enviarlas a la planta de tratamiento de aguas residuales que la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) construiría. Sin embargo, a la fecha, el proyecto de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para el Cantón Central de Heredia es una meta a largo plazo, por esta razón es necesario evaluar que el tratamiento que el Laboratorio da a las aguas sea el adecuado.

1.2. Objetivo General

Evaluar el sistema de pretratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Soluciones Parenterales de la CCSS mediante pruebas físicas y químicas que permitan establecer una mejora del sistema actual.

1.3. Objetivos Específicos

1.3.1. Desarrollar una investigación bibliográfica que permita profundizar los conocimientos sobre el tratamiento de aguas residuales provenientes de la Industria Farmacéutica, que incluya aspectos como: Marco Legal en Costa Rica referente al vertido de aguas residuales, Métodos de recolección de muestras de aguas residuales, Parámetros de Caracterización de aguas residuales, Elaboración de Manuales de buenas prácticas.

1.3.2. Establecer un plan de trabajo.

1.3.3. Realizar un mapeo de todas las aguas residuales que llegan al sedimentador.

1.3.4. Caracterizar las aguas residuales provenientes de los distintos procesos que se realizan en el laboratorio de productos parenterales de la CCSS y que llegan al sedimentador.

1.3.5. Caracterizar las aguas del efluente del sedimentador.

1.3.6. Analizar los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de aguas residuales.

1.3.7. Establecer una serie de recomendaciones técnicas que mejoren el sistema de pretratamiento.

1.3.8. Elaborar un Manual de buenas prácticas del recurso hídrico.

1.3.9. Escribir el informe del proyecto de graduación.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Marco legal

Costa Rica cuenta con una Legislación Hídrica que regula todo los temas referentes al agua, desde la calidad del agua; el aprovechamiento; el tratamiento; hasta el vertido, uso y reuso de las mismas. En este capítulo se mencionan las Leyes y Reglamentos de mayor relevancia.

2.1.1 Ley de aguas, No.276 del 26 de agosto de 1942

Esta Ley aborda lo referente al dominio público y privado del agua, su aprovechamiento, las cañerías, abastecimiento para los usuarios y usos especiales.

2.1.2 Ley General de la Salud, No.5395 del 30 octubre de 1973

En cuanto al recurso hídrico la Ley General de la Salud señala lo referente al agua para el uso y consumo humano:

“Artículo No.264.- El agua constituye un bien de utilidad pública y su utilización para el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.”

2.1.3 Reglamento de aprobación y operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (Decreto N° 31545-S-MINAE del 22 de diciembre del 2003)

En virtud de la protección del medio ambiente y de la salud del hombre, es necesario comprometerse con el diseño adecuado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de reducir la descarga de agentes contaminantes en los cuerpos receptores de agua del país, tal y como lo menciona el artículo 1:

“Artículo No.1.- Este reglamento tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, mediante la gestión racional y ambientalmente adecuada de las aguas residuales. Será aplicable para el manejo de las aguas residuales, que

independientemente de su origen, sean vertidas o reutilizadas en cualquier parte del territorio nacional.”

2.1.4 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (Decreto N° - 33601-MINAE-S del 19 marzo del 2007)

En el mismo sentido el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales determina la obligación de llevar un control de los parámetros universales de análisis obligatorio en aguas residuales de tipo ordinario y especial.

“Artículo No.14.- En todas las aguas residuales de tipo ordinario y especial se deberán analizar los siguientes parámetros universales:

- a. Caudal
- b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20})
- c. Demanda Química de Oxígeno
- d. Potencial de Hidrógeno (pH)
- e. Grasas y aceites (GyA)
- f. Sólidos sedimentables (SSed)
- g. Sólidos suspendidos totales (SST)
- h. Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
- i. Temperatura

“Artículo No.61.- De la dilución de aguas. Se prohíbe la dilución de efluentes con aguas de otro tipo con el fin de alterar la concentración de los contaminantes”

2.1.5 Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos (Decreto N° 34431-MINAE-S del 17 de abril del 2008).

Este Reglamento da el fundamento y regulación del Canon por uso del recurso hídrico. El Canon Ambiental por Vertidos es un instrumento económico de regulación que se rige por el principio de “quien contamina paga” que pretende alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

“Artículo No.5.- El fundamento de este canon lo constituye el uso directo de los cuerpos de agua para verter en ellos sustancias nocivas que de algún modo alteren y/o generen daños en su calidad al ambiente o a la sociedad.

Los supuestos en que debe encontrarse un ente generador para ser sujeto al pago del canon ambiental por vertido, son los siguientes:

1. Que exista un vertimiento puntual y claramente identificable.
2. Que el vertimiento se realice a un cuerpo receptor.
3. Que la carga neta vertida en alguno de los parámetros sujetos al cobro del canon resulte con valores positivos.”

2.2. Industria Farmacéutica

2.2.1. Contaminación acuosa

La industria farmacéutica utiliza el agua en muchos de sus procedimientos, por ejemplo: en la limpieza; en procesos auxiliares como medio de intercambio calor para enfriar o calentar el producto, como medio de reacción y materia prima en general. Es necesario calificar las aguas que se utilizan, las que se encuentran limpias y las que no, para solo tratar aquellas que así lo requieran (Ramos, 2006)

Los indicadores que deben ser medidos para evaluar la calidad de las aguas residuales en este tipo de industria son (Ramos, 2006):

- La carga orgánica producida por compuestos y disolventes disueltos en suspensión para ellos se utiliza comúnmente la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- Los sólidos y líquidos en suspensión que son los que producen la turbidez del agua residual.
- El contenido de metales pesados. Aunque este contaminante no está presente en todas las instalaciones es preciso indicarlo debido a su toxicidad.
- La toxicidad del residuo. Existen sustancias que son tóxicas para los microorganismos, y su vertido afecta tanto a las aguas superficiales como a las plantas de tratamiento biológico de aguas urbanas o industriales.

2.3. Caracterización de aguas residuales

2.3.1. Aguas Residuales

La contaminación del agua es el fenómeno causado al introducir condiciones o materia ajena a ésta, originando una alteración no deseada en la composición del agua, impidiendo que ésta sea utilizada posteriormente para el consumo humano o de otros seres vivos o bien para su depósito en el ambiente general (León, 2010).

Según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, es un agua residual aquella que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes. A su vez las aguas residuales pueden ser de dos tipos: ordinarias y especial.

Las aguas residuales de tipo ordinario son generadas por las actividades domésticas del hombre, mientras que las aguas residuales de tipo especial es toda agua diferente al tipo ordinario.

El flujo y la calidad de aguas residuales de tipo especial industrial son función del tipo y tamaño de la industria, del proceso de producción, de la cantidad de reciclos y de la existencia de algún pretratamiento (Von Sperling, 2007).

2.3.2. Parámetros de calidad del agua

La composición del agua residual es una función del uso que se le da al agua suministrada. Dicho uso y la forma en que se ejerció varía dependiendo de los factores climatológicos, sociales y económicos de cada país (Von Sperling, 2007).

En el diseño de plantas de tratamiento, normalmente no hay interés en determinar todos los componentes que conforman las aguas residuales, esto a causa de la dificultad que conlleva la realización de las pruebas de laboratorio y al hecho de que los resultados de muchas de estas pruebas no pueden utilizarse directamente como elementos de diseño y operación. Por ello es preferible utilizar parámetros indirectos que representen la calidad del agua a analizar (Von Sperling, 2007).

El impacto que causa el agua residual en el medio donde se vierte se manifiesta en 5 parámetros principales: materia oxidable, que consume oxígeno; sólidos en suspensión, que dificultan la actividad biológica de los seres acuáticos y la recarga de los acuíferos; materias inhibidoras o tóxicas que modifican o anulan la actividad biológica y se pueden acumular en la cadena trófica; nutrientes (N y P) que intervienen en los procesos de eutrofización; y salinidad que puede condicionar la transferencia de materia entre el entorno y las células. Existen otros parámetros como la temperatura de los vertidos y el contenido de grasas y aceites que pueden tener relevancia (UPC, 2006). Por lo tanto, la calidad de las aguas residuales se puede determinar con parámetros físicos, químicos y biológicos.

El Cuadro 1.1 muestra los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales y el máximo valor permitido de descarga en un cuerpo receptor. Además de estos parámetros, la turbidez, el color, la conductividad, los sólidos volátiles, entre otros, son indicadores que se pueden utilizar en la caracterización de las aguas.

Cuadro 1.1. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.

Parámetro	Límite Máximo
DBO _{5,20}	50 mg/L
DQO	150 mg/L
Sólidos suspendidos	50 mg/L
Sólidos sedimentables	1 mL/L
Grasas y aceites	30 mg/L
Potencial de hidrógeno	5 a 9
Temperatura	15 °C < T < 40 °C
Sustancias activas al azul metileno	5 mg/L

Fuente: (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N°33601, 2007)

2.3.3. Parámetros de caracterización de aguas

2.3.3.1. Caudal

La cantidad de vertido por unidad de tiempo que llega a una planta de tratamiento de aguas residuales es un factor importante en el diseño y operación de la misma. Existen dos métodos principales para la determinación de caudal:

- a. Medición volumétrica manual: Para este tipo de medición se requiere de un cronometro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. La cantidad de caudal se obtiene mediante la siguiente ecuación (Zambrano, 2010):

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

Dónde:

Q : caudal, m³/s

V : volumen, m³

t : tiempo, s

- b. Medición por velocidad: La canaleta Parshall es el dispositivo ideal para usar en canales abiertos para monitoreo continuo de caudal (Zambrano, 2010).

2.3.3.2. Carga Orgánica

La carga orgánica es el parámetro más importante a determinar para estimar la carga de materia orgánica contaminante presente en las aguas residuales y que afecta las características biológicas del agua.

Tanto las actividades humanas como la naturaleza generan desechos biológicos que contribuyen a la contaminación de las aguas. Las industrias por su parte en sus procesos contienen múltiples compuestos orgánicos como: herbicidas, aceites, grasas, azúcares, proteínas, etc. (León, 2010).

Existen dos parámetros principales que permiten estimar la carga orgánica presente en aguas residuales: la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno.

2.3.3.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua por un período de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Secretaría de Economía, 2001).

La prueba de 5 días, consiste en llenar un recipiente hermético de tamaño conocido con una muestra a rebosar, y se dejara incubando durante 5 días. El oxígeno disuelto (OD) se medirá al inicio y al finalizar el periodo de incubación, el DBO se calculará a partir de la diferencia entre el OD inicial y el OD final (Standard Methods, 1999).

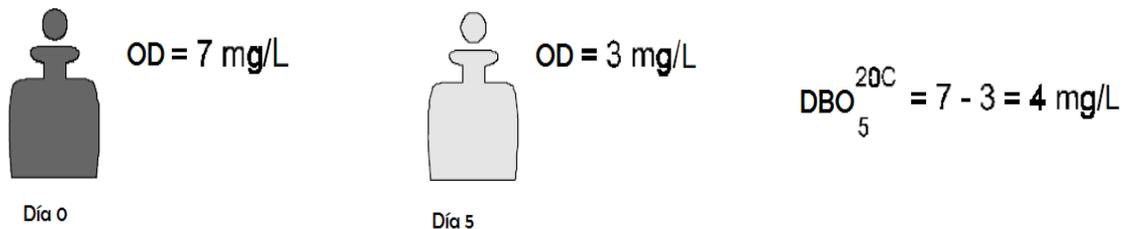


Figura 2. 1. Ejemplo de una prueba de DBO durante 5 días (Von Sperling, 2012).

2.3.3.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. El método que involucra dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras (Secretaría de Economía, 2001).

La determinación del DQO se hace por medio de dos métodos: Método reflujo cerrado y Método reflujo abierto, este último se aplica a muestras de gran tamaño. El Método colorimétrico se basa en la oxidación de muestras orgánicas a causa del dicromato y el ácido sulfúrico. El instrumental para la aplicación de este método abarca un equipo de reflujo, una licuadora y pipetas clase A (Standard Methods, 1999).

2.3.3.2.3. Relación de Biodegradabilidad (DBO/DQO)

La razón de biodegradabilidad permite trazar el camino del tipo de tratamiento que pueden recibir las aguas residuales, si la relación DBO_5/DQO de las aguas residuales no tratadas es mayor que 0,5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos debido a que se consideran materiales biodegradables pero si la relación DBO_5/DQO es menor que 0,3 el agua residual puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización (Metcalf & Eddy, 2003).

2.3.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Y es de suma importancia para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (Secretaría de México DGN, 2011).

La importancia del control de este parámetro radica en los efectos que puede causar en las diversas etapas del tratamiento del agua; un pH bajo implica una potencial corrosividad y agresividad en las tuberías; un pH elevado, implica la posibilidad de incrustaciones en los tubos y piezas de aguas de abastecimiento. Los valores de pH alejados de la neutralidad pueden afectar la vida acuática y los microorganismos responsables por el tratamiento biológico de las aguas residuales (Von Sperling, 2012).

Los métodos más sofisticados para la medición de pH emplean medidores de pH, estos generalmente utilizan un método electrométrico que se basa en la medición de la fuerza electromotriz de una celda electroquímica, que consta de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia (Secretaría de México DGN, 2011).

Algebraicamente se puede expresar el potencial de Hidrógeno como:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Dónde

H^+ es la concentración de los iones Hidrógeno en una solución.

2.3.3.4. Grasas y aceites (GyA)

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos muy estables, formados por moléculas grandes y difíciles de biodegradar, mediante organismos, a esto se une su poca solubilidad en agua a temperatura ambiente. Al ser compuestos orgánicos afectan sensiblemente el valor de la DBO (León, Caracterización y pretratamiento de aguas residuales, 2010).

La determinación de la materia flotante como las grasas y aceites es importante debido a que estas se acumulan en la superficie y pueden acumular bacterias y virus asociadas con partículas individuales. Éstos se pueden determinar mediante el Método General de Partículas Flotantes, este método se basa en la separación por gravedad de las partículas con menor densidad que el agua circundante. Mientras que las partículas que se acumulan en la superficie se pueden filtrar y secar en un rango de temperatura de 103 °C a 105 °C (Standard Methods, 1999).

2.3.3.5. Sólidos

Se considera como sólidos a la materia que queda como residuo después de la evaporación y secado de una muestra de agua entre 103 °C y 105 °C. La Figura 2.1 muestra la clasificación de los sólidos presentes en el agua.

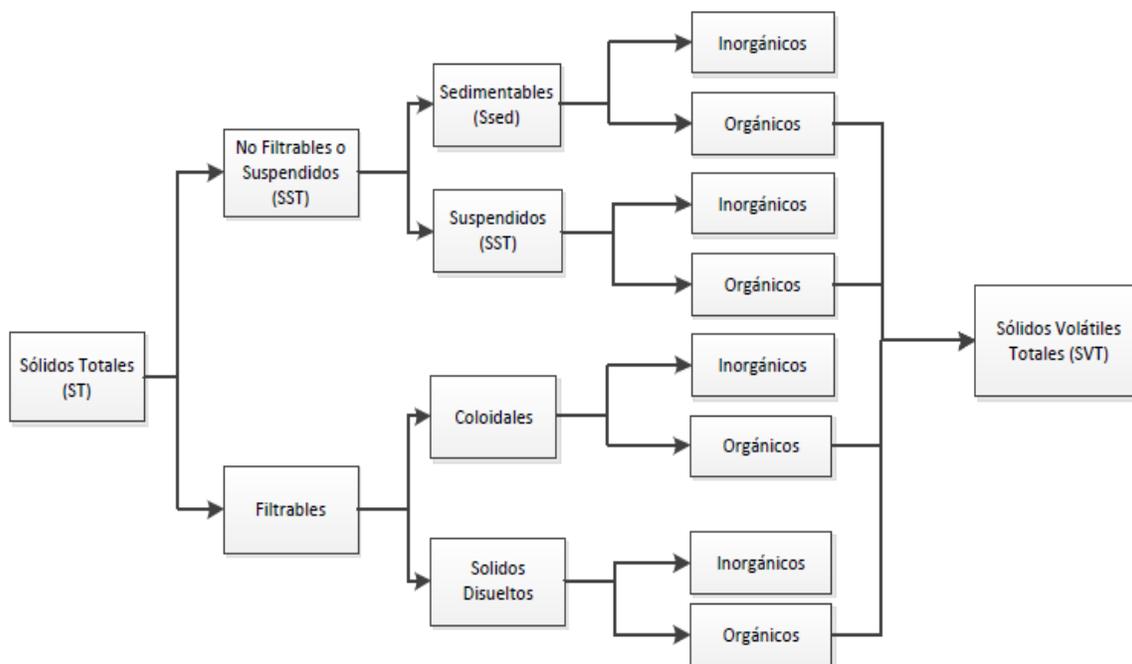


Figura 2. 2. Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales

2.3.3.5.1. Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son la materia suspendida o disuelta en el agua residual. Éstos se determinan mediante el Método F, del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Standard Methods, 1999).

2.3.3.5.2. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales de una muestra de agua residual, se define como aquella porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, estos se determinan siguiendo el procedimiento descrito en el Método D, del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, para esta prueba se utiliza un horno para llevar la muestra a una temperatura de 103 °C-105 °C durante 1 hora, posteriormente la muestra se seca y se pesa (Standard Methods, 1999).

2.3.3.6. Sustancias activas al azul de metileno

El principio de este método se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción entre el azul de metileno catiónico y un tenso activo aniónico incluyendo al sulfonato de alquil benceno lineal, otros sulfatos y esterés de

sulfonatos. La muestra se acidifica y se mezcla con una disolución de azul de metileno. El par iónico hidrofóbico que se forma se extrae con cloroformo. Los extractos de cloroformo son lavados con una disolución ácida para remover los pares iónicos menos hidrófobos (con coeficientes de partición bajos) que pueden formarse por sustancias que interfieren potencialmente. El cloroformo retiene los pares iónicos altamente hidrófobos. La intensidad del color azul presente en la fase orgánica se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 652 nm y es proporcional a la cantidad de surfactantes aniónicos presentes en la muestra (Standard Methods, 1999).

2.3.3.7. Variables físicas

2.3.3.7.1. Temperatura (T)

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales. Las determinaciones de temperatura deben efectuarse de inmediato en el lugar de muestreo. (Secretaría de Economía, 2013).

2.3.3.7.2. Conductividad

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar la corriente eléctrica. Dicha capacidad es función de la presencia de iones y de su concentración total, de unidades (SIU), la conductividad se expresa en milsiemens por metro, que equivale a $10 \mu\text{mhos/cm}$ (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

2.3.3.7.3. Turbidez

La turbidez es una característica óptica que se observa en la capacidad del agua de permitir el paso de la luz a través de ella. Puede ser causada por las partículas en suspensión, partículas o coloidales o presencia de un gran número de microorganismos (León, 2010). Las unidades para la expresión de resultados de la turbidez son la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU) y la Unidad Nefelométrica de Formazina (FNU), donde $1 \text{ NTU} = 1 \text{ FNU}$.

Como parámetro de análisis la turbiedad es importante debido a que a nivel antrópico puede estar asociada a compuestos tóxicos y organismos patógenos; en cuerpos de agua puede reducir la penetración de la luz, perjudicando la fotosíntesis (Von Sperling, 2012).

2.4. Sistemas de Tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen como objetivo la reducción de contaminantes presentes en las aguas residuales, cuyo proceso de reducción de contaminación lleva consigo tres fases distintas (Ramalho, 1993):

Fase 1: Revisión de todos los efluentes de la planta, es decir hacer un inventario de todas las fuentes, así como determinar los caudales y cargas contaminantes

Fase 2: Revisión de los datos obtenidos en la Fase 1 para conocer el camino y las limitaciones de la reducción de los contaminantes.

Fase 3: Evaluación de los ahorros potenciales en inversión y costes de operación de la planta de tratamiento, si cada una de las corrientes consideradas en la fase 1 y 2 se eliminan o reducen.

No obstante, el nivel de tratamiento que requieren las aguas residuales va a depender principalmente de los límites de vertidos para el efluente.

Para seleccionar un proceso de tratamiento de aguas residuales se deben de tener en cuenta diversos factores, entre los que destacan (Ramalho, 1993):

- a. Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b. Calidad del efluente de salida requerido.
- c. Coste y disponibilidad de terrenos.
- d. Consideraciones de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.

2.4.1. Nivel de Tratamiento

2.4.1.1. Tratamiento Preliminar

Esta etapa del tratamiento (Ver Figura 2.2) tiene como objetivo eliminar principalmente los sólidos gruesos y arena. Aquí, los mecanismos de remoción de partículas son de tipo físico; en esta etapa es recomendable incluir una unidad de medición de caudal (Von Sperling, 2012).

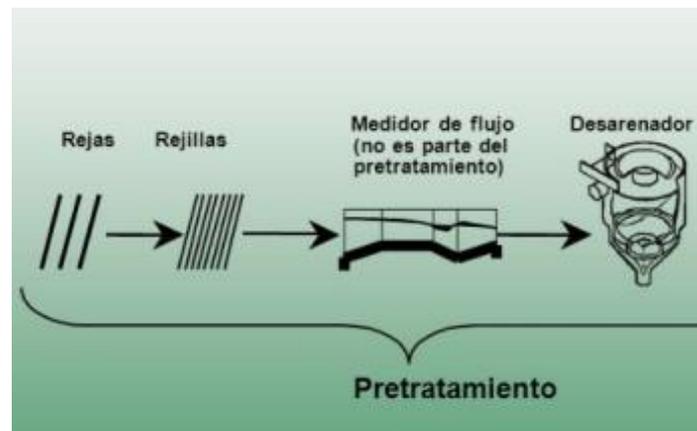


Figura 2.3. Esquema típico del tratamiento preliminar.

2.4.1.2. Tratamiento Primario

Los tratamientos primarios preparan las aguas para su tratamiento biológico, eliminan ciertos contaminantes y reducen las variaciones de caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta. Los decantadores primarios se utilizan para separar los sólidos en suspensión por un proceso de sedimentación (Rigola, 1990).

Esta parte del proceso es conocida también como tratamiento mecánico, aunque a menudo se utilizan productos químicos para acelerar el proceso de sedimentación. El tratamiento primario puede reducir las DBO de las aguas residuales del afluente en un 20-30% y el total de sólidos en suspensión en un 50-60% (World Bank Group).

2.4.1.2.1. Sedimentación

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión (Ramalho, 1993).

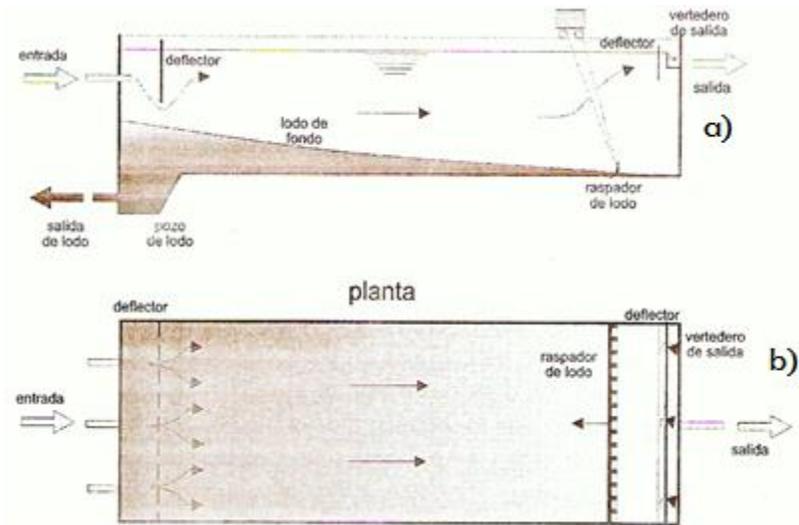


Figura 2. 4. Esquema de un sedimentador rectangular de flujo horizontal. a) Vista lateral. b) Vista superior (Ramalho, 1993).

En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. Dicho proceso es muy importante debido a que las partículas que se encuentran en el agua pueden causar perjuicios en los sistemas o procesos de tratamiento, debido a que la turbiedad en el agua inhibe los procesos biológicos, depositándose en el medio filtrante y trayendo como consecuencia elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros (OPS, 2005).

2.4.1.2.2. Flotación

La flotación es una alternativa a la sedimentación, en este método de tratamiento la separación se lleva a cabo utilizando aire que será introducido en la fase líquida. El agua se somete a una presión entre 2 y 4 atm, de modo que el líquido efluente esté sobresaturado de aire. Luego el líquido saturado se despresuriza hasta la presión atmosférica a través de una válvula reductora de presión. Debido a la despresurización se forman pequeñas burbujas, las cuales hacen que los sólidos en suspensión floten a la superficie (Ramalho, 1993).

2.4.1.3. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario (biológico) elimina la materia orgánica disuelta que se escapa del tratamiento primario, éste se concibe de tal manera que busca acelerar el mecanismo de descomposición que ocurre naturalmente en los cuerpos receptores. La materia orgánica está presente en el agua en las siguientes formas (Von Sperling, 2012):

- Materia orgánica disuelta, la cual no es posible remover a través de procedimientos físicos, como el de sedimentación.
- Materia orgánica en suspensión, la cual es en su mayoría se elimina en el tratamiento primario, pero cuyos sólidos de sedimentabilidad más lenta persisten en la masa líquida.

2.4.1.4. Tratamientos terciarios

El tratamiento terciario comprende la serie de procesos que tienen como finalidad conseguir una calidad del efluente superiora la del tratamiento secundario, algunos tipos de tratamiento terciario son: adsorción en carbón activado, separación de sólidos en suspensión, ósmosis inversa, entre otros, y como se mencionó buscan purificar el agua antes de que esta sea reutilizada o descargada en un cuerpo receptor de agua (Ramalho, 1993).

2.4.2. Muestreo y análisis periódicos de los STAR

El funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe someterse a un constante análisis, a fin de garantizar la carga de vertido adecuada de las aguas. Los parámetros de análisis obligatorio se dividirán en dos grupos:

- Muestreo, mediciones y análisis rutinarios, estos se llevan a cabo por el ente generador
- Muestreo, mediciones y análisis periódicos, estos deben ser practicados por un laboratorio externo habilitado

El Cuadro 2.1 muestra las frecuencias mínimas de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo especial, según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Cuadro 2.1. Frecuencias mínimas de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo especial

Parámetro	Caudal (m ³ /día)	
	<100	>100
Mediciones Rutinarias		
Caudal	Mensual	Semanal
pH		
Sólidos Sed		
Temperatura		
Análisis Periódicos		
Caudal	Semestral	Trimestral
pH		
Sólidos Sed		
Temperatura		
Demanda Bioquímica de Oxígeno		
Demanda Química de Oxígeno		
Grasas y Aceites		
Sólidos Suspendidos Totales		
Sustancias Activas al Azul de Metileno		

2.5. Muestreo de Aguas Residuales

La toma de muestras debe garantizar la representatividad de las características y concentraciones del efluente o cuerpo de agua analizado. Por lo tanto, es necesaria una preparación previa, que garantice la selección adecuada de los puntos de muestreo, del

material para su recolección, de los reactivos y/o medios de preservación, de plantillas de captura de información en campo, del volumen apropiado del material captado y demás insumos que son necesarios para garantizar la trazabilidad del proceso (Zambrano, 2010).

El objetivo del muestreo es coleccionar una porción del material, lo suficientemente pequeña en volumen para ser transportada convenientemente, pero lo suficientemente grande para propósitos analíticos, de modo que como antes se mencionó se garantice la representatividad. Por lo tanto, las proporciones relativas y las concentraciones del analito, se mantienen tanto para las muestras, como para el material de origen (Standard Methods, 1999).

La muestra debe ser manejada de forma que no ocurran cambios significativos antes de que las pruebas se realicen (modificación de las características fisicoquímicas o biológicas) (Standard Methods, 1999).

Por medio de la recolección y análisis de muestras, se puede determinar el desempeño del sistema de tratamiento y de las unidades individuales que lo componen.

Para que una muestra tenga un significado real y sea reproducible, confiables y representativa, se deben tener ciertos cuidados, como los que se mencionan a continuación (León, 2010):

- a. El procedimiento de muestreo siempre debe ser el mismo, a fin de que los resultados de los análisis puedan ser comparados entre sí
- b. Los puntos de muestreo deben ser fijos para recolectar muestras del afluente y del efluente de cada unidad o de todo el sistema
- c. En los puntos de muestreo, las aguas deben estar bien mezcladas
- d. Se deben excluir de la muestras las partículas grandes, mayores a 6 mm, por lo que deben recolectarse después de los separadores de sólidos
- e. Se deben utilizar recipientes limpios, para que no alteren los resultados de los análisis
- f. Cuando las aguas residuales contengan contaminación orgánica, deben examinarse lo más pronto posible, con el objetivo de evitar que la materia orgánica se biodegrade. En caso de que esto no sea posible, las muestras se deben preservar en agua enfriada con hielo a 4 °C.

2.5.1. Colección de información

Para preparar un plan de muestreo se debe tener presente la siguiente información (Alberro, 2011):

- Objetivos de muestreo: Razón de muestreo y el uso de los resultados que se obtendrán de las muestras recolectadas, parámetros que van a ser medidos y límites de cuantificación necesarios para decisiones.
- Descripción del cuerpo de agua que va a ser evaluada.
- Métodos que están disponibles para las mediciones y el muestreo.
- Recopilación de información de campañas de muestreo previas.
- Información sobre la zona de muestreo.

2.5.2. Cantidad de muestras

El número de muestras a recolectar es función de la variabilidad espacial, número de afluentes, fuentes de contaminación existentes y la clase de muestreo seleccionado (Ver Cuadro 2.2).

Cuadro 2. 2. Clases de muestreo (Alberro, 2011).

Tipos de muestreo	Definición
Muestra simple	Muestra individual tomada en un punto y en un tiempo determinado.
Muestra compuesta	Muestra obtenida mezclando en un recipiente varias muestras discretas o simples volúmenes iguales o ponderados.
Azaroso	Muestreo realizado sobre el tendido de una malla imaginaria en la cual se seleccionan nodos al azar.
Sistemático	Muestreo realizado sobre el tendido de una malla imaginaria en la cual se seleccionan nodos en forma regular.
Juicio Profesional	Muestreo realizado de acuerdo al criterio sostenido por el profesional responsable

Como ya se mencionó en el Cuadro 2, la muestra simple es tomada en un punto y tiempo específico, esto debido a que proporciona las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada; la muestra simple se utiliza generalmente cuando el caudal del agua residual y su composición es relativamente constante, cuando el flujo del agua residual es intermitente y cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas de las aguas residuales, como por ejemplo valores extremos de pH y temperatura en un momento dado (Ramalho, 1993).

2.6. Conciencia Ambiental

2.6.1. Manual de Buenas Prácticas

Un Manual de Buenas Prácticas es un conjunto de acciones tendientes a modificar hábitos con el objetivo de utilizar eficientemente la energía, el uso racional de los recursos y la reutilización de los materiales (Cámara de Comercio de A Coruña, 2008).

El objetivo de un manual de buenas prácticas de manejo de agua es establecer las acciones necesarias de manejo de aguas y efluentes para garantizar que no se generen focos de contaminación provocados por las mismas (Honerhoff, 2005).

El contar con un manual de buenas prácticas de manejo de agua en las empresas genera beneficios ambientales y económicos, entre los que cabe mencionar (Honerhoff, 2005):

- Mayor protección del ambiente gracias a un mejor manejo de efluentes.
- Reducción de riesgos ambientales en caso de accidente.
- Disminución de la contaminación ambiental debido a una mejora continua de la eficiencia de los procesos y de los productos en la empresa.
- Reducción de aguas residuales que requieren un tratamiento posterior.
- Reducción de riesgos, lo que implica costos financieros inferiores.
- Reducción de los riesgos de incumplimiento legal.
- Transparencia sobre riesgos para la salud y el ambiente.

3. Capítulo 3.

Metodología

Con el objetivo de conocer el estado de operación del sistema de pretratamiento que se le da a las aguas residuales en el L.S.P, se realizó un estudio de la calidad del agua de entrada y salida del sistema, mediante el análisis de los parámetros básicos de caracterización de aguas. El agua que llega al sistema de pretratamiento proviene del proceso de producción, de los servicios auxiliares y de pilas de lavado (área de mantenimiento, área de producción, área de comedor y lavabos).

Este capítulo detalla los pasos que siguieron para realizar el estudio; así como el material y equipo que se utilizó durante el muestreo de las aguas.

3.1. Plan de trabajo

El trabajo de campo del proyecto se llevó a cabo en dos fases principales. En la primera se estudió el proceso productivo del Laboratorio, además de realizar un análisis somero del funcionamiento del sedimentador, y en la segunda fase se efectuó el muestreo de las aguas.

3.1.1. Análisis preliminar (Fase 1).

En la primera fase del proyecto se realizaron visitas a L.S.P con el objetivo de conocer y entender el proceso de producción de sueros y soluciones para hemodiálisis; las operaciones que se siguen en dicho proceso se muestran en la Figura 3.1. Además, se verificó el transporte del agua, las operaciones en las que ésta se encuentra involucrada y qué cantidad llega al sistema de tratamiento de aguas que se da en el Laboratorio.

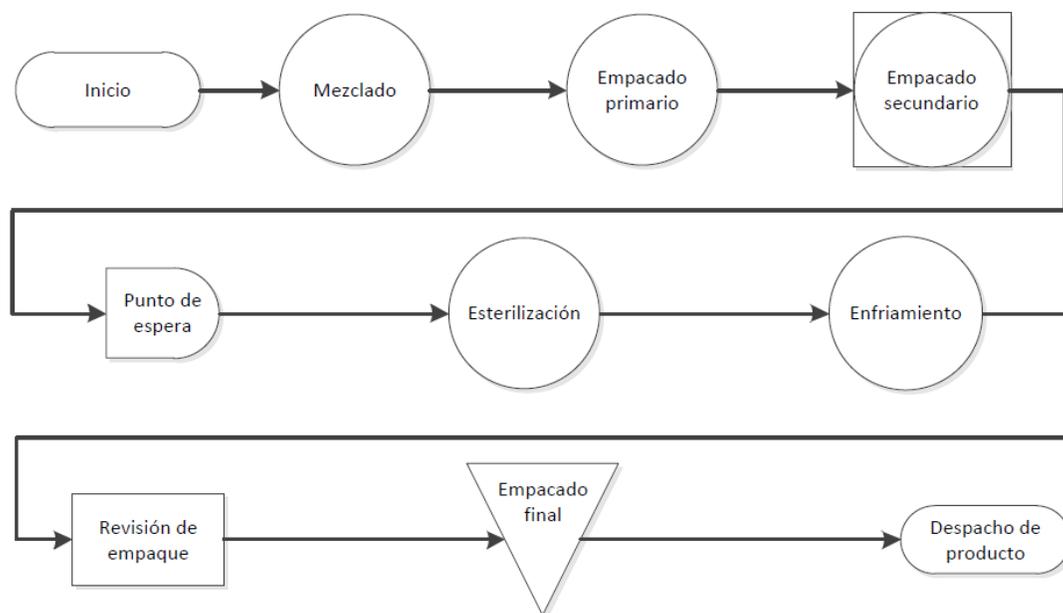


Figura 3. 1.Diagrama de operaciones del proceso de producción del L.S.P

Una vez identificadas las aguas que conforman el afluente del STAR, se especificaron las pruebas de caracterización de aguas que sería pertinente hacer a las mismas con el fin de determinar la carga de dichas aguas. El Cuadro 3.1 resume las pruebas que se realizaron a cada tipo de agua que llega al sedimentador, incluyendo además, las pruebas que se harían al afluente y efluente del mismo.

Cuadro 3.1. Parámetros de caracterización de las aguas que conforman el afluente del STAR del L.S.P.

Agua	Especificación	Prueba
Pozo	Muestra obtenida del Pozo 1	SST, ST, SSed, Temperatura, pH, Turbidez, Conductividad
Proceso esterilización	Agua proveniente de las autoclaves utilizadas en el proceso	DBO, DQO, SST, ST, SSed, Temperatura, pH, Turbidez, Conductividad
Enfriamiento	Agua proveniente de las duchas de enfriamiento	DBO, DQO, SST, ST, SSed, Temperatura, pH, Turbidez, Conductividad

Cuadro 3.1 (Continuación). Parámetros de caracterización de las aguas que conforman el afluente del STAR del L.S.P.

Proceso producción	Agua lavados	DBO, DQO, SAAM, Temperatura, pH, Conductividad, Turbidez, SSed, SST , ST
Afluente	Conjunto de aguas que llegan al STAR del Laboratorio	DBO, DQO, SST, ST, SSed, Temperatura, pH, Turbidez, Conductividad, SAAM
Efluente	Agua a la salida del STAR del laboratorio	DBO, DQO, SST, ST, SSed, Temperatura, pH, Turbidez, Conductividad, SAAM

3.1.2. Metodología de muestreo (Fase 2).

Debido a la estructura del STAR del Laboratorio y lo variable que es el flujo de agua, resultó difícil llevar a cabo la medición del caudal del afluente y efluente del sedimentador, por lo tanto, para efectos de análisis se trabajó con los caudales reportados por el L.S.P, cuyas mediciones son hechas en diferentes partes del proceso, tanto para las aguas de producción como para las aguas de los procesos auxiliares. Los caudales se reportan en el Cuadro 3 (Anexo 5).

La toma de muestras para la caracterización de aguas, se efectuó en dos períodos, el primer período comprende los meses de mayo y junio del 2016. Durante este ciclo se realizaron todas las pruebas que exige el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, con excepción de grasas y aceites. La elección de los días de muestreo, se basó principalmente en el calendario de producción de L.S.P, tratando de obtener muestras lo más representativas posible y que reflejaran todos los escenarios que se presentan en el STAR del Laboratorio. En el segundo, únicamente se repitieron las pruebas de DBO, DQO y SAAM, basándose en los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas muestreadas en el primer período, eligiendo los días de muestreo para dos casos: igualdad de condiciones al primer muestreo, es decir, mismo elemento en producción y muestreo compuesto; y para el segundo caso, condiciones distintas, es decir, que el elemento en producción sea distinto al caso anterior.

Para la determinación de los parámetros medidos in situ se realizaron muestreos a lo largo de los meses mencionados, de manera constante.

Las pruebas de caracterización de sólidos, se realizaron a muestras compuestas provenientes del Afluente y Efluente del sedimentador; en el caso del agua de esterilización y de enfriamiento se obtuvieron muestras puntuales.

Las muestras para la caracterización química de las aguas, específicamente para los análisis de DBO, DQO, SAAM, se colectaron cuando en el Laboratorio se estaba produciendo Dextrosa al 50%.

Para un mejor entendimiento el Cuadro 3.2 muestra el programa de producción del mes de mayo y el respectivo plan de muestreo.

Cuadro 3.2. Plan de muestreo para el mes de mayo y junio del 2016.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
2 Dextrosa 5 %	3 Dextrosa 5 % Muestreo/ Pruebas L.I.Q	4 NaCl 0,9% Muestreo/ Pruebas L.I.Q	5 Agua esteril	6 NaCl 0,9%
9 Agua esteril	10 NaCl 0,9% Muestreo/ Pruebas L.I.Q	11 NaCl 0,9% y Dextrosa 5% Muestreo/ Pruebas L.I.Q	12 Agua esteril	13 NaCl 0,9%
16 Solución Electrolítica Balanceada Muestreo	17 Dextrosa 5 % Pruebas en el L.I.Q	18 Dextrosa 5%	19 Agua esteril / Dextrosa 50%	20 NaCl 0,9%
23 NaCl 0,9% y Dextrosa 5%	24 NaCl 0,9% Muestreo/ pruebas In Situ	25 Agua estéril Muestreo/ pruebas In Situ	26 Dextrosa 5 %	27 NaCl 0,9% y Dextrosa 5%

Cuadro 3.2 (Continuación). Plan de muestreo para el mes de mayo y junio del 2016.

30	31	1	2	3
Dextrosa 5%	Dextrosa 2%, NaCl 0,35% KCl 0,15%, NaAcetato 0,4082%	Dextrosa 5% y NaCl 0,9%	Dextrosa 50%	NaCl 0,9 %
Muestreo / Pruebas In situ	Pruebas L.I.Q		L.A.A, UNA	

El cuadro mostrado a continuación presenta la calendarización de las segundas pruebas de análisis químico de las aguas del afluente y efluente del sedimentador.

Cuadro 3.3. Muestreo segundas pruebas de DBO y DQO en el mes de setiembre del 2016.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
29	20	31	1	2
NaCL	Agua	Glicina	Dextrosa 50%	NaCl
			Muestreo compuesto	Muestreo Puntual

Los puntos de muestreo se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.4. Puntos de recolección de muestras

Corriente	Punto de recolección
Pozo	Salida de los Pozos 1 y 2
Proceso esterilización	Salida autoclaves
Enfriamiento	Agua de duchas
Proceso	Lavado de equipos
Afluente	Entrada al sedimentador
Efluente	Salida del sedimentador

3.2. Análisis de Datos

Se realizó un análisis estadístico mediante el estudio de los parámetros temperatura, potencial de hidrógeno, conductividad y turbiedad, con el propósito de verificar si hay efectividad en el tratamiento, mediante la formulación de la hipótesis de que no existe una diferencia entre las aguas del afluente (\bar{x}_i) y efluente del sedimentador (\bar{x}_f) contra la hipótesis alternativa de que dichas aguas son distintas (Ver ecuaciones 3.1 y 3.2) , para poder probar si el tratamiento tiene un efecto significativo sobre las aguas residuales que genera el L.S.P.

$$H_0 : \bar{x}_i = \bar{x}_f \quad (3.1)$$

$$H_1 : \bar{x}_i \neq \bar{x}_f \quad (3.2)$$

Se procedió a realizar un análisis multivariable mediante la realización de la matriz de correlaciones, con el fin de determinar el grado de asociación entre las variables de estudio, para después analizar si existe un factor que relacione las variaciones en los parámetros medidos y si estos se afectan entre sí.

Por último, se buscó mediante el análisis factorial determinar si existe uno o varios factores subyacentes que influyen de modo sistémico sobre las variables de análisis, dicho factor no es medible de modo directo y, por tanto, se estima mediante uso de los vectores propios de la matriz de correlaciones.

$$y_1 = \alpha_0 + \alpha_1 F_1 \quad (3.3)$$

$$y_2 = \beta_0 + \beta_1 F_1 \quad (3.4)$$

$$y_3 = \theta_0 + \theta_1 F_1 \quad (3.5)$$

$$y_3 = \gamma_0 + \gamma_1 F_1 \quad (3.6)$$

El análisis estadístico se realizó utilizando el software libre para análisis estadístico de datos R.

3.3. Materiales y Equipos

En el sedimentador del L.S.P, se realizaron las mediciones de parámetros de operación, pH, temperatura, conductividad y turbidez, para ello se utilizaron los siguientes instrumentos:

Cuadro 3. 5. Equipo experimental utilizado en las mediciones de campo.

Instrumento	Marca	Serie	Placa
pH metro	OAKTON	928621	343430
Conductímetro	Cole Parmer	56085	183396
Turbidímetro	OAKTON	642860	321335
Multiparámetro	HANNA	-	370164
Estufa	BLUE M	OV1-19726	120757
Balanza Analítica	-	BL141061015	370546

3.4. Análisis de Laboratorio

Los análisis se llevaron en tres Laboratorios dependiendo de las necesidades del proyecto:

En el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica donde se llevaron a cabo las pruebas correspondientes a la determinación de sólidos.

En el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional donde se realizaron las pruebas de DBO y DQO de las muestras obtenidas en el mes de junio.

En el Laboratorio de Análisis Químico Lamda, S.A donde se realizaron las muestras recolectadas en el mes de septiembre.

3.5. Variables de estudio

Las variables a estudiar para determinar el estado del sistema de tratamiento de aguas residuales del L.S.P son:

- Conductividad
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- Potencial de Hidrógeno
- Sustancias Activas al Azul de Metileno
- Solidos Sedimentables
- Solidos Suspendidos Totales
- Sólidos Totales
- Temperatura
- Turbidez

3.6. Diagrama Experimental

Los puntos de recolección de muestras y de toma de mediciones in situ de las aguas del afluente y del efluente, provenientes del L.S.P se muestran en la siguiente figura:

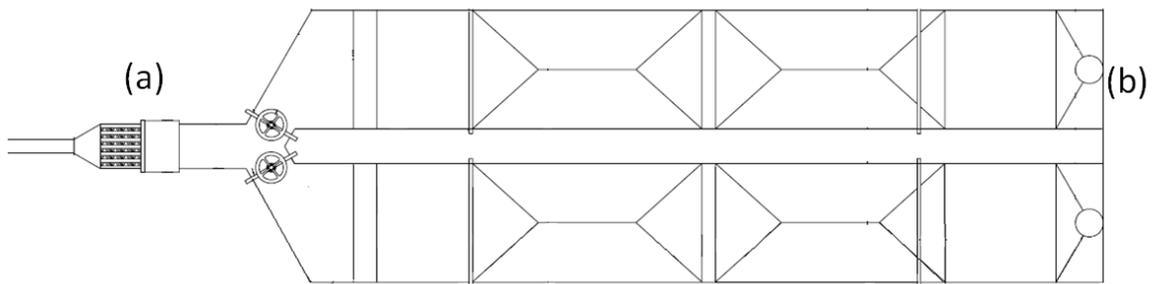


Figura 3. 2. Puntos de muestreo: (a) afluente del sedimentador. (b) efluente del sedimentador.

4. Capítulo 4.

Análisis de Resultados

El presente capítulo muestra el análisis de los resultados de la caracterización de las aguas residuales y del estudio hecho al sedimentador del L.S.P. En el primer punto se abarcará la interpretación de los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas del afluente y efluente del sistema de tratamiento; el segundo punto aborda el tema desde un análisis estadístico de los datos; posteriormente en el tercer y último punto se abordaran los resultados teniendo como centro el funcionamiento del sedimentador con base en sus características constructivas, la condiciones de proceso y en los resultados obtenidos en el punto 4.1 y 4.2.

4.1. Análisis caracterización de aguas

Al sedimentador llegan las aguas provenientes del proceso de producción, que como ya se sabe, abarca también las aguas de los servicios auxiliares (esterilización y enfriamiento), además de las aguas de los distintos lavabos y pilas del lugar.

Del análisis de las etapas de producción y del camino trazado por el flujo de agua se determina que las fuentes de adición de sólidos al proceso de producción de sueros y soluciones para hemodiálisis son casi nulas; los sólidos que llegan al sedimentador provenientes del proceso productivo se adicionan al agua cuando en el transcurso de éste un empaque contenedor de producto se daña, ya sea por la manipulación, por defecto o por la presión cuando es sometido a esterilización; estos sólidos (mayores a 25,4 mm) son separados por las rejillas a la entrada del sistema de tratamiento. No obstante, en el transcurso del proceso o durante el trasiego del líquido hacia el sedimentador, al agua que viene del área de producción, pueden adicionársele partículas sólidas contaminantes que varían en un rango de menos de 0,001 μm a más de 100 μm (Levine, 1985).

Lo anterior, aunado a los estudios de sólidos, reflejó la poca presencia de los mismos en el agua que llega al sedimentador, esto se ve evidenciado en los resultados obtenidos en las pruebas de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, demostrando que la cantidad de materia (no líquida) presente en el agua es despreciable.

En este punto es importante destacar que los resultados aunque igualmente bajos, son mayores tanto a la entrada como a la salida del sistema cuando se trabaja con dextrosa.

Esto se puede verificar en el Cuadro A.23, para el día 3 de mayo. La Figura 4.1 presenta las muestras obtenidas en la prueba de sólidos totales del día 3 de mayo; su color café semejante al azúcar caramelizado y el olor dulce respaldan la presencia de dextrosa en las muestras.

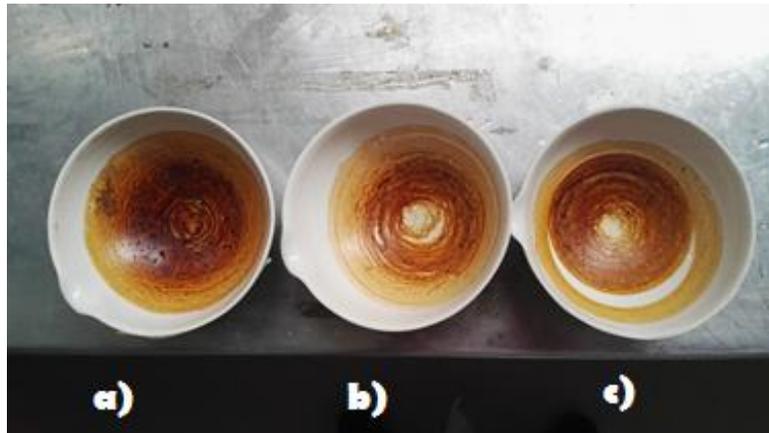


Figura 4.1. Muestras de sólidos totales del día 3 de mayo. a) Afluente, b) Primera sección del sedimentador, c) Efluente.

La Figura 4.2 expone el promedio de muestreo de los resultados de los sólidos totales presentes en las tres corrientes analizadas: autoclaves, afluente y efluente, las cuales se encuentran por debajo de 1 g/L.

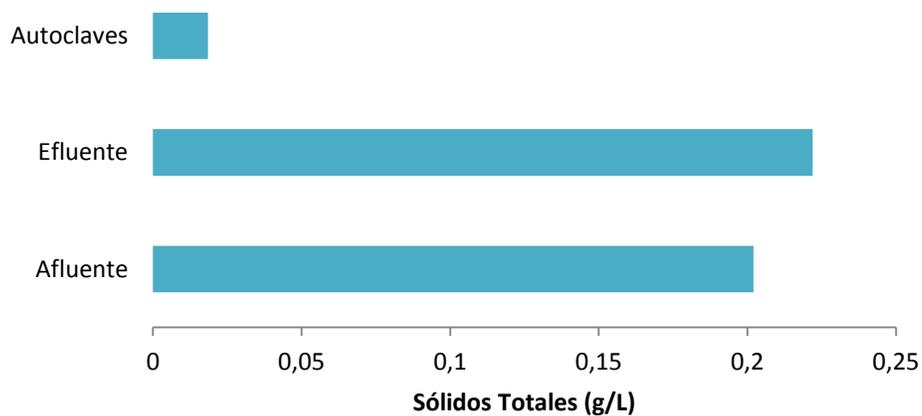


Figura 4. 2. Promedio de sólidos totales

La presencia de sólidos sedimentables en las aguas tanto de entrada como de salida del sedimentador tienden a 0 mL/L, estando muy por debajo del límite (1 mL/L); con excepción de la muestra obtenida en el afluente el día 4 de mayo, donde se registró un valor de 825 mL/L de sólidos sedimentables. A pesar de esto, en el efluente para el mismo periodo de tiempo, el registro de sólidos sedimentables fue menor a la mínima medición posible, es decir, a pesar del aumento que se dio en los sólidos sedimentables en el afluente para el mismo periodo de tiempo en el efluente se obtuvieron valores aceptables. El Anexo 6 muestra la prueba de determinación de sólidos sedimentables para los casos estudiados (afluente, efluente, proceso de esterilización).

La determinación de sólidos suspendidos totales arrojó resultados similares a las otras pruebas de sólidos, donde incluso las mediciones fueron menores a la mínima medición posible, estos resultados se ven respaldados con los valores bajos de turbiedad.

Los parámetros medidos in situ (turbidez, temperatura, conductividad y pH) permiten, debido a su bajo costo y complejidad al momento de tomar la medición, trazar el comportamiento del agua en distintos periodos de tiempo, tomando en cuenta también distintas soluciones en producción.

La turbidez del agua como prueba de contaminación es un parámetro importante a tomar en cuenta a la hora de analizar la calidad del agua. Del total de aguas que llegan al sedimentador, el líquido proveniente del procedimiento de esterilización y del procedimiento de enfriamiento, ha pasado por un tratamiento de desionización y destilación (Ver Anexo 4), de ahí que la turbidez para ambos procesos tienda a ser 0 NTU, sin embargo, una vez que el agua es llevada al STAR, ésta probablemente se contamina con las trazas de materia que se encuentran en las tuberías, proveniente de pilas de trabajo, pilas de comedores y del proceso productivo, específicamente del proceso de lavado; no obstante, es importante tener en cuenta que generalmente debido a fallos en la producción existen pérdidas de producto que en el Laboratorio se denominan como pérdidas controladas (ver Anexo 7), además el producto sobrante se desecha por el drenaje convirtiéndose en carga para el sedimentador. Es por esta razón que a pesar que el caudal que llega al sedimentador durante el día proviene mayormente de estos dos procesos auxiliares, las mediciones de turbidez en el afluente tienden a aumentar la mayoría del tiempo.

Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran la variación de la turbiedad a la entrada y salida del sistema. La Figura 4.3 muestra cómo los puntos de aumento en el agua de entrada provocan un aumento en determinado momento en el agua de salida, y una vez que el agua de entrada baja la turbiedad el efluente tiende a disminuir.

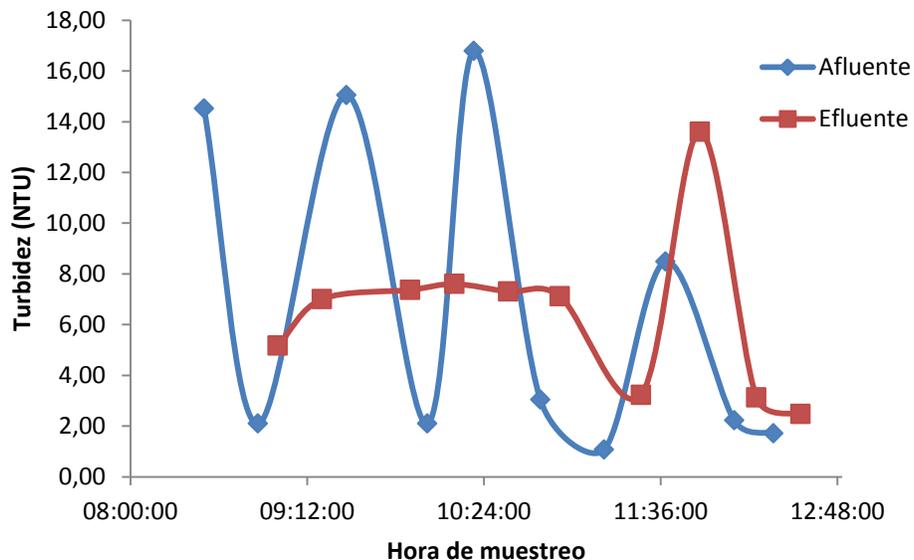


Figura 4.3. Variación de la turbiedad con respecto al tiempo, 03 de mayo.

Ambos esquemas reflejan como el aumento y descenso constante en la turbiedad del agua en el afluente causan una turbiedad que tiende a ser constante en el efluente. Los comportamientos descritos anteriormente de la turbiedad del agua en la salida del sedimentador, parecieran mostrar que la turbiedad del efluente va a ser función de la calidad y del volumen de agua que llega en determinado momento al sedimentador y no del tratamiento que recibe el agua. En ambos casos se puede notar como en varios puntos de la medición el agua del efluente posee una turbiedad mayor que el agua que ingresa al sistema. No obstante, los valores de turbiedad en el efluente varían desde 1,94 NTU hasta 60,3 NTU, para un promedio de 9,899 NTU. Si se tiene en cuenta que la turbidez del agua potable puede ser de máximo 25 NTU y que las aguas grises pueden estar en un rango de 15,3– 240 NTU (Eriksson, 2002), se puede inferir que la turbiedad del agua de entrada al sistema de tratamiento se mantiene en un rango aceptable.

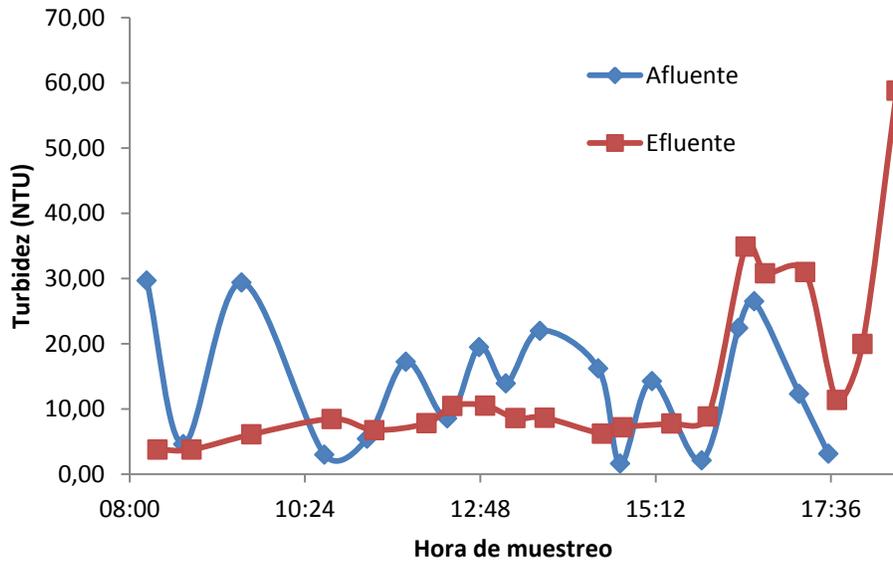


Figura 4.4. Variación de la turbiedad con respecto al tiempo, 2 de junio.

La temperatura del agua de salida del sedimentador oscila entre los 23 °C – 44 °C, con un promedio de 34,7 °C, este valor se encuentra aproximadamente 5 °C por debajo de la temperatura establecida en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Uno de los principales factores que afecta la temperatura del agua es la radiación solar que junto con las variaciones de temperatura del agua de entrada mantienen la temperatura del agua del efluente del sedimentador con una tendencia constante, como se puede observar en la Figura 4.5, que muestra el comportamiento de la temperatura el día 2 de junio, en él se puede observar como en todo momento a pesar de los picos mínimo y máximo de temperatura en el agua de entrada, la temperatura del efluente se mantiene dentro los límites permitidos (línea morada y verde). Además, existe una similitud en el comportamiento de los parámetros turbiedad y temperatura, como se puede apreciar en la tendencia similar que presentan los gráficos de las Figuras 4.4 y 4.5.

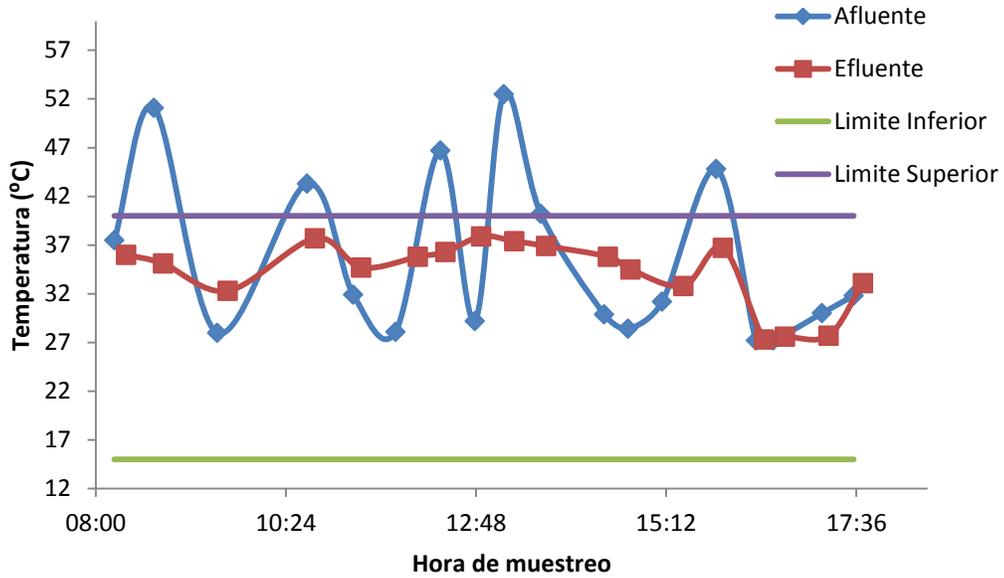


Figura 4.5. Comportamiento de la temperatura en el sedimentador.

La conductividad del agua es una aproximación de la cantidad de sales disueltas en el agua. Las elevadas mediciones de conductividad revelan una presencia importante de sales tanto en el afluente como en el efluente del sistema de tratamiento.

La Figura 4.6 muestra la variación de la conductividad a lo largo del día en el afluente del sedimentador, en la imagen se puede notar que los mayores picos de conductividad se obtuvieron al inicio del proceso de producción y al finalizar el mismo, esto coincide con los lavados de producto que se hacen a las tuberías y con el término del proceso de empaque dando lugar al lavado de los cisternas y equipos. En el Laboratorio los sueros contienen sales como cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl), cloruro de magnesio (MgCl₂) (Ver Anexo 1), la presencia de estas sales en el agua de residual pueden ser causa de los elevados valores de conductividad.

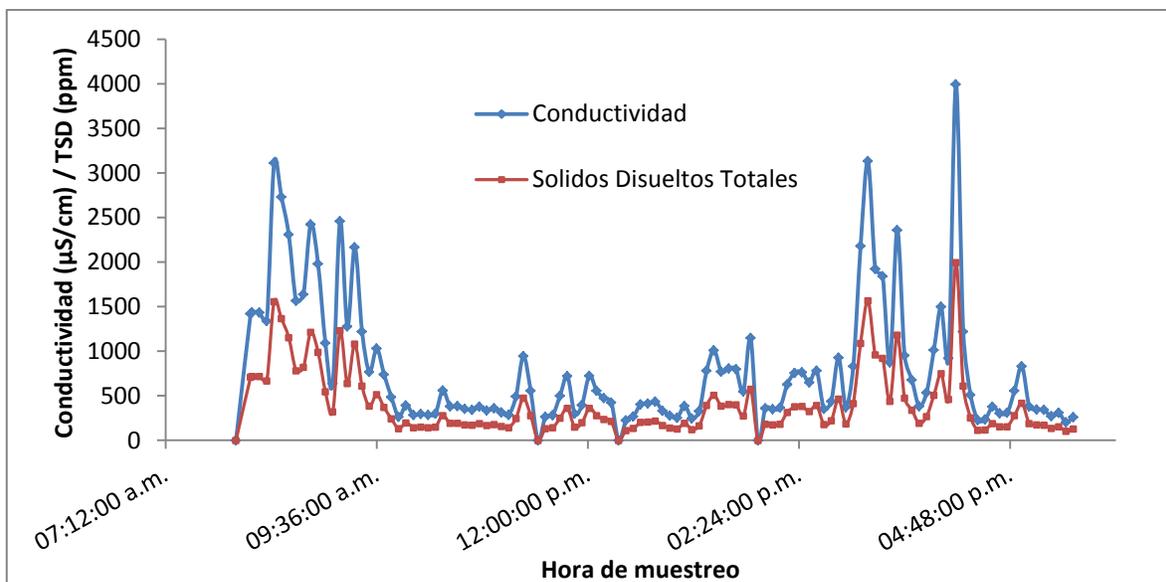


Figura 4.6. Medición de conductividad y sólidos disueltos totales en el afluente del sedimentador.

Debido a las variaciones en el “tipo” de agua que ingresa al sistema y al contenido de sales en las mismas, se obtuvieron valores de conductividad que se sitúan en un rango de 0,205 mS/cm - 44,7 mS/cm para el afluente y en un rango de 0,205 mS/cm – 11,66 mS/cm para el efluente. Lo que denota que se está trabajando con agua de moderadamente dura a muy dura.

La Figura 4.7 muestra los valores máximos y mínimos de conductividad en el efluente para los días 16, 24, 25 de mayo y 2 de junio, donde se produjo solución electrolítica, NaCl, Mixto y Dextrosa 50 % respectivamente. En ésta se puede observar como el mayor valor conductividad se obtiene día que se produjo la solución Mixta (Dextrosa y NaCl), unido a esto el día anterior se desecharon 640 L de solución de NaCl 0.9 % lo que eleva la presencia de sales en el sistema impactando parámetros como la conductividad.

Si bien es cierto la conductividad varía también con respecto a la temperatura y por ende a mayor temperatura mayor conductividad, en los 4 casos la temperatura se mueve en un rango de 26 °C – 43 °C y el mayor valor de conductividad no está ligado a la mayor medición de temperatura.

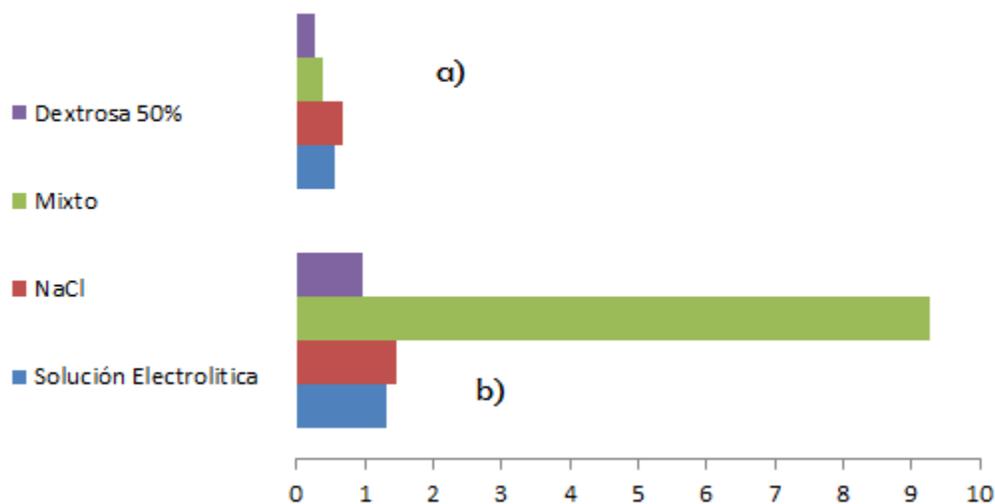


Figura 4.7. a) Valores mínimos de conductividad en el efluente del STAR b) Valores máximos de conductividad en el efluente del STAR.

En cuanto al pH, el Reglamento indica que éste debe estar en el rango $5 \leq \text{pH} \leq 9$, el valor de pH a la salida del STAR varía en un intervalo de 1,85 – 10,65, ambos valores se encuentran fuera de los límites permitidos, pese a que el pH promedio del agua de salida es de 6,94 lo que denota que la mayor parte del tiempo las aguas están dentro del límite permitido; los puntos mínimos y máximos fuera del rango estipulado obligan a corregir el sistema de tratamiento.

El Cuadro A.26 muestra los resultados de la caracterización química de las aguas de salida del procesos de esterilización y enfriamiento, los resultados de DBO corresponden a 10 ppm y 14 ppm respectivamente, lo que indica que son aguas que poseen algún tipo de carga orgánica, basándose en este parámetro se dice que las aguas no contaminadas poseen DBO inferiores a 5 ppm, no obstante clasificar la contaminación de las aguas solo por la cantidad de DBO no es representativo de la realidad pues también es necesario tener en cuenta el grado de contaminación del destino de las aguas y el límite máximo permitido que según el Reglamento de Vertido es para la industria farmacéutica de 100 mg/L, por lo tanto el estado del agua residual proveniente de los servicios auxiliares es agua que podría calificarse como agua “limpia”.

El estudio de los resultados de análisis de DBO de las aguas mencionadas anteriormente se ve respaldado por los resultados de parámetros como la turbidez, si se tiene en cuenta

que el Reglamento para la Calidad de agua Potable indica que la turbiedad del agua potable debe ser preferiblemente <1 pero puede llegar hasta un máximo de 25 NTU, entonces la turbiedad del agua de esterilización y de enfriamiento con valores de 0,37 NTU y 0,00 NTU respectivamente refleja el estado limpio de las aguas de dichos procesos.

La caracterización química de las aguas del L.S.P revela la presencia de materia orgánica y la evidente necesidad de tratar las aguas residuales, inclusive cuando el producto en fabricación difiera de la Dextrosa 50 %, que es el producto crítico, pues es el que más carga orgánica aporta al sistema (Ver Cuadros A.26 y A.27).

Los resultados obtenidos en las pruebas de DBO exceden el límite máximo permitido para el vertido de aguas residuales en un cuerpo receptor, siendo mayor a 100 ppm (valor CIIU) en los tres casos para los cuales se obtuvieron muestras. Es importante destacar en ocasiones el DBO es superior en el agua de salida con respecto al agua de entrada como se observa en la siguiente figura:

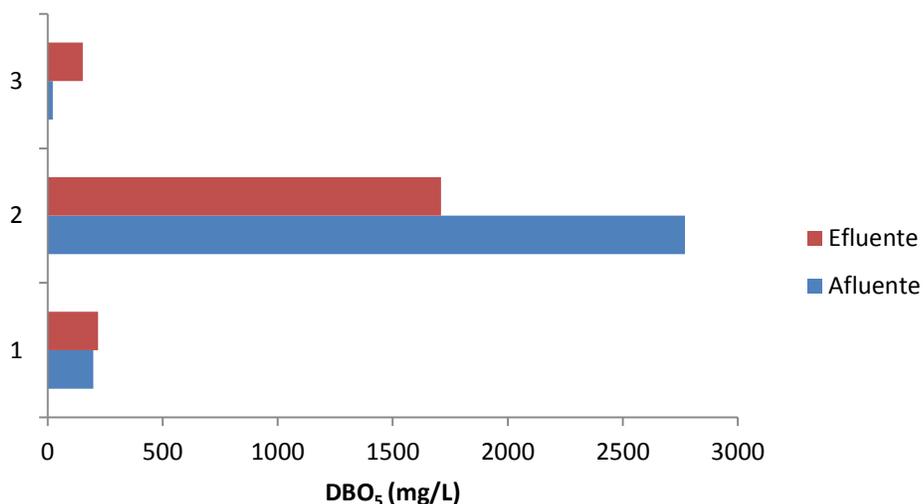


Figura 4 8. Comparación del DBO del efluente y el afluente del sedimentador.

Como es de esperarse el DQO mantiene un comportamiento similar al DBO. Según el CIIU 24231 para la industria farmacéutica el límite máximo de vertido de DQO es 300 mg/L por lo tanto los resultados obtenidos reflejan que el DQO se excede hasta en un 1000 %.

La razón de biodegradabilidad obtenida de los resultados del muestreo del 2 de junio es 0,07, lo que demuestra que el DQO \gg DBO y que las aguas, además de poseer una carga orgánica elevada, se encontraban contaminadas con residuos que no solamente aportan carga orgánica al sistema, como lo es el caso de solventes utilizados en el área de mantenimiento; este es un escenario que se podría repetir con frecuencia debido a las aguas provenientes de pilas de lavado del área de mantenimiento, a este valor de DQO también debe aportar carga los detergentes.

Los resultados discutidos anteriormente demuestran que el DBO₅ y el DQO son los parámetros que causan un mayor impacto en el sistema de tratamiento.

4.2. Análisis Estadístico

El capítulo 1 mostró como es el proceso productivo y de tratamiento de las aguas residuales del L.S.P, lo que permitió a su vez intuir que existe una variabilidad en la calidad de las aguas residuales que el Laboratorio genera, esto aunado a las condiciones de operación de la planta de producción y del sedimentador provoca que los resultados en el agua del efluente del sistema de tratamiento, como se analizó en la sección 4.1, en ocasiones no se encuentren dentro de los límites permitidos en el Reglamento 33601.

Por lo anterior, se buscó determinar mediante un análisis estadístico si el sedimentador como único sistema de tratamiento tiene un efecto significativo sobre los parámetros medidos in situ (conductividad, potencial de hidrógeno, temperatura y turbidez). Por esta razón se procedió a realizar una prueba de hipótesis pareada para cada indicador, con el objetivo de determinar si los resultados obtenidos para el afluente y efluente del sedimentador difieren de un modo estadísticamente significativo. En el Cuadro 4.1 se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro 4.1. Estadísticos prueba de hipótesis

Parámetro	Estadístico t	Valor de la probabilidad
pH	-0,2664	0,7910
Temperatura	2,8168	0,0069
Conductividad	1,1807	0,2433
Turbidez	1,2093	0,2322

Dado que, en tres de los parámetros analizados (pH, conductividad y turbidez) el valor de la probabilidad es mayor que 0,05; se puede concluir con un nivel de confianza del 95 % que para estos tres casos se acepta la hipótesis nula y se concluye que no existe una diferencia relevante entre el agua de entrada al sedimentador y el agua de salida.

Para el caso de la temperatura, el comportamiento es distinto, ya que el valor de la probabilidad obtenido es considerablemente menor que 0,05; por lo tanto existe evidencia estadística de que la temperatura del afluente difiere de la temperatura del efluente, este comportamiento de la temperatura distinto a los otros parámetros puede darse debido a que la temperatura del agua del afluente varía en un intervalo de 24,61 °C a 62 °C intercambiando valores de temperatura elevados y bajos como lo muestra la Figura 4.5, funcionando como amortiguador al mezclarse continuamente con el agua del sedimentador causando una variación de 21 °C en el efluente versus una variación de 37,39 °C en el afluente, por lo tanto el comportamiento de la temperatura de salida mantiene la mayoría del tiempo una tendencia constante. Lo anterior confirma el análisis de resultados de la sección precedente.

La prueba de hipótesis señala que el tratamiento no está causando un efecto importante en las aguas en la mayoría de los parámetros en cuestión, por esta razón se procede a realizar una correlación múltiple a fin de determinar si existe algún grado de asociación entre la temperatura, el pH, la conductividad y la turbidez.

La matriz de correlaciones (Ver Cuadro 4.2), refleja si efectivamente existe un impacto de cada indicador sobre los otros indicadores estudiados.

Cuadro 4.2. Matriz de correlaciones utilizando los parámetros medidos in situ.

Parámetro	Correlaciones con la	Correlaciones con la	Correlaciones con la	Correlaciones con la
	Conductividad	pH	Temperatura	Turbidez
	(%)	(%)	(%)	(%)
Conductividad	100	-8	-3	5
pH	-8	100	35	3
Temperatura	-3	35	100	-34
Turbidez	5	3	-34	100

La matriz muestra como la conductividad afecta de manera despreciable a los otros parámetros (pH, temperatura y turbidez), lo que refuerza de forma estadística el comportamiento descrito en el punto 4.1 en relación a la variación de la conductividad y como ésta en el caso de estudio no se encuentra fuertemente ligada a los cambios de temperatura, a pesar de ser la temperatura la variable que guarda una relación importante con la turbidez y el pH.

Con el objetivo de determinar qué factores están generando que el sistema de tratamiento no proporcione resultados estadísticamente significativos, se procedió a realizar un análisis factorial, como método exploratorio que permita determinar si en efecto existe algún factor subyacente que esté influyendo sobre las variables en estudio y permita explicar la variabilidad observada.

La teoría establece que el análisis factorial permite por medio de los valores propios de la matriz de correlación, determinar si existe un factor subyacente que no es observable, pero que está influyendo de modo sistémico en las variables en estudio.

Como método exploratorio, se busca determinar si en efecto existe algún factor sistémico que esté influyendo sobre los parámetros medidos, si éste explica un porcentaje importante de la variabilidad del proceso y cómo se relaciona con cada una de las variables, permitiendo de este modo emitir señales sobre los posibles fenómenos, procedimientos o acciones que se están desarrollando en el proceso de tratamiento y que están suscitando el factor subyacente.

Por lo anterior, se procedió a realizar un análisis factorial, de éste se obtuvo que un único factor es suficiente para explicar el fenómeno, logrando explicar el 30 % de la variabilidad observada, por tanto se concluye con un 95 % de confianza que este factor es significativo, y afecta una importante porción de la variancia del fenómeno.

Para determinar la influencia que dicho factor genera sobre las variables en cuestión se procede a revisar las cargas factoriales, las cuales proporcionan las señales que permitirán identificar los fenómenos, procedimientos o acciones que están explicando dicho factor subyacente. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Cargas factoriales para los factores medidos in situ

Parámetro	Influencia del Factor 1 (%)
Conductividad	-
pH	35,6
Temperatura	99,7
Turbidez	-33,7

El análisis factorial determinó que existe un factor, que no puede ser medido directamente; que influye sobre el pH, la temperatura y turbidez explicando un 35,5 %; 99,7 % y 33,7 %, respectivamente, de la variabilidad de cada parámetro. No obstante, dicho factor no tiene correspondencia alguna con la conductividad.

4.3. Laboratorio de Soluciones Parenterales y Sistema de Pretratamiento

El sistema de tratamiento de aguas residuales del L.S.P es un tanque sedimentador de flujo horizontal que presenta un modelo de flujo continuo con mezcla, lo que denota que existe una mezcla parcial del líquido entrante con el líquido que se encuentra en los tanques de sedimentación, en el Capítulo 1 se detalló que dicho sistema tiene como finalidad la sedimentación y separación de los sólidos que se adicionan al agua, no obstante el Anexo 10 evidencia la poca presencia de sólidos en las aguas a tratar, situación que se respalda con los resultados para las pruebas de sólidos obtenidos (Ver Cuadro A.23, A.24 y A.25), discutidos en la sección 4.1.

Por otro lado, en el Anexo 6 se puede notar que el mayor aporte de agua al sedimentador proviene de las autoclaves, si a esto se le suma el volumen de agua que se utiliza en la

etapa de enfriamiento se obtiene que más del 80 % de la totalidad del agua tratada, inicialmente tiene una carga contaminante baja en comparación con el afluente (Ver Cuadros A.26 y A.27) incrementa su carga contaminante al mezclarse con el líquido que se encuentra en los tanques del sistema de tratamiento.

Es importante considerar que actualmente al sedimentador llegan poco más de 288,485 m³ / día provenientes del proceso de producción y en el caso más crítico pueden llegar hasta 309,316 m³ / día (Ing. Mathurin), en el anexo 6 se detalla el desglose de las corrientes que conforman dicho caudal. A este caudal es necesario sumarle el volumen de agua que llega al sedimentador proveniente de pilas y lavabos, que es para el caso del Laboratorio de Soluciones Parenterales aproximadamente 39,06 m³ / día.

El sedimentador está formado por dos tanques, cada uno con un volumen de ~6,61 m³, lo que da un tiempo de retención de ~0,97 h y de 0,91 h para el caso más crítico. Si se tiene en cuenta que el tiempo de retención en un sedimentador según la guía de diseño de sedimentadores de la Organización Panamericana de la Salud debe ser de 2 horas – 6 horas, el sedimentador se encuentra fuera del intervalo de operación adecuado.

Dadas las condiciones anteriormente descritas se debe tener en cuenta que según la literatura los sedimentadores se diseñan para un periodo de operación entre los 8 años - 16 años (OPS, 2005) y el STAR del Laboratorio se puso en funcionamiento en el año 2010 es decir apenas tiene 6 años de operación y ya alcanzó el caudal máximo de diseño que como se mencionó en la descripción del sistema, se proyectó para un crecimiento en la producción del 40 % lo que equivale a 320 m³ / día de caudal máximo. A esto se le debe sumar que el L.S.P planea aumentar la producción en un 30 % - 40 % para el 2017, con la compra de una máquina llenadora y un sistema de esterilización con la capacidad de hacer un trabajo equivalente al de las 4 autoclaves con las que cuenta el Laboratorio en la actualidad, lo que daría como resultado que el sedimentador estuviera en todo momento operando fuera de su capacidad.

A pesar de que la industria farmacéutica causa un impacto importante en los cuerpos receptores de agua debido a la toxicidad del líquido residual que genera, la industria de producción de sueros como lo es el L.S.P difiere de esta realidad, pues las aguas residuales del proceso de producción carecen de componentes tóxicos siendo, como se determinó en el punto 4.1, los componentes orgánicos, como la dextrosa, presente en la

mayoría de los productos, principalmente los que alteran la calidad de las aguas residuales del Laboratorio.

Como se discutió en la sección 4.1 las aguas provenientes de los procesos auxiliares y del proceso de lavado mostraron valores de turbidez, DBO y DQO bajos en comparación con el agua del afluente, en este punto el DBO aumenta de forma considerable, especialmente cuando el producto en marcha es dextrosa, este fenómeno tiene explicación en dos sucesos que se dan en el proceso de producción, el primero es el lavado de tuberías al inicio de cada jornada y el segundo se debe al desecho de producto sobrante debido a ciertos eventos que se dan en la producción, por ejemplo un faltante de bolsas, lo que causa que la materia deba ser desechada por el drenaje pues al ser un producto crítico, que se puede contaminar fácilmente, es imposible almacenarlo (Ver Anexo 11); la cantidad y concentración de materia que se desecha varía de acuerdo con el producto en elaboración, afectando el funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento. En resume, la carga que llega al sedimentador no es sólo la que acarrea el agua residual si no que adicionalmente a este llegan los sobrantes de producto diarios, la Figura 4.9 muestra el esquema de la materia líquida que llega al sistema de tratamiento.

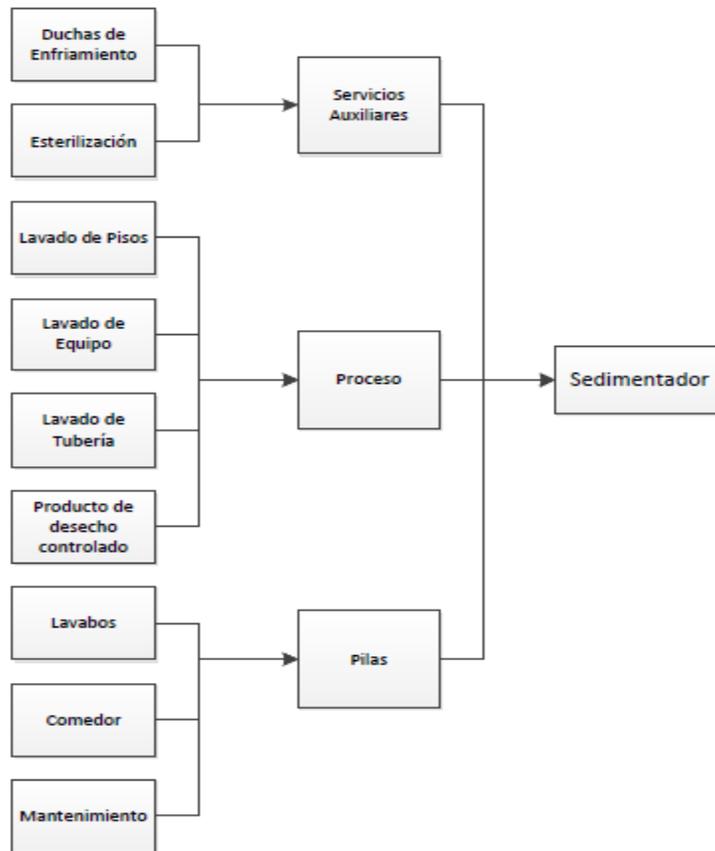


Figura 4.9. Corrientes de agua que llegan al sedimentador.

A pesar de que un sedimentador debe tener la capacidad de reducir la DBO de un 20 % a un 40 % (Porrás, 2015), la disminución de DBO no es per se el fin de dicha etapa de tratamiento. Entonces, si se comparan los resultados de DBO obtenidos para el afluente y el efluente del sedimentador se puede observar como en dos de los casos para los que se muestreó, la capacidad del sedimentador de reducir el DBO se ve limitada, pues solo en uno de los casos hubo una disminución de 2 770 mg/L a 1 710 mg/L, lo que equivale a reducir un 38 % de DBO y a pesar de esta disminución la carga orgánica tan elevada con la que ingresa el agua al sistema haría necesaria una segunda etapa de tratamiento, como lo sería una digestión microbiológica con el fin de reducir la DBO hasta en un 60 %. Por lo tanto, el sedimentador como único tratamiento de las aguas residuales del Laboratorio resulta insuficiente.

En el pasado la última etapa del sistema de tratamiento se basaba en sistema de desinfección de las aguas con hipoclorito de sodio en un tanque de cloración. Esta unidad aunque tenía como propósito la desinfección final de las aguas también causaba una

reducción en la DBO de las mismas. Sin embargo, en el tratamiento actual el cloro es agregado a las aguas en una etapa que se podría denominar precloración y se encuentra a la entrada del sedimentador, por lo tanto, es parte del proceso de sedimentación, convirtiéndose en un elemento de disminución de carga orgánica, esto aun así no está logrando disminuir la DBO en el efluente, al punto de que en todo momento se encuentre al margen del Reglamento.

Se sabe que con esta modificación se obtuvieron mejoras en cuanto al control de contaminación en el sedimentador y los alrededores, pues se logró reducir el crecimiento de algas y otros microorganismos, además de disminuir los olores oxidando parte de la materia orgánica y, en consecuencia, como se mencionó, disminuyendo la DBO. Sin embargo, si se tiene en cuenta la elevada carga orgánica del sistema y que se trabaja en un tratamiento primario el utilizar cloro es una práctica que usualmente no se aconseja debido a que la remoción de DBO mediante la cloración genera productos no deseados como los trihalometanos (Bracho & Castillo, 2009) que son persistentes en el agua. Dadas las condiciones anteriores es necesario que exista un control en la cloración de las aguas tal que satisfaga la demanda del sistema pero que afecte en la menor forma posible el tratamiento posterior o los cuerpos receptores del agua residual.

El sedimentador fue diseñado teniendo en cuenta que el producto en cuestión (dextrosa) ya no sería parte de la producción del L.S.P, por ende, al estar agregando al sistema el producto que se desecha se aumenta la carga contaminante y hace necesaria una segunda etapa de tratamiento. Es importante destacar que en los casos en donde no se dio una disminución de DBO, el agua a la entrada poseía una carga menor a la de salida, lo que constata el hecho de que la mezcla continua de líquido en el sedimentador agrega carga al agua entrante, y al estar saliendo agua por encima de la norma se ratifica la necesidad de hacer modificaciones al sistema.

La Figura 4.10 muestra como la mayor parte del afluente que llega al sedimentador está conformado por las corrientes provenientes de los procesos de esterilización y enfriamiento, empero a esto se le tiene que adicionar como se mencionó anteriormente la materia que se desecha diariamente.

El análisis estadístico (sección 4.2) permitió demostrar que no existe una diferencia significativa entre el agua de entrada y de salida del sistema, además que existe un factor no medible que está afectando en alguna forma los parámetros de caracterización de las

aguas medidos in situ, entonces si el sedimentador fue diseñado para una carga orgánica a tratar de 40 mg/L y para un flujo máximo de 320 m³ / día, se concluye que el sistema actual se encuentra operando, no solo para condiciones distintas a las cuales fue diseñado, sino que también en ocasiones se encuentra operando fuera de su capacidad máxima de caudal. Precisamente ese es el factor que está afectado el funcionamiento del sistema y que se ve reflejado en la caracterización de las aguas.

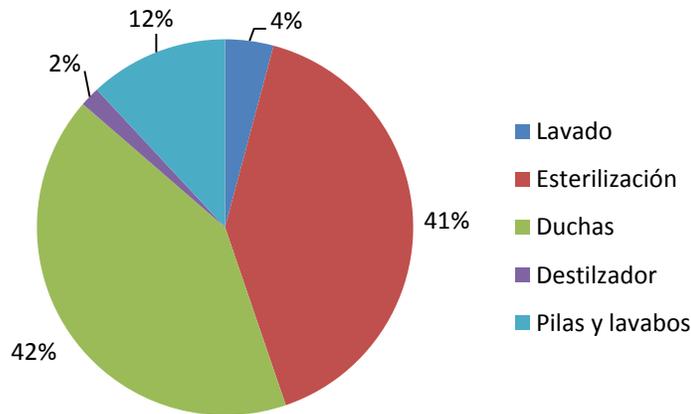


Figura 4.10. Porcentaje de las corrientes que conforman la totalidad del afluente del sedimentador.

4.4. Consumo del recurso hídrico

Al sedimentador del Laboratorio de Soluciones Parenterales llegan por día poco más de 221,49 m³ de agua, de ahí únicamente un ~ 5 % proviene del proceso de lavado.

Por otro lado, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (E.S.P.H) abastece de agua a 66 580 personas residentes en los cantones de San Isidro, San Rafael, Heredia y Ulloa. Según esta empresa, una persona consume en promedios 8 m³ de agua al mes.

Por su parte el Informe del Estado de la Nación 2015 indica que en Heredia desde febrero los racionamientos alcanzaron a un 25 % de la población.

El Laboratorio posee 2 pozos, de los cuales se pueden extraer de cada pozo hasta 327,168 m³ / día, ambos pozos se encuentran en la propiedad del L.S.P y pertenecen a la C.C.S.S, por ende el Laboratorio no paga ninguna tarifa por la explotación del recurso

hídrico. Se sabe que la visión del L.S.P es satisfacer plenamente la demanda de sus productos y que esto constituye un aporte al avance en la salud de los costarricenses, mas no por esto se debe olvidar que también es parte de la visión modernizar las condiciones de producción con el objetivo de maximizar los recursos disponibles, esto además de abarcar los esfuerzos por aumentar la producción debe contemplar también el uso racional y responsable del agua, que es, en este caso, no solo un bien utilizado como medio de transmisión de calor en el proceso, sino propiamente la materia prima de los sueros y las soluciones que se preparan en dicho Laboratorio.

Partiendo del hecho de que el agua no es un bien gratuito, ya que posee un valor social y económico, es necesario que los esfuerzos del Laboratorio se dirijan no solo a mejorar la producción, sino también a mejorar el uso y tratamiento del recurso hídrico, máxime si se tiene en cuenta que una disminución en el consumo actual del agua garantizaría la tenencia de la misma en el futuro, debido a que existe el riesgo de disminución de la cantidad de agua subterránea disponible por el incremento en la explotación de la misma.

El consumo eficiente del agua en la actualidad condiciona la capacidad de desarrollo del Laboratorio en el futuro, una disminución en el volumen de agua que utiliza el laboratorio en el proceso de producción, no solo aumentaría la productividad al disminuir el volumen de agua que se requiere para producir un litro de suero, sino que también llevaría al Laboratorio a una producción más limpia (P+L), que se lograría modificando el proceso logrando una reducción del residuo (en este caso agua) desde la fuente.

4.5. Mejora al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

En resumen, las aguas residuales generadas en el Laboratorio presentan una contaminación principalmente de carácter orgánico (DBO) y de materia no biodegradable causando un valor de DQO elevado , a esto se une la elevada variabilidad de los caudales y de la composición de los vertidos, pues este último depende de la materia en producción. Ante tal escenario es importante tener en cuenta las acciones a tomar si se desea lograr que las aguas residuales que se generan en el Laboratorio cumplan en todo momento con el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales.

A continuación se presentan dos posibles caminos que el L.S.P puede seguir a fin de mejorar las condiciones de tratamiento.

4.5.1. Criterios de Diseño del Sedimentador

El sedimentador fue diseñado basándose en los resultados de los parámetros de caracterización que se muestran en la Figura 3 (Ver Anexo 10), dichos resultados representan las aguas residuales de proceso al momento de diseñar el sedimentador; de ahí se aprecia que los valores de DBO y DQO se encuentran por debajo de la Norma (Decreto 33601), incluso antes de la instalación del mismo. Entonces, si bien es cierto las condiciones actuales de los parámetros de vertido al sedimentador difieren de los valores de los parámetros de diseño, se pueden tomar una serie de medidas que permitan al sistema alcanzar las condiciones para las que se diseñó. Por tanto, se deben separar las aguas grises provenientes de pilas de mantenimiento y lavabos de las aguas de proceso, además es necesario implementar una mejora en la planificación de la producción para reducir los desechos de materia terminada, dichas medidas disminuirían la carga contaminante que llega al sistema y a su vez se obtendría una disminución en el caudal diario.

Otra forma de contribuir a la disminución de la cantidad de líquido que entra al sedimentador es evitando que las aguas utilizadas en los servicios auxiliares sean parte en su totalidad del caudal de vertido al sedimentador. Para ello se pueden estudiar dos posibles procedimientos:

- Primero, implementar un sistema de recirculación de aguas, es decir, utilizar un sistema de bombeo y de torre enfriamiento, esto traería consigo una disminución del consumo de agua, en los procesos de esterilización y enfriamiento
- La segunda medida, incluye un estudio de los parámetros de caracterización de cuerpos receptores de agua, a fin de conocer el estado de la zona de recarga donde se vierten las aguas residuales del Laboratorio. Si los valores de los parámetros de las aguas provenientes de los servicios auxiliares fueran menores que los del cuerpo receptor sería posible encausar dichas aguas directamente evitando el paso por el sistema de tratamiento.

Lo anterior causaría un aumento en el tiempo de retención y, a pesar de que el sistema de tratamiento se diseñó para tratar una DBO de ~40 mg/L, sin tener en cuenta que la dextrosa es componente importante de varios de los productos que se elaboran en el Laboratorio, el sedimentador lograría la disminución de la carga orgánica.

Es importante tener presente, que para ejecutar las medidas anteriores se deben caracterizar las aguas a tratar, habiendo hecho las modificaciones mencionadas anteriormente (separación de aguas grises, recirculación de aguas de los servicios auxiliares, mejora en la planificación de la producción diaria), pues los resultados obtenidos en esta investigación demuestran el estado de las aguas efluente y afluente dadas las condiciones actuales de proceso, por ende, se recomienda que de ejecutar las acciones presentadas, se caractericen las aguas que eventualmente se tratarían.

4.5.2. Propuesta rediseño del sistema de tratamiento

Dados los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas del L.S.P y partiendo de la premisa de que no habría modificación en las condiciones actuales de producción, es necesario tener en cuenta la posibilidad de implementar un nuevo sistema de tratamiento, pues el sedimentador como único método de purificación del agua resulta insuficiente.

Entonces se propone un STAR que conste de las siguientes etapas:

1. **Sistema de rejillas:** para separación de sólidos gruesos
2. **Sistema homogenizador:** tendría como función absorber los picos de caudal y a su vez mezclar todos los efluentes que se generan en el laboratorio, con el fin de obtener un agua residual homogénea antes de ser vertida al tratamiento. Sabiendo que el agua que llega al sistema está cargada de contaminantes orgánicos se recomienda agregar a esta etapa un sistema de aireación que prevenga fermentaciones anaeróbicas no deseadas.
3. La eliminación del mayor porcentaje de materia orgánica se da mediante el **Tratamiento biológico**, en este caso un reactor de tipo aerobio, pues a pesar de que se tienen en algunos escenarios valores de DBO y DQO elevados, estos no son una constante, ya que en ocasiones, al sistema no se le adiciona carga orgánica, haciendo que un proceso anaerobio no sea el indicado aunque este sea un proceso más eficiente, puesto que requiere de concentraciones muy elevadas de compuestos orgánicos biodegradables incluso valores de DBO > 30 000 mg/L.
4. El hecho de que DQO >> DBO hace necesaria un tratamiento terciario, para la eliminación de la materia no biodegradable, el agua deberá pasar por un proceso físico-químico como lo es la **coagulación y floculación**, de manera que se logre desestabilizar las cargas orgánicas de la materia orgánica en suspensión formando

pequeños flóculos de materia que puedan ser removidos mediante un filtro o sedimentador

5. Un ***tanque clarificador***, será necesario para eliminar las partículas que se generan en las etapas secundaria y terciaria.

5. Capítulo 5.

Conclusiones y Recomendaciones Técnicas

5.1. Conclusiones

- Los diferentes ciclos de producción que se dan en el Laboratorio presentan características de carga orgánica y de caudales muy variables generando escenarios distintos que deben ser considerados si se quieren lograr mejoras en el sistema actual.
- La medición de los parámetros universales de caracterización de aguas se encuentran fuera de los límites permitidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Residuales N°33601 cuando el agua es vertida a un cuerpo receptor, principalmente cuando los trata de carga orgánica (DBO y DQO)
- La caracterización de las aguas residuales que conforman la totalidad del afluente del sedimentador presentan valores de DBO y DQO menores al DBO y DQO del afluente y efluente del sedimentador, lo que indica que las aguas están aumentando la carga orgánica en el transcurso al tratamiento y al mezclarse con los residuos de producto que se desechan al finalizar la jornada diaria de producción.
- La variación y los altos valores de DBO y DQO de las aguas residuales a la entrada y salida del sedimentador demuestran que la carga orgánica presente es la causante del mayor impacto en el sistema de tratamiento, siendo los valores de DBO y DQO superiores a los valores CIU permitidos para la industria farmacéutica.
- El caudal máximo de diseño del sedimentador ya fue excedido, por lo que el sedimentador se encuentra operando fuera de su capacidad, dando como resultado un tratamiento insuficiente.
- Dado que para tres de los cuatro parámetros medidos in situ el valor de la probabilidad es mayor que 0.05, se concluye que con un 95 % de confianza que no existe una diferencia significativa entre el agua del afluente y efluente del sistema.

- Se determinó mediante un análisis factorial con el Programa estadístico R que existe un único factor no medible, que afecta las variables estudiadas y que además explica un 30 % de la variabilidad del sistema. Dicho factor puede representar las condiciones de operación del sistema de tratamiento.
- En el L.S.P se consumen más de 95 millones de litros de agua anualmente y menos del 5 % de agua extraída se transforma en producto del consumo, debido a que no existen procesos eficientes que maximicen el uso del recurso hídrico, lo que hace necesario pensar en replantear los procesos que involucran el agua como medio de transferencia de calor y pensar en una producción más limpia.
- Existe un desconocimiento por parte del personal del laboratorio en cuanto al diseño y funcionamiento del sedimentador, por lo que es necesario volver a los criterios de diseño si se quiere que el sistema funcione adecuadamente.

5.2. Recomendaciones Técnicas

- Es necesario separar las aguas grises y las aguas del proceso de producción a fin de que el STAR se utilice sólo para tratar las aguas de proceso, pues fue diseñado teniendo en cuenta únicamente las aguas residuales provenientes del proceso de producción.
- Implementar un sistema de recuperación de residuos para evitar que el producto desechado llegue al sistema de tratamiento, pues por cada carga que se le añada al sistema es preciso añadir una nueva etapa de tratamiento.
- Orientar los procesos a una Producción más limpia.
- Llevar a cabo mediciones periódicas de los parámetros temperatura, pH, caudal y sólidos sedimentables como lo recomienda el Manual de operación del Sedimentador.

- Estudiar el estado de la zona de recarga de las aguas residuales tratadas que desecha el Laboratorio a fin de conocer si eventualmente se podrían encausar las aguas provenientes de los procesos auxiliares sin pasar previamente por el sistema de tratamiento del Laboratorio, ya que el paso de estas aguas por el sedimentador está añadiendo carga a dichas corrientes.
- Estudiar la posibilidad de implementar a futuro la recirculación de las aguas que se utilizan en los servicios auxiliares con el fin de disminuir el caudal diario que llega al sistema de tratamiento y a la vez generar un ahorro en el consumo del agua.
- Modificar el sistema de pretratamiento actual de forma que se implemente en el Laboratorio un Sistema de Tratamiento de aguas residuales que se componga de al menos de 5 etapas: sistema de rejillas, sistema homogeneizador, tratamiento biológico, tratamiento físico químico y tanque clarificador. Dicho sistema debe ser capaz de eliminar las cargas contaminantes en todo momento
- Estudiar el Manual de Operación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Proceso, a fin de entender el funcionamiento del sistema y poder hacer modificaciones significativas sin que traigan consecuencias negativas tanto al L.S.P como al entorno.

Capítulo 6

6. Manual de Buenas Prácticas del Recurso Hídrico

6.1. Introducción

En la actualidad el agua no es un recurso ilimitado que garantice el abastecimiento para el consumo humano, lo que obliga a la sociedad a trazar un camino donde el preciado líquido se utilice de forma eficiente garantizando la sostenibilidad del proceso de consumo y por ende el acceso de este a todas las poblaciones.

El costo real del agua va más allá de la cantidad de dinero que se paga mensualmente por el suministro y la depuración ya que ligado al agua se encuentra el desarrollo económico y social de una población, la falta de agua causaría una menor producción de alimentos e inevitablemente un declive en el desarrollo industrial.

Tener conciencia en cuanto al consumo de agua trae múltiples beneficios para las organizaciones que van desde el ámbito ambiental hasta ámbito económico.

El presente capítulo muestra una serie de conceptos y pasos a realizar si se quiere implementar el uso eficiente del recurso hídrico. Dicho capítulo, a forma de Manual, se realizó a fin de generar una conciencia en los trabajadores del Laboratorio, para ello estudió el uso y tratamiento del agua, así como la experiencia compartida con el personal de las distintas áreas del Laboratorio. El Manual se basa en la Guía Práctica Para el Uso Eficiente del Agua en el Sector Público Costarricense.

6.2. Algunos Conceptos importantes

6.2.1. Producción más limpia

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente se define Producción más limpia como la “aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada aplicada a procesos, productos y servicios para mejorar la eco eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente”. La siguiente figura muestra la estrategia general para implementar una P+L.

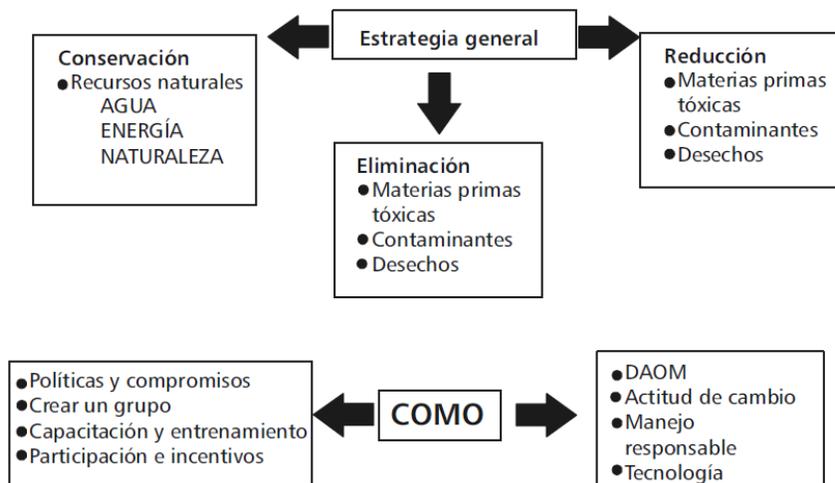


Figura 6.1. Estrategia general P+L (Montaño, 2002).

6.2.2. Usos del agua en las organizaciones

Los usos o demandas de agua pueden clasificarse en tres categorías (Bourguett, 2003):

- 💧 **Consuntivos:** abarca el agua que utiliza en operaciones que no implican descarga al alcantarillado o sistemas de tratamiento por ejemplo: la que se infiltra al subsuelo, como por riego de jardines; y la que se incorpora a un producto manufacturado, en el caso de elaboración de comida, hielo, entre otras.
- 💧 **No consuntivos:** se refiere al agua que se emplea en operaciones rutinarias del consumo humano, como son: servicios sanitarios, llaves de lavabos y fregaderos, y procesos de lavado. El agua una vez utilizada es descargada a la red de alcantarillado sanitario o se entrega para ser reutilizada en otros procesos.
- 💧 **Pérdidas:** Es el agua que no es aprovechada para algún servicio, generalmente se refiere a las fugas en tuberías y válvulas. Dentro de esta categoría se puede incluir el desperdicio cuando el agua usa en exceso.

6.2.3. Indicadores de desempeño

Un indicador de desempeño es una medida cuantitativa que permite identificar cambios en el tiempo y que posibilitan determinar el estado de un sistema con base en los promedios del medio o en relación a los índices nacionales o internacionales del mismo sector, estas medidas permiten determinar el éxito de una determinada labor.

6.3. Estrategias para el Ahorro de Agua

El ahorro de agua se da en dos vías, la primera implica hacer inversiones que comprenden cambios físicos en las instalaciones cuyos beneficios se traducirán en una disminución de los costos de producción futuros en la mayoría de los casos, y la segunda, pero no menos importante, en los hábitos de consumo de las personas que laboran en el lugar.

Siguiendo los principios de la estrategia de Producción más Limpia se deben de seguir paso a paso las etapas que se explican a continuación y que se rigen bajo el ciclo de mejora continua de Deming.

6.3.1. Etapa 1

6.3.1.1. Conformación de un equipo de vigilancia

Este equipo es el encargado de velar por el ahorro y uso eficiente del agua, para lograr sus objetivos debe contar con el apoyo de la gerencia. Dicho equipo debe ser entrenado en temas de P+L, con el fin de que sean capaces de identificar oportunidades, desarrollarlas y difundir sus resultados (Montaño, 2002).

6.3.1.2. Identificación de fuentes y etapas del consumo de agua

En este punto se deben listar todas las etapas del proceso y a su vez identificar los puntos en donde se utiliza agua. Lo que generará posteriormente un inventario de las aguas.

En el caso del Laboratorio de Soluciones Parenterales, es preciso conocer el destino y uso del agua que se extrae de los pozos que se encuentran en la propiedad del Laboratorio esto con el fin de identificar las posibles estrategias de ahorro de agua.

6.3.2. Etapa 2

6.3.2.1. Análisis del proceso productivo

En esta parte se debe realizar una auditoría de agua, que permita identificar cada faceta y componente del sistema de distribución de agua, lo que abarca los siguientes puntos (Montaño, 2002):

-  Identificar las entradas y salidas de agua
-  Identificar los elementos de distribución del sistema

- 💧 Identificar los usos del agua (Producción, servicios auxiliares, comedores, jardinería, etc.)
- 💧 Contabilizar los suministros medidos como los no medidos
- 💧 Identificar los puntos del sistema donde el agua puede ser extraída. Así como definir los requerimientos de agua para cada proceso tanto en calidad como en cantidad.

De lo mencionado anteriormente se deriva que para caso del L.S.P, es importante identificar el uso del agua del Laboratorio en cada una de las categorías que se mencionaron anteriormente para que el personal identifique las áreas donde se puedan implementar mejoras que optimicen el consumo y reduzcan el desperdicio. El siguiente cuadro es una tabla que se recomienda utilizar para el Balance de Materia e identificación de la categoría a la que la corriente de determinada operación pertenece.

Cuadro 6.1. Tabla para el resumen de los resultados de los balances de materia.

Unidad de Operación	Entradas		Salidas	
	Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad
1.				
2.				
3.				
4.				

Fuente : (Bourguett, 2003)

Conocer y controlar el volumen de agua que utilizan los funcionarios es un requisito si se desea concientizar a los mismos para que utilicen el bien de forma racional, esto se puede lograr ya sea mediante la revisión de los datos históricos de consumo reportados en los recibos de cobro o como el caso del L.S.P mediante el control de la medición de los caudales con los datos históricos de los medidores. El Anexo 5 muestra los caudales de consumo diario durante el proceso de producción y en el Cuadro 6.2., se puede leer el consumo aproximado de agua debido a las necesidades de los funcionarios, dicho cálculo se estimó con la ayuda del Cuadro 7 (Anexo 10).

Cuadro 6.2. Consumo de agua de los funcionarios del L.S.P

Turnos de Trabajo*	Accesorio Utilizado	Consumo Promedio (m ³ /min)	Duración del uso (min/día)	# de Personas que utiliza el accesorio	# de días al mes que se utiliza el servicio	Volumen consumido (m ³ /mes)
Primer Turno	Lavamanos	0,006	10	87	22	114,84
	Lavaplatos	0,008	45	87	22	689,04
	Servicio Sanitario (descarga)	15	6	87	22	172 260
Primer Turno**	Lavamanos	0,006	10	7	8	3,36
	Lavaplatos	0,008	45	7	8	20,16
	Servicio Sanitario (descarga)	15	6	7	8	5 040
Segundo Turno	Lavamanos	0,006	10	3	30	5,4
	Lavaplatos	0,008	45	3	30	32,4
	Servicio Sanitario (descarga)	15	6	3	30	8 100
Tercer Turno	Lavamanos	0,006	10	3	30	5,4
	Lavaplatos	0,008	45	3	30	32,4
	Servicio Sanitario (descarga)	15	6	3	30	8 100
Total (m³)						194 403

*En el Laboratorio laboran 93 personas en total, en el segundo y tercer turno laboran 3.

**Primer turno correspondiente a los fines de semana.

6.3.3. Etapa 3

La etapa 3 consiste en generar oportunidades de ahorro y uso eficiente del agua, que van por ejemplo, desde mejoras en los procesos de lavado, mejoras en los sistemas de aspersión hasta cambios en el proceso y la implementación de sistemas de reuso y reciclaje (Montaño, 2002).

Por otro lado existen medidas de ahorro del recurso que parten de la simplicidad pero generan impactos significativos en el consumo y hábitos de las personas, algunas de ellas se nombran a continuación:

- 💧 Dar mantenimiento y verificar constantemente el estado de las llaves de paso y empaques a fin de evitar goteos genera resultados inmediatos. Por ejemplo, se estima que una llave que gotea constantemente puede desperdiciar un promedio de 30 L por día, quedara abierto con un chorro abundante podría generar un desperdicio de hasta 700 L por día (Rincón).

- 💧 Sustituir el sistema de descarga de los inodoros con tirador, por otros sistemas como el de doble descarga que permite escoger entre dos volúmenes distintos de descarga. Los inodoros antiguos usan entre 7 L y 9 L por descarga, los sistemas con tirados con doble descarga permiten reducir la descarga por lo menos en 3 L (Rincón).
- 💧 Realizar constantemente ecoauditorías del agua con el fin de conocer, controlar y garantizar el uso eficiente de este recurso en los centros de trabajo.
- 💧 Controlar el consumo de agua del centro de trabajo a través de la facturación periódica del agua.
- 💧 Sustituir los métodos de limpieza tradicionales por métodos de limpieza de bajo consumo de agua como las máquinas de hidrolimpieza

6.3.4. Etapa 4

La penúltima etapa consiste en una vez estudiado el caso de la propia empresa, seleccionar las medidas que se puedan implementar en las instalaciones y que permitan alcanzar los distintos objetivos, como lo son el incrementar la participación del personal en el cuidado del agua, disminuir el agua requerida para un determinado proceso y obtener una mejor imagen pública.

Como en todo proyecto, una vez estudiados los puntos que se desean desarrollar, que abarca en este caso desde la identificación de los puntos de consumo hasta las medidas de ahorro, y cambio disponibles es preciso evaluar los impactos intangibles, financieros y de ahorro de agua de cada una de estas medidas.

6.3.5. Etapa 5

Una vez seguidos los pasos anteriores se debe preparar y programar la implementación de las decisiones que se tomen por el equipo de vigilancia

6.4. Concientización

El éxito de cualquier programa de ahorro se basa en la medida de concientización que se logre en la población involucrada, por ello es necesario dedicar esfuerzos a educar el personal de la institución, sobre la necesidad e importancia de la utilización racional y

eficiente del agua. En ese sentido es vital definir el o los medios que se utilizarán para hacer llegar a la población del Laboratorio los mensajes sobre la necesidad del ahorro y los avances del programa, algunas sugerencias se mencionan a continuación (Rincón):

- Colocar adhesivos en los servicios que informen de la necesidad de cerrar bien la llave al salir, mantenerla cerrada mientras se lava los dientes y evitar el uso del inodoro como cenicero o papelera.



- Hacer pública una extensión telefónica o definir un sistema para avisar a los responsables de mantenimiento cuando se detecte una fuga o un accesorio dañado que ocasione una pérdida de agua.
- Rotular las llaves de paso o válvulas de alimentación general, para que en el caso de una fuga cualquier persona pueda cortar el suministro en esa zona.

6.5. Indicadores de desempeño

La Guía de Uso Eficiente del Agua para el Sector Público Costarricense sugiere la siguiente tabla de indicadores.

Cuadro 6.3. Indicadores de desempeño para el consumo eficiente del agua.

Indicador	Unidad de medición	Posibles Fuentes de Datos	Periodicidad
Consumo mensual de agua por empleado	m ³ de agua consumida /n total de empleados	Facturas de agua, mediciones de contadores de agua, lista de empleados	Mensual
N° anual de empleados que han recibido capacitación en el uso eficiente del agua	N° de empleados	Lista de asistencia a las capacitaciones sobre el uso eficiente del agua	Anual

Otros indicadores pueden ser:

- 💧 Número mensual de fugas detectadas por empleado.
- 💧 Numero mensual de fugas corregidas por empleado.
- 💧 Porcentaje de accesorios con características de ahorro instalado frente al total de accesorios instalados.
- 💧 Consumo total de agua por unidad producida (L / Unidad)
- 💧 Consumo de agua en sistemas de enfriamiento y calentamiento (m³ / mes)

7. Bibliografía

- Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N 33601.* (2007). Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/legislacion/2007/de-33601.pdf>
- Alberro, N. (2011). *Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la Toma de Muestra y el Análisis de Agua y Sedimentos para la Región de América Latina y el Caribe.*
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Madrid: Diaz de Santos, S.A.
- Bourguett, V. (2003). *Manual para el Uso Eficiente y Racional del Agua.* Mexico: IMTA.
- Bracho, N., & Castillo, J. (2009). Formation of trihalomethanes during the disinfection process in the potabilisation of water. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 231-237.
- Cámara de Comercio de A Coruña. (2008). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales en Industrial Alimentaria.* Obtenido de <http://www.camaracoruna.com/web/camara/1>
- Corcoran, E. . (2010). *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable develoment.* Obtenido de El PAÍS: http://www.elpais.com/elpaismedia/ultimahora/media/201003/22/sociedad/20100322elpepusoc_1_Pes_PDF.pdf
- Eriksson, E. (2002). Characteristics of grey water. *Urban Water*, 91.
- Herrera, R. (2015). Director del Laboratorio de Soluciones Parenterales de la CCSS. (N. M. Mendoza, Entrevistador)
- Honerhoff, J. (2005). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo de Agua en las Empresas.* Obtenido de CEGECTI: Desarrollo Sostenible: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publications/Articulo_32_aguas.pdf
- Infoagro Systems, S.L. (s.f.). *La Conductividad Eléctrica (CE).* Obtenido de http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53

- León, R. (2010). *Caracterización y pretratamiento de aguas residuales*. San José: INA.
- León, R. (2010). *Control Operacional de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*. San José: INA.
- Levine, A. (1985). Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater: Treatment and Reuse Implications. *Water Pollution Control Federation*, 805.
- Metcalf, L., & Eddy, H. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Mc Graw Hill.
- Montaño, J. (2002). *Guía de ahorro y uso eficiente del agua*. Medellín: Editorial Clave.
- OPS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima .
- Perez, J. (s.f.). *Factores que afectan el tiempo de retención*. CEPIS.
- Porras, O. (2015). *Procesos y Operaciones*. San José.
- Quesada , E. (2010). *Manual de Operación del Sistema de Pretratamiento de Aguas Residuales de Proceso*.
- Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Canadá: Reverté, S.A.
- Ramos, C. (2006). *Los residuos en la Industria farmacéutica*. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220542005>
- Rigola, M. (1990). *Tratamientos de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Rincón, A. (s.f.). *Guía Práctica Para el Uso Eficiente del Agua en el Sector Público Costarricense*. San José: MINAET.
- Secretaría de Economía. (2001). *Análisis de agua, determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua, México: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>

- Secretaría de Economía. (2001). *Análisis de agua, determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua, México: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-030-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2013). *Análisis de agua, medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf>
- Solís, M. (2015). *Producción de sueros de la CCSS alcanza los 2.4 millones de litros al año*. Obtenido de Caja Costarricense del Seguro Social: <http://www.ccss.sa.cr/noticias/index.php/32-ccss/2323-produccion-de-sueros-de-la-ccss-alcanza-los-2-4-millones-de-litros-al-ano>
- Standard Methods. (1999). Solids. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- UPC. (2006). *Parámetros de Contaminación*. Obtenido de <http://www.eei.upc.edu/continguts/APUNTS/MASTER/Aguas%20residuales/2%20PARAMETROS%20DE%20CONTAMINACI%C3%93N.pdf>
- Von Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics Treatment and Disposal*. London: IWA Publishing.
- Von Sperling, M. (2012). *Introducción a la Calidad del Agua y al Tratamiento de Aguas Residuales*. Belo Horizonte: Editorial Univeristaria, Universidad de Nariño.
- World Bank Group. (s.f.). *Introduction to Wastewater Treatment Processes*. Obtenido de <http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/wastewater-treatment>
- Zambrano, S. (2010). *Protocolo para la toma de muestras de aguas residuales*. Obtenido de http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Protocolo_para_Toma_de_Muestras_de_Aguas_Residuales.pdf

Nomenclatura

DAOM	Diagnóstico Ambiental Orientado a la Maximización
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L
DQO	Demanda Química de Oxígeno, mg/L
GyA	Grasas y Aceites,
H	Hipótesis
OD	Oxígeno Disuelto
Q	Caudal, m ³ /s
SAAM	Sustancias Activas al Azul Metileno,
SST	Sólidos Suspendidos Totales,
ST	Sólidos Totales
SVT	Sólidos Volátiles Totales
Ssed	Sólidos Sedimentables
T	Temperatura, °C
THR	Tiempo de Retención Hidráulico, s
V	Volumen, m ³
pH	Potencial de Hidrógeno, adim.
t	Tiempo, s
x	Promedio
#	Número

Subíndices

- 0 Indica la hipótesis nula
- 1 Indica que la hipótesis es alternativa
- 5 Número de días de la prueba
- 20 Número de días de la prueba
- f Final
- i Inicial

Apéndices

A. Datos Experimentales

Cuadro A 1. Datos medición de parámetros en el afluente el 3 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:30	31,5	6,81	0,300	14,52
08:52	34,0	7,01	0,298	2,09
09:28	62,0	9,36	0,455	15,04
10:01	44,5	7,26	0,303	2,09
10:20	34,0	6,90	0,168	16,78
10:47	61,0	7,29	0,260	3,04
11:13	36,0	6,90	0,277	1,07
11:38	38,0	6,98	0,275	8,48
12:06	50,0	6,92	0,278	2,22
12:22	34,0	6,70	0,285	1,71

Cuadro A 2. Datos medición de parámetros en el afluente el 4 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
07:53	33,0	1,84	12,980	27,00
08:02	29,0	2,02	8,950	19,99
08:52	31,0	11,59	59,000	38,20
09:09	59,0	10,36	11,56	21,20
09:45	27,0	6,66	23,700	2,33

Cuadro A 3. Datos medición de parámetros en el afluente el 10 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	Ph	Turbidez (NTU)
06:45	40,0	7.24	4.84
07:18	27,0	8.2	35.8

Cuadro A.3 (Continuación). Datos medición de parámetros en el afluente el 10 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)
08:06	29,0	6,81	25,8
08:31	31,0	7,33	10,79
08:55	26,0	6,62	2,82

Cuadro A 4. Datos medición de parámetros en el afluente el 16 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
07:34	33,5	6,59	0,268	3,17
08:51	38,0	5,82	467,0	3,69
09:07	29,0	6,31	1,800	8,78
10:36	39,0	6,71	0,401	7,86
11:13	43,0	6,77	0,383	66,50
13:10	37,0	6,78	0,291	1,64
13:54	46,0	7,17	0,320	2,58
14:43	32,0	5,73	6,620	1,71

Cuadro A 5. Datos medición de parámetros en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Turbidez	Temperatura (°C)
09:25	6,95	36,0
09:55	1,03	34,2
10:38	0,75	24,6
11:12	1,84	38,3
12:05	0,86	45,8
12:47	3,04	37,1

Cuadro A.5 (Continuación). Datos medición de parámetros en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Turbidez	Temperatura (°C)
14:10	3,87	42,3
14:40	3,16	35,3
15:18	1,25	47,0
15:57	17,10	59,5
16:12	2,81	29,0
16:42	32,60	30,3
17:07	26,80	37,5

Cuadro A 6. Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
08:00 a.m.	25,52	5,01	0,00000
08:10 a.m.	26,77	6,71	1,42200
08:11 a.m.	26,86	6,71	1,43600
08:16 a.m.	26,86	6,71	1,43500
08:21 a.m.	26,92	6,80	1,33700
08:26 a.m.	27,01	7,00	3,11300
08:31 a.m.	27,71	6,92	2,73000
08:36 a.m.	27,89	7,02	2,30900
08:41 a.m.	29,53	7,12	1,56700
08:46 a.m.	30,57	6,93	1,63700
08:51 a.m.	31,60	6,69	2,42300
08:56 a.m.	32,37	6,93	1,98100

Cuadro A.6 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
09:01 a.m.	35,26	7,21	1,09100
09:06 a.m.	36,25	7,23	0,64000
09:11 a.m.	34,15	7,05	2,46000
09:16 a.m.	35,17	7,23	1,27600
09:21 a.m.	34,35	7,15	2,16600
09:26 a.m.	34,50	7,21	1,22000
09:31 a.m.	34,91	7,25	0,76800
09:36 a.m.	34,54	7,32	1,03000
09:41 a.m.	36,16	7,29	0,74000
09:46 a.m.	50,31	8,71	0,48500
09:51 a.m.	36,63	8,59	0,26500
09:56 a.m.	41,26	8,97	0,39400
10:01 a.m.	29,09	9,00	0,28700
10:06 a.m.	39,06	7,59	0,29700
10:11 a.m.	35,16	8,04	0,28600
10:16 a.m.	36,79	7,60	0,29800
10:21 a.m.	35,97	7,59	0,55900
10:26 a.m.	34,08	7,76	0,38300
10:31 a.m.	32,36	7,74	0,38700
10:36 a.m.	29,39	7,82	0,35200
10:41 a.m.	27,88	7,92	0,34400

Cuadro A.6 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
10:46 a.m.	26,49	8,43	0,37900
10:51 a.m.	25,84	8,65	0,33700
10:56 a.m.	24,46	7,56	0,36000
11:01 a.m.	24,72	7,26	0,31400
11:06 a.m.	24,52	7,13	0,28700
11:11 a.m.	27,99	6,93	0,49400
11:16 a.m.	29,92	6,89	0,94600
11:21 a.m.	32,73	6,97	0,55500
11:26 a.m.	>55	7,05	-
11:31 a.m.	35,66	7,82	0,26400
11:36 a.m.	31,37	7,76	0,28200
11:41 a.m.	33,82	8,99	0,50000
11:46 a.m.	34,39	8,66	0,72100
11:51 a.m.	33,75	7,19	0,29900
11:56 a.m.	33,77	7,34	0,39700
12:01 p.m.	33,02	7,43	0,72500
12:06 p.m.	33,87	7,35	0,55500
12:11 p.m.	34,72	7,21	0,47400
12:16 p.m.	35,63	7,19	0,42500
12:21 p.m.	>55	6,69	-
12:31 p.m.	30,93	7,97	0,26900

Cuadro A.6 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
12:36 p.m.	35,41	9,20	0,40400
12:41 p.m.	34,52	8,16	0,41300
12:46 p.m.	33,98	7,34	0,43500
12:51 p.m.	42,92	6,82	0,33300
12:56 p.m.	39,60	6,97	0,27700
01:01 p.m.	40,78	7,75	0,25500
01:06 p.m.	35,74	8,22	0,38700
01:11 p.m.	34,19	7,69	0,24500
01:16 p.m.	32,99	7,34	0,32800
01:21 p.m.	30,98	7,44	0,78100
01:26 p.m.	30,14	7,50	1,01100
01:31 p.m.	32,54	9,52	0,76900
01:36 p.m.	32,47	9,26	0,80800
01:41 p.m.	32,12	8,78	0,79900
01:46 p.m.	32,89	7,99	0,54900
01:51 p.m.	32,09	7,06	1,14800
01:56 p.m.	>55	6,60	
02:01 p.m.	39,19	8,42	0,36200
02:06 p.m.	39,33	7,54	0,34800
02:11 p.m.	39,06	7,70	0,36600
02:16 p.m.	37,66	7,22	0,62800

Cuadro A.6 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
02:21 p.m.	38,28	8,82	0,75600
02:26 p.m.	41,99	9,35	0,76500
02:31 p.m.	42,69	9,24	0,65100
02:36 p.m.	40,98	9,08	0,78100
02:41 p.m.	50,64	6,90	0,35400
02:46 p.m.	42,35	7,60	0,44000
02:51 p.m.	35,69	8,59	0,92600
02:56 p.m.	36,13	7,13	0,37200
03:01 p.m.	35,76	6,96	0,83000
03:06 p.m.	33,67	7,19	2,17900
03:11 p.m.	34,14	6,97	3,13200
03:16 p.m.	38,94	6,70	1,92200
03:21 p.m.	42,63	6,63	1,84200
03:26 p.m.	53,28	6,54	0,87600
03:31 p.m.	46,34	6,59	2,36000
03:36 p.m.	46,93	6,68	0,95100
03:41 p.m.	45,72	6,72	0,67800
03:46 p.m.	41,99	7,25	0,38100
03:51 p.m.	39,45	7,00	0,53500
03:56 p.m.	36,64	6,88	1,01300
04:01 p.m.	34,93	6,75	1,50000

Cuadro A.6 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
04:06 p.m.	35,81	7,04	0,92000
04:11 p.m.	36,63	8,60	3,99200
04:16 p.m.	42,78	6,86	1,22100
04:21 p.m.	32,67	7,40	0,51000
04:26 p.m.	29,84	6,47	0,22800
04:31 p.m.	28,85	5,98	0,23600
04:36 p.m.	33,07	5,89	0,37800
04:41 p.m.	33,70	6,19	0,30500
04:46 p.m.	32,37	6,14	0,30900
04:51 p.m.	31,62	6,34	0,55800
04:56 p.m.	29,23	6,45	0,83300
05:01 p.m.	33,50	6,01	0,38000
05:06 p.m.	42,23	6,85	0,34700
05:11 p.m.	41,22	7,40	0,34400
05:16 p.m.	38,79	7,14	0,27000
05:21 p.m.	43,11	7,65	0,31000
05:26 p.m.	40,29	7,48	0,20500
05:31 p.m.	30,20	7,53	0,25900

Cuadro A.7. Datos medición de parámetros en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Turbidez	Temperatura (°C)
08:06	8,57	29,14
08:46	6,05	34,35
09:17	21,6	32,01
09:52	14,95	52,32
10:21	2,11	33,33
10:54	1,49	26,65
11:18	2,15	25,21
11:31	0,92	36,53
11:47	0,39	41,43
12:23	6,25	37,39
13:14	7,2	37,54
13:35	6,22	40,93
13:49	3,66	31,77
14:15	12,65	25,00
14:18	8,05	43,01
15:04	23,7	28,74

Cuadro A.8. Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
07:50	>55	6,28	0,000
07:55	>55	6,23	0,000
08:00	37.22	6,29	0,807
08:05	27.73	7,26	0,300

Cuadro A.8 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
08:10	25,44	6,46	0,272
08:15	28,07	8,17	0,538
08:20	28,58	7,17	0,436
08:25	29,59	6,45	1,322
08:30	29,77	6,30	1,727
08:35	30,34	6,22	2,693
08:40	29,69	6,39	1,475
08:45	29,97	6,51	0,933
08:50	30,03	6,36	1,186
08:55	30,95	6,35	0,600
09:00	32,77	6,80	0,469
09:05	35,83	8,87	0,602
09:10	35,96	8,78	0,656
09:15	35,61	8,01	0,491
09:20	32,34	6,74	1,306
09:25	33,14	6,52	0,969
09:30	31,67	6,13	2,734
09:35	32,04	6,51	1,692
09:40	32,38	6,53	1,174
09:45	>55	6,54	0,000
09:50	>55	8,32	0,000

Cuadro A.8 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
09:55	>55	7,78	0,000
10:00	51,89	7,54	0,492
10:05	47,21	7,69	0,299
10:10	49,46	7,27	0,260
10:15	34,66	9,49	0,266
10:20	30,89	7,80	0,302
10:25	29,16	6,86	0,249
10:30	27,47	6,70	0,281
10:35	32,03	6,66	0,702
10:40	33,03	6,91	0,324
10:45	31,17	7,13	0,310
10:50	29,56	7,18	0,377
10:55	28,49	7,16	0,325
11:00	27,92	6,95	0,374
11:05	27,41	6,61	0,291
11:10	26,79	6,69	0,259
11:15	26,27	5,90	0,400
11:20	25,81	1,71	5,762
11:25	25,66	1,61	7,528
11:30	25,36	1,45	10,710
11:35	25,21	1,40	16,050

Cuadro A.8 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
11:40	25,15	1,25	27,330
11:45	46,73	1,13	9,488
11:50	36,31	1,22	11,110
11:55	37,86	1,42	9,431
12:00	42,29	1,31	8,797
12:05	39,59	1,93	4,853
12:10	35,73	2,82	2,343
12:15	34,90	3,21	1,283
12:20	49,51	5,55	0,283
12:25	41,87	5,23	0,315
12:30	38,13	6,34	0,304
12:35	38,71	6,44	0,274
12:40	37,38	6,56	0,273
12:45	39,69	7,35	0,713
12:50	41,63	7,83	1,671
12:55	39,52	8,81	3,993
13:00	38,06	9,63	8,489
13:05	39,08	10,79	10,920
13:10	39,65	12,07	16,340
13:15	36,65	12,58	19,230
13:20	35,59	12,66	21,280

Cuadro A.8 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
13:25	37,17	12,35	29,430
13:30	36,94	12,23	30,170
13:35	37,48	12,21	44,710
13:40	36,33	12,37	43,830
13:45	53,13	10,48	2,533
13:50	39,52	11,26	1,935
13:55	40,34	9,92	0,568
14:00	39,43	9,41	0,360
14:05	32,44	8,29	0,305
14:10	31,26	8,89	0,292
14:15	28,41	8,10	0,271
14:20	29,43	7,88	0,501
14:25	30,52	7,82	0,445
14:30	28,72	7,43	0,251
14:35	50,21	6,62	0,437
14:40	30,48	8,04	0,461
14:45	29,46	7,56	0,252
14:50	30,57	7,13	0,248
14:55	29,48	7,94	0,277
15:00	30,21	7,29	0,260
15:05	29,70	7,25	0,343

Cuadro A.8 (Continuación). Datos monitoreo con el multiparámetro en el afluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
15:10	29,16	7,14	0,311
15:15	28,68	7,13	0,308
15:20	28,53	6,99	0,288
15:25	28,79	6,94	0,352
15:30	28,28	7,01	0,363
15:35	28,19	6,99	0,375
15:40	>55	6,63	0,000
15:45	54,32	7,26	0,322
15:50	49,06	7,92	0,334
15:55	39,09	8,35	3,975

Cuadro A 9. Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de mayo, 2016.

Hora	Turbidez	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
09:59	18,07	35,0	-	-
10:26	15,45	35,0	-	-
10:46	27,30	38,0	-	-
11:21	2,52	33,5	-	-
11:57	45,70	29,0	-	-
12:23	19,57	34,0	-	-
12:41	8,75	36,0	-	-

Cuadro A.9 (Continuación). Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de mayo, 2016.

Hora	Turbidez	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)
14:28	11,19	38,5	-	-
14:46	12,25	31,0	-	-
15:05	1,54	39,0	-	-
15:30	222,00	29,0	-	-
16:01	24,40	30,0	-	-
16:42	11,65	61,0	7,32	0,314
17:12	24,30	32,0	6,07	0,285
17:32	0,77	44,0	6,65	0,392
17:58	59,00	32,0	6,63	1,787

Cuadro A 10. Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de junio, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:14	37,5	6,34	0,366	29,70
08:44	51,1	6,95	0,293	4,60
09:32	28	5,93	0,687	29,40
10:40	43,3	6,55	0,211	3,02
11:15	31,9	6,49	0,344	5,42
11:47	28,1	6,8	0,352	17,25
12:21	46,7	6,73	0,221	8,56
12:47	29,2	6,63	0,293	19,47
13:09	52,5	6,94	0,243	13,92
13:37	40,2	7,21	0,471	22,00

Cuadro A.10 (Continuación).Datos medición de parámetros en el afluente el 30 de junio, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
14:25	29,9	6,76	0,329	16,22
14:43	28,4	6,71	0,288	1,61
15:09	31,2	6,68	0,328	14,29
15:50	44,8	7,05	0,340	2,12
16:20	27,2	5,98	0,324	22,40
16:33	27,2	6,43	0,310	26,50
17:10	30	6,84	6,110	12,34
17:34	31,8	6,65	1,001	3,14

Cuadro A.11. Datos medición de parámetros en el afluente el 1 de setiembre, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:50:00 a.m.	48,5	7,12	0,301	2,65
10:09:00 a.m.	45	8,88	0,385	5,02
11:44:00 a.m.	39,5	9,14	0,474	4,33
12:19:00 p.m.	36,5	7,90	0,287	9,31
01:32:00 p.m.	40	8,08	0,378	10,02
03:37:00 p.m.	47,5	8,23	0,282	5,92
04:36:00 p.m.	48	6,74	0,265	4,94
05:25:00 p.m.	35	9,49	0,631	3,57
05:34:00 p.m.	35,5	9,18	0,247	3,97
06:53:00 p.m.	27	7,47	0,311	195

Cuadro A.12. Datos medición de parámetros en el afluente el 2 de setiembre, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
10:26	54,5	8,71	0,434	4,66

Cuadro A.13. Datos medición de parámetros en el efluente el 03 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
09:00	32,0	7,08	0,246	5,17
09:18	32,0	7,08	0,205	7,00
09:54	41,0	7,87	0,354	7,37
10:12	40,0	7,83	0,363	7,60
10:34	40,0	7,73	0,334	7,30
10:55	39,0	7,36	0,263	7,11
11:28	37,0	6,94	0,286	3,23
11:52	34,0	6,87	0,247	13,60
12:15	34,0	6,8	0,239	3,13
12:33	34,0	6,84	0,338	2,47

Cuadro A.14. Datos medición de parámetros en el efluente el 04 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
07:54	35,5	3,98	0,902	14,40
08:22	35,5	1,98	9,440	17,46
09:06	34,0	2,10	6,060	20,50
09:27	39,0	10,23	1,150	15,70
10:00	33,0	8,96	11,660	33,50

Cuadro A.15. Datos medición de parámetros en el efluente el 10 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)
06:59	23,0	7,19	2,45
07:26	28,5	7,22	2,60
08:17	28,5	6,99	7,75
08:40	28,0	6,83	10,20
09:03	27,0	6,96	4,60

Cuadro A.16. Datos medición de parámetros en el efluente el 16 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
07:38 a.m.	36,0	9,12	1,317	14,86
08:53 a.m.	33,0	8,82	1,003	14,81
09:10 a.m.	33,0	9,09	1,265	13,98
10:39 a.m.	28,5	8,22	0,62	7,88
11:16 a.m.	34,0	8,45	0,778	10,83
01:14 p.m.	35,0	7,61	0,551	5,13
01:55 p.m.	29,2	8,10	0,588	4,00
02:49 p.m.	36,0	7,34	0,661	4,77

Cuadro A.17. Datos medición de parámetros en el efluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
09:19 a.m.	26,0	7,74	1,455	4,07
09:32 a.m.	29,0	6,76	1,410	7,18
09:57 a.m.	37,0	6,88	1,398	5,54
10:12 a.m.	36,0	6,59	1,341	2,99

Cuadro A.17 (Continuación). Datos medición de parámetros en el efluente el 24 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
10:50 a.m.	30,0	6,89	1,315	3,12
11:15 a.m.	35,0	6,89	0,868	5,13
11:40 a.m.	34,0	6,81	0,950	3,75
12:08 p.m.	39,0	6,77	0,996	5,20
12:50 p.m.	40,0	6,86	0,838	4,67
02:03 p.m.	41,0	6,73	0,751	2,68
02:25 p.m.	41,0	7,21	0,677	3,92
02:58 p.m.	38,0	6,98	0,757	4,43
03:23 p.m.	43,0	7,33	0,983	3,13
03:59 p.m.	42,5	7,34	0,922	4,72
04:26 p.m.	33,5	6,74	0,869	11,28
04:59 p.m.	37,0	7,18	0,709	34,10

Cuadro A.18. Datos medición de parámetros en el efluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:15 a.m.	32,0	6,69	1,034	3,64
08:40 a.m.	31,5	6,83	0,820	3,95
09:16 a.m.	32,0	6,89	0,788	3,95
09:52 a.m.	42,0	8,47	0,669	7,52
10:20 a.m.	31,5	8,82	0,541	4,34
10:52 a.m.	31,0	6,86	0,428	4,38
11:16 a.m.	29,0	1,85	1,378	2,63

Cuadro A.18 (Continuación). Datos medición de parámetros en el efluente el 25 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
11:39 a.m.	31,0	2,07	9,280	1,94
12:08 p.m.	39,0	2,36	4,290	3,54
01:00 p.m.	31,5	2,34	4,150	4,35
01:18 p.m.	31,0	6,34	2,730	5,13
01:42 p.m.	39,0	10,65	1,732	16,48
02:02 p.m.	29,0	9,87	0,957	12,82
02:43 p.m.	32,0	8,69	0,417	5,72
03:05 p.m.	31,0	8,48	0,385	5,96
03:30 p.m.	32,0	8,54	0,455	45

Cuadro A.19. Datos medición de parámetros en el efluente el 30 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
10:03 a.m.	38,0	7,41	2,640	10,53
10:28 a.m.	36,0	7,15	1,729	12,72
10:52 a.m.	36,0	7,06	1,561	13,79
11:29 a.m.	39,0	7,17	1,251	5,30
11:58 a.m.	36,0	7,05	1,029	4,96
12:25 p.m.	40,0	7,14	1,014	7,31
12:42 p.m.	44,0	7,17	1,529	9,57
02:30 p.m.	38,0	6,84	1,087	8,34
02:47 p.m.	38,0	6,89	1,105	9,70
03:06 p.m.	40,0	6,91	0,855	8,04

Cuadro A.19 (Continuación). Datos medición de parámetros en el efluente el 30 de mayo, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
03:36 p.m.	36,0	6,99	1,327	5,96
04:05 p.m.	35,2	6,93	1,190	9,68
04:45 p.m.	41,5	6,76	0,606	8,19
05:13 p.m.	40,0	6,82	1,301	5,20
05:34 p.m.	41,5	6,75	0,676	6,40
06:09 p.m.	34,0	6,83	2,260	26,10

Cuadro A 20. Datos medición de parámetros en el efluente el 02 de junio, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:23 a.m.	36,0	6,84	0,299	3,77
08:51 a.m.	35,1	6,75	0,334	3,77
09:40 a.m.	32,3	6,68	0,285	6,10
10:46 a.m.	37,7	7,39	0,355	8,47
11:21 a.m.	34,7	6,87	0,340	6,77
12:04 p.m.	35,8	6,74	0,356	7,81
12:25 p.m.	36,3	6,71	0,337	10,46
12:52 p.m.	37,9	6,82	0,318	10,53
01:17 p.m.	37,4	6,64	0,336	8,59
01:41 p.m.	36,9	6,89	0,324	8,66
02:28 p.m.	35,8	6,82	0,436	6,23
02:45 p.m.	34,5	6,70	0,388	7,21
03:25 p.m.	32,8	6,52	0,365	7,80

Cuadro A.20 (Continuación). Datos medición de parámetros en el efluente el 02 de junio, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
03:55 p.m.	36,7	6,63	0,295	8,87
04:26 p.m.	27,3	6,15	0,461	34,90
04:42 p.m.	27,6	6,27	0,406	30,80
05:15 p.m.	27,7	6,26	0,491	31,00
05:41 p.m.	33,1	6,69	0,967	11,39
06:02 p.m.	29,1	6,91	0,720	19,96
06:30 p.m.	27,2	6,79	0,437	58,80

Cuadro A 21. Datos medición de parámetros en el efluente el 1 de setiembre, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
08:55:00 a.m.	25	6,73	0,422	2,22
10:14:00 a.m.	32	7,71	0,335	2,38
11:49:00 a.m.	40	7,67	0,301	3,12
12:24:00 p.m.	39	7,44	0,331	2,95
01:37:00 p.m.	35	7,61	0,291	18,36
03:42:00 p.m.	38.2	7,19	0,702	6,37
04:41:00 p.m.	40	7,19	0,433	6,73
05:30:00 p.m.	38	7,22	0,545	7,39
06:47:00 p.m.	33	7,48	0,348	60,3
07:15:00 p.m.	35	7,93	0,385	38,5

Cuadro A 22. Datos medición de parámetros en el efluente el 2 de setiembre, 2016.

Hora	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
10:22	26	6,63	1,165	15,91

Cuadro A.23.Datos Solidos Totales

Corriente	Fecha	Masa inicial (g)	Masa Final (g)	Sólidos Totales (g)
	03-may	83,929	84,457	0,528
Afluente	10-may	83,712	83,746	0,034
Muestra	16-may	84,616	84,836	0,220
Compuesta	30-may	84,675	84,702	0,027
	03-may	84,842	85,456	0,614
Efluente	10-may	84,558	84,619	0,061
Muestra	16-may	83,771	83,836	0,065
Compuesta	30-may	83,785	83,933	0,148
	16-may	83,662	83,694	0,032
Afluente	30-may	84,983	85,044	0,061
Muestra	30-may	84,487	85,829	1,342
Puntual				
Pozo 1	18-may	84,612	84,633	0,021
Pozo 2	18-may	83,768	83,785	0,017
Autoclaves	18-may	84,967	84,988	0,021
Autoclaves	16-may	84,459	84,475	0,016

Cuadro A.24. Datos Sólidos Sedimentables.

Corriente	Fecha	Solidos Sedimentables
Afluente Muestra Compuesta	03-may	Menor a la mínima medición posible
	04-may	825
	10-may	Menor a la mínima medición posible
	16-may	Menor a la mínima medición posible
	30-may	1
Efluente Muestra Compuesta	03-may	Menor a la mínima medición posible
	10-may	Menor a la mínima medición posible
	16-may	Menor a la mínima medición posible
	30-may	Menor a la mínima medición posible
Afluente Muestra Puntual	16-may	Menor a la mínima medición posible
	30-may	1,3
	30-may	Menor a la mínima medición posible
Pozo 1	18-may	Menor a la mínima medición posible
Pozo 2	18-may	Menor a la mínima medición posible
Autoclave	18-may	Menor a la mínima medición posible

Cuadro A.25. Sólidos Suspendidos Totales.

Corriente	Fecha	Masa inicial (g)	Masa Final (g)	Sólidos Suspendidos Totales (g)
Afluente Muestra Compuesta	10-may	0,553	0,563	0,01
	16-may	0,543	0,552	0,009
	30-may	0,565	0,669	0,104

Cuadro A.25 (Continuación).Sólidos Suspendidos Totales.

Corriente	Fecha	Masa inicial (g)	Masa Final (g)	Sólidos Suspendidos Totales (g)
Efluente	10-may	0,577	0,58	0,003
Muestra Compuesta	16-may	0,560	0,552	Menor a la mínima medición posible
	30-may	0,598	0,605	0,007
Afluente	30-may	0,581	0,567	Menor a la mínima medición posible
Muestra Puntual	30-may	0,591	0,595	0,004
Pozo 1	18-may	0,617	0,611	Menor a la mínima medición posible
Pozo 2	18-may	0,626	0,616	Menor a la mínima medición posible
Autoclave	16-may	0,554	0,555	0,001
Autoclave	18-may	0,615	0,618	0,003

Cuadro A.26. Resultados de análisis químicos de las aguas que conforman el afluente del STAR del Laboratorio de Soluciones Parenterales, 2 de junio del 2016.

# Muestra	Corriente	Resultados (LAA)		
		DBO	DQO	SAAM
1	Afluente sedimentador (Compuesta)	198 ± 10	8 693 ± 559	-
2	Efluente sedimentador (Compuesta)	219 ± 20	3 353 ± 217	-
3	Agua Proceso de Lavado (Puntual)	18 ± 10	459 ± 27	No detectable
4	Proceso Esterilización (Puntual)	10 ± 0.10	33 ± 17	-
5	Enfriamiento en duchas (Puntual)	14 ± 10	66 ± 17	
6	Afluente (Puntual)	-	-	5,3 ± 1,2
7	Efluente (Puntual)	-	-	10,3 ± 2,4

Cuadro A.27. Resultados de análisis químicos de las aguas que conforman el afluente del STAR del Laboratorio de Soluciones Parenterales, 1 y 2 de setiembre del 2016.

# Muestra	Corriente	Resultados (Lambda)		
		DBO	DQO	SAAM
1	Afluente sedimentador (Compuesta)	2770 ± 110	5040 ± 100	< 0.05
2	Efluente sedimentador (Compuesta)	1710 ± 34	3020 ± 60	0,35 ± 0,03
3	Afluente sedimentador (Puntual)	22 ± 2	70 ± 5	0,22 ± 0,03
4	Efluente sedimentador (Puntual)	152 ± 6	261 ± 5	0,87 ± 0,03

B. Resultados Intermedios

Cuadro B.1. Biodegradabilidad de las aguas involucradas en el proceso de producción del Laboratorio de Soluciones Parenterales.

Proceso	Biodegradabilidad
Esterilización	0,30
Enfriamiento	0,21
Lavado	0,04

Cuadro B.2. Biodegradabilidad del afluente y efluente del sedimentador del Laboratorio de Soluciones Parenterales.

Fecha	Biodegradabilidad	
	Afluente	Efluente
02-jun	0,023	0,065
01-sep	0,550	0,566
02-sep	0,314	0,582

C. Muestra de Cálculo

C.1. Cálculo del tiempo de retención en el sedimentador.

Para el cálculo del tiempo de retención en el sedimentador del Laboratorio se utiliza la siguiente fórmula:

$$TRH = \frac{V_T}{Q_T} \quad (C.1)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3 y del Cuadro 5:

$$TRH = \frac{13,22 \text{ m}^3}{(288,5 + 39,06) \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0,97 \text{ h}$$

El mismo cálculo se llevó a cabo para obtener el tiempo de retención cuando el caudal es el máximo.

C.2. Cálculo de la biodegradabilidad de las aguas.

Para el cálculo de la biodegradabilidad de la materia líquida presente en el sistema se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Biodegradabilidad} = \frac{DBO}{DQO} \quad (C.2)$$

Utilizando los datos del Cuadro A.26, columnas 3 y 4, fila 2:

$$\text{Biodegradabilidad} = \frac{219}{3353} = 0,065 \quad (C.2)$$

Los resultados de biodegradabilidad se encuentran tabulados en los Cuadro B.1 y B.2

Anexos

Anexo 1. Listado de productos que se fabrican el L.S.P

Cuadro 1. Listado de Productos que se fabrican en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la CCSS.

Nombre Comercial	Producto
Agua Estéril	Agua estéril para uso externo
Dextrán 40	Inyección de Dextran 40 al 10% en NaCl al 0,9%
Dextrán 70	Inyección de Dextran 70 al 10% en NaCl al 0,9%
Dextrosa al 5 en 50	Inyección de Dextrosa al 5%
Dextrosa al 10 en 250	Inyección de Dextrosa al 10%
Dextrosa al 50 en 1000	Inyección de Dextrosa al 50%
Mixto de 1000	Inyección de Dextrosa al 5% y NaCl al 0,9%
Solución 2 de 250	Inyección de Dextrosa al 5%; NaCl 0,35% y KCl 0,15%
Dacka	Inyección de Dextrosa al 1%; NaCl 0,5%; KCl 0,1% y Acetato de Sodio 0,65%
Solución 2 de 500	Inyección de Dextrosa al 2%, NaCl 0,35%, KCl 0,15%
Solución 1	Inyección de Dextrosa al 2%; NaCl 0,35%; KCl 0,15% y Acetato de Sodio 0,4082%
Fisiológico de 100	Inyección NaCl 0,9%
Electrolítica Balanceada o Electrolizal	Inyección de NaCl 0,45%; KCl 0,07%, CaCl ₂ 0,04%; MgCl ₂ 0,03%; Acetato de Sodio 0,75%
Electrolitica balanceada con gluconato	Inyección de NaCl 0,53%; Gluconato de Sodio de 0,5%; Acetato de Sodio 0,37%; y MgCl ₂ 0,03%
Cardiopléjica	Inyección de NaCl 0,64%; KCl 0,12%; 0,33% MgCl ₂ y CaCl ₂ 0,02%
Electrolitos al 1,5%	Inyección de dextrosa al 1,5%; NaCl al 0,56%; Lactato de sodio al 0,5%; CaCl ₂ al 0,02% y MgCl ₂ al 0,015%
Electrolitos al 4,25%	Inyección de dextrosa al 4,25%; NaCl al 0,56%; Lactato de sodio al 0,5%; CaCl ₂ al 0,02% y MgCl ₂ al 0,015%
Glicina	Inyección de Glicina al 1,5%
Diasol	Baño concentrado con 18,6% de NaCl, 16,3% de Acetato de Sodio, 8,18% de Dextrosa, 0,63% de KCl, 0,6% de CaCl ₂ y 0,49% de MgCl ₂

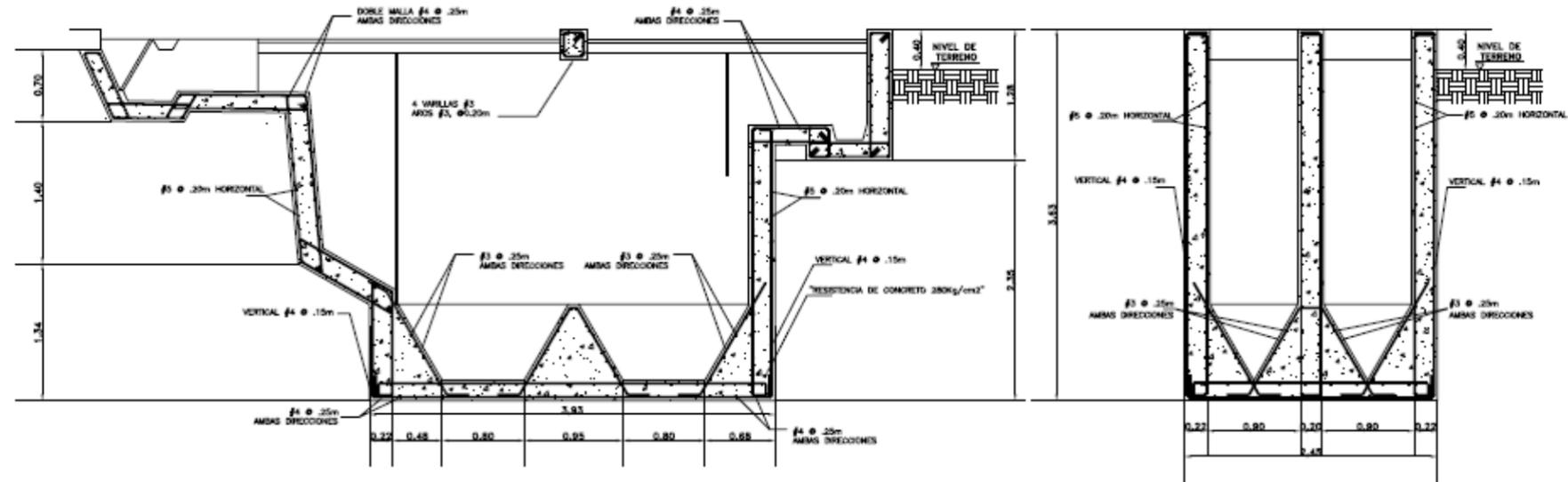
Anexo 2. Productos fabricados en el Laboratorio de Soluciones Parenterales

Cuadro 2. Aplicación de los sueros producidos en el L.S.P

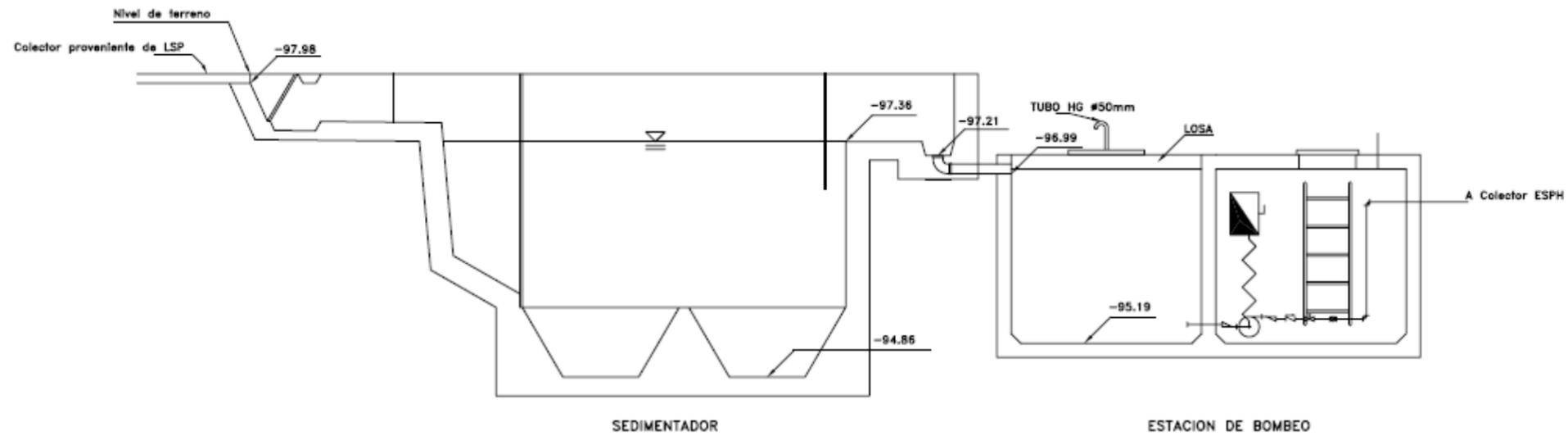
Nombre	Código	Usos
Dextrán 40 (500ml)	1-10-43-3430	Profilaxis de trombosis postoperatorias
Dextrán 70 (500ml)	1-10-43-3440	Profilaxis de trombosis venosas postoperatorias
Dextrosa 5%(50ml)	1-10-43-3450	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 5%(100 ml)	1-10-43-3460	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 5%(250 ml)	1-10-43-3470	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 5%(500 ml)	1-10-43-3480	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 5%(1000 ml)	1-10-43-3490	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 10%(250 ml)	1-10-43-3500	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 10%(1000 ml)	1-10-43-3510	Suplemento de líquidos y calorías
Dextrosa 50%(50 ml)	1-10-43-3530	Suplemento calórico
Dextrosa 50%(1000 ml)	1-10-43-3540	Suplemento calórico
Mixtos (500 ml)	1-10-43-3560	Vehículo para aporte terapéutico y calórico
Mixtos (100 ml)	1-10-43-3570	Vehículo para aporte terapéutico y calórico

Cuadro 2 (Continuación). Aplicación de los sueros producidos en el L.S.P

Solución 1 (500 ml)	1-10-43-3578	Restaurador electrolítico
Solución 2 (250 ml)	1-10-43-3579	Se utiliza en diarreas severas y dengue
Solución 2 (500ml)	1-10-43-3580	Restaurador electrolítico
Dacka (2000ml)	1-10-43-3590	Se utiliza en diarreas severas y dengue, principalmente en niños
NaCl 0.9% (100ml)	1-10-43-4530	Vehículo para aporte terapéutico
NaCl 0.9% (250 ml)	1-10-43-4540	Vehículo para aporte terapéutico
NaCl 0.9% (500 ml/1000 ml)	1-10-43-4550/1-10-43-4560	Vehículo para aporte terapéutico, Deshidratación, hipovolemia y aporte iónico
Electrolizal (1000 ml)	1-10-43-4590	En cirugías de corazón como restauradora electrolítica
Solución Gluconato (1000 ml)	1-10-43-4592	En cirugías de corazón como restauradora electrolítica y alcalinizante libera (HCO_3)
Solución Cardioplejica (1000 ml)	1-10-43-4595	En cirugías de corazón como protector isquémico
Electrolitos 1.5% (2000 ml)	1-10-43-4600	En diálisis intraperitoneales
Electrolitos 4.25% (1000 ml)	1-10-43-4610	En diálisis intraperitoneales
Diasol (3670 ml)	1-10-43-6280	Permite la realización de la hemodiálisis
Agua Estéril (500 ml)	1-10-50-3095	Irrigación y limpieza de heridas



DETALLE ESTRUCTURAL SEDIMENTADOR
ESCALA 1:20
UP-000426-001.dwg



PERFIL HIDRAULICO
SIN ESCALA
UP-000426-001.dwg

OPERA CENTRAL PARA EL VISOR DE PLANOS DE CONSTRUCCION

PROYECTO:
REMODELACION LABORATORIO
SOLUCIONES PARENTERALES

PROPIETARIO:
CAJA COSTARRICENSE DE
SEGURO SOCIAL
-Ced. Jurídica: 4-000-042147-03-

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
SP. HEREDIA	ST. HEREDIA	CP SAN FRANCISCO



AFE DE PROYECTO DEL ABL SANJOSE GUANACASTE PUEBLO A-015

ANTEPROYECTO ABL SANJOSE GUANACASTE PUEBLO

DISEÑADO: GABRIEL PERAZOLA

PROFESIONAL RESPONSABLE DISEÑO

Nombre: DR. ROBERTO RAMOS RAMOS C.C.-0001

Nombre: DR. ALBERTO RAMOS RAMOS C.C.-0001

Nombre: DR. JOSE LUIS MONTANO C.C.-0001

PROFESIONAL RESPONSABLE DIRECCION TECNICA

Nombre: / No.

Firma: / No.

INFORMACION REGISTRO PUBLICO

PROPIETARIO: CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL

CANTON: SAN JOSE - C.C. PROFESION: INGENIERIA CIVIL

TOMO: 001, PLAN: 001, MARCA: 0011, ANEXO: 1

CONTENIDO:

INDICADO

ESCALA	FECHA	LAMINA
HEREDIA	ABRIL 2008	TBS-04

CONSECUTIVO DE LAMINAS 13

13 / 34

Anexo 4. Dimensiones del Sedimentador del L.S.P

Cuadro 3. Dimensiones del sedimentador

Secciones	Sección A (Antes del Difusor)	m
Trapezio	Base Menor	0.7
	Base Mayor	0.82
	Altura	1.21
	Ancho sedimentador	0.85
Triángulo	Altura	0.7
	Base	0.41
	Ancho sedimentador	0.85
	Sección B (Después del Difusor)	
Rectángulo	Largo	3,4
	Ancho	1,76
	Ancho sedimentador	0,85
Rectángulos INF	Largo	0,74
	Ancho	0,8
	Ancho sedimentador	0,425
Triángulos	Altura	0,74
	Base	0,45
	Ancho sedimentador	0,425
Volumen Total		13,218

Anexo 5. Diagrama de transporte del agua del L.S.P

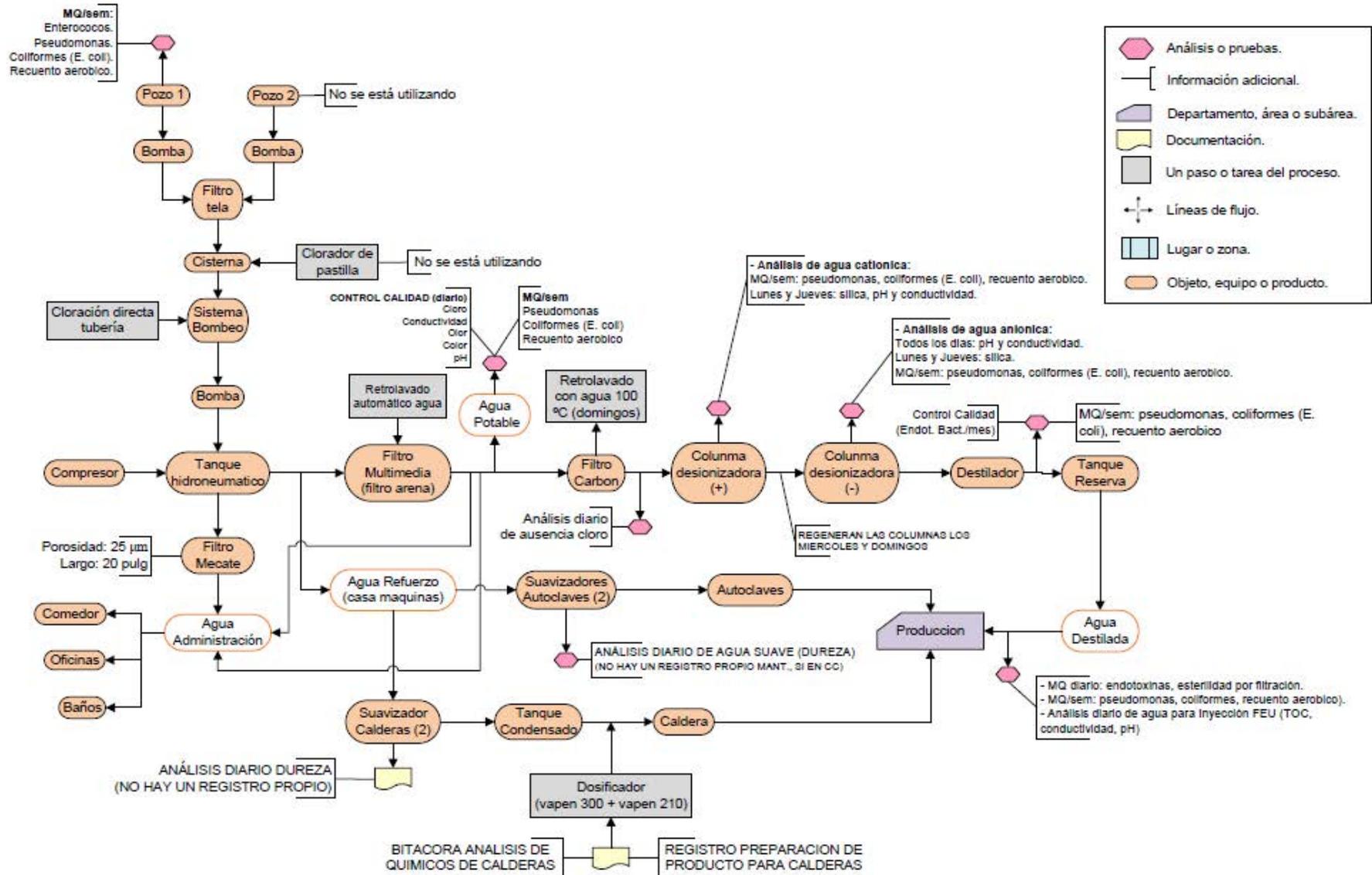


Figura 1. Diagrama de transporte del agua

Anexo 6.Caudales

Cuadro 4.Caudales de Consumo de agua del área de producción del Laboratorio de Soluciones Parenterales.

Destino	Caudal de Consumo	
Limpieza	Consumo por Lavado	Consumo Total (m3/día)
Lavado	13,628	13,628
Autoclave	Consumo por Ciclo (m3)	Consumo Total (m3/ día)*
STERIS FINN AQUA	2	14
AMSCO	2,5	17,5
ETC	3,5	24,5
GETINGE	11	77
Enfriador de carros	Consumo (m3/h)	Consumo Total(m3/día)**
Duchas	13,62768	136,2768
Destilador	Consumo (m3/h)	Producción agua destilada (m3/día)
Aquachem	1,4	1
	Desperdicio	5,60
Σ Caudales (m3/día)		289,5048

Fuente: Ing. German Mathurin Peart, Jefe de Mantenimiento.

Anexo 7. Determinación de Sólidos Sedimentables

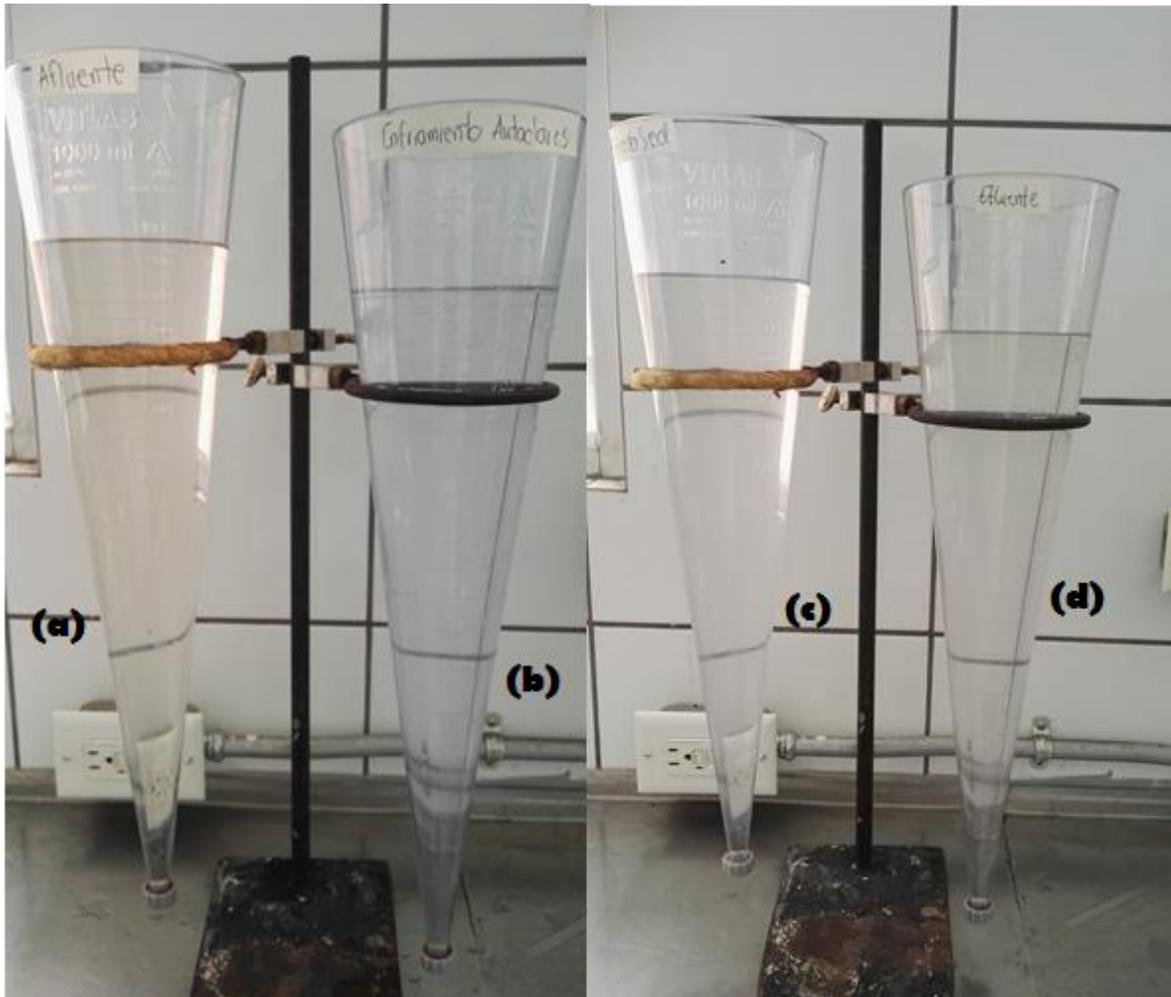


Figura 2. Determinación de sólidos sedimentables : (a) Afluente; (b) Proceso Esterilización; (c) Entrada Sedimentador; (d) Efluente.

Anexo 8. Dureza del Agua

Cuadro 5. Dureza del agua según la conductividad.

Sólidos Disueltos (ppm)	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°F)	Dureza
0-70	0-0,140	0-7	Muy blanda
70-150	0,140-0,300	7-15	Blanda
150-250	0,300-0,500	15-25	Ligeramente blanda
250-320	0,500-0,640	25-32	Moderadamente dura
320-420	0.640-0,840	32-42	Dura
Superior a 420	Superior a 0,840	Superior a 42	Muy Dura

Fuentes (<http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>)

Anexo 9. Conductividades acuosas a 25 °C

Cuadro 6. Conductividades acuosas reportadas a una temperatura de 25 °C.

Solución	Conductividad (µS/cm)
Agua pura	~ 0,055
Agua destilada	0,5
Agua Doméstica	500 - 800
Agua Potable	1055
Agua de mar	~45 000 - 55 000

Fuente: (Infoagro Systems, S.L.)

Anexo 10. Parámetros de Vertido medidos de las aguas a tratar según caracterización realizada por el Laboratorio AQYLASA.

Parámetro	Muestreo	Unidad	Norma
- DBO _{5,20}	41,96	-mg/l	50 mg/L **
- DQO	66,54	-mg/l	150 mg/L **
- Sólidos suspendidos	37	-mg/l	50 mg/L **
- Grasas/aceites	6,4	-mg/l	30 mg/L
- Potencial hidrógeno	7,72		5 a 9
- Temperatura	30,1	°C	15°C ≤ T ≤ 40°C
- Sólidos sedimentables	0,1	-mg/l	1 mL/L
- Sustancias activas al azul de metileno	4,96	-mg/l	5 mg/L
- Materia flotante	Ausente		Ausente
- Mercurio	0,0046	-mg/l	0,01 mg/L
- Cadmio	0,02	-mg/l	0,1 mg/L
- Cloro residual	0,1	-mg/l	1 mg/L
- Color (pureza) ¹	24,5		15%
- Cromo	0,02	-mg/l	1,5 mg/L
- Cobre	0,016	-mg/l	0,5 mg/L
- Plomo	0,02	-mg/l	0,5 mg/L
- Fenoles	0,5	-mg/l	1 mg/L
- Níquel	0,02	-mg/l	1 mg/L
- Zinc	0,0428	-mg/l	5 mg/L
- Plata	0,044	-mg/l	1 mg/L
Coliformes Totales	4710980	NMP/100ml	1000/100 mL
Coliformes Fecales	464141	NMP/100ml	1000/100 mL

Figura 3. Parámetros de Vertido medidos de las aguas a tratar en los que se basó el diseño del STAR del L.S.P. (Quesada , 2010).

Anexo 11. Registro de desperdicio de producto mayo-setiembre del 2016.**Cuadro 7. Volumen de producto desechado correspondiente a los días de muestreo.**

Fecha	Producto	Código del producto	Cantidad de pérdida de solución.
02/05/2016	Dextrosa 5 % 1000 mL	1-10-43-3490	520
03/05/2016	Dextrosa 5 % 100 mL	1-10-43-3460	820
04/05/2016	NaCl 0.9 %	1-10-43-4540	627
09/05/2016	Agua Esteril	1-10-50-3095	756
	Inyección de NaCl al 0.9%		
10/05/2016	F.E.U	1-10-43-4540	623
15/05/2016	NaCl 0.9% 250	1-10-43-4540	624
	Solución electrolítica		
16/05/2016	balanceada	1-10-43-4590	640
23/05/2016	Agua esteril	1-10-50-3095	725
23/05/2016	Dextrosa 10 %	1-10-43-3510	325
24/05/2016	NaCl 0.9 %	1-10-43-4540	640
25/05/2016	Mixto	1-10-43-3570	520
30/05/2016	Dextrosa 5%	1-10-43-3460	610
31/05/2016	Dacka	1-10-43-3590	790
01/06/2016	Mixto	1-10-43-3570	732
02/06/2016	Dextosa 50%	1-10-43-3530	770
01/09/2016	Dextrosa 50%	1-10-43-3530	615
02/09/2016	NaCl 0.9%	1-10-43-4550	774

Anexo 12. Cuadro para la estimación de litros consumidos por mes en el sector público costarricense.

Cuadro 8. Estimación de litros consumidos por mes.

Accesorio Utilizado	Consumo Promedio (L/min)	Duración del uso por día (min)	# de Personas que utiliza el accesorio	# de días al mes que se utiliza el servicio	Litros consumidos en el mes
Ducha	10	6			
Lavamanos	6	10			
Lavaplatos	8	45			
Lavado de Ropa	10	60			
Lavado de Carro	10	30			
Riego de Plantas	10	30			
Preparación de Alimentos	6	10			
Servicio Sanitario /descarga	15	6			
Total de Litros					
Σ					

Anexo 13. Resultados Laboratorio de Análisis Ambiental, UNA



PRT 011 R-03
Versión 07
Página 2 de 3



UNIVERSIDAD NACIONAL
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
REPORTE DE RESULTADOS



No. Reporte: AG-318-2016

Resultados de análisis físico-químicos de las muestras de agua:

Análisis	Unidades	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04	Muestra N° 05
*pH (25 °C)	-	7,560 ± 0,083	7,560 ± 0,083	7,560 ± 0,083	7,560 ± 0,083	7,560 ± 0,083
*DBO	mg/l	198 ± 10	219 ± 10	18 ± 10	10,0 ± 0,10	14 ± 10
*DQO	mg/l	8 693 ± 559	3 353 ± 217	459 ± 27	33 ± 17	66 ± 17
*SAAM	mg/l	-	-	nd	-	-

Análisis	Unidades	Muestra N° 06	Muestra N° 07
*SAAM	mg/l	5,3 ± 1,2	10,3 ± 2,4

nd: no detectable

d: detectable

*La incertidumbre de la medición se determina para un factor de cobertura $k = 2$ correspondiente a un nivel de confianza aproximadamente del 95 %.

*Ensayos acreditados bajo la norma ISO 17025:2005, Alcance LE-024, más información en el sitio web www.eca.or.cr

**Ensayos no acreditados

Descripción de las muestras:

Muestra N°01: Muestra de agua rotulada como: Afluente muestra compuesta.

Muestra N°02: Muestra de agua rotulada como: Efluente muestra compuesta.

Muestra N°03: Muestra de agua rotulada como: Agua de proceso de lavado.

Muestra N°04: Muestra de agua rotulada como: Proceso Esterilización puntual.

Muestra N°05: Muestra de agua rotulada como: Enfriamiento en duchas.

Muestra N°06: Muestra de agua rotulada como: Afluente muestra puntual.

Muestra N°07: Muestra de agua rotulada como: Efluente muestra compuesta 2.

Laboratorio de Análisis Ambiental
Tercer Piso, Escuela de Ciencias Ambientales, Campus Omar Dengo, UNA
Heredia, Costa Rica TEL: (506) - 2277 3292 FAX: (506) - 2277 3696

Anexo 14. Resultados Laboratorios Lambda, S.A.



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@raicsa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

RESULTADO DE ANALISIS # 384,912

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DE 2016

SOLICITANTE: CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL

ATENCION: Sra. NATALIA MORA MENDOZA



REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA AFLUENTE, L.S.P, 1-09-2016, NAEL, RECIBIDA POR EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2016.

<u>ANALISIS SOLICITADO:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>PROCEDIMIENTO</u>	<u>REFERENCIA</u>
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)*/ mg/L	70 ± 5.....	LAMBDA PT- 02.....	5220 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅)*/ mg/L	22 ± 2.....	LAMBDA PT- 01.....	5210 B
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)*/ mg/L	0,22 ± 0,03.....	LAMBDA PT- 19.....	5540 C

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA EFLUENTE, L.S.P, 1-09-2016, NAEL, RECIBIDA POR EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2016.

<u>ANALISIS SOLICITADO:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>PROCEDIMIENTO</u>	<u>REFERENCIA</u>
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)*/ mg/L	261 ± 5.....	LAMBDA PT- 02.....	5220 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅)*/ mg/L	152 ± 6.....	LAMBDA PT- 01.....	5210 B
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)*/ mg/L	0,87 ± 0,03.....	LAMBDA PT- 19.....	5540 C

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012.
- MUESTRA CÓDIGO LAMBDA: 6529-Q01 Y Q02.

ALBERTO A. COTO GRIJALBA *Químico*
N.I. CQCR 986



NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.
Resultados de análisis validos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado.

