



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL CENTRO EXPERIMENTAL UDLA-NONO E
IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

Martha Pazmiño

Autor

Odyl Andrea Chávez Segovia

Año

2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

MARTHA ELIZABETH PAZMIÑO MONTERO

INGENIERA CIVIL

CI. 170861803-6

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

ODYL ANDREA CHÁVEZ SEGOVIA

CI. 171816723-0

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Jehová por haberme dado la fortaleza, salud y sabiduría para recorrer mi camino a lo largo de estos años, para superar todas las dificultades que se me han presentado y no renunciar a mi sueño y para disfrutar junto a mi familia y amigos.

Quiero agradecer de manera muy especial a mis padres a quienes han sido mi mayor apoyo, especialmente a mi madre Odyl pues gracias al fruto de su trabajo incansable y lucha constante he tenido la dicha de estudiar y disfrutar de la mejor manera todas aquellas experiencias que he podido vivir a lo largo de mi vida.

A mi padre que aunque no lo tengo cerca siempre ha estado pendiente de mí y de mi bienestar.

A mi hermano quien es un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos Gaby, Isa, Nicole, Harry, Katy, Sandra, Pavlova, Stephany y Pato con quienes recorrí y disfrute los mejores cinco años de mi vida y mis futuros colegas.

A mi profe Marhta Pazmiño quien ha sido la mejor profesora y me ha guiado de la mejor manera durante el desarrollo de mi tesis.

Mi eterno agradecimiento y reconocimiento a la Universidad de las Américas, a la Facultad de Ingeniería y Ciencias agropecuarias y a todos mis profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental quienes con gran sabiduría, experiencia y conocimiento científico supieron inculcar en mi el deseo de investigar.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi amada madre, quien ha sido mi mayor apoyo, guía, fortaleza y por quien me he esforzado toda mi vida por ser quien soy, quien ha estado a mi lado disfrutando mis alegrías y consolando mis penas, aquella luchadora que a pesar de los problemas siempre tiene una sonrisa en su rostro, a esa mujer valiente, extraordinaria quien sacrifica todo por mi bienestar y el de mi hermano. Por ello y mucho mas se la dedico a la mejor mommy del mundo (la mía) Odyl Segovia Oquendo.

RESUMEN

Las aguas residuales generadas de las actividades agropecuarias representan un potencial peligro de contaminación debido a la gran variedad de productos químicos utilizados para la conservación y limpieza de las distintas áreas y al incremento en la producción.

Por esta razón en este proyecto se analizaron las posibles alternativas de tratamiento y se realizó la elección de un proceso óptimo y de menor costo que permitió depurar las aguas generadas de la limpieza del área de ordeño del Centro Experimental UDLA- Nono, de tal manera que éstas puedan ser reutilizadas para riego y así generar un beneficio ambiental al disminuir el consumo diario de agua y evitar la contaminación del suelo de la granja, cumpliendo con los límites permisibles establecidos en la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

El proyecto está enfocado a mejorar las condiciones actuales del lugar y a su vez beneficiar a los pobladores de la Parroquia de San Miguel de Nono, al emitir al ambiente un efluente con bajo contenido de contaminantes que no represente un riesgo ambiental para la zona.

Para determinar el mejor tratamiento fue necesario realizar una caracterización del afluente, el cual permitió conocer los principales contaminantes.

Considerando lo mencionado, el proceso de tratamiento estará compuesto por: un sistema de cribado, el que permitirá retener todos aquellos sólidos de mayor tamaño que puedan afectar al buen funcionamiento de la planta; un sedimentador que cumplirá dos funciones: la de un tanque de almacenamiento y homogenización y la de un sedimentador primario que permitirá eliminar sólidos suspendidos y sedimentables y a su vez disminuir el contenido de DBO_5 . Finalmente, se contará con un filtro de carbón activado, una alternativa ecológica de bajo costo y mantenimiento, que permitirá mejorar las condiciones del efluente, al reducir la presencia de coliformes, DBO y DQO, hasta obtener los valores adecuados para que el agua pueda ser reutilizada para riego y no represente ningún peligro de contaminación.

Finalmente se establecieron los costos de construcción y las ventajas que el proyecto ofrece.

ABSTRACT

Wastewater generated from agricultural activities represents a potential for contamination due to the wide variety of chemicals used for cleaning and conservation of the different areas and the increase in production.

For this reason this project possible treatment alternatives are discussed and the choice of an optimal process and lower cost that allows the water generated debug cleaning milking area UDLA- Nono Experimental Center , is performed so that they can be reused for irrigation and generate an environmental benefit by reducing the daily consumption of water and prevent soil contamination from the farm , meeting the permissible limits established by Ordinance 213 of the Metropolitan District of Quito.

The project aimed to improve the current conditions of the site and in turn benefit the residents of the Parish of San Miguel de Nono. Environment issuing an effluent low in contaminants not represent an environmental risk to the area.

To determine the best treatment it was necessary to characterize the tributary, which allowed us to know the main pollutants.

Considering the above, the treatment process will be composed of: a screening system , which will retain those larger solids that could affect the proper operation of the plant , a settler who serve two functions: that of a storage tank and homogenization and a primary settler to eliminate suspended solids and settleable and in turn decrease the content of BOD5 . Finally, there will be a carbon filter, a green alternative low cost and maintenance, which will improve the effluent to reduce the presence of coliforms, DBO and DQO, to obtain the appropriate values for that water can be reused for irrigation and presents no danger of contamination.

Finally the construction costs and the benefits that the project provides are stable

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Fuentes de aguas residuales	7
1.2. Características de las aguas residuales agrícolas	7
1.3. Tratamiento de aguas residuales	8
1.4. Tipos de tratamiento	9
1.4.1. Tratamiento primario.....	9
1.4.1.1. Cribas o Rejillas.....	9
1.4.1.2. Desarenador o sedimentador discreto.....	12
1.4.1.3. Sedimentación.....	14
1.4.1.3.1. Mecanismos de sedimentación	15
1.4.1.3.2. Partes de un tanque de sedimentación	17
1.4.1.3.3. Tipos de Tanque de Sedimentación.....	18
1.4.1.3.4. Criterios de diseño para la construcción de un sedimentador ..	25
1.4.1.4. Coagulación.....	27
1.4.2. Tratamiento secundario	29
1.4.2.1. Filtración	29
2. MÉTODOLOGÍA.....	40
2.1. Descripción de la situación actual.....	40
2. 2. Precipitaciones en San Miguel de Nono	44
2.3. Muestreo y medición de caudal mediante el método volumétrico	45
2.3.1. Medición del caudal mediante el método volumétrico.....	46
2.4. Caracterización del agua residual de la granja	48
2.4.1. Determinación del potencial de hidrógeno (pH) mediante potenciómetro de electrodos.....	49

2.4.2. Determinación de la temperatura mediante el método APHA 2550- B (modificado).....	49
2.4.3. Determinación de Sólidos Sedimentables (Método del cono IMHOFF S.M. 2540 - A)	50
2.4.4. Determinación de sólidos suspendidos totales (Método S. M. 2540- D)	50
2.4.5. Determinación de la turbidez (Método APHA 2130)	52
2.4.6. Determinación de coliformes mediante el método estándar ISO 4832 .	52
2.4.7. Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅) mediante el método estándar Winkler	53
2.4.8. Determinación del porcentaje de grasa y aceites mediante el método estándar Soxhlet	54
2.4.9. Determinación de la concentración de sulfatos mediante determinación fotométrica Macherey-Nagel 0-86	55
2.4.10. Determinación de la concentración de tensoactivos mediante determinación fotométrica Macherey-Nagel 0-34	56
2.4.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Determinación fotométrica a 160°C/ Macherey-Nagel Test 0-29)	57
2.5. Puesta en marcha de la planta experimental	58
3. RESULTADOS	62
3.1. Medición del caudal en las tuberías de descarga de agua residual del área de ordeño en el Centro Experimental UDLA-Nono	62
3.2. Variación del pH en función del tiempo de medición.....	63
3.3. Variación de la demanda química de oxígeno del agua residual y el agua tratada.....	65
3.4. Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual y el agua tratada	67
3.5. Determinación de la temperatura antes y después del tratamiento.....	68
3.6. Determinación de la concentración de grasas y aceites en el agua residual y en agua tratada	69

3.7. Determinación la concentración de sulfatos antes y después del tratamiento	70
3.8. Determinación de la concentración de fósforo en el agua antes y después del tratamiento	70
3.9. Determinación de la concentración de tensoactivos antes y después del tratamiento.....	71
3.10. Determinación de la concentración de sólidos suspendidos en el agua residual y en el agua tratada	72
3.11. Determinación de sólidos sedimentables	72
3.12. Determinación del número más probable de coliformes en el agua residual y en el agua tratada	73
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
4.2. Análisis comparativo de los resultados de laboratorio obtenidos antes y después de la implementación del tratamiento primario	79
4.2.1. Análisis comparativo del pH durante el proceso de tratamiento del agua residual.....	79
4.2.2. Análisis comparativo de la reducción de DBO y DQO del agua tratada.....	81
4.2.4. Análisis comparativo de la reducción de sólidos en el agua	85
4.2.5. Análisis comparativo de la reducción de sulfatos en el agua residual y tratada	88
4.2.6. Análisis comparativo de la reducción de tensoactivos en el agua residual y tratada	91
4.2.7. Análisis comparativo de la reducción de grasas y aceites en el agua .	92
4.2.8 7. Análisis comparativo de la reducción de la presencia de coliformes en el agua.....	94
5. DETERMINACION Y DISEÑO DEL TIPO DE TRATAMIENTO APLICABLE AL AGUA RESIDUAL DE LA GRANJA	97
5.1. Elección del tratamiento primario	97
5.1.1. Diseño de cribas	97

5.1.2. Diseño del sedimentador primario	99
5.2. Elección del Tratamiento Secundario.....	105
5.2.1. Diseño del Filtro	106
6. COSTO – BENEFICIO	112
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
7.1. Conclusiones	116
7.2. Recomendaciones	118
REFERENCIAS.....	119
ANEXOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Localización del proyecto	3
<i>Figura 2.</i> Rejilla de barras	10
<i>Figura 3.</i> Rejilla inclinada de limpieza manual.....	11
<i>Figura 4.</i> Desarenador de flujo horizontal	13
<i>Figura 5.</i> Sedimentación de una partícula	15
<i>Figura 6.</i> Relación entre velocidad de sedimentación y diámetro de partículas	16
<i>Figura 7.</i> Zonas hipotéticas en un tanque de sedimentación	18
<i>Figura 8.</i> Sedimentador de flujo horizontal.....	19
<i>Figura 9.</i> Elementos de un sedimentador horizontal	20
<i>Figura 10.</i> Tanque de sedimentación rectangular	21
<i>Figura 11.</i> Sedimentador Circular.....	22
<i>Figura 12.</i> Tipos de sedimentadores circulares.....	23
<i>Figura 13.</i> Tanque de sedimentación de flujo ascensional.....	24
<i>Figura 14.</i> Proceso de coagulación	27
<i>Figura 15.</i> Uso de la filtración para tratamiento de aguas residuales.....	30
<i>Figura 16.</i> Tipos de filtros	32
<i>Figura 17.</i> Tanque ascensional a presión	33
<i>Figura 18.</i> Esquema de un filtro rápido	40
<i>Figura 19.</i> Diagrama de ubicación de las zonas de ordeño y generación de agua residual.....	41
<i>Figura 20.</i> Descripción de la situación actual del terreno	42
<i>Figura 21.</i> Área de ordeño y Área exterior del ordeño y comedero del ganado	43
<i>Figura 22.</i> Variación de la precipitación mensual en Nono	45
<i>Figura 23.</i> Método volumétrico para la medición del caudal y toma de muestras.....	47
<i>Figura 24.</i> Diagrama utilizado para la fluctuación de caudal	48
<i>Figura 25.</i> Medición de los sólidos sedimentables con el uso de conos imhoff.....	50
<i>Figura 26.</i> Proceso de la determinación de sólidos suspendidos.....	51
<i>Figura 27.</i> Proceso para la determinación de coliformes	53
<i>Figura 28.</i> Estimación de DBO ₅ del afluente	54
<i>Figura 29.</i> Diagrama de proceso para la determinación de sulfatos	56
<i>Figura 30.</i> Diagrama de proceso para la determinación de tensoactivos catiónicos	57
<i>Figura 31.</i> Diagrama de proceso para la determinación de DQO.....	58
<i>Figura 32.</i> Diagrama de procesos del tratamiento propuesto.....	59
<i>Figura 33.</i> Puesta en marcha de la planta experimental	61
<i>Figura 34.</i> Variación del caudal durante el periodo de limpieza	63
<i>Figura 35.</i> Medición de la variación del pH antes del tratamiento	64
<i>Figura 36.</i> Medición de la variación del pH después del tratamiento	64

<i>Figura 37.</i> Variación del pH antes y después del tratamiento	65
<i>Figura 38.</i> Medición del DQO antes del tratamiento.....	66
<i>Figura 39.</i> Variación del DQO antes y después del tratamiento.....	66
<i>Figura 40.</i> Medición del DBO antes del tratamiento	67
<i>Figura 41.</i> Variación del DBO antes y después del tratamiento	68
<i>Figura 42.</i> Variación de la temperatura antes y después del tratamiento.....	68
<i>Figura 43.</i> Variación de la temperatura antes y después del tratamiento.....	69
<i>Figura 44.</i> Variación de la concentración de sulfatos antes y después del tratamiento	70
<i>Figura 45.</i> Variación de la concentración de fósforo antes y después del tratamiento	71
<i>Figura 46.</i> Variación de la concentración de tensoactivos antes y después del tratamiento.....	71
<i>Figura 47.</i> Variación de la presencia de SS antes y después del tratamiento.....	72
<i>Figura 48.</i> Variación de la presencia de SSed antes y después del tratamiento...	73
<i>Figura 49.</i> Conteo del NMP de bacterias antes y después del tratamiento.....	75
<i>Figura 50.</i> Comparación de los parámetros analizados antes y después del tratamiento.....	76
<i>Figura 51.</i> Variación de la concentración del DBO durante el tratamiento y su comparación con el límite máximo permisible	81
<i>Figura 52.</i> Variación de la concentración del DQO durante el tratamiento y su comparación con el límite máximo permisible	82
<i>Figura 53.</i> Características de los principales niveles de tratamiento.....	83
<i>Figura 54.</i> Comparación de la concentración de fósforo antes y después del tratamiento con el límite máximo permisible.....	84
<i>Figura 55.</i> Comparación de la reducción del sólidos suspendidos y sedimentables con los límites de la Ordenanza 213	86
<i>Figura 56.</i> Comparación de límites permisibles de sólidos totales en normativas en países de América.	88
<i>Figura 57.</i> Comparación de la variación de sulfatos con el límite permisible	89
<i>Figura 58.</i> Efectos sobre la planta generados por la salinidad en el suelo.....	90
<i>Figura 59.</i> Diferencia de la concentración de sulfatos permitidos en Ecuador con Chile y Venezuela	91
<i>Figura 60.</i> Diferencia de la concentración de tensoactivos con el límite permisible	92
<i>Figura 61.</i> Comparación de la concentración de grasas y aceites con las establecidas en otros países de la región	93
<i>Figura 62.</i> Diferencia en la presencia de coliformes con el límite permisible establecido	94
<i>Figura 63.</i> Concentración de coliformes en aguas destinadas para riego en Ecuador, Canadá y Venezuela.....	95
<i>Figura 64.</i> Diseño de rejillas de limpieza manual	98

<i>Figura 65.</i> Diseño del sedimentador primario Imhoff	99
<i>Figura 66.</i> Determinación del tiempo de retención	103
<i>Figura 67.</i> Valores usuales para la remoción de sólidos y DBO en un tanque de sedimentación primaria	104
<i>Figura 68.</i> Variación de la turbidez después del proceso de filtración.....	106
<i>Figura 69.</i> Isotherma del carbón activado	107
<i>Figura 70.</i> Diseño filtro carbón activado	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las rejillas.....	10
Tabla 2. Principales productos coagulantes.....	29
Tabla 3. Características básicas de diseño para monofiltros	35
Tabla 4. Características de filtros de medio dual y múltiple para tratamiento de aguas residuales	36
Tabla 5. Velocidades y cargas hidráulicas de diseño.....	37
Tabla 6. Tasa de retrolavado aire-agua para filtros monomedio de arena o antracita.....	38
Tabla 7. Precipitaciones mensuales en mm de la estación meteorológica de Nono año 2010.....	44
Tabla 8. Parámetros según sector productivo.....	48
Tabla 9. Fluctuación del caudal.....	62
Tabla 10. Conteo de bacterias en el agua residual	74
Tabla 11. Límites máximos permisibles para todos los sectores productivos, exceptuando al sector textil y al sector de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecerías.....	78
Tabla 12. Límites máximos permisibles por cuerpo receptor	78
Tabla 13. Ejemplo de pH del suelo en cual puede restringirse el crecimiento de cultivos	80
Tabla 14. Límites de coliformes por tipo de cultivo.....	96
Tabla 15. Volumen de sedimentación en función del tiempo	102
Tabla 16. Variables de remoción.....	105
Tabla 17. Determinación de la cantidad de carbón activado para disminuir la turbidez del agua a 50 UNT.....	107
Tabla 18. Presupuesto referencial del desarenador y rejilla del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono.....	112
Tabla 19. Presupuesto referencial del tanque sedimentador del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono.....	113
Tabla 20. Presupuesto referencial del filtro de carbón activado del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono	114
Tabla 21. Presupuesto referencial del tanque de almacenamiento de agua tratada del área de ordeño granja UDLA Nono	115

INTRODUCCIÓN

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales como el agua, ha despertado en el hombre la búsqueda de métodos para preservarlos y/o recuperarlos, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos.

En la actualidad el agua residual generada por las diferentes actividades humanas, es una de las principales fuentes de contaminación de: ríos, lagos, mares y suelos, debido al alto contenido de sustancias contaminantes (extrañas al medio) que alteran su composición y calidad.

Entre las principales problemáticas para el aumento en la producción de aguas residuales ésta el crecimiento acelerado de la población y el desarrollo industrial sin una planificación adecuada y organizada, así como la falta de legislación que regule el uso, aprovechamiento y disposición.

Siendo América Latina una región rica en agua, que posee las mayores reservas hídricas del mundo, no cuenta con un sistema de saneamiento básico adecuado debido a la baja inversión de los gobiernos en proyectos de saneamiento y potabilización del agua, en comparación con países de Europa Occidental como Alemania, Francia, Inglaterra e Italia.

En el Ecuador, son pocas las industrias a nivel nacional que cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales o con plantas que funcionen correctamente, por lo que, el Ministerio del Ambiente, ha generado nuevos proyectos de ley como: Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento; Ley de Aguas, entre otras, en las que se establecen normas que obligan a las empresas a cumplir con límites permisibles y de este modo reducir la contaminación de nuestros ríos y lagos (Ortega, 2007; Villacís, s.f.).

Antecedentes

Como el agua es considerada esencial para la vida e imprescindible como herramienta de trabajo, es de gran importancia que se garantice el cuidado del abastecimiento de agua limpia y potable, su buen estado y el reconocimiento de los métodos a emplear para el tratamiento de ésta, a fin de que pueda ser reubicada o reutilizada, por lo cual se hace indispensable que las industrias que la utilizan para sus procesos productivos, busquen la manera adecuada de minimizar el impacto ambiental y social que sus aguas residuales tienen.

Quito cuenta con pocas industrias que poseen plantas de tratamiento que permiten depurar los afluentes generados, sin embargo muchas de éstas se encuentran fuera de servicio o no son eficientes, probablemente porque no se diseñaron de manera adecuada estudios que permitan determinar su eficiencia y funcionalidad.

Con el fin de mantener la calidad ambiental y el paisaje, actualmente el gobierno parroquial de San Miguel de Nono se encuentra llevando a cabo el desarrollo y construcción de una planta de tratamiento que permitirá depurar las aguas grises generadas por la población de Nono, de manera que se minimicen los impactos derivados actualmente de su descarga directa a ríos y quebradas.

Localización del proyecto

El Centro Experimental de la Universidad de Las Américas, ubicado al noroccidente, a 18 Km de la ciudad de Quito, en la Parroquia San Miguel de Nono, está dedicado al desarrollo de productos y proyectos enfocados en la producción agrícola y ganadera de una manera sustentable y amigable con el ambiente.

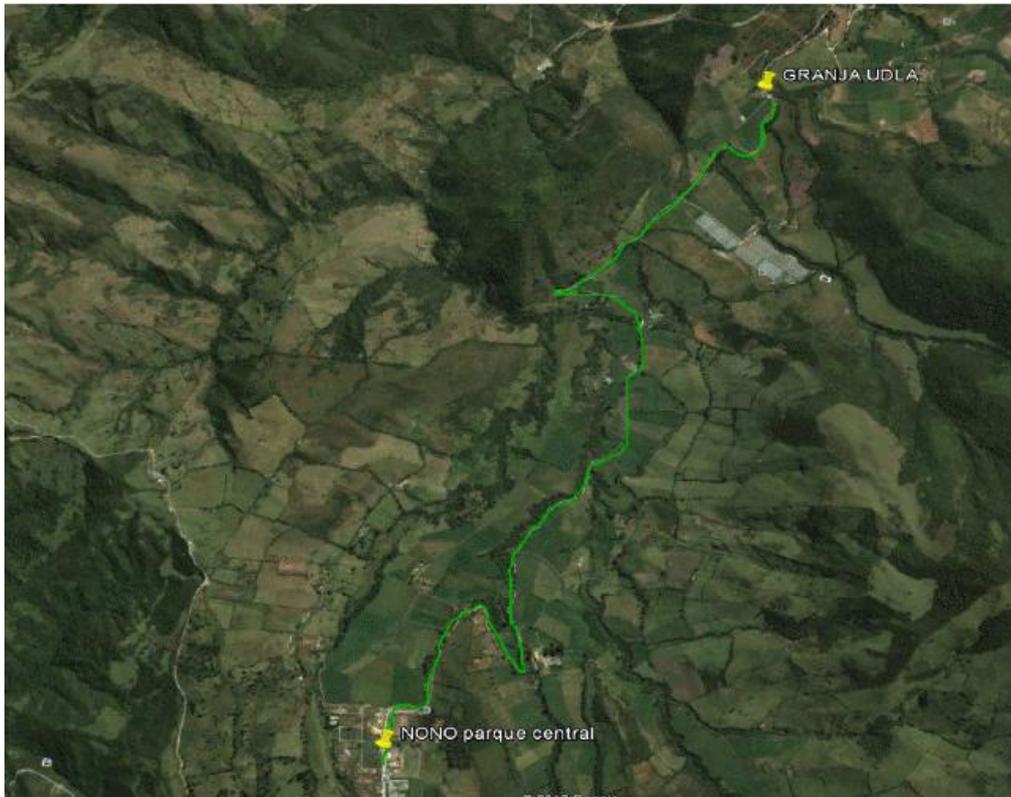


Figura 1. Localización del proyecto
Tomado de Google Earth, 2014

Planteamiento del problema

Actualmente, el Centro Experimental UDLA Nono, no cuenta con un sistema que permita dar tratamiento al agua residual que se genera de las diferentes actividades, lo que ha producido la degradación de un área de terreno, imposibilitando su uso para fines agrícolas. Por lo tanto, es necesario desarrollar proyectos que permitan solucionar esta situación y a su vez evitar posteriores efectos como la contaminación del suelo adyacente, afectación a los cultivos de la misma granja, generación de enfermedades a pobladores y animales de la granja y de la Parroquia de Nono, así como a la degradación del paisaje.

El Centro Experimental está dedicado a la crianza de cuyes, ganado bovino, ovino y porcino, que servirán para el desarrollo de diferentes proyectos de los estudiantes de la Universidad de las Américas. Cuenta además, con distintas áreas de cultivos como: alfalfa, habas, maíz, papas y quinua. Productos que sirven de materia prima para el desarrollo de proyectos y productos de las diferentes carreras como Agroindustria y Gastronomía (Delgado, 2012).

Debido a las actividades que se desarrollan en el sector, es esencial construir una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que el agua producida de las distintas actividades puede contener gran cantidad de materia orgánica y otros compuestos por los desechos generados por el ganado, residuos de pesticidas utilizados para los cultivos y agua residual proveniente de las instalaciones de la granja, como la casa de los cuidadores.

Alcance

El alcance de este proyecto de titulación, es diseñar y evaluar la efectividad de una Planta Piloto de Tratamiento Primario de Aguas Residuales para el Centro Experimental UDLA-NONO, basándose en la caracterización realizada al agua antes y después del tratamiento, para que de esta manera el efluente resultante cumpla con los límites establecidos en la Ordenanza Municipal 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

Para el diseño, investigación y evaluación de este proyecto se utilizarán técnicas de laboratorio y análisis de contaminantes de aguas, para comprobar la efectividad del proceso aplicado, los análisis se realizarán en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas. Posteriormente, se implementará el tratamiento primario a manera de planta experimental en el campus de la universidad.

Debido a que actualmente la única agua residual que se genera en la granja proviene de la limpieza del área de ordeño, será a ésta a la que se le de

tratamiento, para lo cual se implementará a nivel piloto el tratamiento primario, con el objetivo de que el afluente tratado pueda ser reutilizado para riego y de esta manera reducir la cantidad de agua que se utiliza para las diferentes actividades que allí se realizan.

Justificación

Actualmente el Centro Experimental de la Universidad de las Américas no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales que le permita emitir un efluente tratado que cumpla con las ordenanzas vigentes. Por lo expuesto, es importante desarrollar este proyecto, ya que permitirá mejorar las condiciones actuales del centro experimental y a su vez beneficiará a los pobladores de la Parroquia de San Miguel de Nono y mejorará su calidad ambiental ya que el efluente resultante cumplirá con los estándares establecidos en la ley.

Metodología a utilizar

Para la elaboración del presente proyecto se utilizarán los métodos inductivo, explorativo y experimental. Se construirá un prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales para poder conocer su funcionamiento y se evaluará la calidad del agua obtenida después del tratamiento.

Para definir el tratamiento más adecuado para mejorar la calidad del agua, se realizará previamente un estudio, análisis y caracterización para determinar los principales compuestos contaminantes que el agua posee. Posteriormente, se construirá un prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta.

La aplicación de los diferentes procesos se determinará a medida que se diseñe el proyecto y se realicen los análisis de laboratorio que permitan identificar la calidad del agua. Una vez determinado el mejor tratamiento, se

implementará el tratamiento primario a nivel piloto en el Centro Experimental UDLA-NONO.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una planta piloto de tratamiento de aguas residuales para el Centro Experimental UDLA- NONO, que permita cumplir con los límites permisibles de la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

Objetivos específicos

- Determinar un tratamiento óptimo para el agua residual, mediante el uso de varias técnicas.
- Realizar la caracterización del agua residual y el agua tratada, para la verificación de cumplimiento con las leyes y normativas.
- Implementar a nivel piloto el tratamiento primario en el Centro Experimental UDLA-NONO para la evaluación de su eficiencia.

1.- MARCO TEÓRICO

1.1. Fuentes de aguas residuales

Según Ramalho y Rojas (2003, 3005), las aguas residuales son aquellas que provienen de las diferentes actividades que el ser humano realiza, estas se clasifican en:

- Aguas domésticas o urbanas: son aquellas provenientes de las viviendas, edificios comerciales e institucionales.
- Aguas residuales industriales: provienen de las descargas de industrias de manufactura.
- Aguas de uso agrícola: son aquellas que se generan del lavado de las distintas áreas y aguas usadas para el riego y crianza de animales, usualmente estas tiene un alto contenido de fertilizantes, pesticidas y materia orgánica.

1.2. Características de las aguas residuales agrícolas

Las características o composición y carga contaminante de un agua residual, dependerá de su fuente de generación o del tipo de actividad para la que se utilice el agua. De esta manera un agua residual agrícola puede contener metales pesados, pesticidas y fertilizantes, presencia de coliformes y, gran cantidad de materia orgánica, si el agua es utilizada para la agricultura o actividades pecuarias. La composición y concentración de los contaminantes en el agua residual agrícola dependerá de la clase de sustancias manejadas en los distintos procesos y de la cantidad utilizada.

Es importante tomar en cuenta que toda caracterización de agua residual implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad

de la muestra y un análisis de laboratorio, de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados (Rojas, 2005, p 19;).

Dadas las características y variaciones en la descarga de aguas residuales a un sistema de alcantarillado o cuerpo receptor cualquiera sea este, es necesario considerar las costumbres de la comunidad que genera el afluente, el régimen de operación de la granja, el clima, etc, ya que estos parámetros pueden variar el caudal ampliamente durante el año o hacerlo cambiar de un día para otro y que fluctúen de una hora a otra (Rojas, 2005, p19).

Todos estos factores se deben tomar en cuenta en la predicción de la variación del caudal al momento de diseñar una planta de tratamiento, con el fin de evitar el desborde del agua en la planta y generar posteriormente un problema mayor.

1.3. Tratamiento de aguas residuales

La contaminación de cuerpos de agua origina problemas de salud pública, problemas estéticos al alterar el aspecto natural del paisaje, problemas ambientales al comprometer la supervivencia de la biota, el bienestar de la población al no permitir el uso recreativo que el ambiente puede generar.

El tratamiento de un agua residual se lo realiza a través del uso de distintos procesos de tratamiento tanto químicos, físicos como biológicos que permiten mejorar las condiciones del agua volviéndola apta para el consumo humano e inocua para el ambiente (Crites y Tchobanoglous, 2000, pp. 50-52).

Es importante tomar en cuenta que la contaminación del agua genera a su vez un mayor uso de insumos químicos en las plantas de potabilización o de uso industrial, aumentando considerablemente el valor del tratamiento.

1.4. Tipos de tratamiento

Existen tres tipos de tratamiento: tratamiento primario formado por procesos físicos y químicos los cuales se caracterizan por la remoción de sólidos, tratamiento secundario formado especialmente por el tratamiento biológico cuyo objetivo es disminuir la presencia de materia orgánica a través del uso de bacterias y tratamiento terciario cuyo objetivo es potabilizar el agua o eliminar sustancias que no pudieron ser eliminadas en los tratamientos anteriores como los metales pesados.

1.4.1. Tratamiento primario

Su principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden obstruir o dificultar los siguientes procesos de tratamiento. Está formado principalmente por rejillas o cribas, sedimentadores, fluculadores y aireación (Ramalho, Jimenez, y De Lora Soria, 2003, p 91).

1.4.1.1. Cribas o Rejillas

Permite retirar todas las partículas sólidas de gran tamaño tales como: bolsas, palos, botellas, etc, su objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían verse dañados por estos objetos.

Las cribas están formadas por mallas dispuestas con una inclinación tal que permitan el paso del agua y retengan los sólidos, su funcionamiento es sencillo y económico, el mantenimiento necesario dependerá de la naturaleza del agua residual. La criba puede ser de cualquier material agujereado ordenadamente, por ejemplo, una plancha o lámina metálica, de madera o concreto, con agujeros redondos o cuadrados, entre otros. El método de limpieza de las cribas puede ser mecánica o manual, esto dependerá del tamaño y diseño de las mismas (Ramalho, Jimenez, y De Lora Soria, 2003, p 92).



Figura 2. Rejilla de barras
Tomado de Brújula, s.f

Según el tamaño de los sólidos que se quieren eliminar, las aberturas de las rejillas se clasifican en gruesas, medianas o finas.

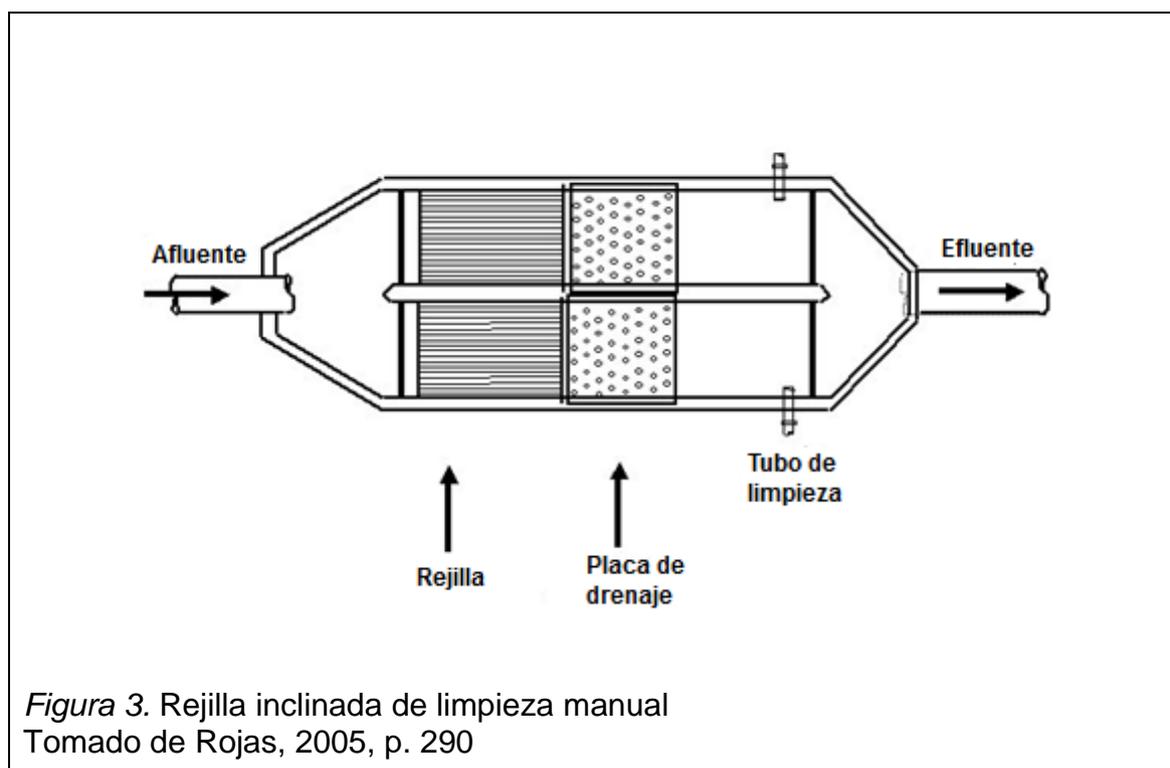
Tabla 1. Características de las rejillas

Tipo de rejillas	Tipo de barras	Abertura o espaciamiento	Método de limpieza
Finas	Cuadradas, rectangulares, circulares	0,1 – 1, 5 cm	Limpieza manual o mecánica
Medianas	Cuadradas, rectangulares, circulares	1,5 – 2,5 cm	Limpieza manual o mecánica
Gruesas	Cuadradas, rectangulares, circulares	2,5 – 5,0 cm	Limpieza manual o mecánica

Las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, pueden no requerir el uso de rejillas, esto dependerá de la composición de los residuos. Es importante que en la parte superior de la rejilla exista una placa de drenaje o

placa perforada, con el objetivo de permitir el drenaje temporal del material removido. La longitud de la rejilla no debe exceder de la que impida su limpieza por el operador.

El canal de acceso a la rejilla debe ser diseñado de tal manera que prevenga la acumulación de arena antes y después de la rejilla. El canal debe ser preferiblemente horizontal, recto y perpendicular a la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella. A medida que los sólidos se acumulan sobre la rejilla, ésta se va taponando y la pérdida de energía, consecuentemente aumenta. El diseño de la rejilla debe ser el adecuado para impedir su rotura cuando esta taponada (Rojas, 2005, pp. 287-288).



Disposición del material retenido

Según Rojas (2005), generalmente se utiliza para los siguientes fines:

- Descarga a un molino, triturador o desmenuzador para su recirculación a la planta de tratamiento.
- Remoción y disposición en un relleno sanitario.
- Incineración, especialmente en plantas grandes.

1.4.1.2. Desarenador o sedimentador discreto

Los desarenadores son utilizados para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico mucho mayor al de los sólidos orgánicos de las aguas residuales.

Los desarenadores protegen al equipo mecánico del desgaste anormal y reducen la formación de depósitos pesados en tuberías, canales y conductos. Los desarenadores pueden localizarse antes de todas las unidades de tratamiento, para facilitar la operación de las demás etapas del proceso. Sin embargo la instalación de rejillas, antes del desarenador, también facilitan la remoción de arena y la limpieza de los canales de desarenado.

Los desarenadores pueden clasificarse por el tipo de limpieza en mecánicos y manual. El diseño del desarenador depende del tipo de flujo y del equipo de limpieza. El equipo más usado es el de flujo horizontal, en el cual el agua pasa a lo largo del tanque en dirección longitudinal. La velocidad horizontal del agua se controla mediante las dimensiones de la unidad o mediante un vertedero de sección especial de salida (Rojas, 2005, pp. 293-294).

Desarenador de flujo horizontal

Los desarenadores de flujo horizontal, para aguas residuales se diseñan para una velocidad horizontal de flujo aproximadamente igual a 30cm/s. Esta

velocidad permite el transporte de la mayor parte de partículas orgánicas del agua residual a través de la cámara y tiende a resuspender el material orgánico sedimentado, pero permite el asentamiento del material pesado inorgánico.

Generalmente se diseña para remover partículas de diámetro mayor de 0,21 mm; aunque también se diseñan para remover partículas de 0,15 mm. Teniendo como supuesto arena de densidad relativa de 2,65, la velocidad de asentamiento para partículas de 0,21 mm de diámetro se supone igual a 1,15 m/min y para partículas de 0,15 mm de diámetro una velocidad de asentamiento de 0,75 m/min.

La longitud del canal desarenador estará determinada por la profundidad requerida por la velocidad de asentamiento y por la sección de control. El área de la sección transversal del canal estará definida por el caudal y por el número de unidades o canales, es recomendable proveer una longitud adicional para compensar los efectos de la turbulencia a la entrada y salida (Rojas, 2005, pp. 294-295).

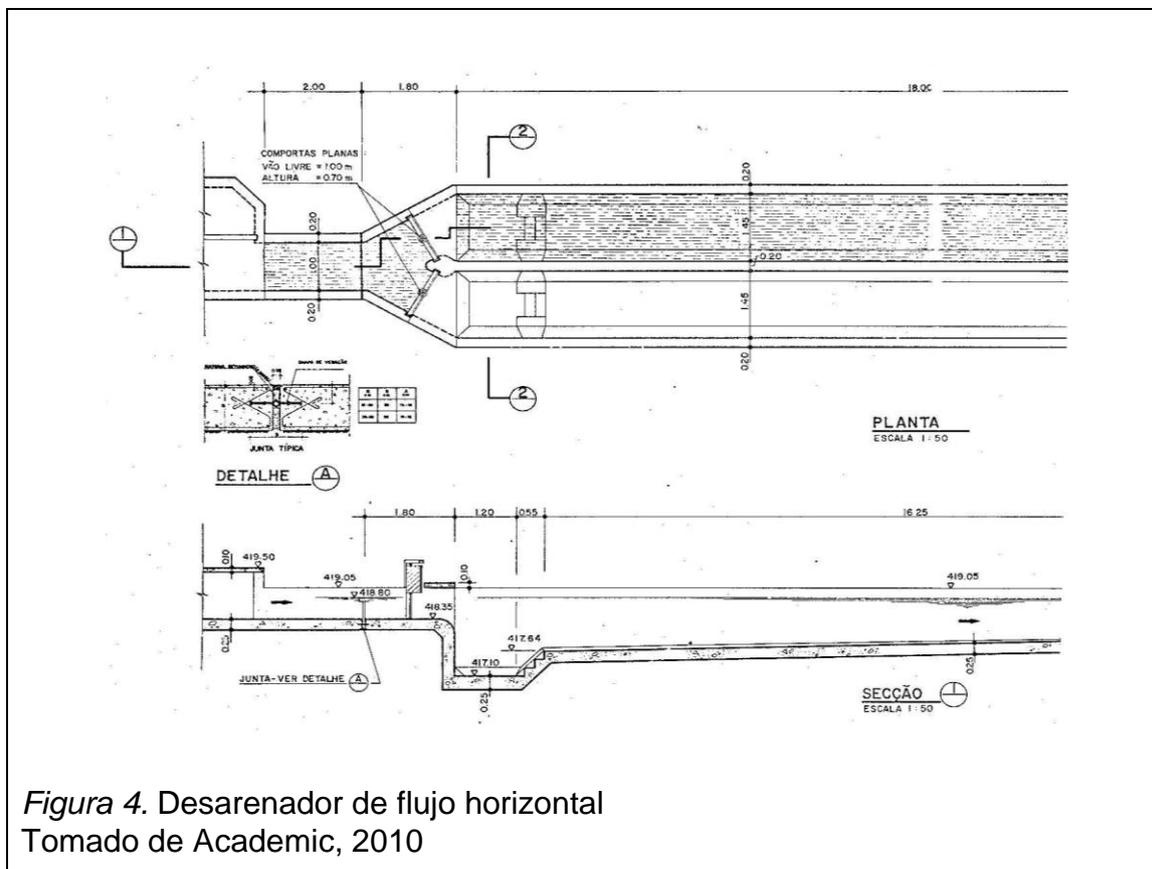


Figura 4. Desarenador de flujo horizontal
Tomado de Academic, 2010

Cantidad de arena

La cantidad de arena varía mucho, depende de factores como la frecuencia de lavado del área, del tipo de residuos industriales, de la proximidad de la planta a playas, canteras o zonas de explotación de materiales de construcción. La cantidad de arena a disponer, de un desarenador de aguas residuales oscila entre 4 – 200 ml/m³ de agua tratada con un valor típico de 15 ml/m³ (Rojas, 2005, p. 295).

Disposición de la arena

La arena obtenida dista mucho de una arena limpia, ya que la arena retenida incluye una gran cantidad de materia orgánica putrescible. Por ello, si no se dispone rápidamente, se generan olores desagradables y el material atraerá insectos y roedores. Posiblemente, el método más económico de disposición sea en un relleno sanitario, pero también se usan incineraciones, botaderos o disposición en el mar con tratamiento previo para remoción del material orgánico (Rojas, 2005, p. 295).

1.4.1.3. Sedimentación

La sedimentación es una operación mediante la cual se remueve las partículas sólidas en suspensión mediante la fuerza de gravedad; en ciertos casos se la conoce también como clarificador o espesamiento. Existen dos formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple o desarenador y sedimentación secundaria después de la coagulación y floculación (Rojas, 2004, p. 125; Ramalho, Jimenez, y De Lora Soria, 2003, p. 92).

Rojas (2004, 2005), afirma que según el propósito los tanques de sedimentación se usan para:

- Sedimentación primaria para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo así el contenido de sólidos suspendidos.
- Sedimentación intermedia para remover los sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos, como los filtros percoladores de primera etapa.
- Sedimentación secundaria para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y filtros percoladores.
- Sedimentación terciaria para remover sólidos suspendidos y floculados o precipitados químicamente, en plantas de aguas residuales.

1.4.1.3. 1. Mecanismos de sedimentación

Sedimentación Tipo 1 o discreta

Se refiere a la sedimentación de partículas discretas, es decir, aquellas partículas que no cambian su forma, tamaño o peso a medida que sedimenta. Esta sedimentación se fundamenta en la Ley de Newton, que se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros homogéneos. Cuando una partícula sedimenta, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocaban la sedimentación se equilibran con las fuerzas de fricción del líquido (Rojas, 2004, p. 127; Ramalho et al., 2003, pp. 93-94).

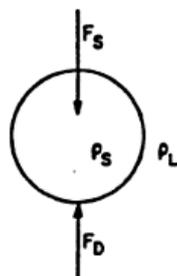


Figura 5. Sedimentación de una partícula
Tomado de Ramalho, Jimenez, y De Lora Soria, 2003, p. 94

Cuando se coloca una partícula discreta en un fluido en reposo, la partícula se mueve verticalmente debido a la gravedad, si su densidad es diferente de la del fluido. Las fuerzas verticales que actuarán sobre una partícula discreta en el agua serán: una fuerza vertical hacia abajo igual al peso de la partícula en el agua (W) y una fuerza hacia arriba (F) o fuerza de arrastre debido a la fricción. La fuerza vertical de arrastre o fricción es función de la rugosidad, de la forma, tamaño y velocidad de la partícula, así como de la densidad y viscosidad del agua (Rojas, 2004, pp. 127-128; Ramalho et al., 2003, p. 94).

La velocidad de sedimentación de las partículas depende del diámetro de la partícula y su densidad. A continuación se representa la relación entre la sedimentación y el diámetro de la partícula.

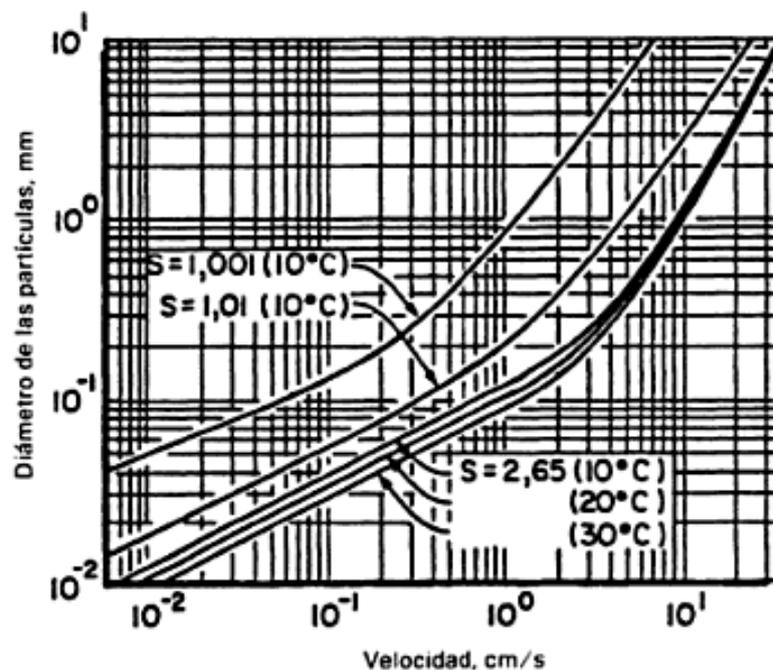


Figura 6. Relación entre velocidad de sedimentación y diámetro de partículas
Tomado de Ramalho, Jimenez, y De Lora Soria, 2003, p. 98

Sedimentación Tipo 2 o Sedimentación Química

En este tipo de sedimentación debe tenerse en cuenta las propiedades floculantes además de las características de sedimentación de la partícula. La sedimentación de aguas residuales coaguladas, es una operación semejante a la de la sedimentación primaria. La sedimentación ocurre cuando dos partículas que se aglomeran durante su asentamiento pierden su velocidad individual de asentamiento y, por consiguiente, sedimentan con otra velocidad, característica de la nueva partícula formada, generalmente mayor, que las velocidades originales.

En la práctica se reconoce que, para una velocidad de sedimentación determinada, tanto el tiempo de retención del agua como la profundidad del tanque, afectan el grado de remoción de sólidos, puesto que en un tanque de gran profundidad se requiere un tiempo mayor para que la partícula alcance el fondo (Rojas, 2005, p. 647; Rojas, 2004, pp. 136-140).

1.4.1.3.2. Partes de un tanque de sedimentación

Rojas (2004) determina las cuatro zonas en las que un tanque de sedimentación se divide:

- 1. Zona de entrada:** en la cual el flujo debe ser laminar con velocidad igual a 0,1 m/s. Se supone que en el límite de esta zona las partículas se distribuyen uniformemente según la sección de entrada.
- 2. Zona de sedimentación:** la partícula deja de estar en suspensión cuando llega al fondo de esta zona.
- 3. Zona de lodos:** tiene como función la acumulación de lodos sedimentados.
- 4. Zona de salida:** El agua de salida se recoge antes de su paso al tratamiento posterior.

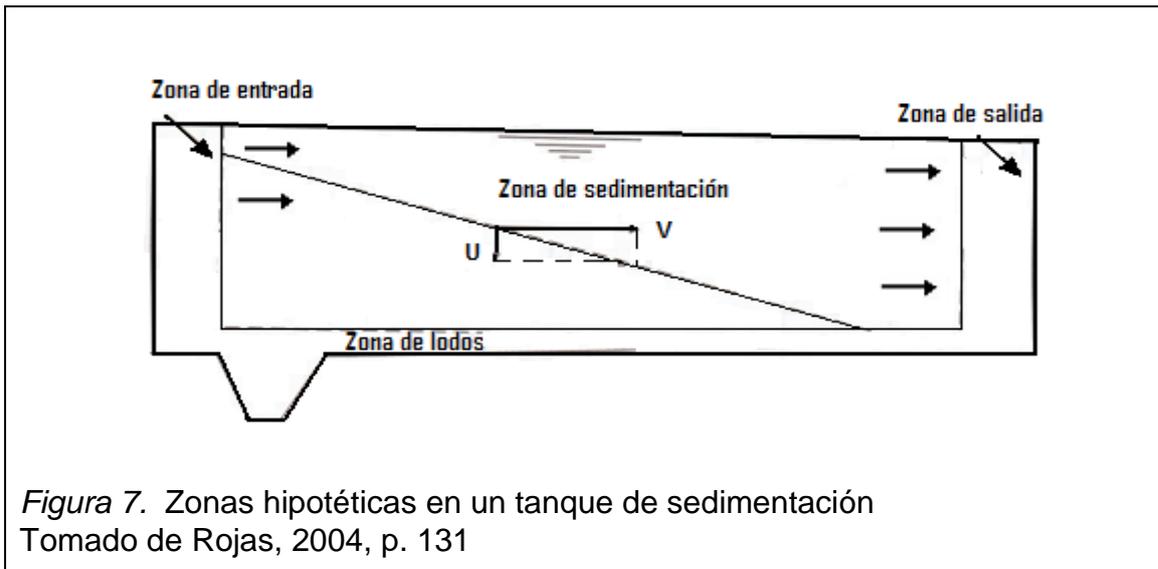


Figura 7. Zonas hipotéticas en un tanque de sedimentación
Tomado de Rojas, 2004, p. 131

1.4.1.3.3. Tipos de Tanque de Sedimentación

Existen básicamente tres tipos de tanques de sedimentación: *tanque de flujo horizontal*, *tanque de flujo radial o circular*, *tanque de flujo ascensional o sedimentadores de tasa alta*.

Como ya lo dijo Rojas (2004, 2005), los tanques de sedimentación también se pueden clasificar según el método de recolección y extracción de lodos. Básicamente existen cuatro tipos:

- Tanque de flujo horizontal con recolección manual y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanque de flujo horizontal con recolección mecánica y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanques de flujo ascensional con recolección mediante asentamiento en una tolva profunda y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial.
- Tanque de flujo horizontal y radial con recolección mecánica y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial

Tanques de flujo horizontal

Son tanques rectangulares, con el fondo inclinado hacia una tolva de extracción de lodos en el extremo de entrada; aunque se denominan tanques de flujo horizontal, el agua ingresa en un nivel inferior de la cresta del vertedero de salida, el agua se mueve a lo largo del tanque con velocidad muy baja, hasta descargar sobre el extremo opuesto sobre el vertedero, es importante tener en cuenta que durante su paso a través del tanque de sedimentación el flujo está expuesto a corrientes de densidad y cortocircuito.

A la entrada, una pantalla corta disipa la velocidad del afluente y dirige el flujo hacia abajo. El material sólido suspendido sedimentable más pesado se deposita en el extremo de entrada y los más livianos, se depositan progresivamente hacia la salida, estos son arrastrados hacia una tolva de lodos por un sistema mecánico de barrido o por acción de la pendiente provista en el fondo. El lodo se extrae periódicamente, desde la tolva de lodo, para su tratamiento y disposición final.

En tanques rectangulares la relación longitud – ancho varía entre 3 – 1 y 5 – 1, con profundidades de agua mayores de 2 m y pendiente suave hacia la tolva de lodos. Cuando el ancho es mayor a 6 m se prefiere usar equipos de limpieza múltiples con varias tolvas de lodos, permitiendo una longitud igual a 24 m o más.

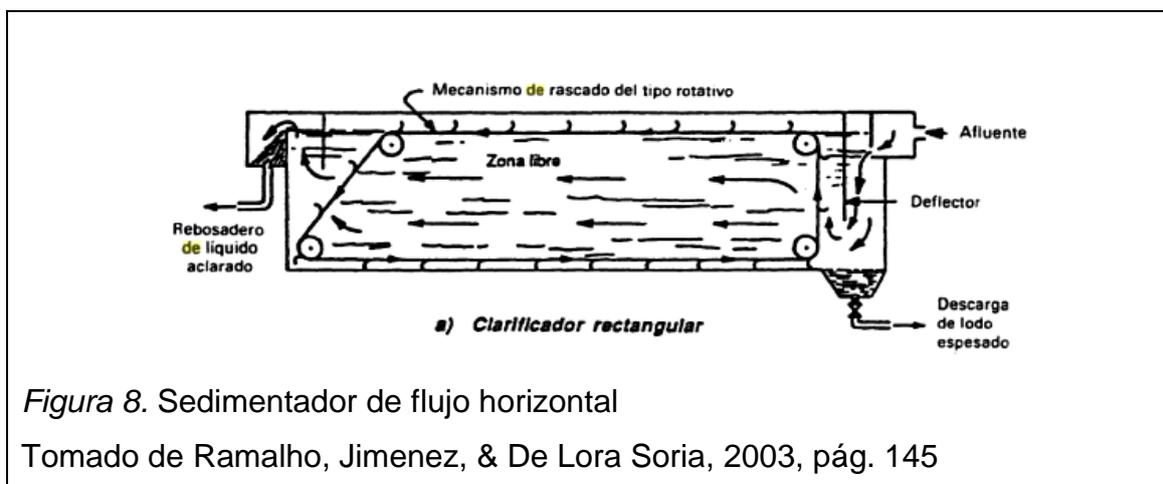


Figura 8. Sedimentador de flujo horizontal

Tomado de Ramalho, Jimenez, & De Lora Soria, 2003, pág. 145

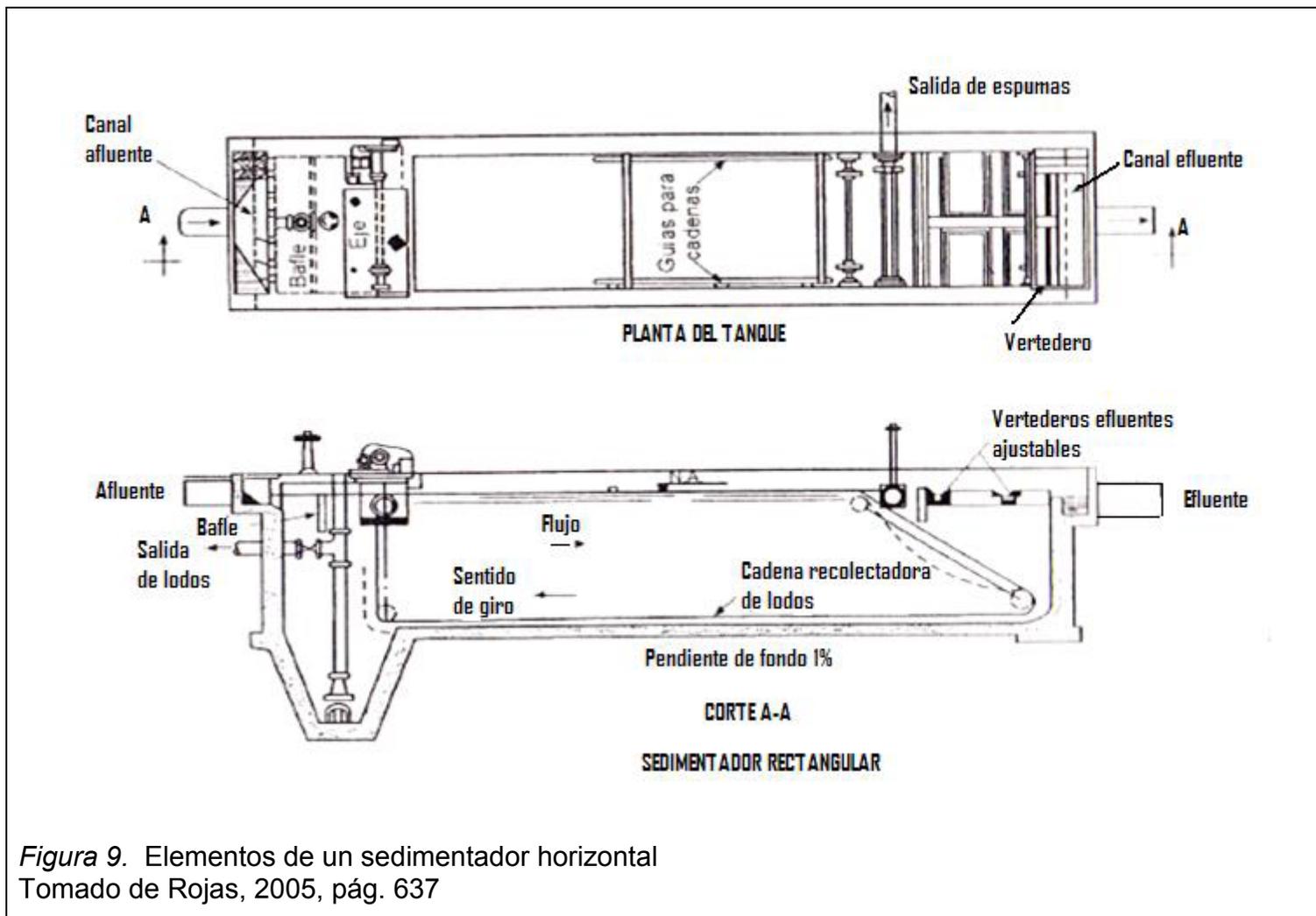


Figura 9. Elementos de un sedimentador horizontal
 Tomado de Rojas, 2005, pág. 637

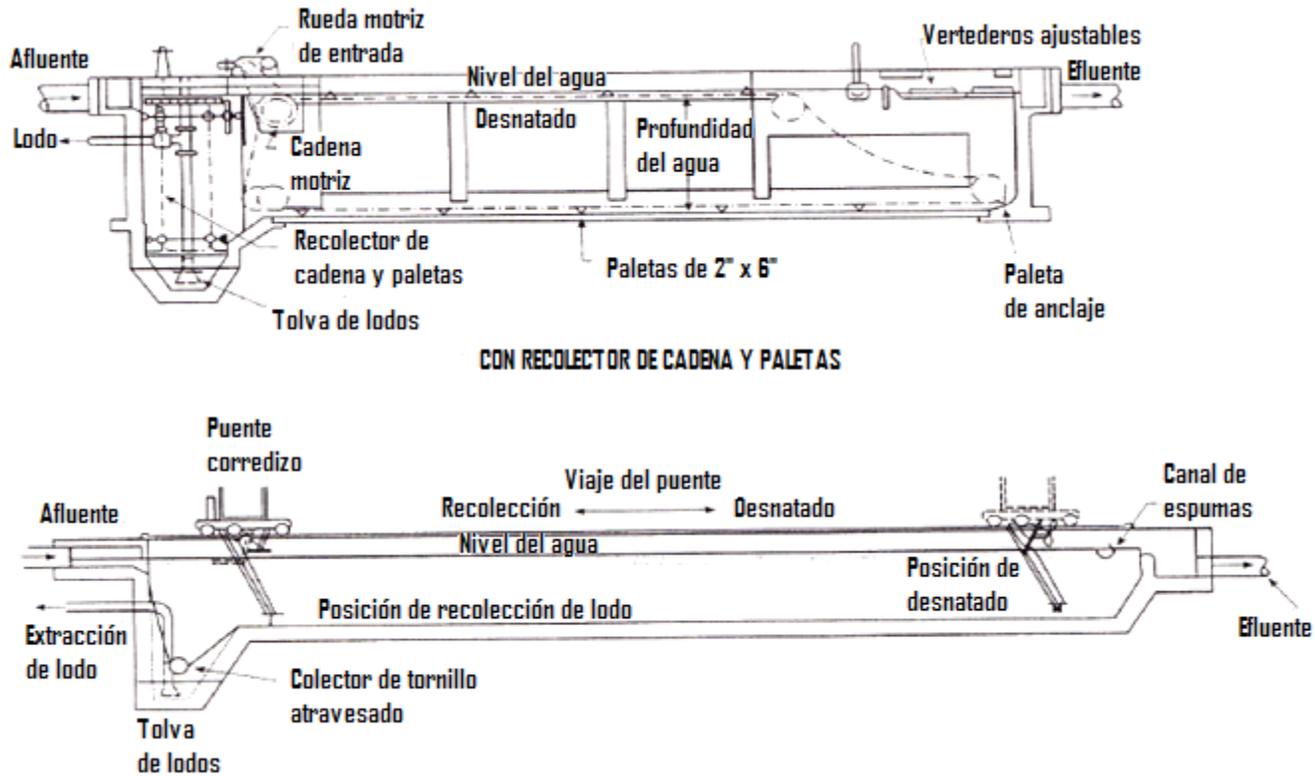


Figura 10. Tanque de sedimentación rectangular

Tomado de Rojas, 2005, pág. 636

Tanque de flujo radial o circular

Son tanques circulares con el fondo inclinado hacia un pozo central, el afluente ingresa por aberturas en la parte superior de una tubería vertical y central, en un nivel inferior al del vertedero perimetral de salida, existiendo un flujo tanto radial como ascensional, de velocidad decreciente entre la entrada y la salida. Por lo general, el tanque está dotado de una barredora de lodos colocada en el centro del tanque. Los sólidos flotantes migran hacia el borde del tanque y son retenidos mediante una pantalla colocada en frente del vertedero de salida. Un desnatador adherido a los brazos de la barredora de lodos puede recoger la espuma superficial y drenarla por el canal de espuma.

En tanques circulares el diámetro es generalmente menor a 90 m, con profundidades de agua de 2 a 4 metros y pendientes en el fondo del 8%. Estos tanques son los más usados porque la barredora de lodos requiere menos partes móviles que el mecanismo de arrastre de un tanque rectangular (Rojas, 2005, pp. 634-635).

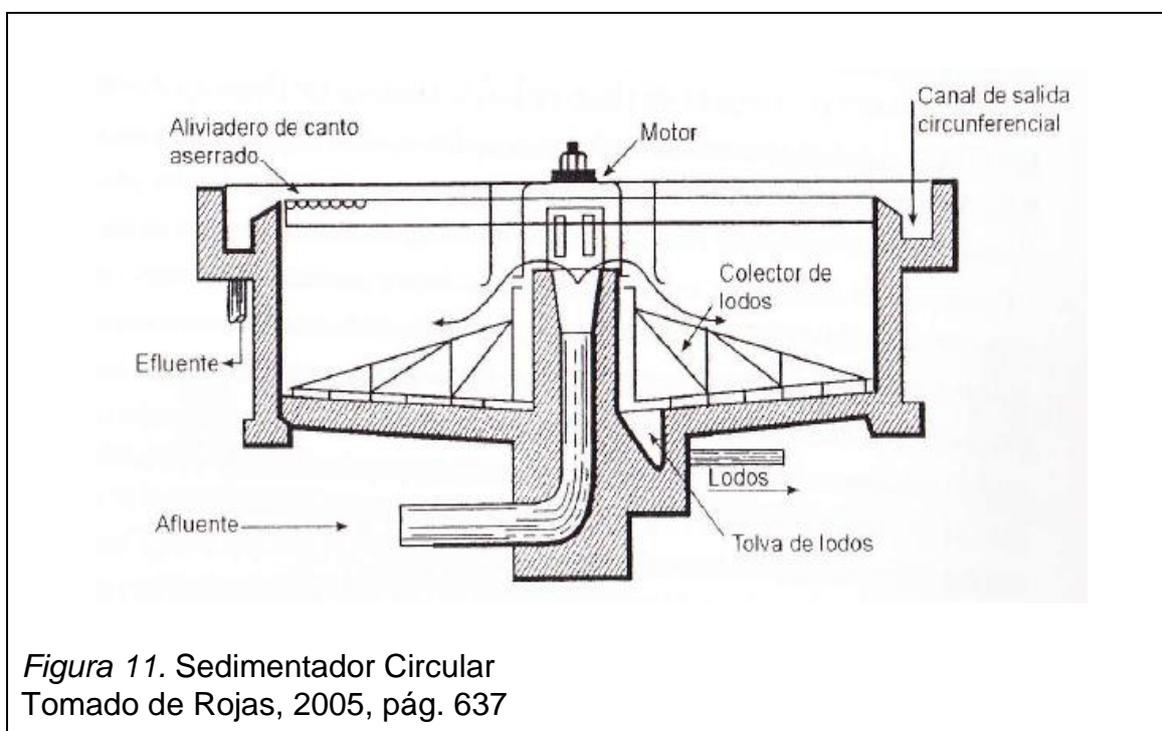


Figura 11. Sedimentador Circular
Tomado de Rojas, 2005, pág. 637

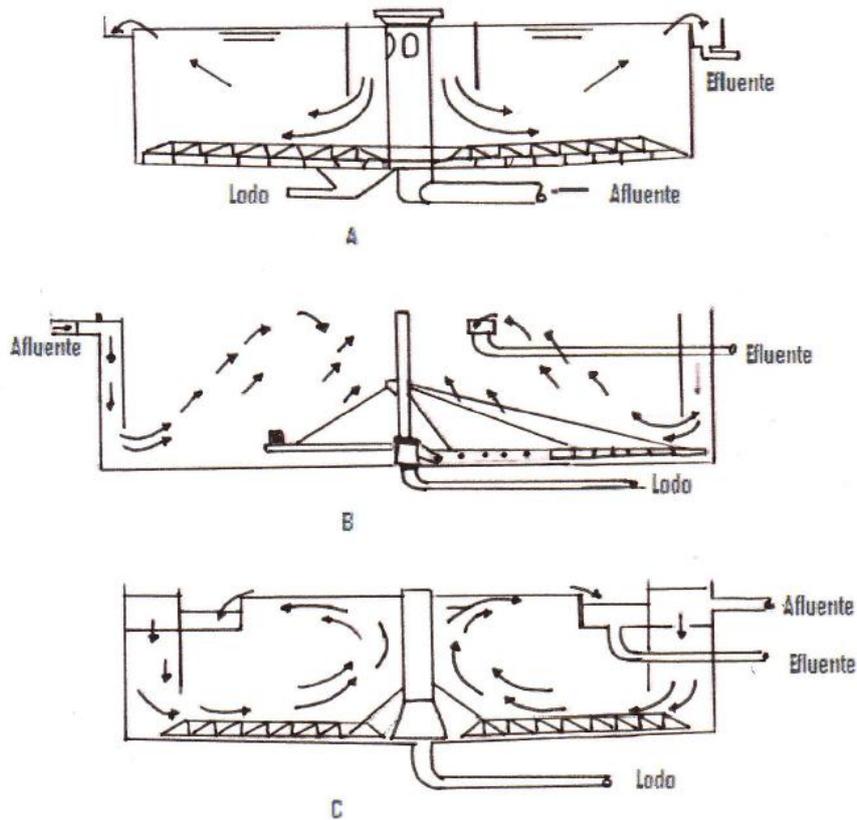


Figura 12. Tipos de sedimentadores circulares
Tomado de Rojas, 2005, p. 638.

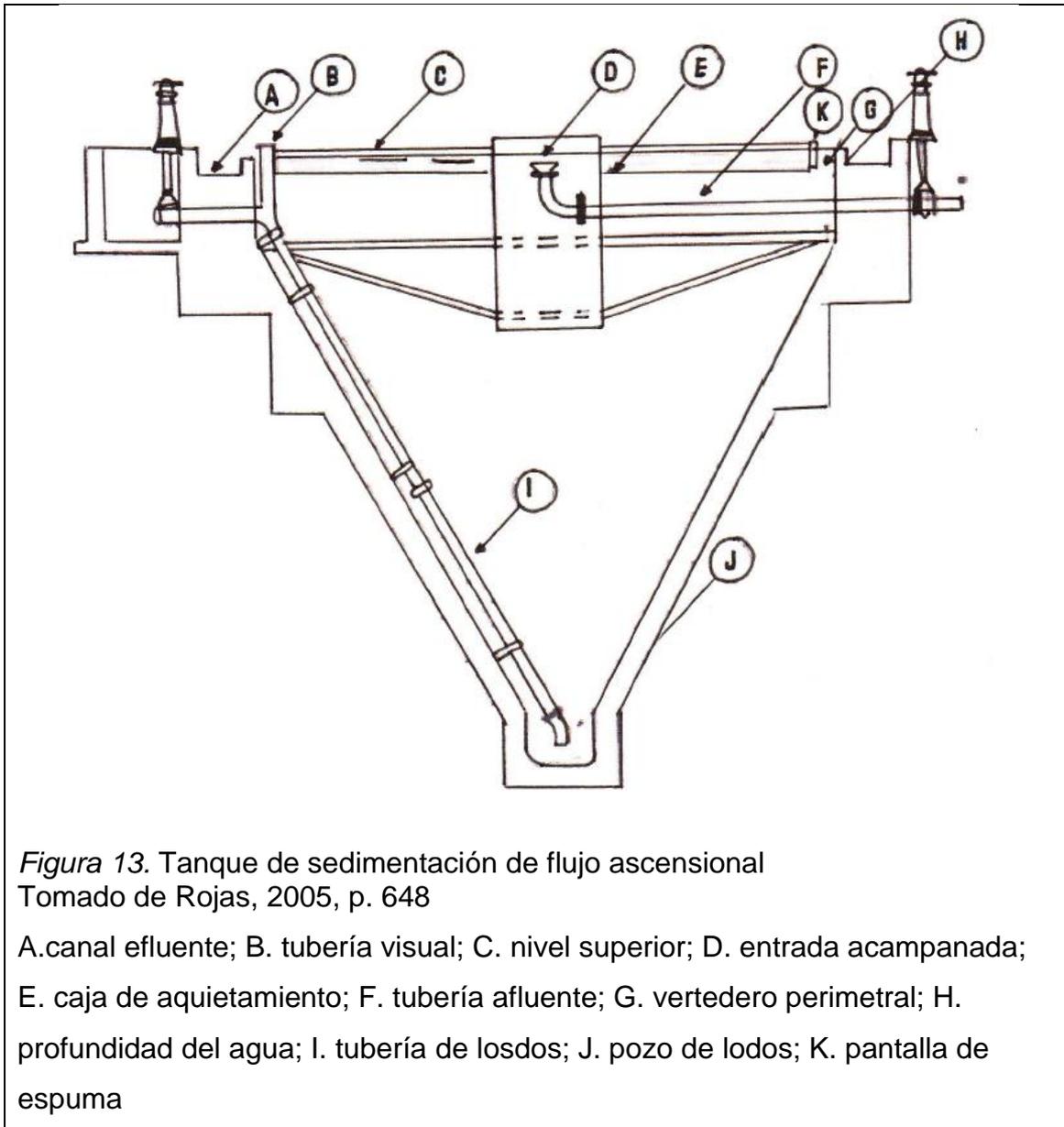
- A. Con dosificador central y barredora de lodos.
- B. Con alimentación perimetral y remoción central de lodos por succión hidráulica.
- C. Con alimentación perimetral y evacuación perimetral.

Tanque de flujo ascensional o sedimentador de tasa alta

Estos tanques permiten extraer lodos sin desocupar el tanque, facilitando la operación y produciendo un buen efluente. Se diseña con paredes piramidales inclinadas 60° con la horizontal y en las esquinas pendientes de 50° , generalmente son de 5 a 9 m³.

En este tipo de tanque la precipitación de los sólidos ocurre, en presencia de una gran cantidad de floc previamente formado, dentro de un solo tanque que

combina la mezcla con la floculación y sedimentación, así como la remoción continua de lodos. En general los tiempos de retención varían entre 1 y 2 horas (Rojas, 2004, p. 156).



La tubería del afluente descarga el agua verticalmente para proveer una velocidad mayor a 0,3 m/s para caudal mínimo. La caja de quietamiento debe tener de 1 a 1,2 m², con su borde superior a 0,12 m sobre el nivel del agua y prolongarse por debajo de la pared vertical. El vertedero de salida debe estar protegido por una pantalla de espuma. Es importante tener en cuenta que la inclinación de las paredes del tanque deben permitir el deslizamiento del lodo

hacia el pozo, en el cual se sumerge la tubería de lodos; el pozo puede ser cuadrado de 0,75 a 1,0 m por lado. La tubería de extracción de lodos debe tener un diámetro mínimo de 15 cm para evitar taponamiento.

El porcentaje de sólidos de estos lodos puede ser de un 3 a 4% y generar una reducción de SS de hasta un 65% aproximadamente (Rojas, 2005, pp. 647-648).

Rojas (2004, 2005) describe las ventajas y desventajas de este tipo de sedimentador, las cuales se describen a continuación.

Entre las ventajas de este tipo de unidad tenemos:

- El contacto del agua coagulada con gran cantidad de floc o lodo preformado, acelera las reacciones de coagulación y promueve la clarificación, debido al paso obligatorio del floc a través del manto de lodos.
- Permite, combinar mezcla, clarificación y sedimentación en una misma estructura, reducir las áreas de sedimentación y los costos de construcción.

Como desventajas tenemos:

- Requiere una operación cuidadosa, especialmente cuando el agua cambia sus características químicas o fuertemente de turbiedad. Estos cambios requieren de ajustes rápidos y adecuados en la dosificación del coagulante, para evitar que fluyan aguas turbias a los procesos subsiguientes.
- El exceso de lodos debe removerse de la unidad de forma continua por lo cual es necesario un control permanente.

1.4.1.3.4. Criterios de diseño para la construcción de un sedimentador

Para el diseño de sedimentadores, según Rojas (2004, 2005), se debe tener en cuenta los siguientes criterios y características:

- Proveer una distribución uniforme del afluente para minimizar la velocidad de entrada y evitar cortocircuitos.
- Proveer adecuada y rápida recolección del lodo sedimentado, así como de la espuma.
- Minimizar las corrientes de salida, limitando las cargas de rebose sobre el vertedero. El efluente debe salir sin alterar el contenido del tanque.
- Proveer profundidad suficiente para almacenar lodo y permitir su espesamiento adecuado.
- Proveer un borde libre mayor de 30 cm.
- Reducir efectos del viento mediante pantallas y vertederos.
- Considerar que en aguas frías se debe usar una carga superficial menor, ya que debido al aumento de la viscosidad del agua, el asentamiento de partículas se retarda y por ende se reduce la eficiencia del sedimentador.
- El efecto de la carga superficial y del tiempo de retención sobre la remoción de DBO y SS varía mucho según las características del agua residual, la proporción de sólidos sedimentables, la concentración de sólidos, etc.
- Hay que tomar en cuenta que las cargas superficiales deben ser lo suficientemente pequeñas como para asegurar una operación satisfactoria de sedimentación en caudales máximos.
- Como los caudales de diseño son, en todos los casos para condiciones futuras, los períodos de retención reales durante los primeros años de funcionamiento de la planta son mayores.
- Las tuberías de lodos deben ser lo más cortas posibles, de por lo menos 15 cm de diámetro con velocidad de flujo autolimpiante de 1,2 m/s.
- En tanque de desenlode manual se debe proveer un almacenamiento adecuado de lodos para asegurar que el incremento del caudal, producido al sacar un tanque de servicio para desenlode, no genere un aumento en la concentración de sólidos suspendidos en los otros tanques.
- Un tanque de desenlode debe dejarse fuera de servicio por lo menos una hora antes de su desenlode para permitir la sedimentación del lodo.
- El proceso de desenlode manual se debe realizar por lo menos una vez por semana y en procesos mecánicos cada dos días.

- Es importante considerar que a mayor densidad de la partícula, mayor será su velocidad de asentamiento.
- Se debe evitar corrientes de densidad, y cortocircuito, para lo cual la velocidad a través del tanque de sedimentación debe mantenerse entre 0,25 a 1,5 cm/s.
- El tiempo de retención teórico es directamente proporcional a la profundidad.

1.4.1.4. Coagulación

Es el proceso por el cual los componentes de una suspensión o disolución son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad para formar flocs de mayor tamaño y permitir su sedimentación (Sáez, Aguilar, Lloréns, Soler, y Ortuño, 2002, p. 35).

La coagulación de las partículas se consigue añadiendo al agua residual un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan sales de hierro y aluminio.

Se puede considerar tres etapas en este proceso

1. Desestabilización de las partículas
2. Interacción contaminante – coagulante
3. Agrupación de partículas

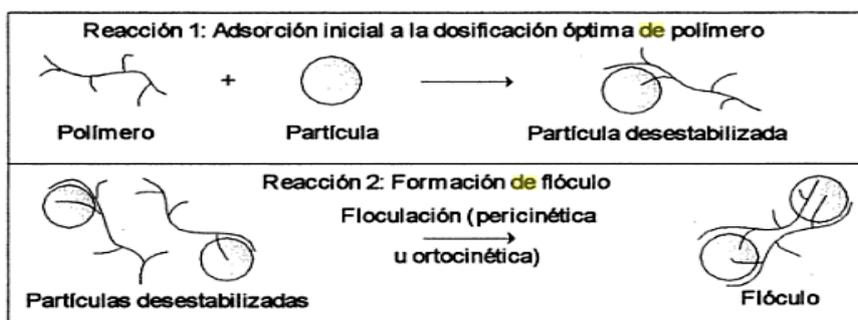


Figura 14. Proceso de coagulación

Tomado de Sáez, Aguilar, Lloréns, Soler, y Ortuño, 2002, p. 41

Las fuerzas de atracción y repulsión son las responsables de la estabilidad de las partículas de los contaminantes, estas fuerzas se reducen mediante la adición de coagulantes, los que permiten la interacción de partículas por medio de la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión del producto químico en el agua y promueve el choque de partículas lo que hace que las partículas se agrupen para formar flóculos. Después de un tiempo de mezcla rápida es necesario disminuir la velocidad de mezcla para flóculos más grandes (Ingeniería de aguas residuales, s.f).

Entre los factores que influyen en el proceso de coagulación están:

- **pH:** es un factor crítico en el proceso de coagulación, ya que siempre hay un nivel o rango de pH específico en el que el coagulante trabaja mejor.
- **Agitación rápida de la mezcla:** para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el floc o precipitado. Es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1s).
- **Concentración de las partículas:** es importante tener en cuenta la cantidad de partículas presentes en el agua para determinar la cantidad de coagulante necesario y el tiempo de agitación.

Tabla 2. Principales productos coagulantes

Tipo de coagulante	Sales	Rango de pH óptimo	Dosificación
Coagulantes inorgánicos	Sales de aluminio	5 - 7,5	100 - 300 g/m ³
	Sulfato férrico	4 - 11	10 - 150 g/m ³
	Sulfato ferroso	9,5	200 y 400 g/m ³
	Cloruro férrico	4 -6	6 - 160 g/m ³
		Características	
Coagulantes orgánicos	Naturales	Son sustancias extraídas de plantas, algas o animales como los derivados de celulosa, alginatos, etc. Se obtienen generalmente de cultivos de microorganismos.	
	Sintéticos	Son polímeros orgánicos con cargas eléctricas.	

1.4.2. Tratamiento secundario

Su principal objetivo es remover la materia orgánica presente en el agua, generalmente se utilizan procesos biológicos con microorganismos para su eliminación. Entre los principales tratamientos utilizados están: la filtración, biofiltros y los biodiscos.

1.4.2.1. Filtración

La filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados, virus; es decir, para asegurar una calidad superior del efluente.

Los filtros son utilizados para tratar efluentes secundarios o aguas pretratadas y para el tratamiento de agua potable, sin embargo aunque el diseño, la

configuración física y la operación de los filtros tienen los mismos principios básicos, debe tomarse en cuenta que hay diferencias importantes al momento de su aplicación (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 569; Rojas, 2005, p. 659).

Por ejemplo, con la filtración podemos tratar efluentes secundarios sin agregar coagulante, con agregación de coagulantes, antes de la filtración o antes del sedimentador secundario, y para depurar aguas residuales previamente coaguladas, floculadas y sedimentadas. La remoción de sólidos suspendidos contenidos en el agua residual, dentro del lecho filtrante granular, en todos los casos, es el resultado de un proceso muy complejo que involucra diferentes mecanismos de remoción como el cribado, la absorción y la adsorción, floculación y sedimentación. A continuación se muestra el uso de la filtración en un proceso de tratamiento de aguas (Rojas, 2005, p. 569).

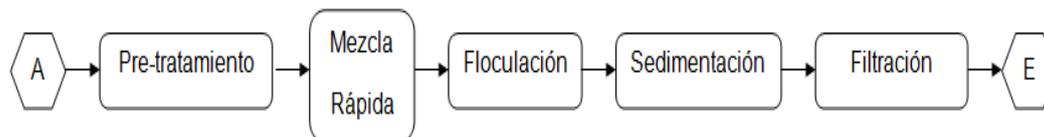


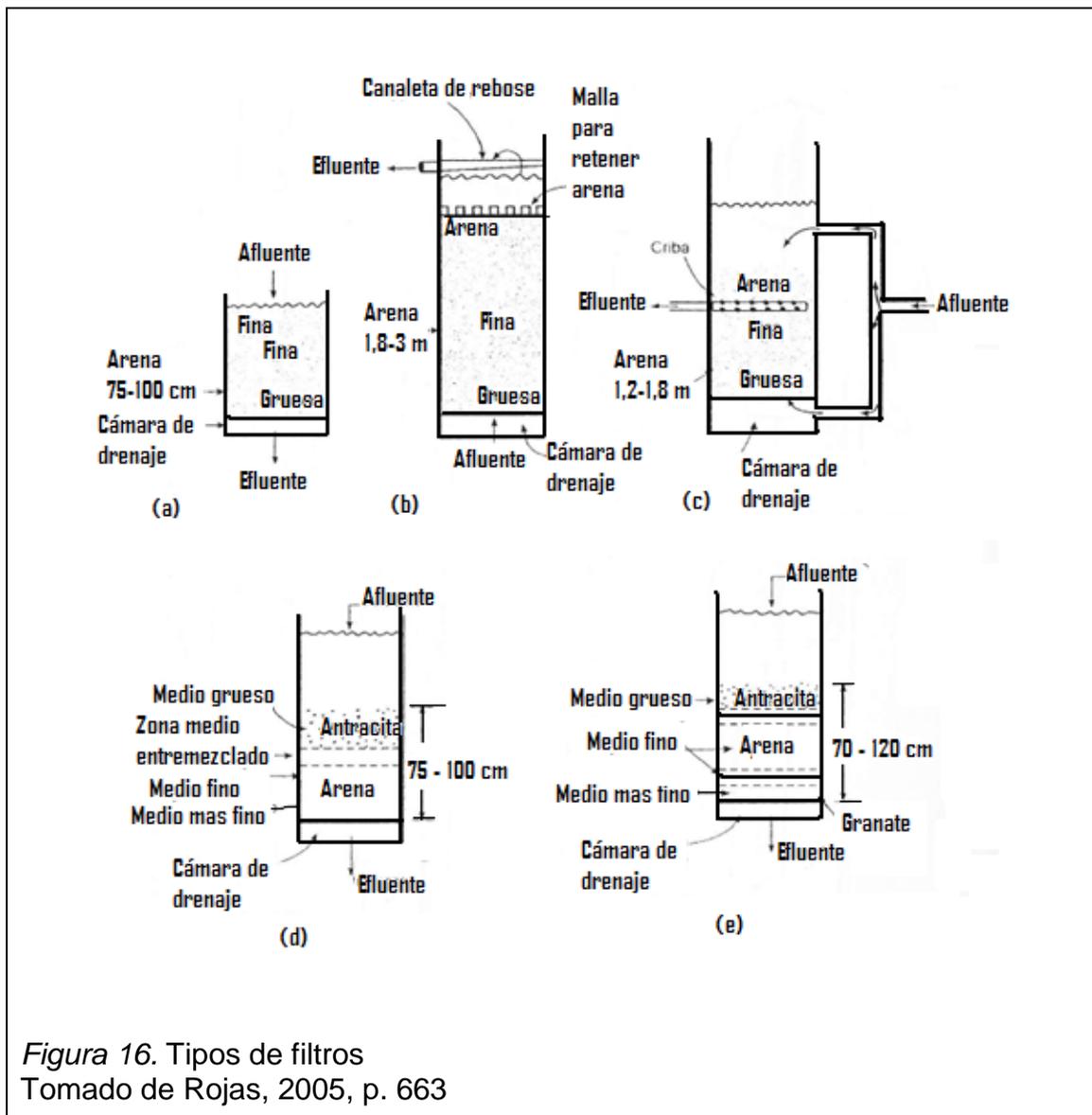
Figura 15. Uso de la filtración para tratamiento de aguas residuales
Tomado de Rojas, 2005, p. 660

Tipos de filtros

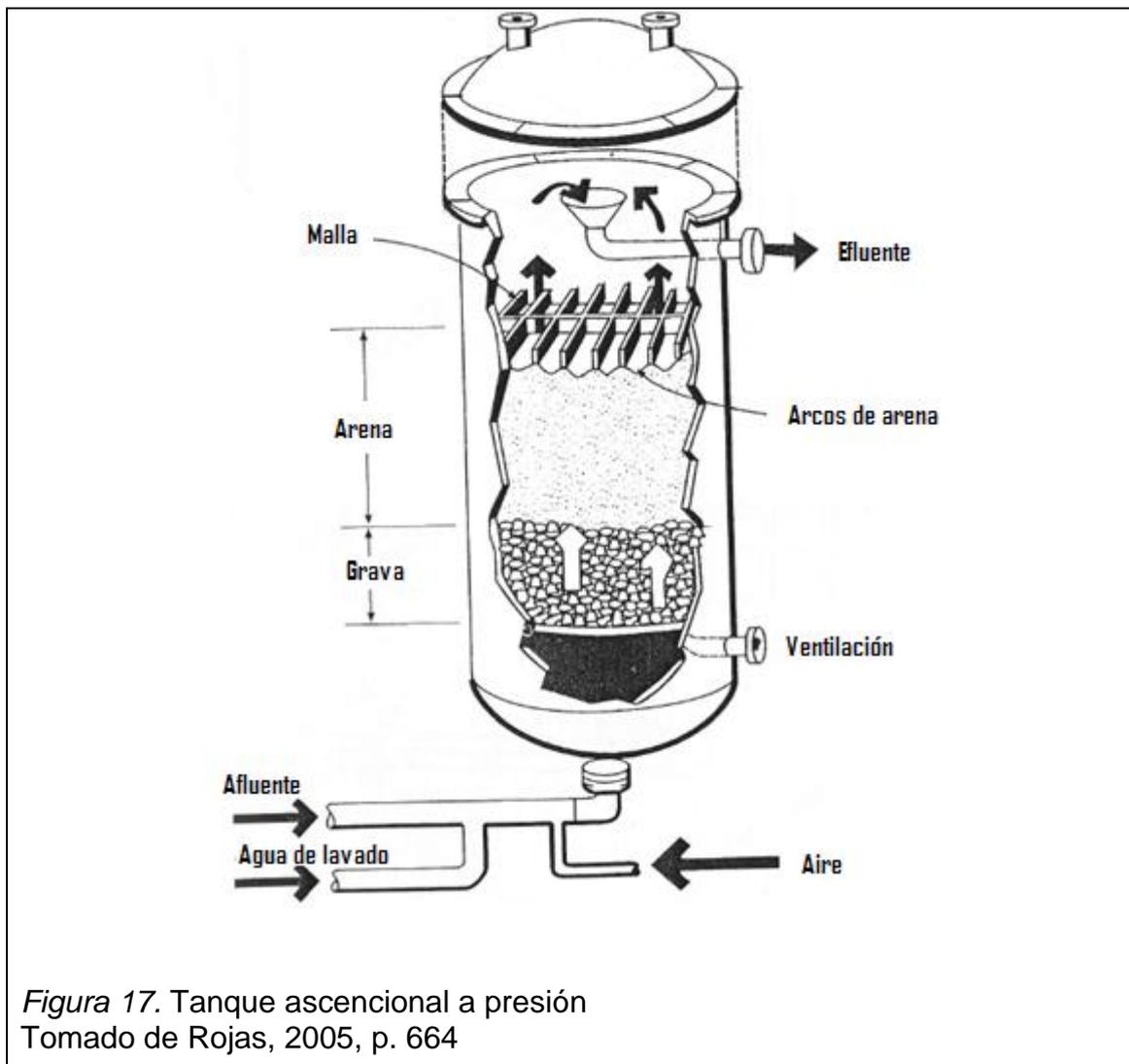
Se prefieren los diseños con tasas de filtración altas, lechos filtrantes más profundos y medio más grueso. La finalización de la vida útil del filtro se determina por la fuga de sólidos suspendidos en el efluente filtrado (turbiedad superior al límite aceptable), o porque la pérdida de energía, a través del filtro, alcanza el valor máximo permisible; finalizado el tiempo de vida útil, es necesario lavar el filtro para remover los sólidos retenidos y para recuperar la capacidad de filtración. El lavado de los filtros se realiza de manera ascensional con agua y ésta es ayudada con aire (Rojas, 2005, p. 659).

A continuación se describen según Rojas (2005) las características de algunos de los filtros más usados:

- a) El filtro típico convencional monomedio que utiliza arena o antracita como medio filtrante y opera por gravedad, con tasa de filtración constante o variable.
- b) Filtro ascensional profundo monomedio el cual cuenta con las siguientes ventajas:
 - La filtración va de medio grueso a fino, utiliza un solo medio filtrante y permite usar un medio con tamaño efectivo más grande y con mayor coeficiente de uniformidad.
 - El tiempo requerido para lavado es menor porque el tiempo de drenaje es mínimo.
 - Se puede usar agua cruda para lavado, disminuyendo la cantidad de agua que debe filtrarse dos veces.
- c) Filtro de flujo dual con entrada superior e inferior de agua y extracción del efluente dentro del medio.
- d) Filtro que funciona por gravedad de medio dual o triple, que permite tasas altas de filtración, vida útil de filtración adecuada y efluentes de calidad aceptable y útil para tratamiento terciario.
- e) Filtro de gravedad de medio triple con las mismas características que el anterior.



En lugares donde se cuente con espacio reducido se puede utilizar filtros de presión, los cuales permiten reducir espacio y son económicos; en este tipo de filtro, la filtración se realiza en un tanque cerrado con presión suministrada por una bomba, por lo que pueden operar con pérdidas de energía altas, vida de filtración más larga y con menor consumo de aguas de lavado. Entre las dificultades de este modelo tenemos la de hacer observaciones, inspecciones y cambios del medio filtrante (Rojas, 2005, pp. 662-663).



Dependiendo del método usado de retrolavado, el medio filtrante puede ser estratificado o no estratificado. El uso únicamente de agua para retrolavar y fluidizar un filtro de un solo medio, da como resultado un filtro estratificado con las partículas más pequeñas del medio localizadas en la superficie. El uso simultáneo de agua y aire produce un lecho no estratificado debido a la mezcla de las partículas finas con las gruesas. La utilización de agua y aire para retrolavado de medios duales o múltiples requiere el uso al final del ciclo de retrolavado, el uso de agua para lograr un medio estratificado. En algunos estudios se indica que la frecuencia de retrolavado de los filtros debe ser una o dos veces por mes, con remociones del 60% de SS y del 40% de DBO (Rojas, 2005, pp. 664-665).

Criterios de Diseño para la elaboración de filtros

La diferencia principal entre los filtros para la purificación de agua y los filtros para tratamiento de aguas residuales, radica en el tamaño del medio filtrante. Ya que los granos para aguas residuales deben ser más grandes para que el filtro tenga una velocidad apropiada de filtración y pueda almacenar el volumen del floc removido. Otras dos variables importantes son la resistencia del floc y la concentración de sólidos suspendidos. La habilidad del floc para soportar el esfuerzo cortante es generalmente mayor en los flocs químicos de hierro y alumbre, para mejorar la resistencia del floc de alumbre o de hierro se puede utilizar un polímero. La agregación de un polímero contribuye a una tasa de filtración mayor y a una carrera del filtro más larga (Rojas, 2005, pp. 666-669; Crites y Tchobanoglous, 2000, pp. 585-586).

Cuando se filtran efluentes secundarios crudos, la acción principal del filtro es la remoción superficial y, por tanto, la pérdida de carga determina el final de la vida útil del filtro.

Para prevenir la formación o crecimiento de microorganismos sobre el medio filtrante, se recomienda el uso de lavado superficial con agua o de flotación con aire, más lavado ascensional con agua (Rojas, 2005, p. 669).

El diseño de un filtro para aguas residuales requiere una selección apropiada del tamaño del medio filtrante, de la profundidad del lecho filtrante, de la tasa de filtración y de la pérdida de carga disponible para filtrar. En plantas de filtración de aguas residuales es necesario evaluar los siguientes factores:

- Efectos potenciales de caudales pico y de variaciones continuas de caudal entre períodos de tiempo seco y tiempo lluvioso, que pueden hacer necesario proveer un tanque de igualamiento de mezcla completa ubicada antes de los filtros.
- En períodos de caudal pico, la carga de sólidos suspendidos pueden alcanzar valores tan altos de 30 a 50 mg/L de sólidos suspendidos y turbiedades mayores de 15 UNT, lo cual contribuye a pérdidas de carga alta y carreras de filtración cortas. Para contrarrestar este efecto se puede utilizar un lecho más grueso, un lecho dual o mezclado que permita una

filtración que vaya de un medio grueso a uno fino o recurrir al uso de filtros de presión.

Para lograr una operación económica se requiere una tasa de filtración y una duración de carrera apropiada. Tiempos de retención mayores a 24 horas a cualquier tasa de filtración no aumentan la producción neta de agua en forma significativa, mientras que tiempos menores a diez horas afectan la producción neta de agua y tienen incidencia sobre la economía del proceso. Los filtros de un solo medio de lecho profundo, permiten recorridos de filtración más largos, pero requieren medio filtrantes de tamaño uniforme, velocidades altas de lavado y cajas profundas; por ello se prefieren los del tipo no estratificado con lavado combinado de agua y aire que permite el uso de un solo medio de tamaño de grano variable (Rojas, 2005, p. 570).

A continuación, se describen algunas de las características básicas de un filtro.

Tabla 3. Características básicas de diseño para monofiltros

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Lecho poco profundo (estratificado)		
Arena		
Profundidad. cm	25 - 30	28
Tamaño efectivo, mm	0,35 - 0,6	0,45
Coefficiente de Uniformidad	1,2 - 1,6	1,5
Tasa de filtración m/d	120 - 360	180
Antracita		
Profundidad. cm	30 - 50	40
Tamaño efectivo, mm	0,8 - 1,5	1,3
Coefficiente de Uniformidad	1,3 - 1,8	1,6
Tasa de filtración m/d	120 - 360	180
Lecho convencional (estratificado)		
Arena		
Profundidad. cm	50 - 75	60
Tamaño efectivo, mm	0,4 - 0,8	0,65
Coefficiente de Uniformidad	1,2 - 1,6	1,5
Tasa de filtración m/d	120 - 360	180
Antracita		
Profundidad. cm	60 - 90	75
Tamaño efectivo, mm	0,8 - 2	1,3
Coefficiente de Uniformidad	1,3 - 1,8	1,6
Tasa de filtración m/d	120 - 480	240

Lecho profundo (no estratificado)		
Arena		
Profundidad. cm	90 - 180	120
Tamaño efectivo, mm	2 - 3	2,5
Coefficiente de Uniformidad	1,3 – 1,6	1,5
Tasa de filtración m/d	120 - 600	300
Antracita		
Profundidad. cm	90 - 210	150
Tamaño efectivo, mm	2 – 4	2,75
Coefficiente de Uniformidad	1,3 – 1,8	1,6
Tasa de filtración m/d	120 – 600	300

Tomado de Rojas, 2005, p. 671

Tabla 4 . Características de filtros de medio dual y múltiple para tratamiento de aguas residuales

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Medio dual		
Antracita		
Profundidad. cm	30 - 375	60
Tamaño efectivo, mm	0,8 – 2	1,3
Coefficiente de Uniformidad	1,3 – 1,8	1,6
Arena		
Profundidad. cm	15 - 30	30
Tamaño efectivo, mm	0,4- 0,8	0,65
Coefficiente de Uniformidad	1,2 – 1,6	1,5
Tasa de filtración m/d	120 – 600	300
Multimedia		
Antracita (capa superior de medio cuádruple)		
Profundidad. cm	20 - 50	40
Tamaño efectivo, mm	1,3 – 2	1,6
Coefficiente de Uniformidad	1,5 – 1,8	1,6
Antracita (segunda capa de medio cuádruple)		
Profundidad. cm	10 - 40	2 ^o
Tamaño efectivo, mm	1 – 1,6	1,1
Coefficiente de Uniformidad	1,5 – 1,8	1,6
Antracita (capa superior de medio triple)		
Profundidad. cm	20 – 50	40
Tamaño efectivo, mm	1 – 2	1,4
Coefficiente de Uniformidad	1,4 – 1,8	1,6

Tabla 4.- Continuación

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Arena		
Profundidad. cm	20 - 40	25

Tamaño efectivo, mm	0,4- 0,8	0,5
Coefficiente de Uniformidad	1,3 – 1,8	1,6
Granate o ilmenita		
Profundidad. cm	5 - 15	10
Tamaño efectivo, mm	0,2 – 0,6	0,3
Coefficiente de Uniformidad	1,5 – 1,8	1,6
Tasa de filtración m/d	120 – 600	300

Tomado de Rojas, 2005, p. 672

Tabla 5. Velocidades y cargas hidráulicas de diseño

Flujo	Velocidad, m/s	Caudal máximo por unidad de área de filtro m ³ /m ² d
Afluente	0,3 – 1,2	175 - 470
Efluente	0,9 – 1,8	175 - 470
Agua de lavado	1,5 – 3,0	880 – 1.470
Drenaje agua de lavado	0,9 – 2,4	880 – 1.470
Desecho agua filtrada	1,8 - 3,6	60 - 350

Tomado de Rojas, 2005, p. 672

Recomendaciones generales de diseño para filtros

- Se debe evaluar la variabilidad de carga hidráulica y de sólidos suspendidos para evitar carreras cortas de filtración y consumos excesivos de agua de lavado.
- Es preferible utilizar filtros que permitan la penetración de sólidos suspendidos, es decir, usar sistemas de filtración que vayan de medio grueso a fino, para obtener carreras de filtración razonables. El medio filtrante sobre el lado de entrada del efluente debe tener un tamaño efectivo entre 1 y 1,2 mm.
- Se recomienda instalar lavado superficial o un sistema de frotación con aire.
- Tasas altas de filtración, mayores de 180m/d y concentraciones de sólidos suspendidos mayores a 30mg/l en el afluente, producen pérdidas de carga

altas que pueden hacer deseable el uso de filtros de presión, especialmente en plantas pequeñas.

- Tasas bajas de filtración o cargas bajas de sólidos suspendidos en el efluente, permiten el uso económico de filtros por gravedad, sobre todo en plantas grandes donde se requieren varios filtros. Por lo menos dos, y preferiblemente cuatro. Cada filtro debe ser capaz de filtrar el caudal pico para permitir que el otro sea lavado o reparado (Rojas, 2005, p. 673).

Control y limpieza

Las principales funciones de los filtros que requieren monitores y control son la pérdida de carga y la tasa de duración y secuencia del proceso de lavado. Los sistemas de lavado superficial usan aproximadamente entre 20 y 80 L/m²min de agua.

A continuación se describen tasas aproximadas de agua y aire utilizado para retrolavado.

Tabla 6. Tasa de retrolavado aire-agua para filtros monomedio de arena o antracita

Medio	Características del medio		Tasa de retrolavado	
	Tamaño efectivo, mm	Coefficiente de uniformidad	Agua m ³ /m ² d	Aire m ³ /m ² d
Arena	1,00	1,49	587	13
	1,49	1,40	880	20
	2,19	1,30	1.174	26
Antracita	1,10	1,73	411	7
	1,34	1,49	587	13
	2,00	1,53	880	20

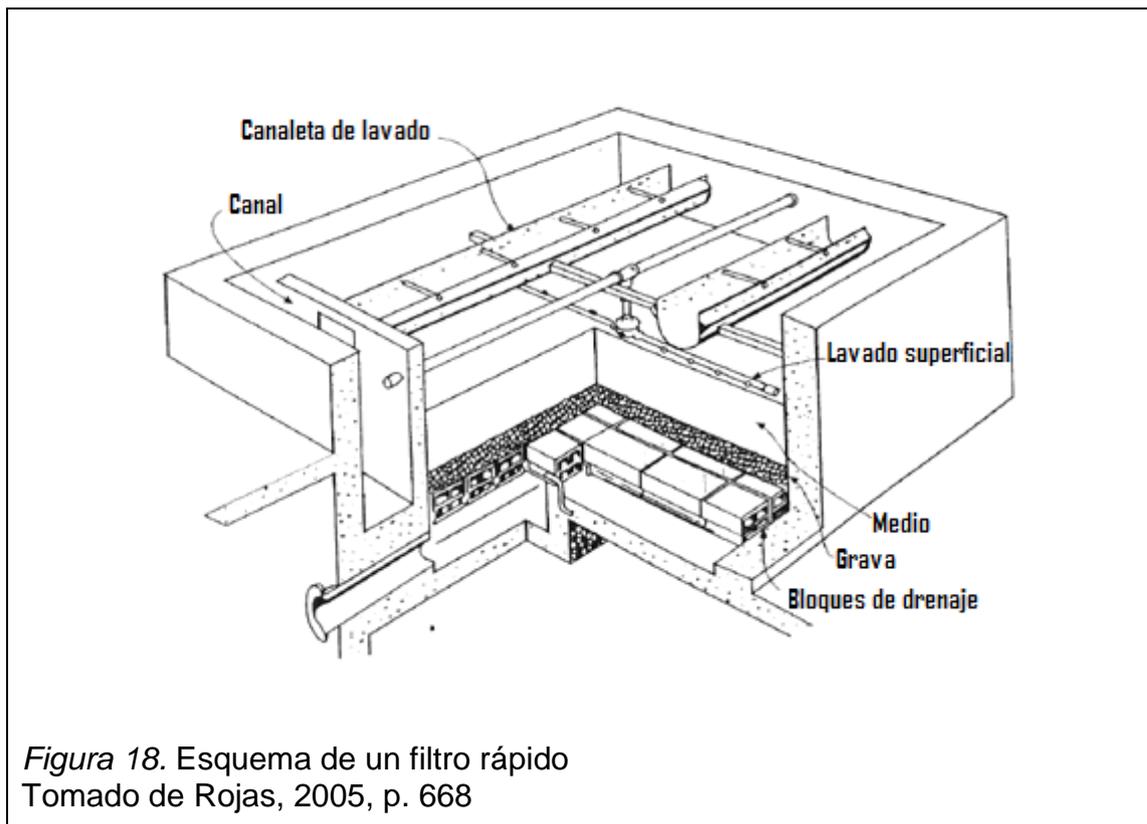
Tomado de Rojas, 2005, p. 674

Rojas (2005) explica que la secuencia típica para retrolavado, con lavado superficial auxiliar, es:

1. Se cierra el afluente y se deja drenar el filtro hasta que el nivel del agua alcance el borde superior de las canaletas de lavado.
2. Se aplica lavado superficial durante uno o tres minutos.
3. Se aplica simultáneamente lavado ascensional y superficial durante cinco a diez minutos, hasta sacar todos los sólidos retenidos.
4. Se suspende el lavado superficial y se aplica solamente retrolavado durante uno o dos minutos, a la tasa necesaria para estratificar el lecho.
5. Se regresa el filtro a servicio normal.

La secuencia para retrolavado ascensional con agua y aire según Rojas (2005) es:

1. Se cierra el afluente y se deja drenar hasta que el nivel del agua alcance 10 cm sobre el lecho filtrante.
2. Se aplica aire a una tasa de 0,6 a 1,5 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$ durante tres a diez minutos.
3. Se aplica retrolavado con agua a una tasa de 1,4 a 3,4 mm/s junto con aire, hasta que el nivel del agua alcance 0,30m sobre la canaleta de lavado. Nunca retrolave el filtro con agua que contenga grandes cantidades de aire, pues se puede perder medio filtrante por las canaletas de lavado.
4. Se cierra el suministro de aire.
5. Se continúa el retrolavado con agua a la tasa apropiada durante el período usual.
6. Se aplica retrolavado de uno a dos minutos, a la tasa requerida para clasificar hidráulicamente el medio filtrante.
7. Se retorna el filtro a servicio normal.



2.- METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la situación actual

En la actualidad el área de ordeño (figura 19, C) del Centro Experimental UDLA – Nono, no cuenta con un sistema que permita dar tratamiento a los efluentes que allí se generan, por lo que los mismos son emitidos directamente a un terreno ubicado junto al área de ordeño (figura 19, G). Esto ha provocado varios problemas como la generación de vectores (mosquitos), la producción de olores por el alto contenido de estiércol, así como, la contaminación y degradación de esta área impidiendo que la misma pueda ser utilizada para la agricultura ya que las características tanto físicas como químicas del suelo se ven afectadas.

El área de terreno (300 m²) que recibe el efluente se ha convertido en un terreno pantanoso, por lo que es necesario implementar un sistema de

tratamiento de agua que permita depurar la misma para que esta pueda ser utilizada para riego y de esta manera disminuir la cantidad de agua limpia que se utiliza en la granja y a su vez mejorar las condiciones actuales del terreno adyacente al área de ordeño.

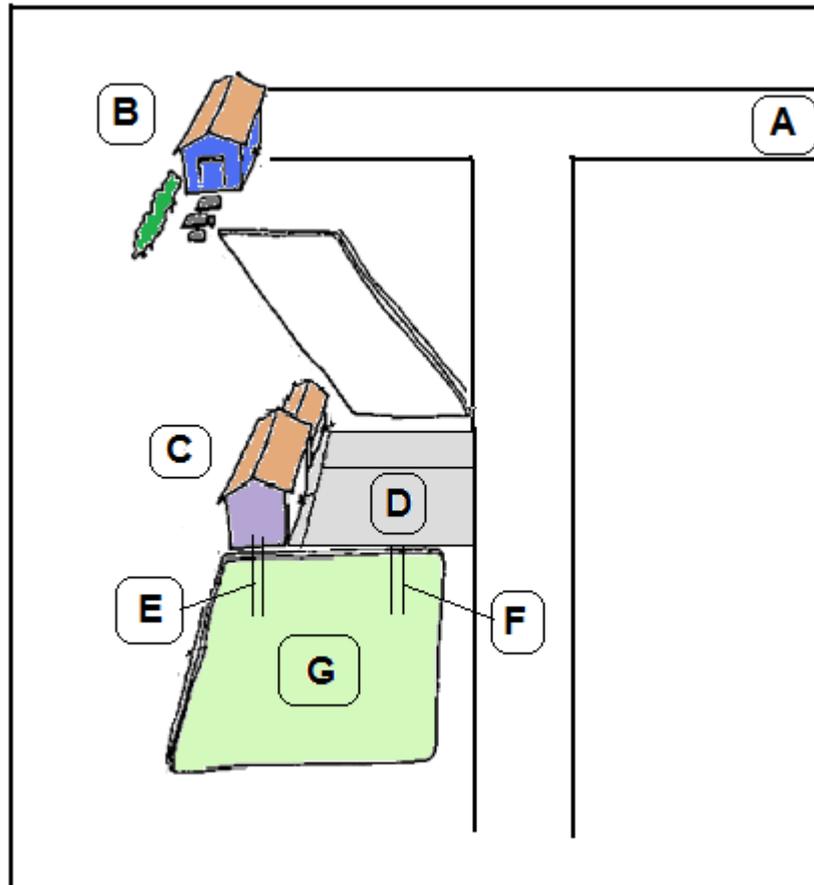


Figura 19. Diagrama de ubicación de las zonas de ordeño y generación de agua residual

Nota:

A: Entrada de la granja

B: Casa

C: Área de ordeño

D: Área exterior del ordeño

E y F: Tuberías de descarga del agua residual

G: Área de influencia





Para la limpieza de los equipos y área de ordeño se utilizan dos productos químicos el **Alfa Ácido Desincrustante** (A.A.D) indicado para minimizar la corrosión de las tuberías y equipos de ordeño, que es utilizado dos veces por semana, y el **Alfa detergente Alcalino Clorado** indicado para la limpieza y desinfección del equipo de ordeño y de todas los lugares y áreas que conforman este sector, este último es utilizado todos los días. Los dos productos son diluidos en agua, aproximadamente se utiliza entre 5 y 10 ml/L. Si bien, el uso de estos productos no es en altas cantidades, estos son tóxicos para el ambiente y las personas. De la misma manera se utiliza jabón común para la limpieza de las paredes del área, permitiendo que este sea un lugar estéril para el proceso de ordeño, disminuyendo la producción de enfermedades en las vacas y mejorando la calidad de la leche.

2. 2. Precipitaciones en San Miguel de Nono

Así como los límites máximos permisibles, es importante para el desarrollo de este proyecto tener en cuenta las precipitaciones que se dan en el sector, ya que estas influirán en el diseño y dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua.

Para el cálculo de las precipitaciones se utilizó los datos proporcionados por la estación meteorológica M361 correspondiente a la parroquia de Nono, ubicada a 2710 msnm.

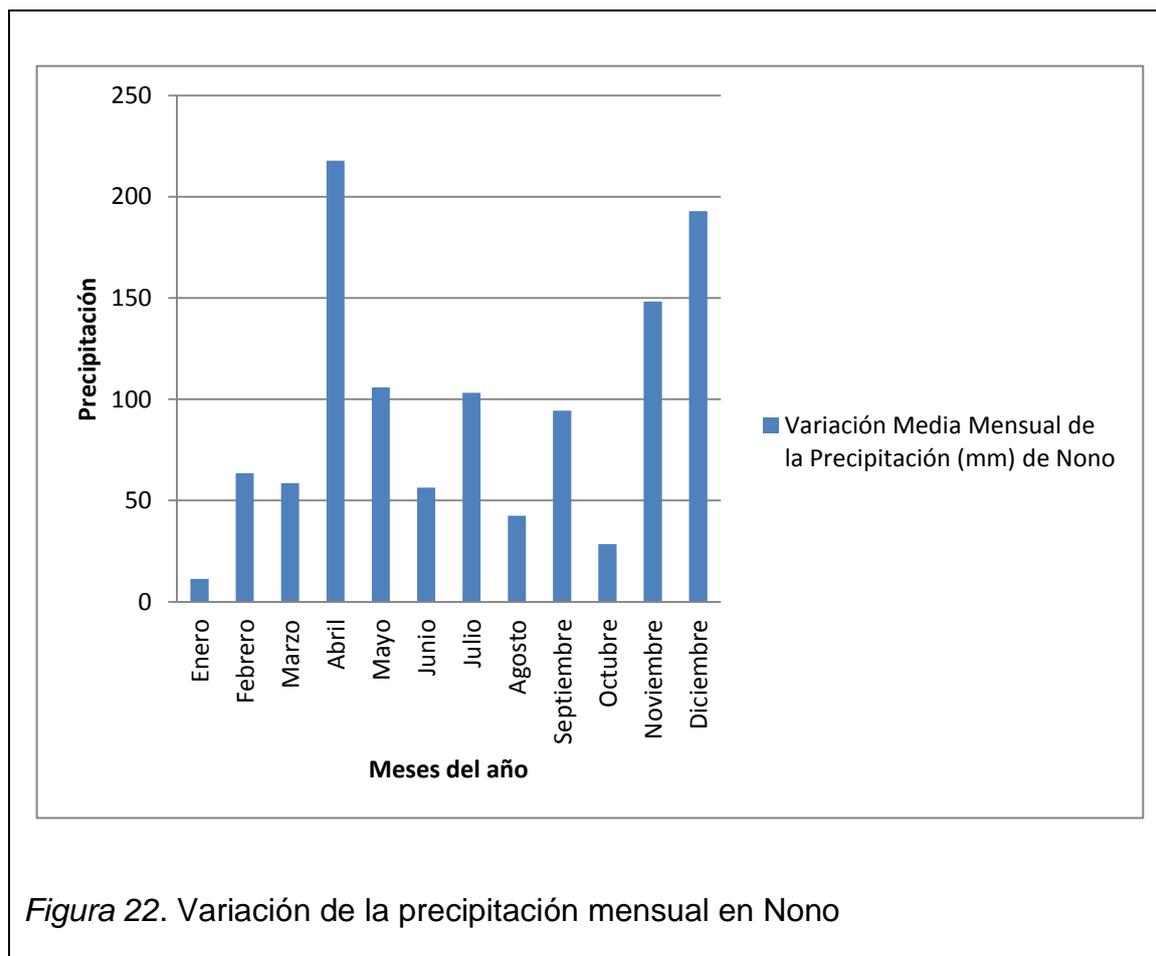
A continuación se muestra las precipitaciones mensuales medias en mm en el 2010.

Tabla 7. Precipitaciones mensuales en mm de la estación meteorológica de Nono año 2010

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Anual mm
M361	11,2	63,5	58,5	217,7	105,8	56,3	103,2	42,5	94,4	28,4	148,2	192,9	1122,6

Tomado de INAMHI, 2010

La precipitación máxima en 24 horas es de 40,8 mm y el número de días de lluvia durante el año 2010 fue de 136.



La gráfica muestra claramente que existen variaciones significativas de la precipitación media mensual, presentando un pico el mes de abril con un promedio de 217,7 mm, seguido por los meses de noviembre y diciembre con 148,2 mm y 192,9 mm, respectivamente. Por el contrario los meses más secos corresponden a agosto, septiembre y octubre.

Como resultado tenemos que durante los meses de mayor precipitación el volumen total del afluente a ser tratado aumentará, por lo que el diseño de los tanques de sedimentación y almacenamiento, deben ser de tal manera que eviten reboses de caudal durante estas épocas de lluvia.

2.3. Muestreo y medición de caudal mediante el método volumétrico

Es importante contar con una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global. Generalmente, para que la

muestra sea representativa, se prefiere elegir sitios de muestreo con flujo turbulento donde el agua residual esté bien mezclada.

Los períodos de muestreo dependen del régimen de variación del caudal, de la disponibilidad de recursos y del propósito del proyecto. Por lo general se prefieren muestras compuestas, o mezcla de muestras simples o instantáneas, que aseguren representatividad. Las muestras simples son particularmente deseables cuando el flujo de agua residual no es continuo, cuando la descarga de contaminantes es intermitente, cuando las características del residuo son relativamente constantes o cuando el parámetro que se va a analizar puede cambiar de manera significativa (Rojas, 2005, p. 75).

Para la medición del caudal y toma de muestras con flujo turbulento se eligió como punto de muestreo el desagüe ubicado en la parte posterior del área de ordeño (figura 19, E) y el desagüe ubicado al final del potrero (figura 19, F), para lo cual se colocó un tubo de PVC en cada punto que permitió captar toda el agua y dirigirla hacia un balde y de esa manera poder determinar el caudal. Este método se adapta de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008).

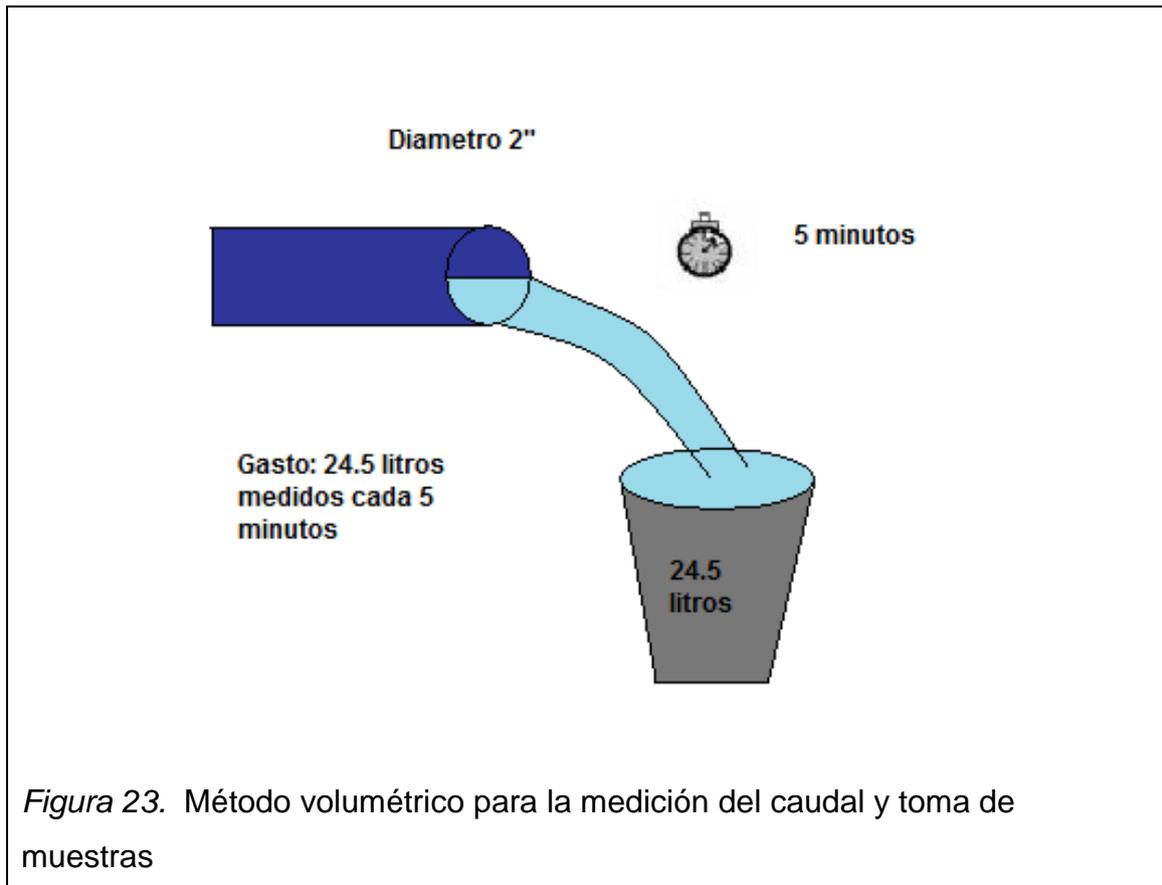
Las muestras se obtuvieron de la mezcla de varias muestras simples para así obtener una muestra representativa, ya que el caudal y la descarga de contaminante no son constantes durante el tiempo que toma realizar la limpieza del sector de ordeño. Se tomaron 12 submuestras (6 muestras en cada punto) cada 5 minutos aproximadamente, durante una hora (tiempo que dura la limpieza del área de ordeño).

2.3.1. Medición del caudal mediante el método volumétrico

Para la medición del caudal se utilizó un envase de 24.5 litros de capacidad y se tomó el tiempo que este demora en llenarse; al balde se lo colocó al final del desagüe de los dos puntos de descarga ubicados en la parte posterior del área de ordeño.

Es importante tener en cuenta que la limpieza del área se realiza dos veces al día, en la mañana y en la noche luego del proceso de ordeño.

Para el cálculo del caudal se utilizó la formula $Q = \frac{V}{t}$; donde V representa el volumen y t el tiempo.



Para poder observar la fluctuación de caudal durante el tiempo se utilizó una curva que nos permitió observar dicho fenómeno.

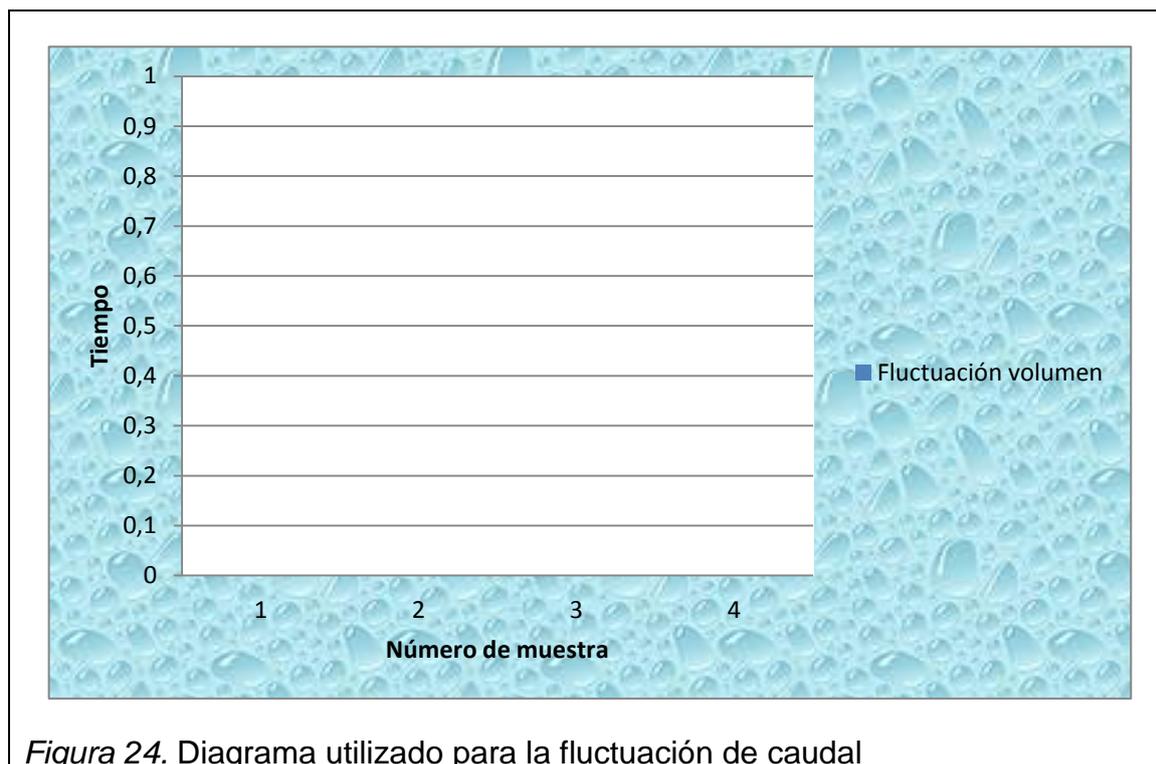


Figura 24. Diagrama utilizado para la fluctuación de caudal

2.4. Caracterización del agua residual de la granja

Para conocer qué parámetros son necesarios medir, se utilizó como guía la Norma Técnica 213 del Distrito Metropolitano de Quito, la cual especifica los parámetros mínimos a ser medidos por sector productivo. El centro experimental UDLA Nono pertenece al sector productivo A01 ya que las actividades que allí se realizan están enfocadas a la agricultura y ganadería.

Tabla 8. Parámetros según sector productivo

CIU	DESCRIPCIÓN	Q m ³ /d	pH	T °C	A&G mg/l	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l	SSed ml/l	SST mg/l	Órgano clorados	Órgano fosforados	Metales Pesados	Otros
A01	Agricultura y caza	√	√	√	√	√	√		√	√	√	As, Cu, Cr ⁶⁺ , Hg, Mn, Zn, Ag	Fósforo, Tensoactivos

Tomado de Norma Técnica 213, 2008, p. 26

De los parámetros establecidos no se midió metales pesados ya que únicamente se analizó y trató el agua que se genera de la limpieza del ordeño y durante este proceso no se utilizan productos químicos que contengan metales pesados, organoclorados u organofosforados. Adicional a estos parámetros, se midió sulfatos y coliformes ya que el tensoactivo utilizado posee sulfatos y el agua contiene gran cantidad de estiércol.

A continuación, se describen los ensayos de laboratorio utilizados para determinar la presencia de los contaminantes antes mencionados. Estos mismos procedimientos se los utilizó para comprobar la eficiencia de la implementación del tratamiento primario.

2.4.1. Determinación del potencial de hidrógeno (pH) mediante potenciómetro de electrodos

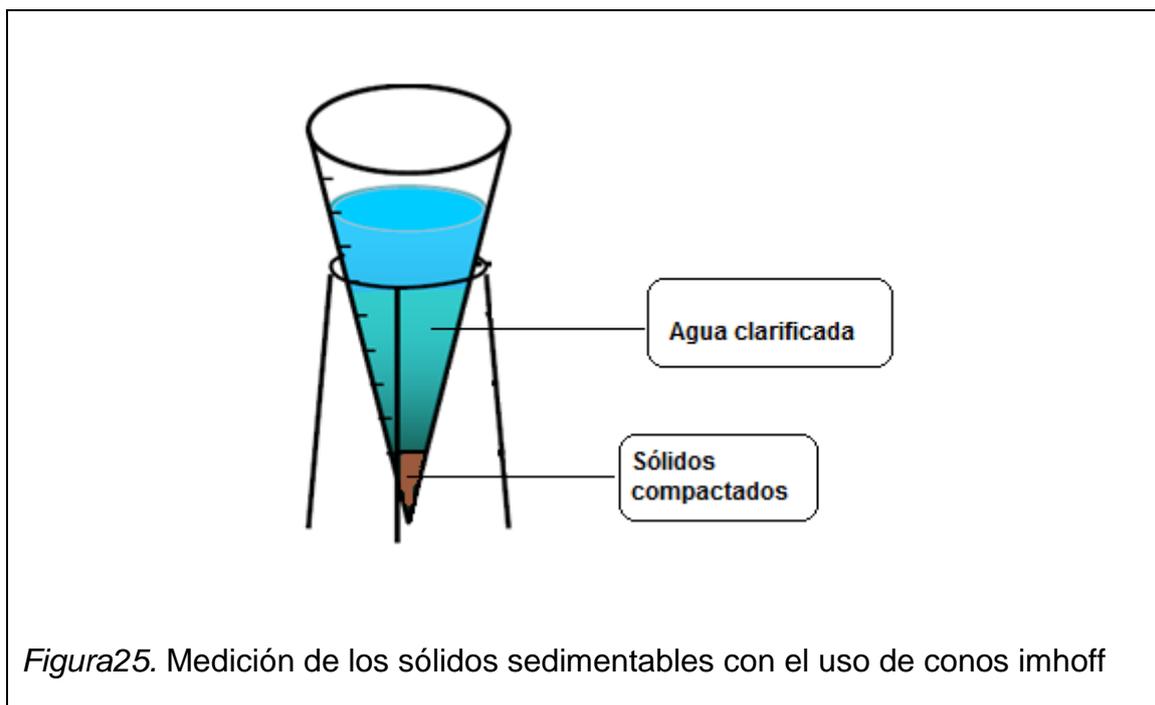
Para la medición del pH en campo, se utilizaron tiras de papel pH (Macherey – Nagel Nr.921-10), las cuales se introducen en el agua y se las retira, posteriormente se observó el cambio de color de la tira y se comparó con la tabla de pH para determinar su valor. Esta medición fue comparada con la lectura del pH-metro de electrodos (HANNA pH metro- HI 2550 pH/ORP y ec/ TDS/ NaCl meter) en el laboratorio de la UDLA.

2.4.2. Determinación de la temperatura mediante el método APHA 2550- B (modificado)

Se utilizó como equipo de medición un termómetro, el cual se introdujo en el agua por aproximadamente un minuto, posteriormente se leyó el valor obtenido.

2.4.3. Determinación de Sólidos Sedimentables (Método del cono IMHOFF S.M. 2540 - A)

Se llenó un cono Imhoff hasta la marca de 1000 ml con una muestra de agua bien mezclada. Se dejó que la muestra sedimente durante 45 minutos, suavemente se agitó la muestra de los lados del cono, se dejó que la muestra sedimente por 15 minutos más. Luego se registró el volumen de los sólidos sedimentables en mg/l o ml/L.



2.4.4. Determinación de sólidos suspendidos totales (Método S. M. 2540-D)

En primer lugar se armó el equipo de filtrado conformado por la bomba de vacío, el kitasato y un embudo, posteriormente se colocó el filtro de fibra de vidrio humedecido con una pequeña cantidad de agua destilada para que este se adhiriera al embudo. Se filtró un volumen medido (20ml) de muestra bien mezclada. Posteriormente se lavó el filtro con tres volúmenes sucesivos de 10mL de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los

lavados, se continuó filtrando durante tres minutos, después de terminado el proceso de filtración, se usó para eliminar el exceso de agua en el filtro una estufa (Wiseven). Se secó el filtro en la estufa a una temperatura entre 103 y 105°C durante una hora, se lo retiró y dejó enfriar para pesarlo.

Para el cálculo se utilizó la fórmula

$$\frac{\text{mg de sólidos totales en suspensión}}{L \text{ de muestra}} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Volumen de la muestra en ml}}$$

Donde:

A: Peso del filtro + residuos seco, mg

B: Peso filtro, mg

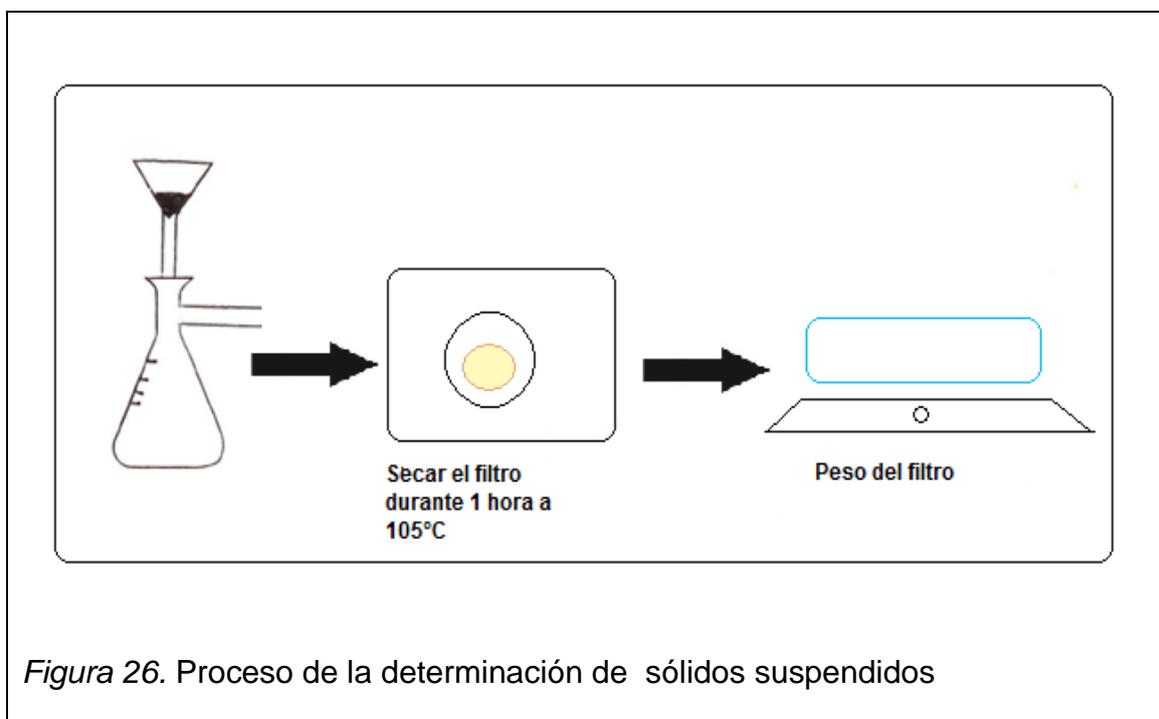


Figura 26. Proceso de la determinación de sólidos suspendidos

2.4.5. Determinación de la turbidez (Método APHA 2130)

La turbidez indica el grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de sólidos suspendidos.

Para su determinación se colocó la muestra bien mezclada en las botellas hasta alcanzar la marca. Posteriormente se limpió las botellas y se las colocó dentro del turbidímetro HANNA (HI 88713 – ISO), se cerró la tapa y se midió. La medida se expresó en NTU (unidades nefelométricas de turbidez).

2.4.6. Determinación de coliformes mediante el método estándar ISO 4832

Este análisis permitió conocer si el agua contiene elementos patógenos que pueden afectar a la salud de las personas y al medio en general.

Para ello se colocó cuatro gotas de la muestra de agua en el petrifilm 3M e inmediatamente se lo cubrió. Posteriormente se colocó las muestras en la incubadora a 23°C durante 24 horas. Pasado el tiempo de incubación se retiraron las muestras de la incubadora y se determinó la población bacteriana contando el número de colonias formadas por recuadro. Se realizaron tres repeticiones de cada parámetro para asegurar representatividad.

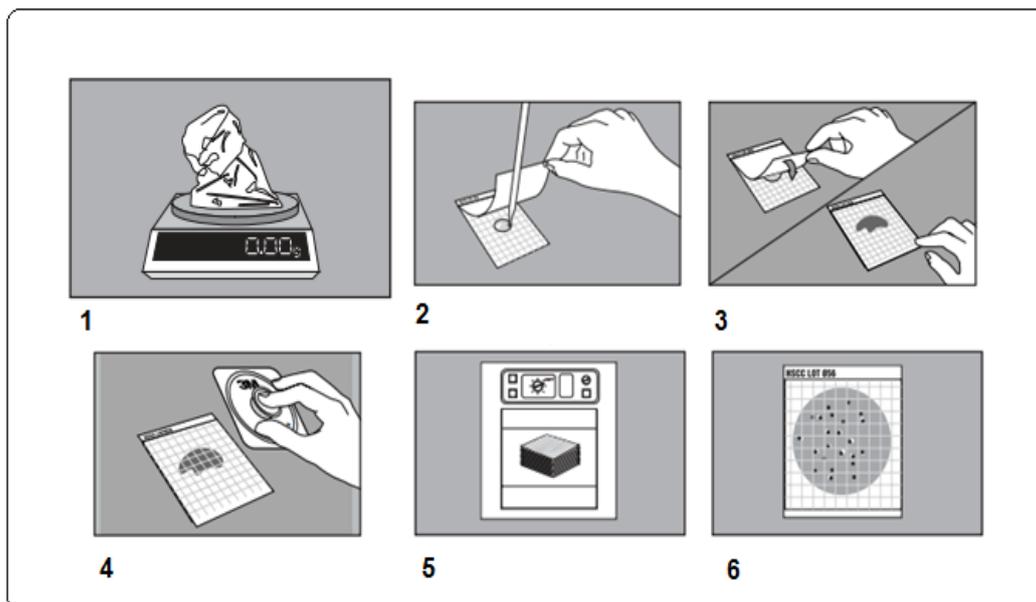


Figura 27. Proceso para la determinación de coliformes
Tomado de Placas 3M petrifilm

2.4.7. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) mediante el método estándar Winkler

El objetivo del método Winkler es determinar la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica presente en el agua.

Por lo cual como primer paso se prepararon seis soluciones: 1) Disolver 0,4 gr MnSO_4 en 10 ml de agua, 2) Disolver 0,5 gr NaOH en 10 ml de agua, 3) Disolver 2,2 gr Tiosulfito de sodio $\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ con 0,1 gr Na_2CO_3 en 1 litro de agua, 4) Disolver 25 ml Glicerina en 25 ml de agua y añadir 1 gr de almidón, 4) Disolver 5 gr KI con 5 gr NaOH en 10 ml de agua.

Una vez preparadas las soluciones, se diluyó 10 ml de la muestra en 90 ml de agua destilada (preparar tres muestras iguales). Se preparó la solución de almidón calentando a ebullición 25 ml de glicerina con 25 ml de agua destilada. Después se añadió 1 gr de almidón previamente disuelto en 2 ml de agua. Con una pipeta introducida hasta el fondo de la botella Winkler, se colocó por cada 100 ml de muestra, 1 ml de la solución uno y 1 ml de la solución dos. Se cerró el

frasco para que no ingrese oxígeno, se agitó y se dejó reposar hasta que el precipitado formado sedimentó por completo al fondo del frasco. Se disolvió el precipitado añadiendo 1 ml de H_2SO_4 concentrado y se dejó reposar durante una hora. Se añadió dos gotas de KI y se observó que el agua cambie de coloración a morado. Se colocó en una bureta de 50 ml la solución ácida y se valoró rápidamente la muestra de agua colocadas previamente en las botellas winkler, agitando la solución hasta que el agua cambie de color (palidezca).

La cantidad de O_2 en mg/l es igual al número de ml de solución ácida gastada en la titulación.



Figura 28. Estimación de DBO_5 del afluyente

2.4.8. Determinación del porcentaje de grasa y aceites mediante el método estándar Soxhlet

Se armó el equipo conformado por la balanza analítica, un balón, un cartucho de celulosa, un condensador y un calefactor, posteriormente se pesó la cantidad de muestra a ser analizada (30 ml). Se colocó la muestra de agua en el cartucho de celulosa y se encendió el calentador a $320\text{ }^\circ\text{C}$, a continuación se

colocó el éter hasta cifonar, se dejó la muestra el tiempo necesario hasta que la misma se evapore (aproximadamente 30 minutos) después de este tiempo el balón contuvo únicamente la grasa extraída de la muestra. Se retiró el balón y se pesó con el contenido de grasa extraída.

Para calcular el porcentaje de grasa presente en la muestra se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Grasa \%} = \frac{m_1}{m_2} * 100$$

Donde:

M_1 = peso de la grasa extraída

M_2 = peso de la muestra de agua

2.4.9. Determinación de la concentración de sulfatos mediante determinación fotométrica Macherey-Nagel 0-86

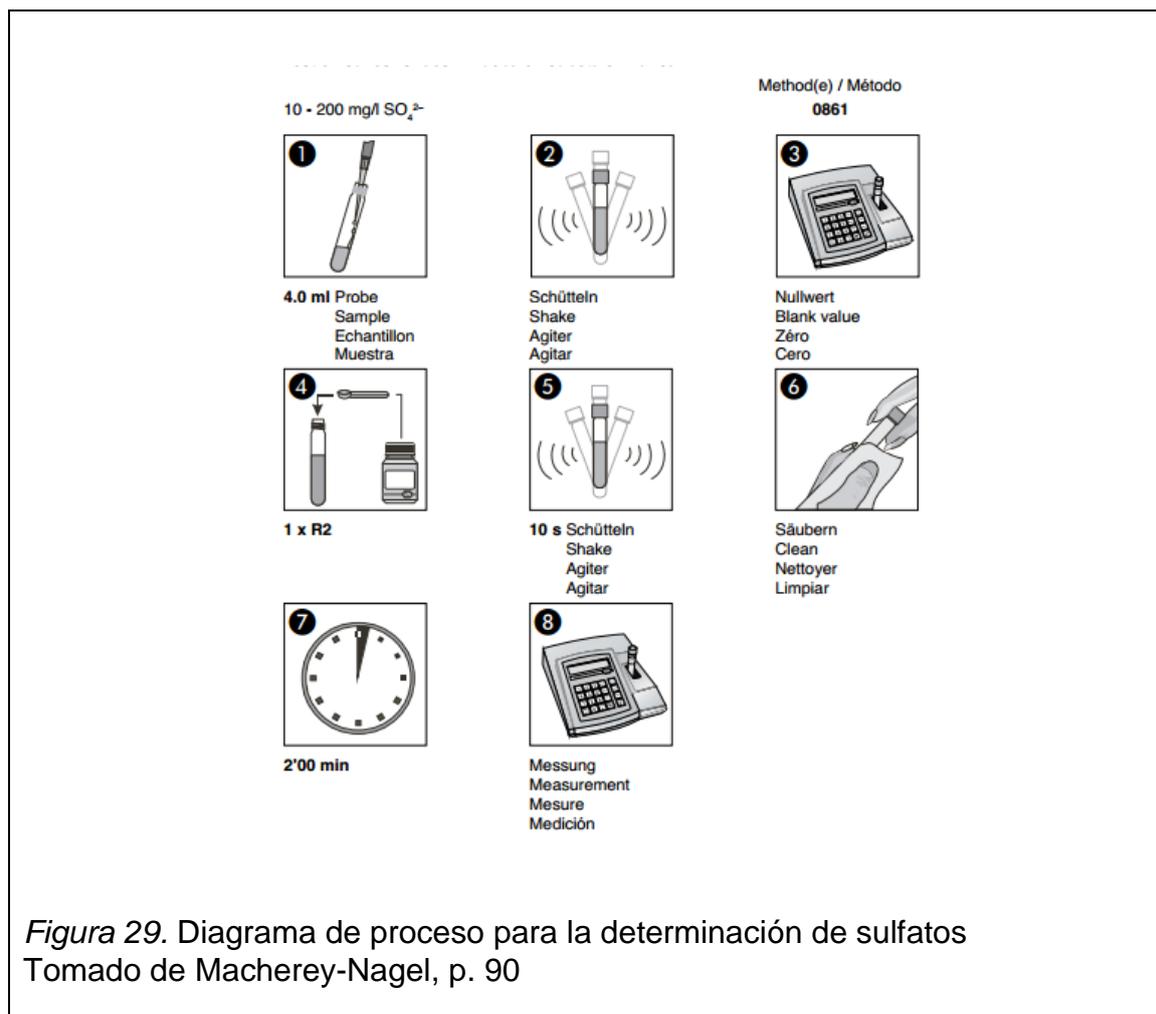
A continuación se especifican las características del test a ser utilizado:

Rango: 10 – 200 mg/L

Precisión del test: $\pm 10\%$

Temperatura a la que debe estar la muestra: 20 – 25 °C

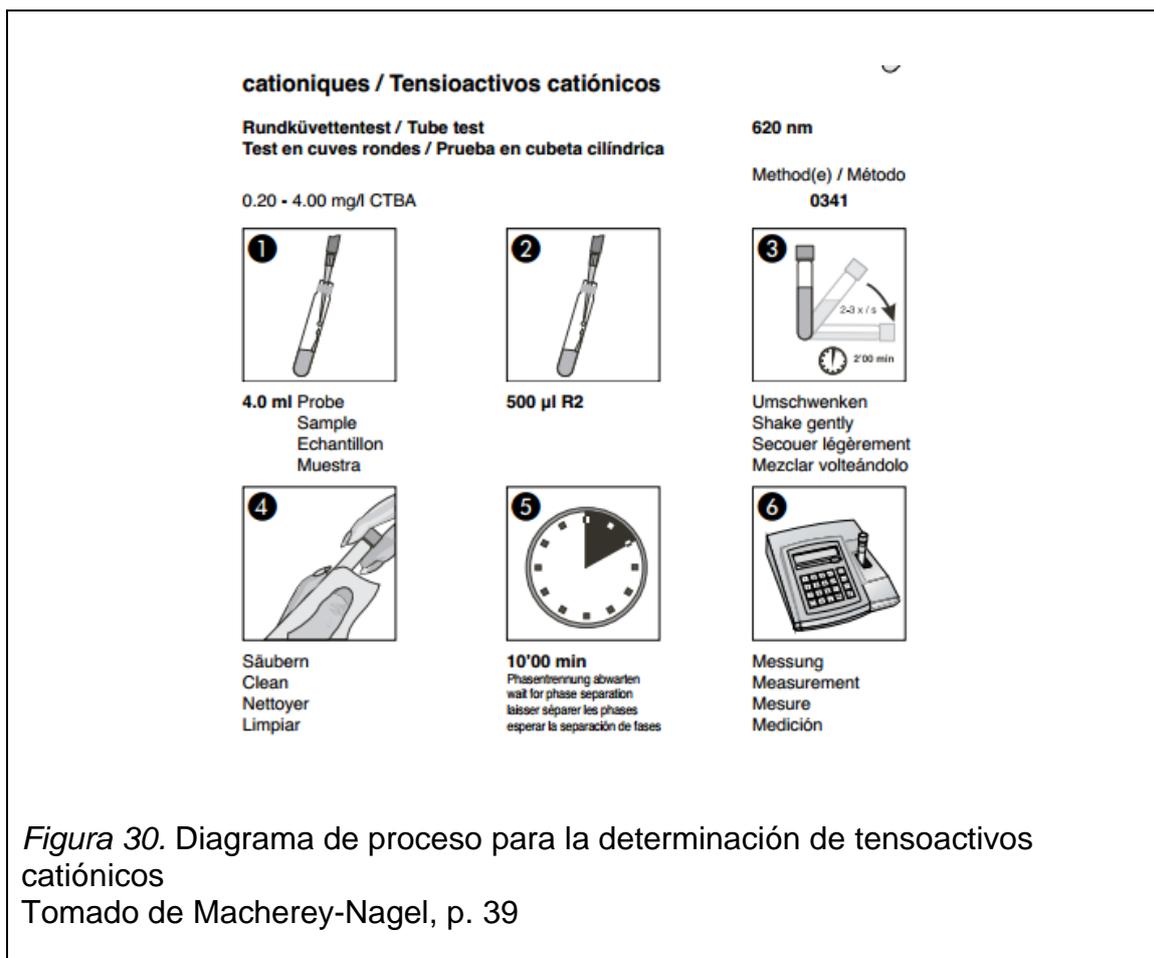
Se tomó un tubo Test se lo abrió y se añadió 4 ml de solución (muestra) con pH entre 1-13, se lo cerró y mezcló. Se colocó el tubo test en el fotómetro y se lo reguló a cero. Se añadió una cucharada rasa de R_2 , se lo cerró e inmediatamente después de la adición se agitó vigorosamente durante 10 segundos. Se limpió el tubo por la parte exterior y después de 2 minutos se midió en el fotómetro la concentración.



2.4.10. Determinación de la concentración de tensoactivos mediante determinación fotométrica Macherey-Nagel 0-34

El rango del test utilizado es de: 0,20 – 4,00 mg/L

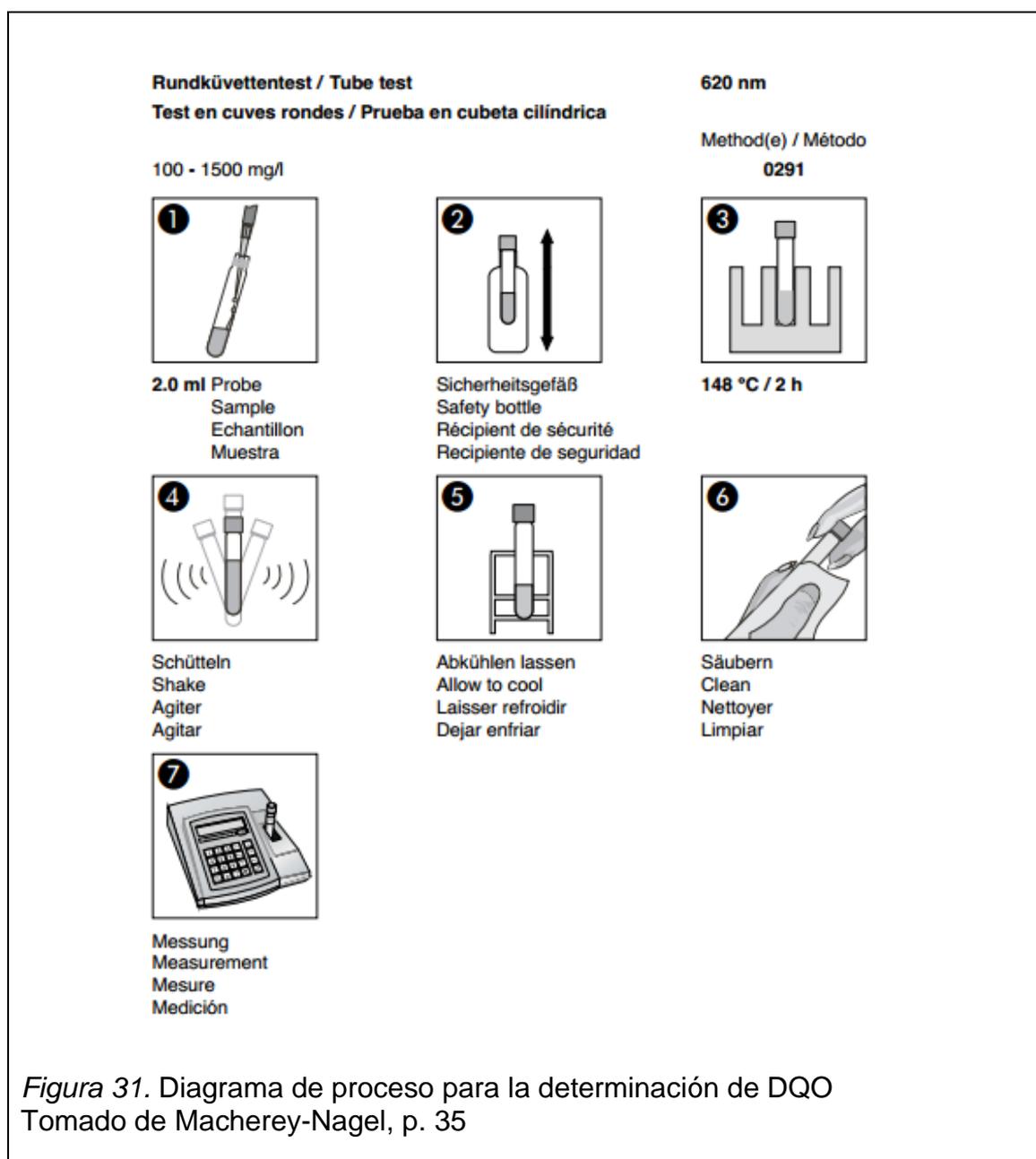
Se tomó un tubo test, se lo abrió y se colocó 4 ml de muestra la cual debía tener un pH de 2 a 9, posteriormente se añadió 500 µl de R₂, se lo cerró y mezcló volteando por 2 minutos con una frecuencia de 2 a 3 veces por segundo. Se dejó reposar por 10 minutos (se esperó la separación de fases), pasado el tiempo, se limpió el tubo de test por la parte exterior y se midió en el fotómetro la concentración.



2.4.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Determinación fotométrica a 160°C/ Macherey-Nagel Test 0-29)

El test utilizado para esta medición tiene un rango: 100 – 1500 mg/L

Se abrió el tubo de test, se lo mantuvo inclinado y lentamente se cubrió el contenido con 200 µl de muestra. Se enroscó fuertemente, se sujetó el tubo por el tapón de rosca, se lo colocó en el recipiente de seguridad (gradilla), se lo agitó y se lo puso en el calefactor a 160°C por 30 minutos. Al cabo de 30 minutos se retiró el tubo del calefactor, transcurrido unos 10 minutos (todavía caliente) se lo agitó nuevamente, se lo dejó enfriar a temperatura ambiente. Se limpió el tubo de test por el exterior y se midió en el fotómetro para determinar la concentración.



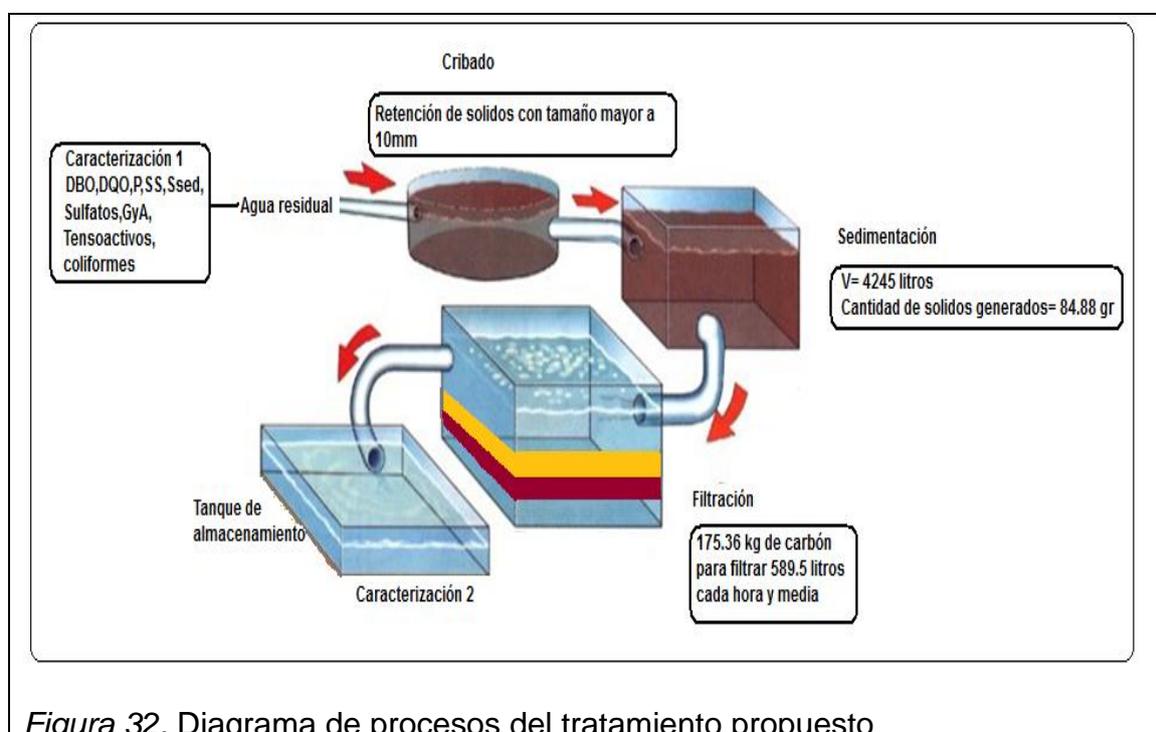
2.5. Puesta en marcha de la planta experimental

Mediante la caracterización realizada al agua residual (caracterización 1), se pudo determinar cuáles son los procesos de tratamiento necesarios para obtener un efluente que cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito, y a su vez permitan la utilización del efluente obtenido para riego, generando un

beneficio ambiental al reducir el consumo de agua del Centro Experimental UDLA - Nono.

Por lo anteriormente mencionado la planta de tratamiento está conformada por: un sistema de cribas para la retención de sólidos con una rejilla inclinada 45° con respecto a la horizontal, un sedimentador con forma de cono Imhoff ya que este modelo permite una sedimentación más rápida de los sólidos, un filtro de carbón activado que permite reducir la concentración de sustancias químicas que no pueden ser eliminados en los procesos anteriores.

A continuación, se encuentra un esquema que muestra el tratamiento realizado.



El canal de la rejilla tiene una distancia de 2 m, la rejilla tiene 1 m de ancho y 0,56 m de alto con una separación entre barras de 10 mm. El sedimentador tiene forma de cono Imhoff con un volumen de $4,3 \text{ m}^3$ y la tolva con un volumen de 1.35 m^3 , permitiendo almacenar los sólidos por una semana tiempo en el cual ésta debe limpiarse para retirar los sólidos almacenados. El filtro tiene una altura de 2.5 m con un diámetro de 36" pulgadas, posee tres válvulas para el drenaje del agua y la limpieza del filtro, la limpieza del filtro

debe realizarse una vez al mes para evitar la acumulación de contaminantes y que el filtro pierda su capacidad de adsorción. Finalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de 8 m^3 que permite almacenar el volumen de agua generado durante un día, el mismo que cuenta con dos válvulas (uno a la entrada y una a la salida).

A continuación se explica el proceso realizado al poner en marcha la planta experimental.

Una vez armado el equipo (figura 33, A y B), se procedió a cerrar la válvula (figura 33, B, 2) para evitar la fuga del agua residual hacia el filtro antes de que sedimenten los sólidos, posteriormente se colocó el agua residual en el tanque sedimentador (figura 33, C, 1) y se la dejó reposar durante 2 horas, tiempo en el cual los sólidos sedimentan en su totalidad. Una vez transcurrido ese tiempo se abrió la válvula (figura 33, D, 2) para permitir el paso del agua hacia el filtro con un caudal de 6 litros por hora, para lo cual se utilizó un sistema de ducha como sistema de distribución de agua (figura 33, D, 4) que permitió el contacto de la misma con la superficie del carbón sin dejar espacios muertos (lugares que el agua no genere contacto con el carbón). El tiempo de filtración total será de 4 horas.

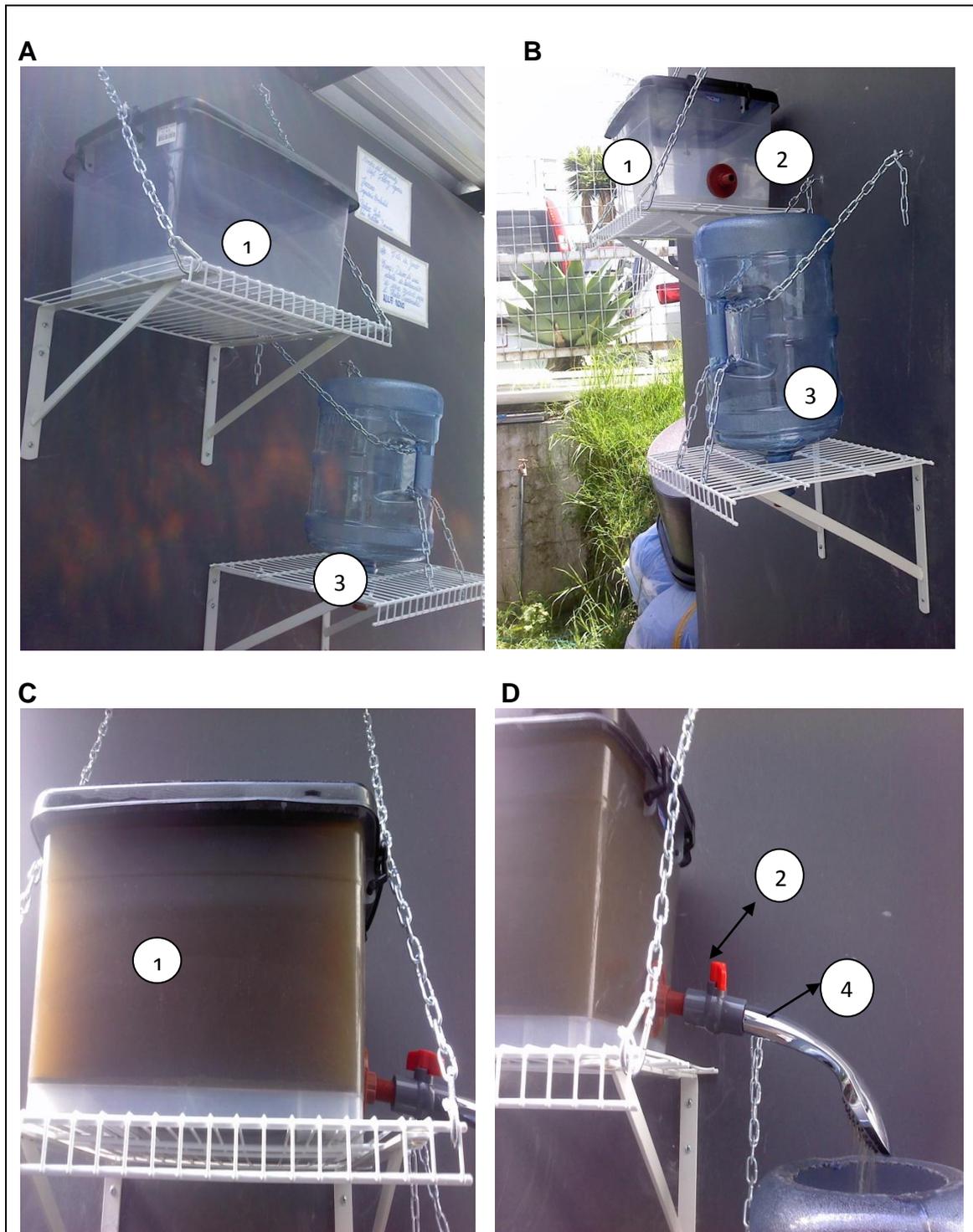


Figura 33. Puesta en marcha de la planta experimental

Nota:

A: Preparación de la planta experimental. 1)sedimentador, 3) filtro

B: 1)tanque sedimentador, 2) válvula de salida del agua hacia el filtro, 3)filtro

C: sedimentación de los sólidos en el sedimentador

D: filtración del agua residual. 4) sistema de distribución de agua.

3. RESULTADOS

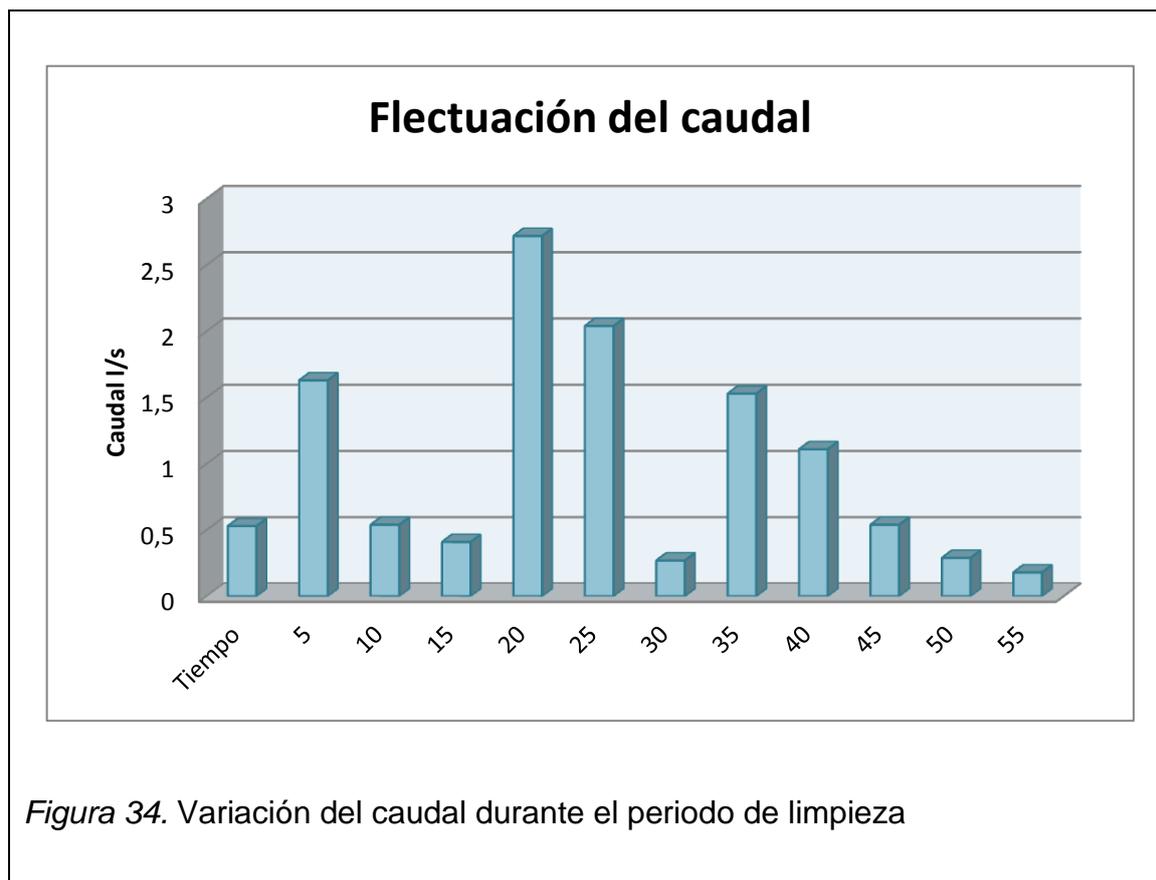
A continuación, se muestran los resultados de todos los procesos realizados para la determinación de los parámetros más importantes para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.

3.1. Medición del caudal en las tuberías de descarga de agua residual del área de ordeño en el Centro Experimental UDLA-Nono

Seguidamente, se demuestra la fluctuación de caudal durante el periodo de medición en el área de ordeño.

Tabla 9. Fluctuación del caudal

Número de muestras	Caudal l/s
1	0,53
2	1,63
3	0,54
4	0,41
5	2,72
6	2,04
7	0,27
8	1,53
9	1,11
10	0,54
11	0,29
12	0,18



Como se puede observar en la figura 34, el caudal no es constante durante el período de limpieza del área de ordeño. El caudal promedio es de **0,98 L/s**. Generando un caudal de **3537 l/h**, representando este último valor, el volumen de agua producido durante la limpieza que se realiza en la mañana, es decir, que aproximadamente se utilizan **7074** litros de agua diariamente.

3.2. Variación del pH en función del tiempo de medición

A continuación, se muestra la variación del pH en función del tiempo, el cual fue analizado antes, durante y después del tratamiento. Estas mediciones nos permitieron observar el comportamiento de este parámetro.

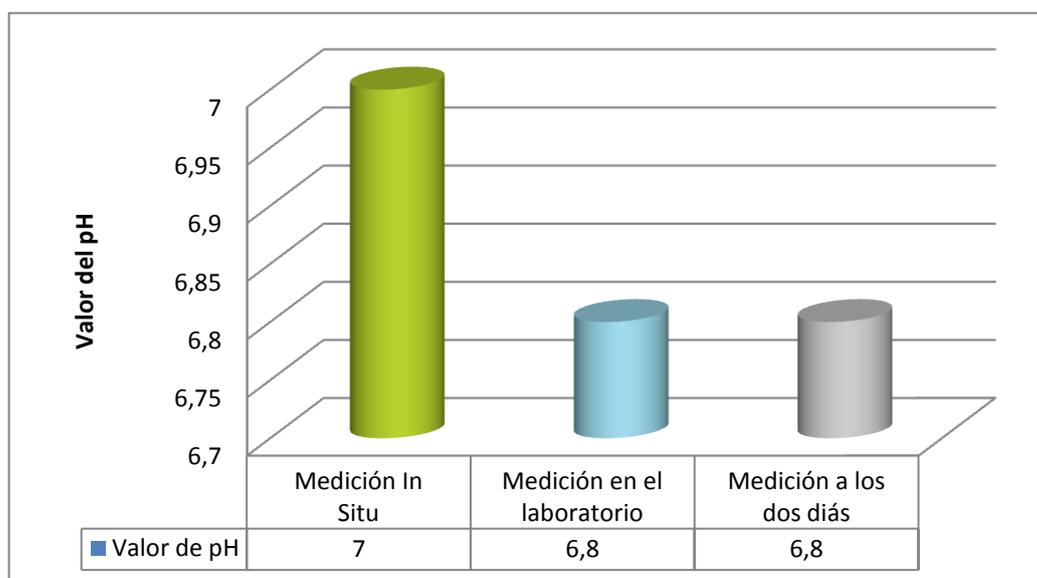


Figura 35. Medición de la variación del pH antes del tratamiento

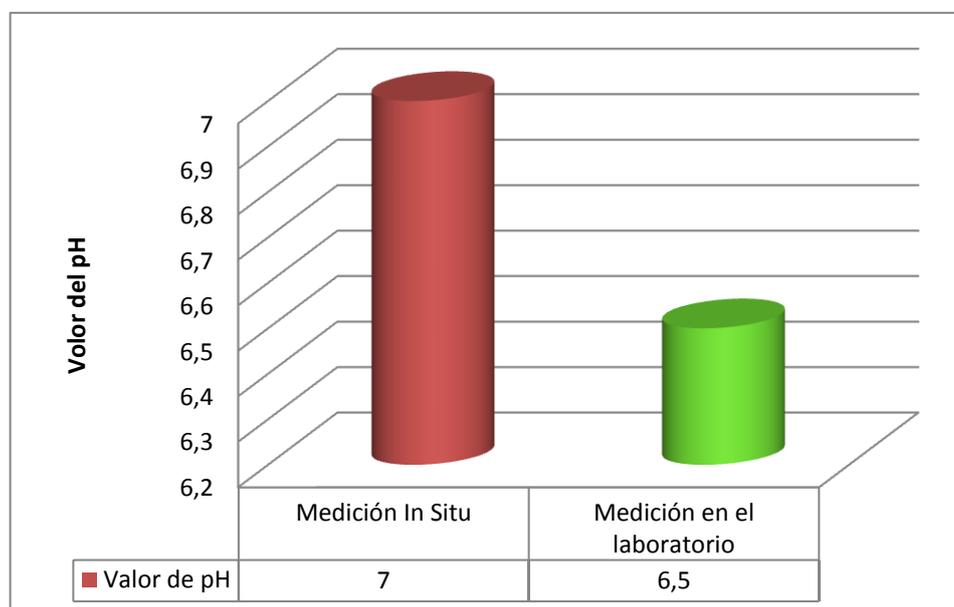


Figura 36. Medición de la variación del pH después del tratamiento

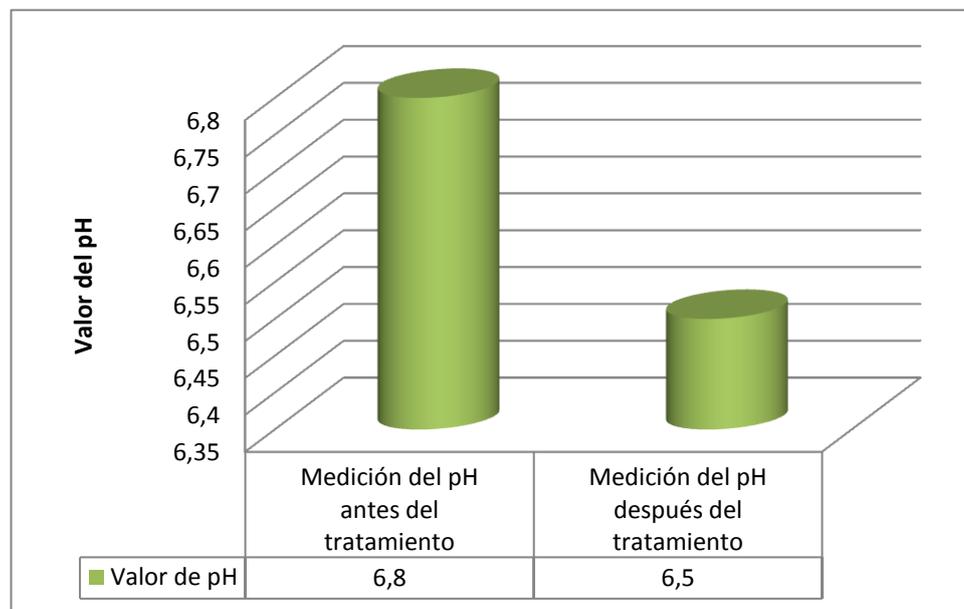


Figura 37. Variación del pH antes y después del tratamiento

3.3. Variación de la demanda química de oxígeno del agua residual y el agua tratada

A continuación, se expresa los valores obtenidos para DQO en el agua residual (antes de tratamiento) y el agua tratada (después del tratamiento). El DQO se midió tres veces, en tres diferentes muestras (distintos tiempos) y para cada medición se realizaron tres ensayos para asegurar confiabilidad en los datos.

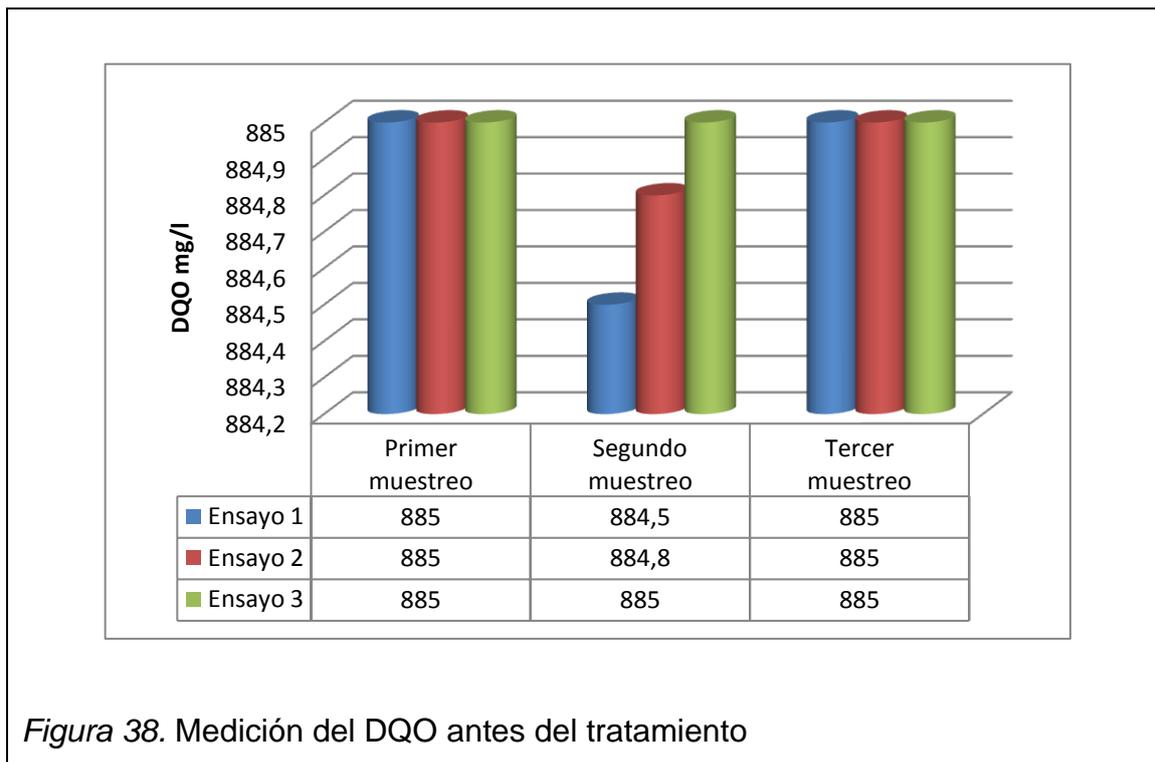


Figura 38. Medición del DQO antes del tratamiento

Con ayuda de la figura 38, se obtuvo el valor promedio del DQO que es de 885mg/l. En la figura 39, encontramos el resultado del DQO obtenido luego del tratamiento y una comparación con el valor obtenido antes del tratamiento.

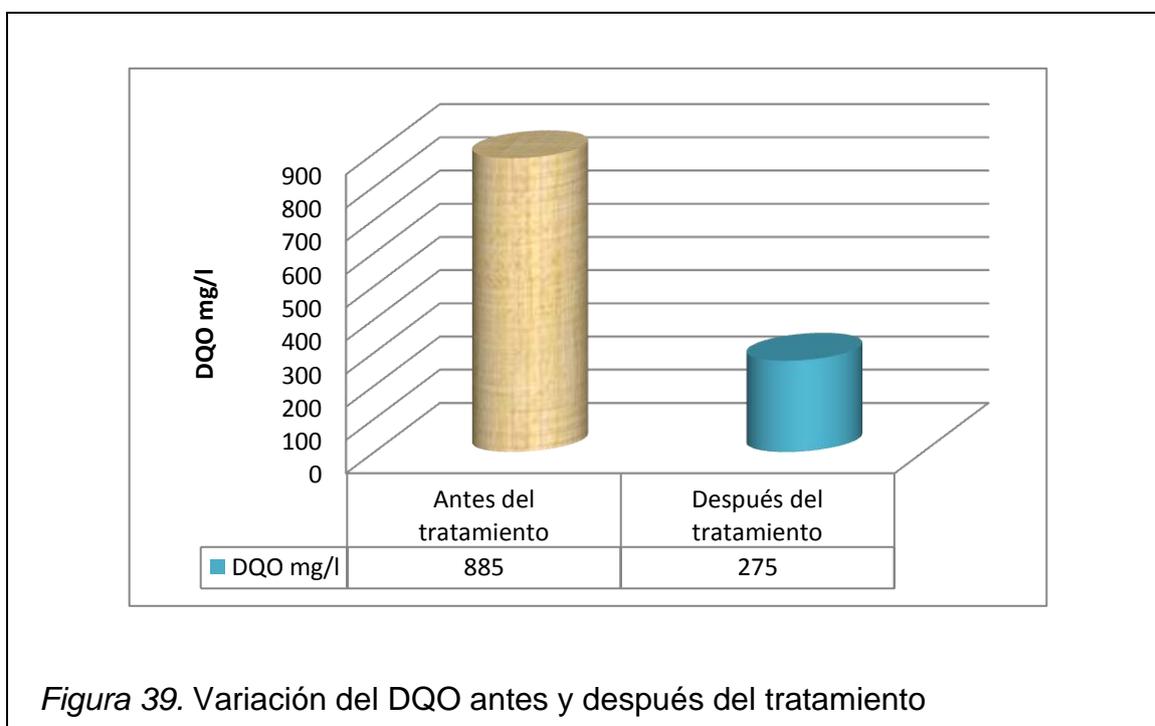


Figura 39. Variación del DQO antes y después del tratamiento

3.4. Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual y el agua tratada

A continuación, se expresa los valores obtenidos para DBO y al igual que el DQO este parámetro fue medido tres veces, en tres diferentes muestras y para cada medición se realizaron tres ensayos. Obteniendo así los siguientes resultados:

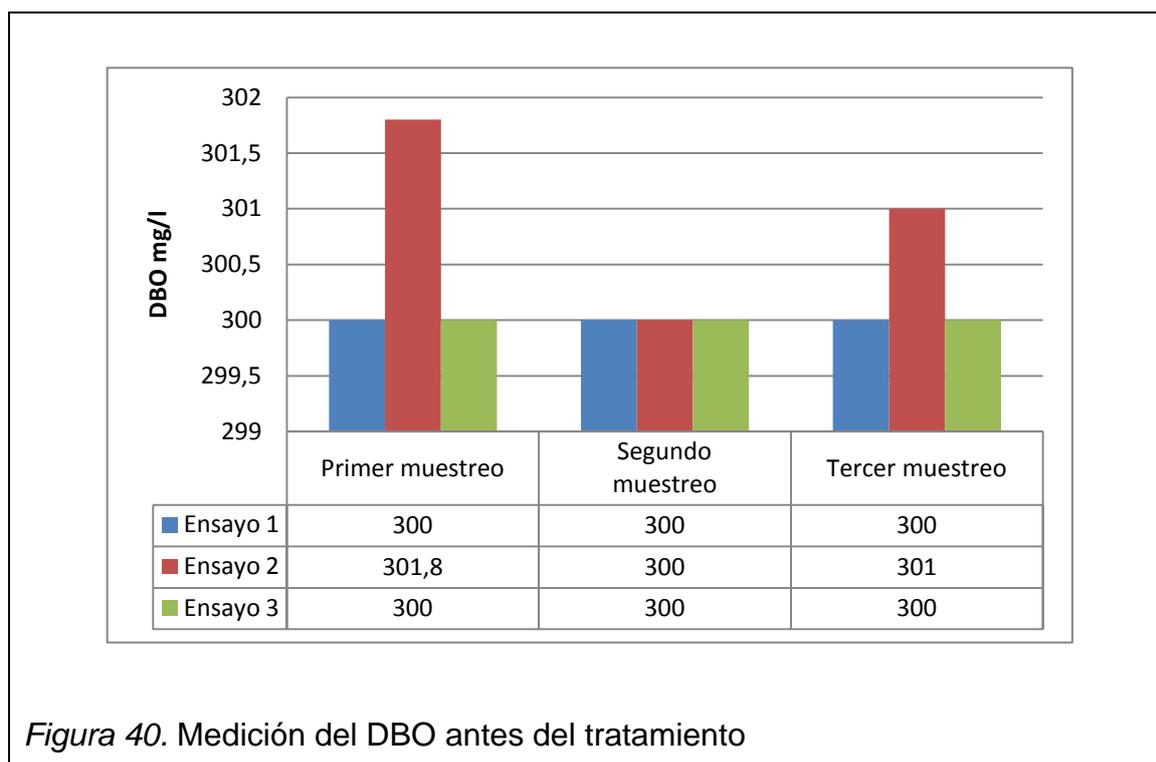


Figura 40. Medición del DBO antes del tratamiento

De la gráfica anterior (figura 40), se obtuvo el valor promedio de DBO siendo este de 300mg/l.

Seguidamente, se muestra una comparación entre el valor obtenido para este parámetro antes del tratamiento y después del tratamiento. Fue ésta comparación la que permitió determinar la eficiencia del tratamiento diseñado para este parámetro

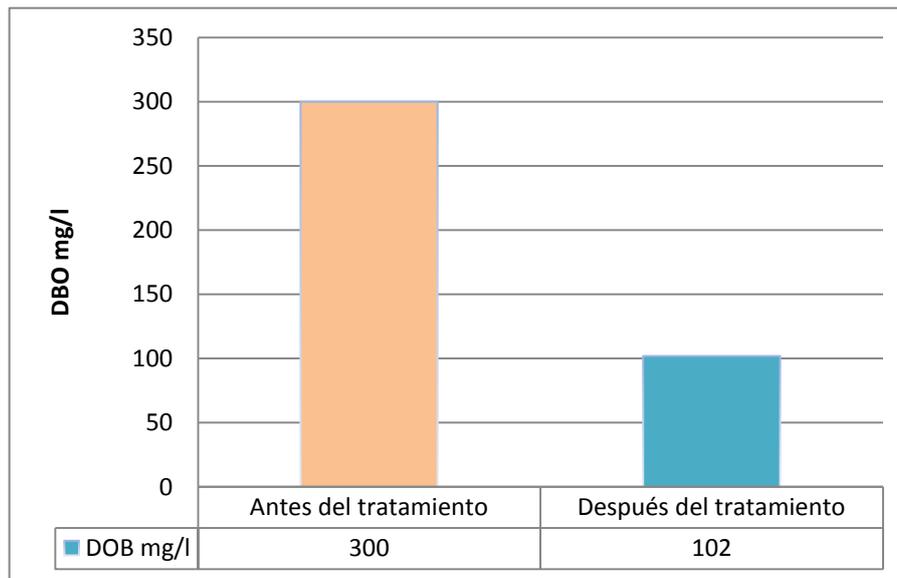


Figura 41. Variación del DBO antes y después del tratamiento

3.5. Determinación de la temperatura antes y después del tratamiento

A continuación, se muestra la determinación de la temperatura del agua residual y del agua tratada y una comparación entre estas.

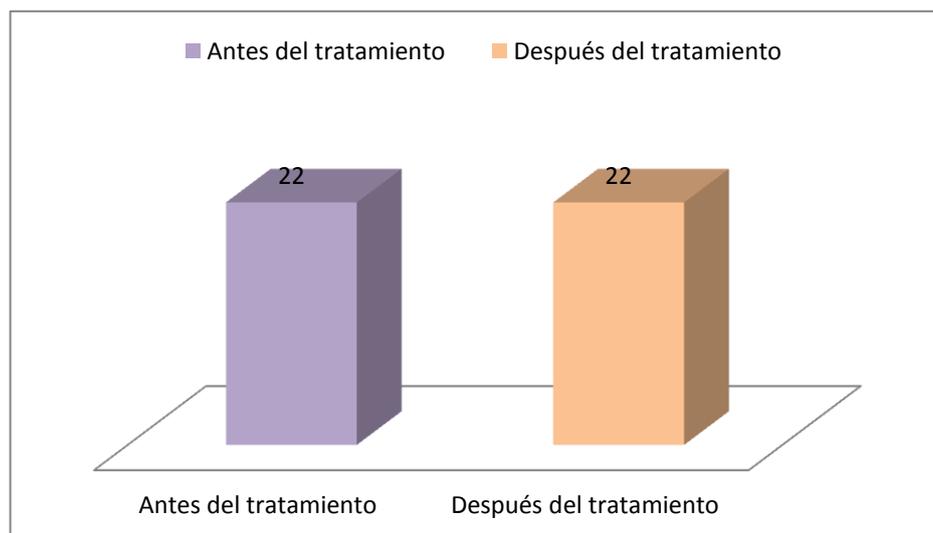


Figura 42. Variación de la temperatura antes y después del tratamiento

Como se puede observar, la temperatura no varió durante el tratamiento, lo cual es importante, ya que su cambio puede afectar al proceso de tratamiento como por ejemplo en la velocidad de sedimentación de las partículas.

3.6. Determinación de la concentración de grasas y aceites en el agua residual y en agua tratada

A continuación, se muestra la determinación de la concentración de grasas y aceites en el agua residual, así como también la concentración de éstas en el agua tratada, y una comparación entre ellas la cual nos permitió determinar la eficiencia del tratamiento para este parámetro.

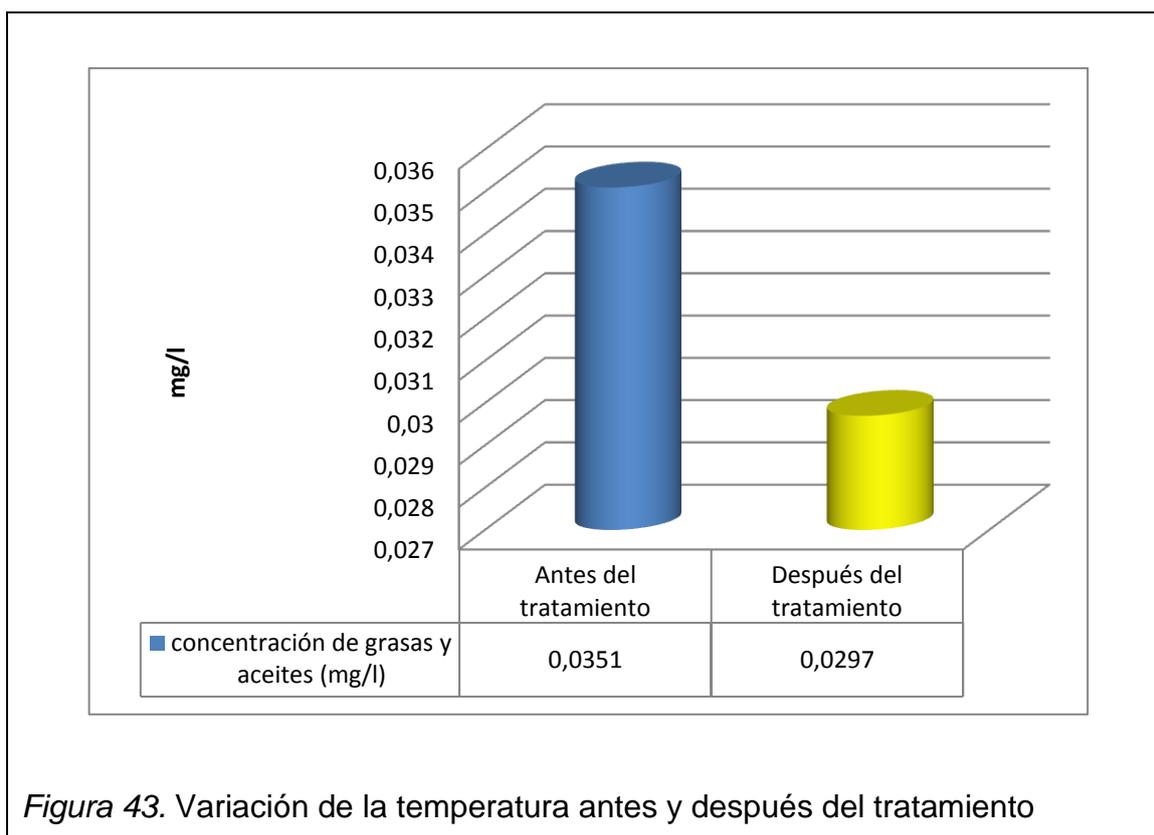


Figura 43. Variación de la temperatura antes y después del tratamiento

3.7. Determinación la concentración de sulfatos antes y después del tratamiento

A continuación, se muestran los valores obtenidos para la concentración de sulfatos antes y después del tratamiento y una comparación entre ellos.

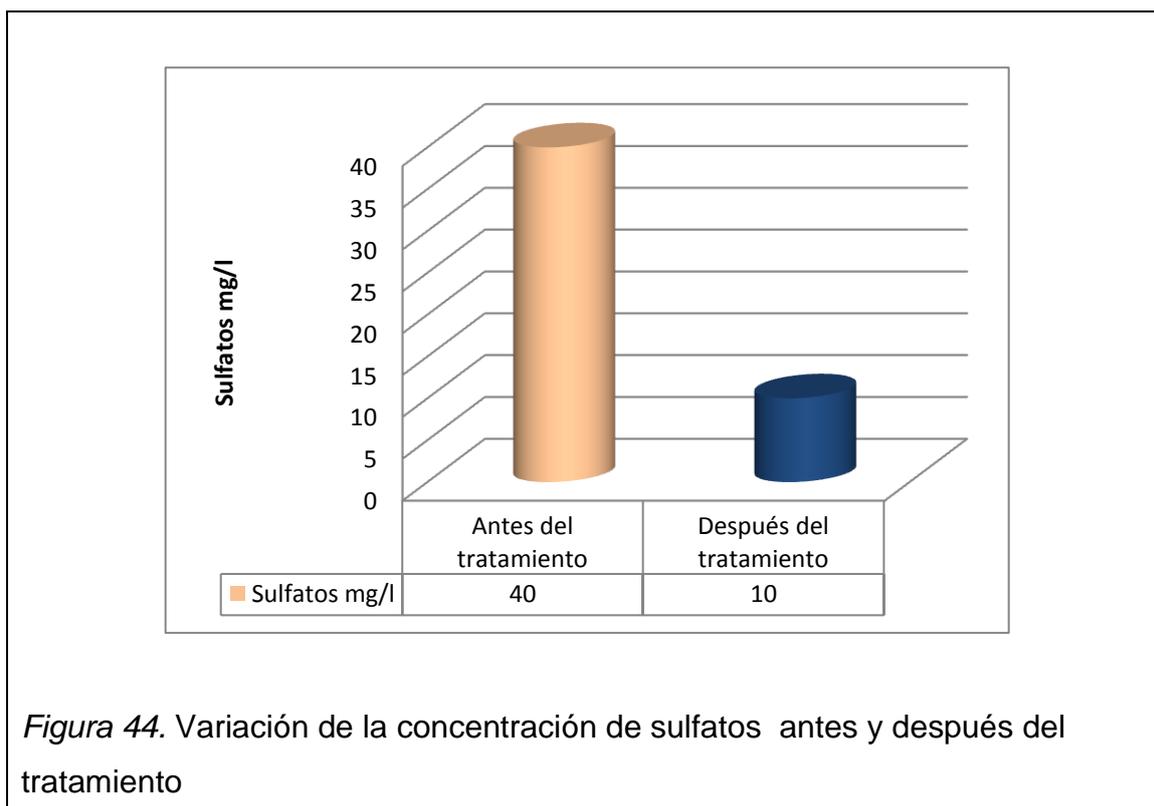


Figura 44. Variación de la concentración de sulfatos antes y después del tratamiento

3.8. Determinación de la concentración de fósforo en el agua antes y después del tratamiento

A continuación, se expresan los valores obtenidos para la concentración de fósforo en el agua antes y después del tratamiento. Estos valores permitieron obtener la eficiencia de la planta para este parámetro.

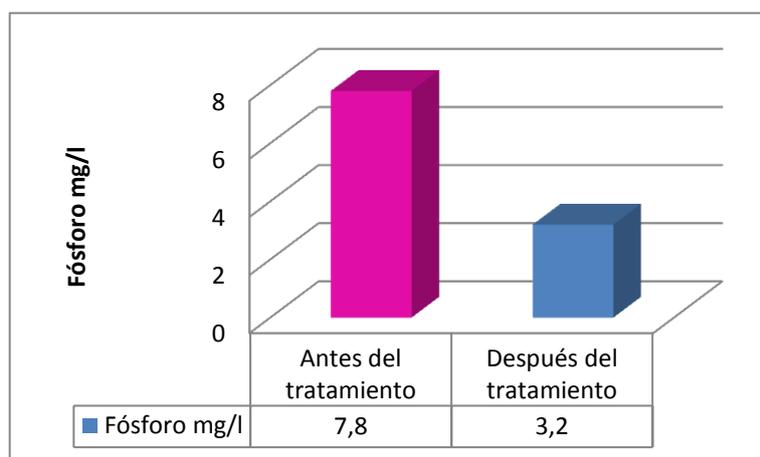


Figura 45. Variación de la concentración de fósforo antes y después del tratamiento

3.9. Determinación de la concentración de tensoactivos antes y después del tratamiento

A continuación, se muestran los valores de la concentración de tensoactivos en el agua residual y en el agua tratada.

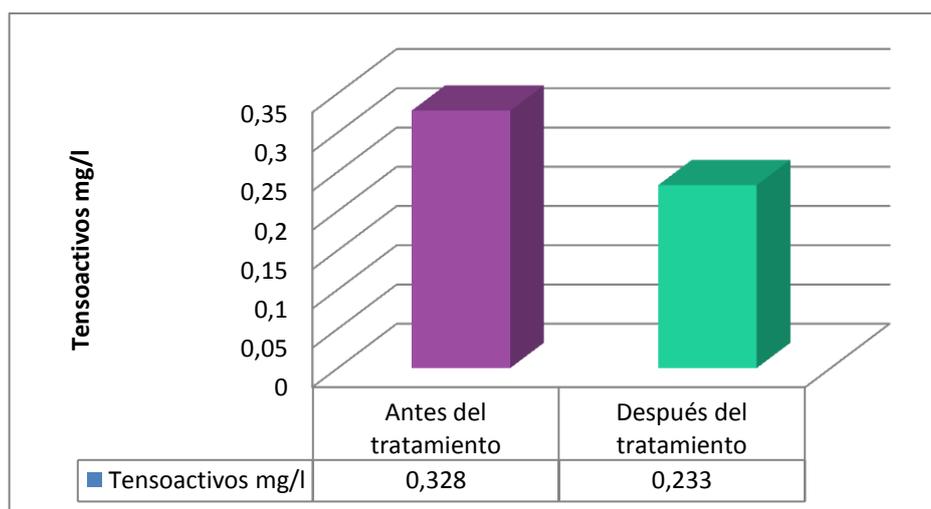
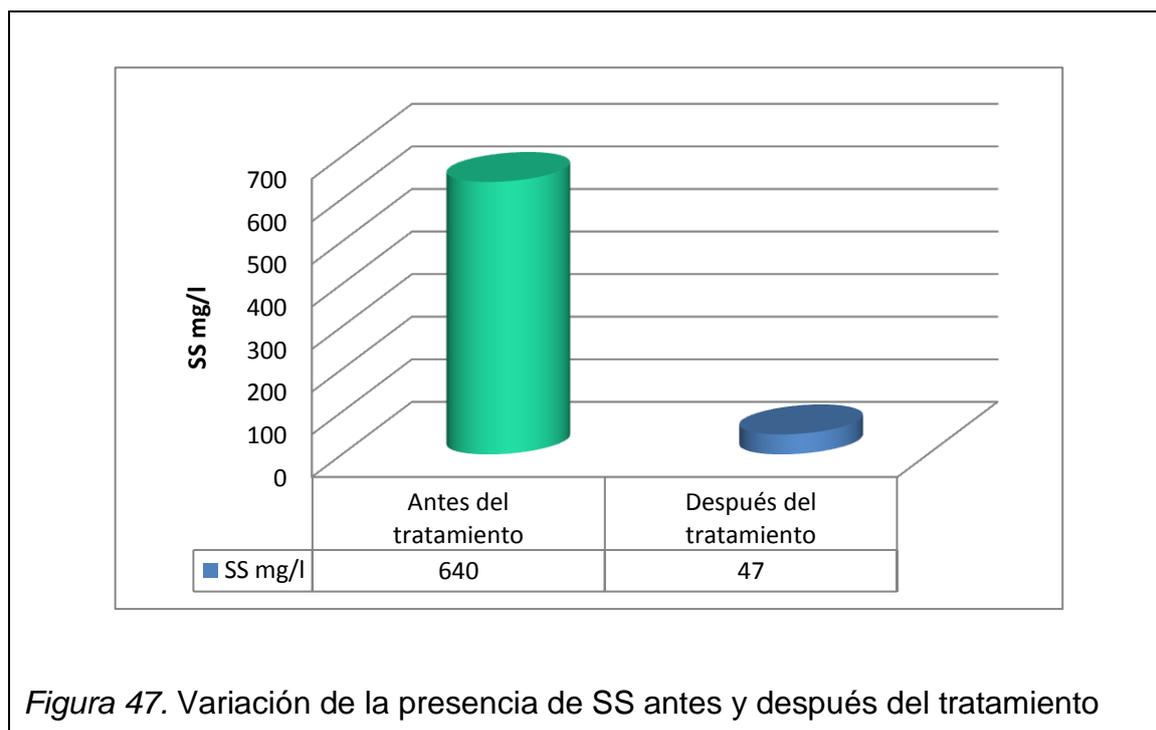


Figura46. Variación de la concentración de tensoactivos antes y después del tratamiento

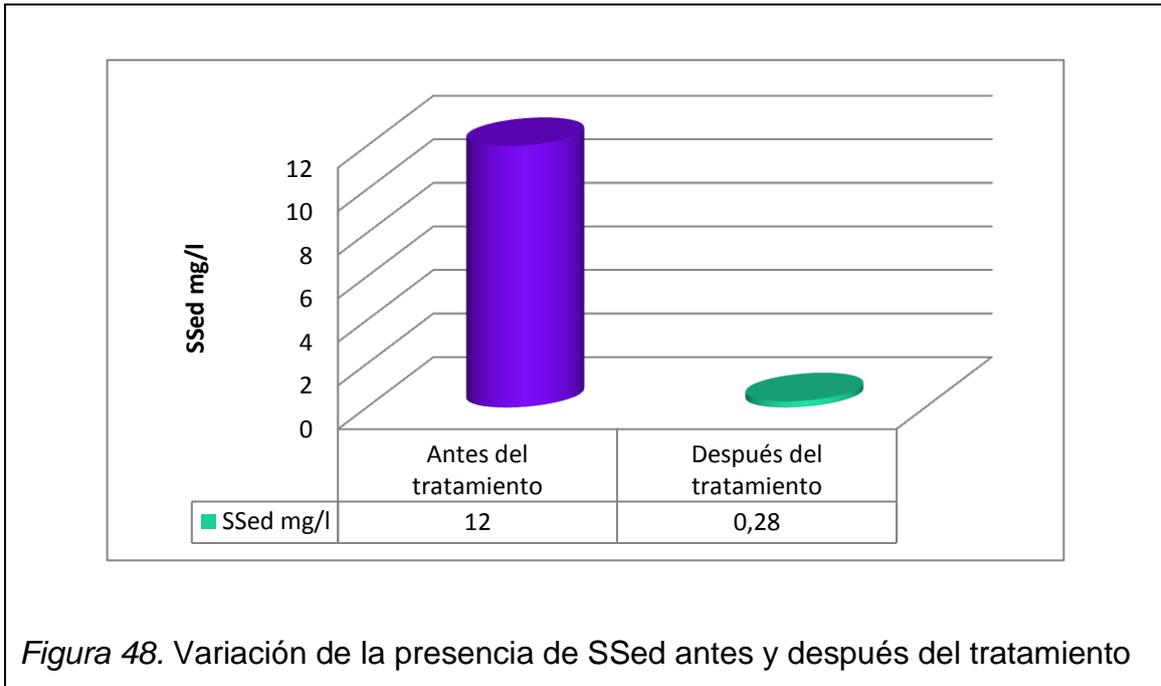
3.10. Determinación de la concentración de sólidos suspendidos en el agua residual y en el agua tratada

A continuación, se encuentran las concentraciones obtenidas para tensoactivos antes y después del tratamiento y una comparación entre ellos.



3.11. Determinación de sólidos sedimentables

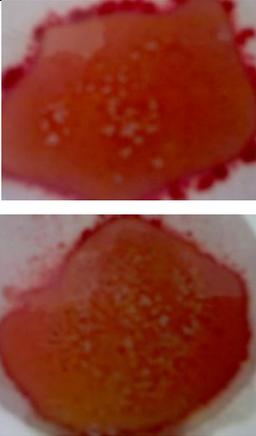
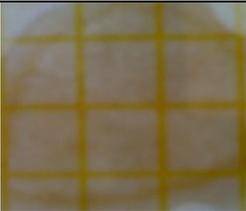
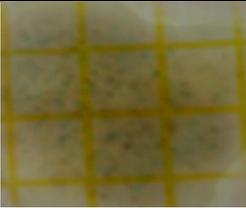
A continuación, se encuentran los valores obtenidos para la concentración de sólidos sedimentables antes y después del tratamiento.



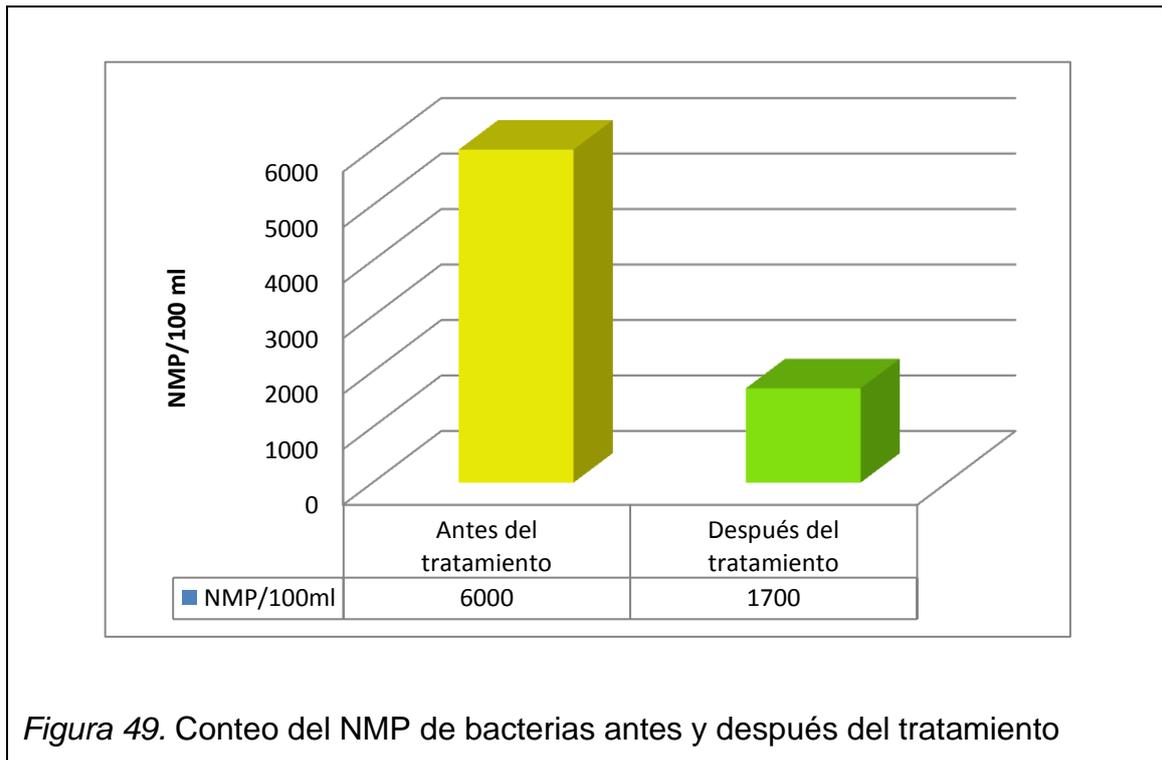
3.12. Determinación del número más probable de coliformes en el agua residual y en el agua tratada

A continuación podemos observar las especies bacterianas que fueron analizadas para este propósito así como su concentración o presencia en el agua residual.

Tabla 10. Conteo de bacterias en el agua residual

Especie bacteriana		Número más probable (NMP) / 100 ml
Coliformes Totales		6000 NMP
Ecoli-coliformes		400 NMP
Aerobios totales		npsc
Staphylococcus		1350 NMP

Ya que en la legislación aplicable únicamente se considera el valor de coliformes totales fue ese el valor con el que se trabajo en adelante y el cual se midió después del tratamiento, para determinar el uso que se le puede dar al agua.



En el siguiente gráfico podemos observar la concentración de los parámetros antes analizados tanto en el agua residual (antes del tratamiento) como en el agua tratada (después del tratamiento). Estos nos dan un panorama de la eficiencia que la planta propuesta tiene sobre el agua residual.

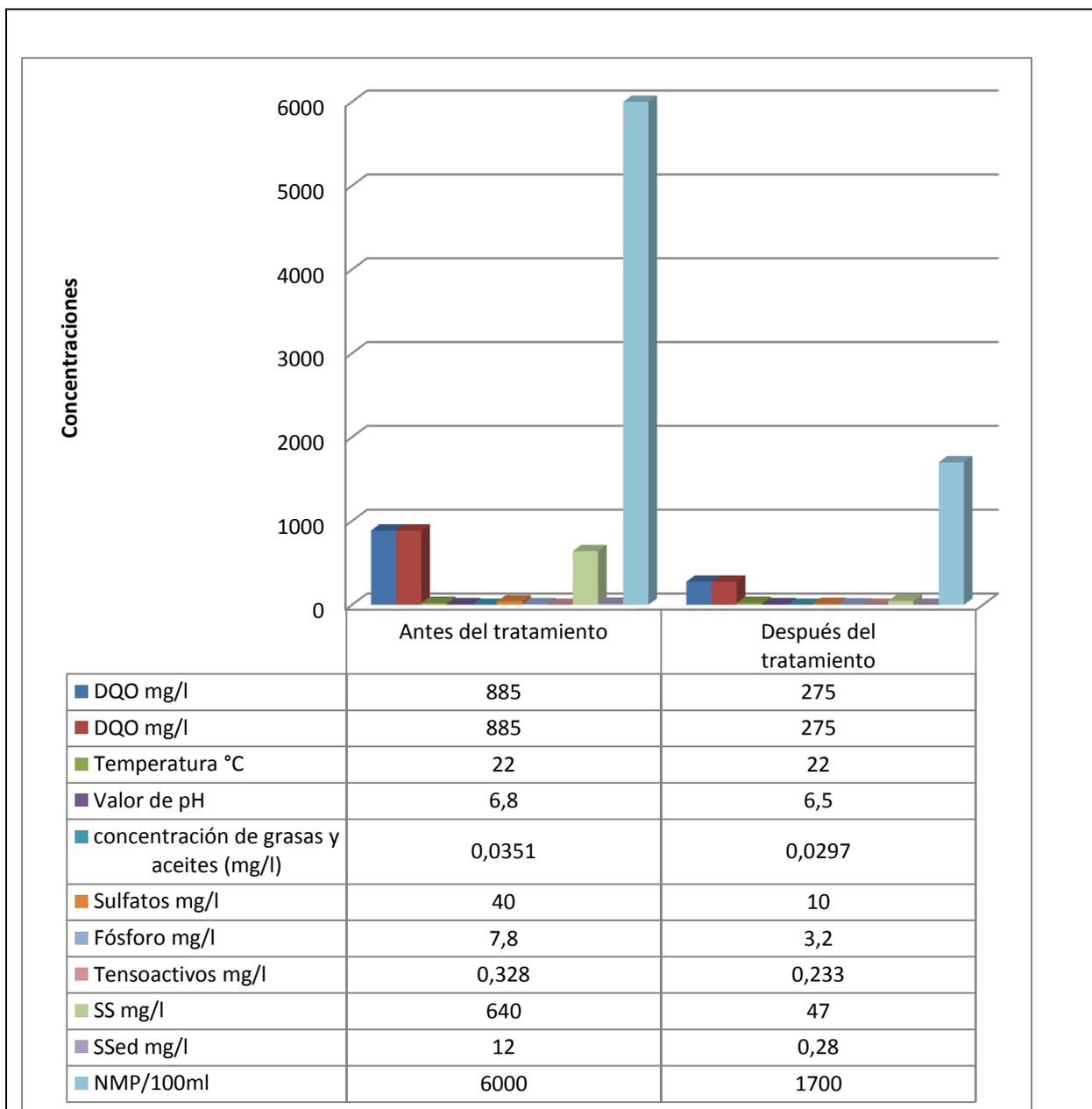


Figura 50. Comparación de los parámetros analizados antes y después del tratamiento

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar los resultados del capítulo 3, se pudo determinar la eficiencia de la planta en cada uno de los parámetros y de esta manera se realizó un análisis de las cualidades del agua obtenida para establecer su uso. Se compararon los límites máximos permitidos para los mismos parámetros en otros países y se comparó la eficiencia de la planta con procesos similares establecidos en otros países.

De esta manera, el análisis realizado dio como resultado, que el agua obtenida puede ser utilizada para riego de especies de tallo largo y árboles frutales.

4.1. Límites permisibles

Para garantizar que el agua obtenida sea apta para riego, ésta debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la Ordenanza Municipal 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

Para determinar qué base legal u ordenanza Metropolitana fue la guía que estableció los límites máximos permisibles que deben ser alcanzados, se analizaron dos, la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito y Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS). Si bien esta última posee tablas que establecen los criterios de calidad admisibles para agua de uso agrícola no establece límites para parámetros como DBO, DQO, fósforo, sulfatos, entre otros parámetros que son importantes para la calidad del agua de uso agrícola, por ello se decidió tomar como base los límites dados para descargas en cauces de agua dulce establecidos en la Norma Técnica 213 de la Ordenanza Municipal de Quito ya que estos son similares y en algunos parámetros es más estricta a los establecidos en el TULAS.

A continuación, se presentan las tablas de la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito con los límites máximos permisibles para cauce de agua dulce.

Tabla 11. Límites máximos permisibles para todos los sectores productivos, exceptuando al sector textil y al sector de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecerías.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		
			Junio 2006 a Mayo 2008	Junio 2008 a Mayo 2010	Junio 2010
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 día)	D.B.O ₅	mg/l	172(A) 122(C)	146(A) 96(C)	120(A) 70(C)
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	344(A) 214(C)	292(A) 168(C)	240(A) 123(C)
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	137(A) 92(C)	116(A) 72(C)	95(A) 53(C)
Caudal	Q	l/s	4,5	4,5	4,5

Nota: (A) Alcantarillado; (C) Cauce de Agua

Tomado de Norma Técnica 213, 2008, p. 23

Tabla 12. Límites máximos permisibles por cuerpo receptor

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	100	50
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Arsénico total	As	Mg/l	0,1	0,1
Cadmio	Cd	Mg/l	0,02	0,02
Caudal máximo	-	l/s	1,5 veces el caudal (1)	4,5 dato referencial.
Cianuro	CN ⁻	Mg/l	1,0	0,1
Cobre	Cu	Mg/l	1,0	1,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	Mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	Mg/l	0,2	0,2
Fósforo Total	P	Mg/l	15	10
Hidrocarburos Totales	TPH	Mg/l	20	20
Materia flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	Mg/l	10,0	2,0
Mercurio (total)	Hg	Mg/l	0,01	0,005
Níquel	Ni	Mg/l	2,0	2,0
Organoclorados totales	Concentración	Mg/l	0,05	0,05
Organofosforados totales	Concentración	Mg/l	0,1	0,1
Plomo	Pb	Mg/l	0,5	0,2
Potencial de hidrógeno	PH		5-9	5-9
Sólidos Sedimentables	-	Ml/l	10	1,0
Sulfuros	S	Mg/l	1,0	0,5
Sulfatos	SO ₄	Mg/l	400	1000
Temperatura	-	°C	< 40	< 35
Tensoactivos	MBAS (2)	Mg/l	0,5	0,5
Zinc	Zn	Mg/l	2,0	2,0

Tomado de Norma Técnica 213, 2008, p. 22

Para la determinación del límite máximo permitido para turbidez se utilizó los parámetros establecidos en el TULAS, libro VI, anexo 1, capítulo 4, sección 4.1.2.4, literal A, el cual establece lo siguiente:

- Condición Natural (valor de fondo) más 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométricas)

4.2. Análisis comparativo de los resultados de laboratorio obtenidos antes y después de la implementación del tratamiento primario

4.2.1. Análisis comparativo del pH durante el proceso de tratamiento del agua residual

Se puede observar que durante el tratamiento, el pH no sufrió cambios significativos en el tiempo (figura 42) y es importante que este valor se mantenga estable ya que un aumento puede afectar al proceso de tratamiento al evitar la degradación biológica de los contaminantes. En lo referente a los problemas producidos a los cultivos por un cambio de pH, éste puede afectar en el desarrollo y crecimiento, incrementa la movilidad de hierro, aluminio y manganeso desde el suelo y la generación de efectos tóxicos sobre los cultivos (Alan Wild, 1990, pp. 885-930).

Así podemos observar que organizaciones como la FAO, establece un rango de pH normal para aguas de riego entre 6,5 a 8,4. La Ley General de Aguas de Perú establece un rango de pH normal de 5 – 9 unidades, para Aguas de riego de vegetales de Consumo Crudo. La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela, establece un rango de pH normal de 6,5 a 8,5 unidades, en aguas destinadas al riego de hortalizas, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos. El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece un rango de pH normal de 6,5 – 8,5 unidades para aguas destinadas a riego irrestricto (Digesa, 2007, p. 51). Al realizar una comparación con el límite de pH establecido para el Ecuador se puede observar (tabla 12), que es el mismo valor establecido por la Ley General de Aguas de Perú. Si

comparamos el valor de pH obtenido de la caracterización del agua tratada que es de 6,5 con los límites establecidos por los países antes mencionados se puede determinar que éste se encuentra dentro de los rangos establecidos y que este es el valor más apto y en el cual se asegura la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y en el que no se ve afectado su desarrollo y crecimiento.

La mayoría de los nutrientes de las plantas son más solubles y están más disponibles para las plantas en los suelos ácidos. Unos pocos nutrientes, sobre todo el fósforo, están más disponibles en los suelos alcalinos. Los suelos que están cercanos al pH neutro ofrecen los beneficios de tener en general la mayor disponibilidad de nutrientes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008).

A continuación, se encuentra una tabla con ejemplos de cultivos que se pueden desarrollar en suelos con distinto pH.

Tabla 13. Ejemplo de pH del suelo en cual puede restringirse el crecimiento de cultivos

CULTIVO	pH
Cebada	5,9
Remolacha	5,9
Col	5,4
Maíz	5,5
Avena	5,3
Nabo	5,4
Trigo	5,5
Alfalfa	6,2

4.2.2. Análisis comparativo de la reducción de DBO y DQO del agua tratada

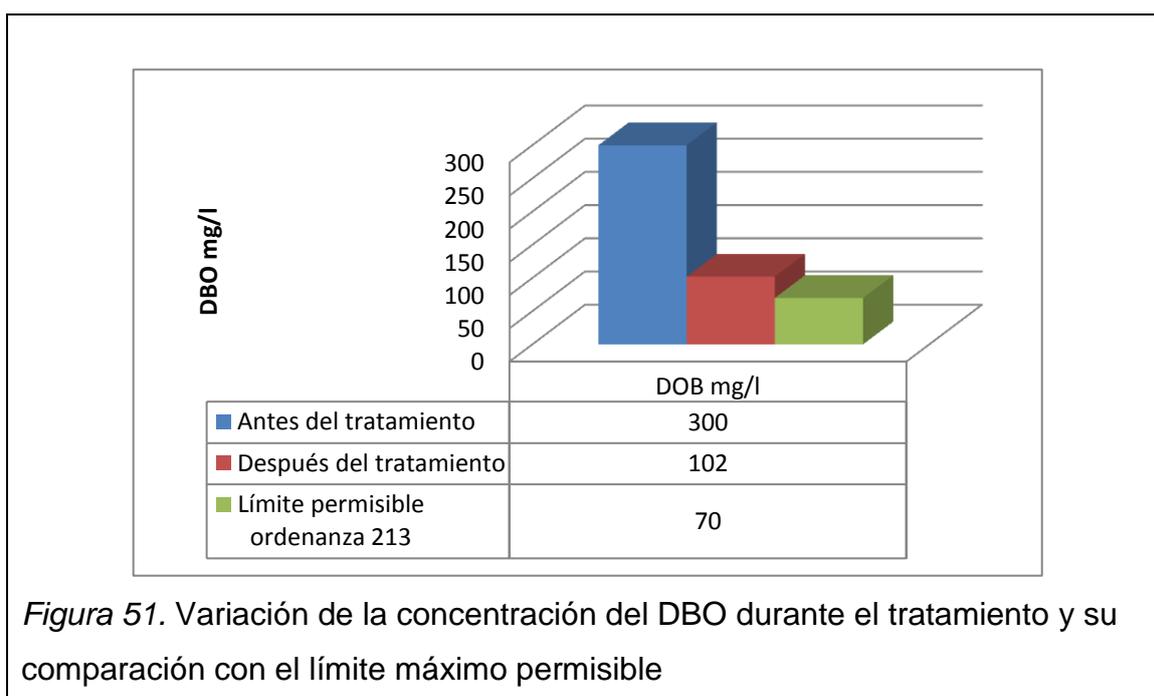
A continuación, se puede observar que ambos parámetros demostraron una disminución considerable en sus concentraciones para el tratamiento realizado.

Con lo referente al DBO éste disminuyó un 34,5% en el sedimentador. Esto se debe a la reducción de sólidos y materia orgánica generada por la sedimentación de las partículas sedimentables por la gravedad, la cual se da lugar en este proceso; mientras que el 31.5 % restante de DBO se reduce en el filtro de carbón activado debido a su gran poder de adsorción, porosidad y al área superficial que posee. Consiguiendo una eficiencia del 66% para DBO y una eficiencia del 68,93% para DQO durante todo el tratamiento:

$$\frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

$$\frac{300 - 102}{300} * 100 = 66\% \text{ DBO}$$

$$\frac{885 - 275}{885} * 100 = 68.93\% \text{ DQO}$$



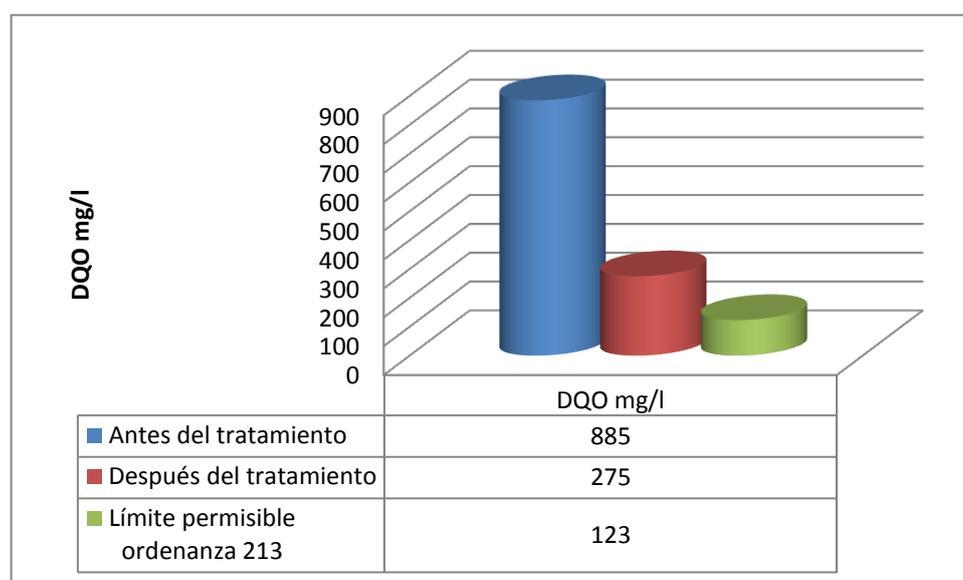


Figura 52. Variación de la concentración del DQO durante el tratamiento y su comparación con el límite máximo permisible

Si bien el porcentaje de reducción de estos contaminantes para procesos de tratamiento primario son elevados en comparación con los obtenidos en otros países como Francia y Alemania con sistemas similares con reducción del 5% al 10%, estos parámetros no llegan a alcanzar los límites establecidos en la legislación aplicable al Ecuador (Rojas, 2005, p. 141; Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2010, pág. 30, Torres, 2012).

No obstante, pese a que el tratamiento efectuado en el presente trabajo, no permite alcanzar los límites establecidos, éstos porcentajes de reducción de materia orgánica son más que aceptables.

Nivel de tratamiento	ÍTEM		
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10 % DBO: <10 % Coliformes: ≈ 0 % Nutrientes: ≈ 0 %
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40-50 % DBO: 25-35 % Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fósforo	SS: 70-85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60-90 % Nutrientes: 20 %N; 50-95 % P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: > 99 % DBO: > 99 % Coliformes: > 99,9 % Nutrientes: > 90 %

Figura 53. Características de los principales niveles de tratamiento
Tomado de Torres, 2012

De lo obtenido, se puede establecer que el uso del agua es únicamente para el riego de especia de tallo largo porque no tiene contacto directo con el fruto y no para cultivos de consumo crudo, asegurando así la salud de los consumidores.

Es importante que estos dos parámetros no sobrepasen la cifra de los miles, ya que la disponibilidad de oxígeno para el buen desarrollo de los cultivos es un factor significativo, y un elevado valor en estos parámetros afecta este proceso. Hay que recordar que ya que el suelo es un medio filtrante éste ayudará a que el agua reduzca su contenido de DBO y DQO a medida que la misma se desplace a través de sus capas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f).

Por el contrario, un valor bajo puede contribuir con materia orgánica al cultivo, lo cual sirve de abono para el mismo y reduce el costo y el daño ambiental que se generaría al reducir el uso de insumos químicos que cumplen este mismo propósito (Wild, 1990, p. 543).

4.2.3. Análisis comparativo de la reducción de fósforo en el agua residual y tratada

La eficiencia obtenida para la reducción de fósforo es del 58.9%, en base a la experimentación realizada se deduce que esta reducción se genera en el filtro de carbón activado, cuyo propósito es la reducción de sustancias disueltas por su poder de adsorción, debido a su alta área superficial y porosidad. En estudios realizados en España para procesos similares se encontró que la reducción de fósforo para estos procesos fue de un 15% (debido a la concentración del contaminante), siendo este valor muy inferior al conseguido con el modelo propuesto para el Centro Experimental UDLA – Nono (Conil, 2009).

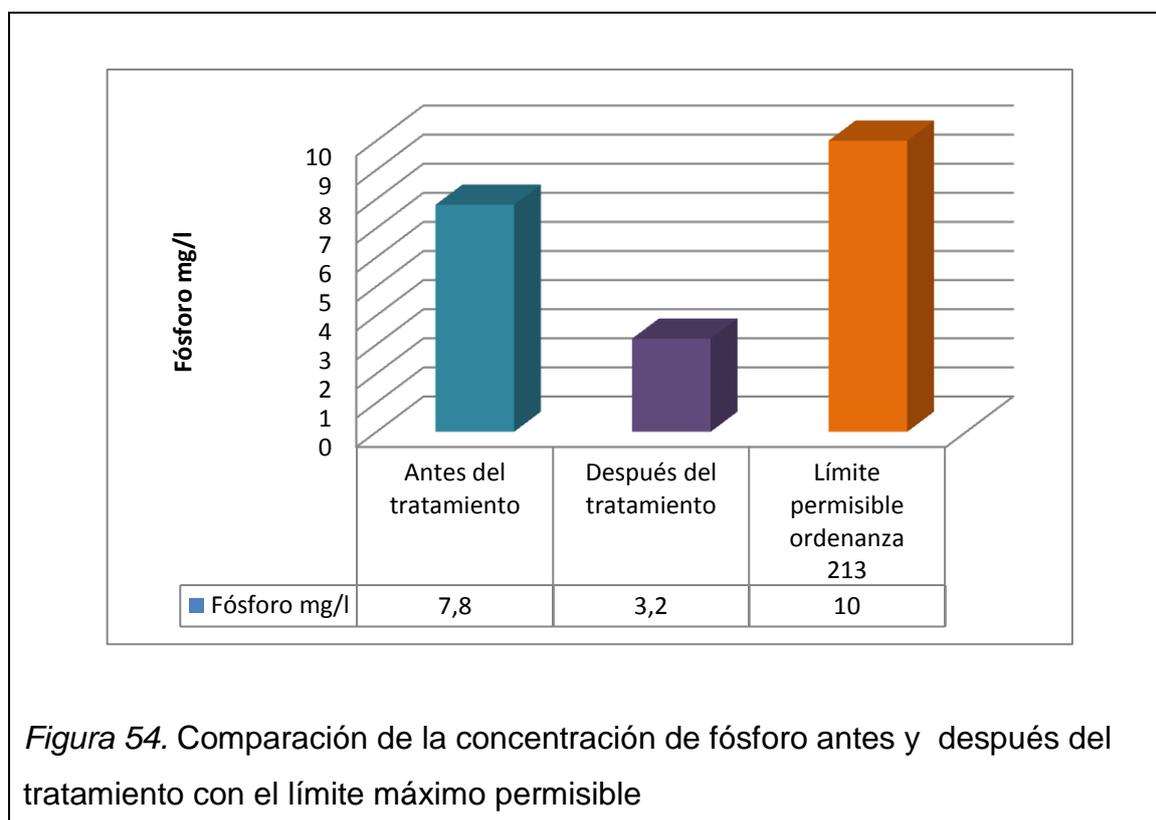


Figura 54. Comparación de la concentración de fósforo antes y después del tratamiento con el límite máximo permisible

Cálculo de la eficiencia obtenida

$$\frac{7,8 - 3,2}{7,8} * 100 = 58.9\%$$

Si bien este parámetro se encuentra por debajo de la norma (7,8 mg/l) incluso antes del tratamiento al compararlo con la norma (10 mg/L), es importante que éste se mantenga en bajas concentraciones y no trabajar a su límite o sobre este, ya que el exceso de fósforo en el agua puede generar que las plantas se quemem, tornándolas de color marrón y produciendo su muerte. El fósforo interviene además en la absorción de otros nutrientes como el hierro, manganeso y zinc, generando un cultivo pobre en nutrientes.

La presencia de altas cantidades de fósforo en el agua generan el crecimiento de algas, las cuales pueden llegar a producir un proceso de eutrofización en el agua disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua. Una alta presencia de fósforo provoca que otras plantas no deseadas crezcan fuera de control, aumentando el problema de la maleza.

Por esta razón, es importante tomar medidas que permitan mantener concentraciones bajas de este parámetro como por ejemplo, reducir el uso de jabones para lavar platos, los cuales contienen gran cantidad de fósforo y elevan considerablemente este componente (Durkee, 2012; Sempertigui, 2013).

4.2.4. Análisis comparativo de la reducción de sólidos en el agua

La reducción de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos se debe en gran medida a la acción del sedimentador sobre estas partículas, en el cual la acción de la gravedad tiene un papel importante al generar su sedimentación al fondo del tanque en un tiempo determinado de 2 horas. Generándose en el sedimentador una reducción de 56.34% para sólidos suspendidos totales siendo mayor para la establecida para procesos similares (Torres, 2012).

A continuación, se puede observar la reducción generada por el proceso a los sólidos sedimentables como a los sólidos suspendidos y su comparación con los límites establecidos en la Ordenanza 2013.

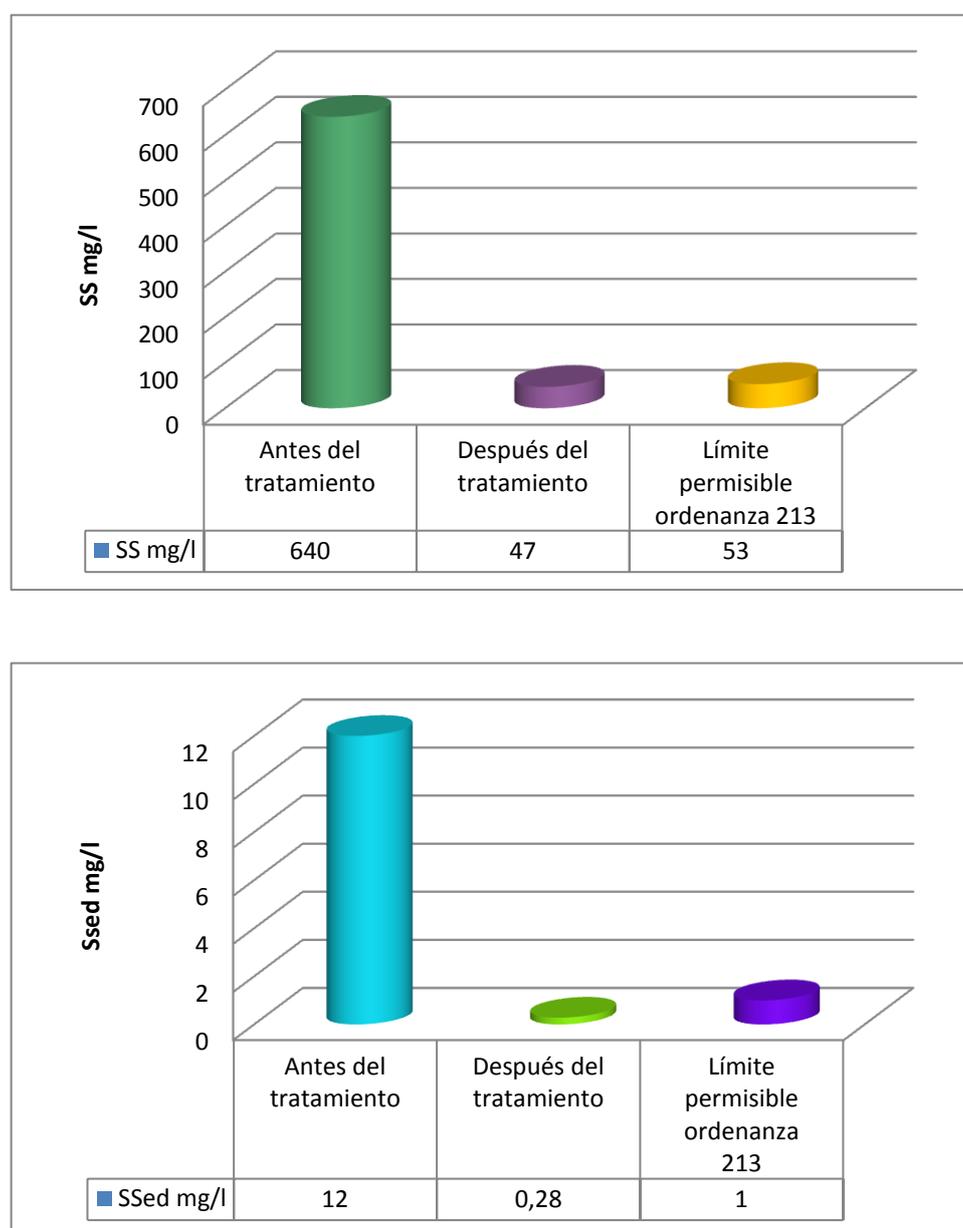


Figura 55. Comparación de la reducción del sólidos suspendidos y sedimentables con los límites de la Ordenanza 213

La remoción de sólidos suspendidos al final del tratamiento fue de 92.65% y de 97.66% para sólidos sedimentables.

Es importante tener en cuenta que la presencia de coloides o sólidos suspendidos en el agua de riego puede inhibir la infiltración del agua, reduciendo la aireación del suelo e impedir el desarrollo de la planta, por lo

tanto, es importante mantener concentraciones bajas de sólidos en el agua. Comparando los valores obtenidos en la figura 55, los sólidos se redujeron de manera considerable, llegando a los límites establecidos en la Norma Técnica 213 del Distrito Metropolitano de Quito, por lo mismo, es importante mantener y respetar los tiempos de retención establecidos para el sedimentador y el filtro, ya que son éstos tiempos son los que garantizan la reducción de la concentración de sólidos. Normalmente del porcentaje de sólidos retenidos o eliminados, el 5% son sólidos y el 95% es agua (Universidad de las Américas Puebla, 2010).

Al comparar los límites establecidos para este parámetro para agua de riego, Ecuador posee uno de los más bajos al igual que el establecido por Chile.

En países como México y Costa Rica la concentración de sólidos en aguas residuales para riego es mayor llegando a los 150mg/l y 200mg/l respectivamente (Republica de Costa Rica, 1997, p. 26; Ministerio de México DF , 2000). Otros países como Paraguay con La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental establece una concentración máxima de 700 mg/l de sólidos suspendidos totales para aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en forma natural. El anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile establece una concentración de 30 mg/l de sólidos suspendidos totales para aguas des destinadas al riego irrestricto. La FAO por su parte establece una concentración de < 50 mg/l de sólidos en suspensión para aguas destinadas al riego (Digesa, 2007, p. 53).

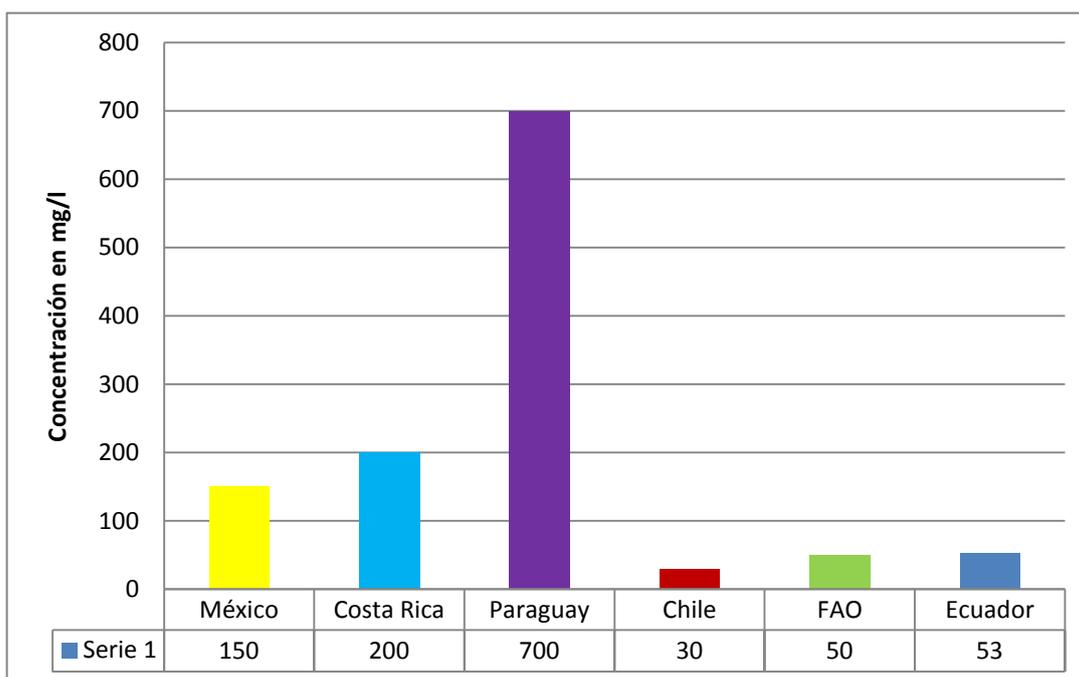


Figura 56. Comparación de límites permisibles de sólidos totales en normativas en países de América.

4.2.5. Análisis comparativo de la reducción de sulfatos en el agua residual y tratada

La eficiencia obtenida para la reducción de sulfatos es de 75.00%, un valor elevado al compararlo con la eliminación de este tipo de sustancias en procesos similares (figura 53) cuyos valores de eficiencia llegan a menos del 20% para la aplicación de tratamiento primario y secundario. La reducción de este parámetro se dio principalmente en el filtro de carbón activado, cuya función es la adsorción de sustancias diluidas y a que el tiempo de retención establecido (tiempo de residencia una hora y media) es el adecuado y el que asegura una mayor reducción.

A continuación, se muestra una comparación de la variación de sulfatos en el agua residual y el agua tratada con el límite establecido para este parámetro en la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

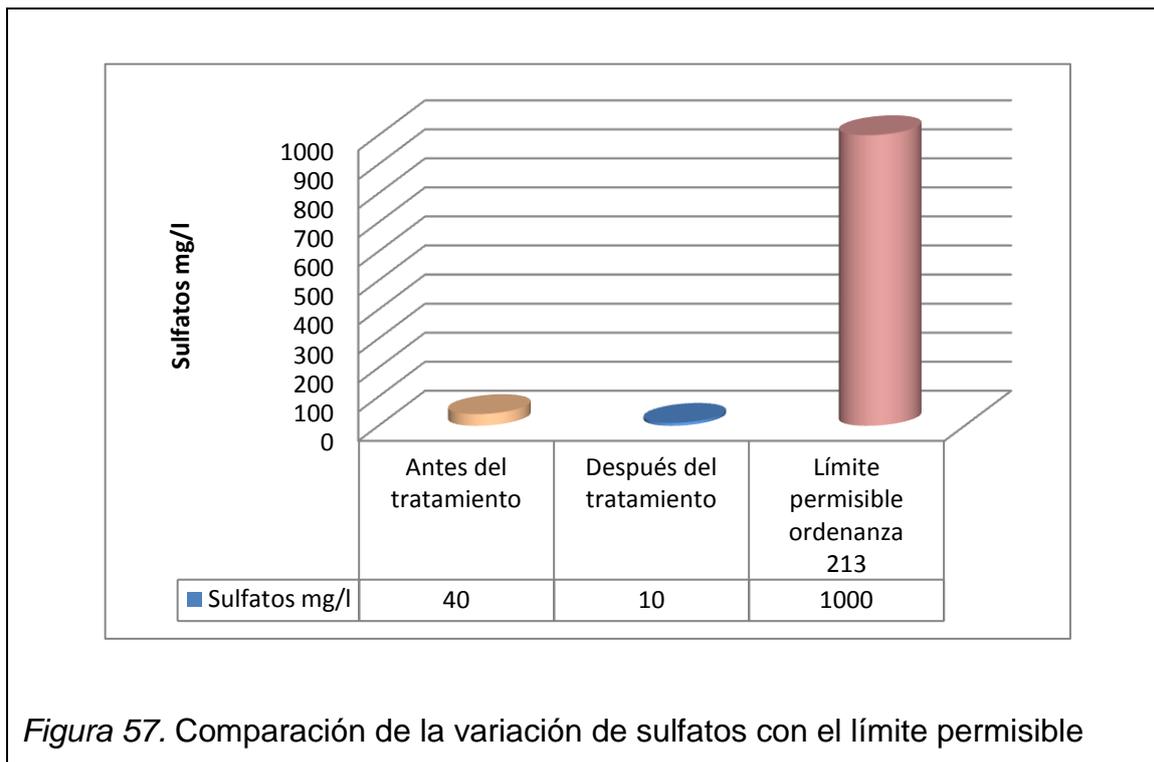


Figura 57. Comparación de la variación de sulfatos con el límite permisible

Sin bien los sulfatos al igual que el fósforo cumplen la normativa, incluso antes del proceso de tratamiento del agua cruda. La concentración de sulfatos es importante ya que un exceso puede generar un efecto de salinidad sobre las plantas y el suelo, produciendo estrés hídrico (evitando que la planta pueda extraer agua del suelo), genera problemas como disminución de la altura de la planta, quemaduras en las puntas de las hojas de los cultivos, entre otros efectos. Los sulfatos generan también un cambio de pH en el agua lo cual puede afectar al proceso de tratamiento (García y Dorronsoro, Universidad de granate, 2013).

Si bien existe plantas resistentes a la salinidad como los cereales otras no lo son y se pueden verse afectadas gracias a la presencia de esta sal. Entre las plantas resistentes a la salinidad tenemos: *Pinus canariensis* (Pino canario), *Yucca spp.* (Yucas), *Lotus spp.* (Loto), etc (Infojardín, 2005).

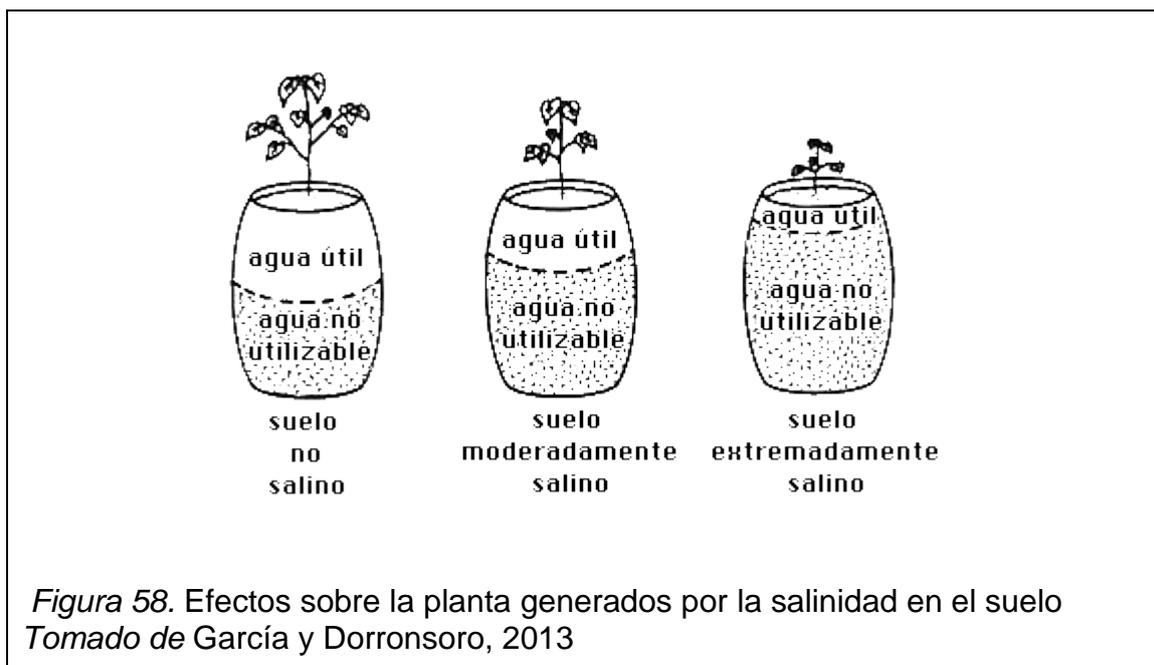
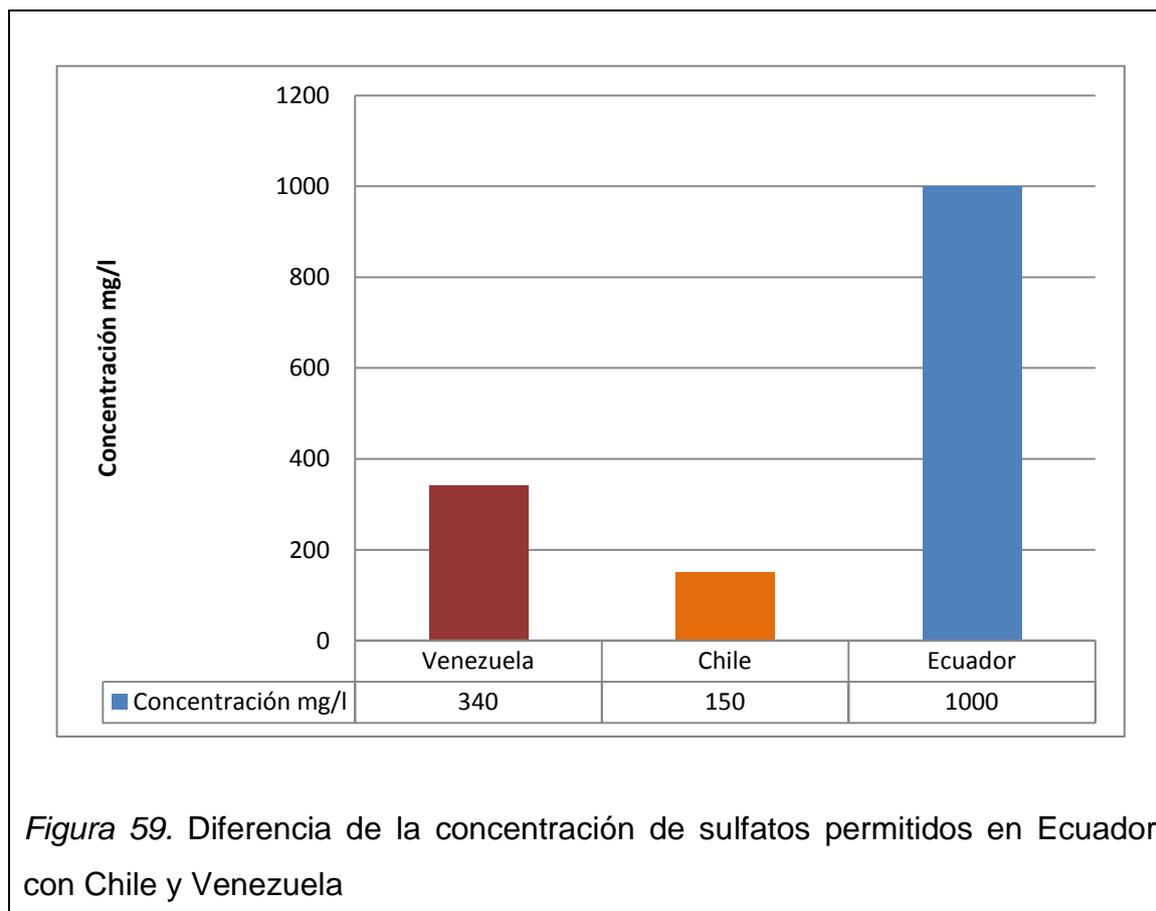


Figura 58. Efectos sobre la planta generados por la salinidad en el suelo
 Tomado de García y Dorronsoro, 2013

Existen países que establecen límites permisibles para sulfatos en el agua de riego como Venezuela que en la Norma para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua, establece para los sulfatos un valor de 340 mg/l como límite máximo de concentración, en aguas destinadas al riego de hortalizas, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos y Chile con el Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales, que establece para los Sulfatos una concentración de 150 mg/l para aguas destinadas al riego irrestricto (Digesa, 2007). Si comparamos estos límites con el establecido para el riego de cultivos en Ecuador, vemos que este es hasta tres veces más alto que el establecido en algunos países de Latinoamérica



4.2.6. Análisis comparativo de la reducción de tensoactivos en el agua residual y tratada

Si bien durante el proceso de limpieza del área de ordeño se utiliza detergentes las concentraciones utilizadas para este propósito son bajas y no aumentarán, aunque aumente el número de animales, pues no existe una relación entre estos.

La reducción de tensoactivos en el agua fue del 28.96% y se realizó durante el proceso de filtración. Esto se pudo realizar ya que las concentraciones de tensoactivos en el agua residual cruda eran bajas 0,328 mg/l, siendo esta concentración menor a la establecida como límite permisible.

Es importante mantener bajas las proporciones de tensoactivos o detergentes en el agua, ya que comúnmente estas afectan al proceso de tratamiento al generar espuma afectando a las unidades de aireación al dificultar la transferencia de oxígeno, son tóxicas para las plantas si el agua es usada para

riego ya que al degradarse éstas consumen oxígeno produciendo la muerte de la planta (Ramos, Sepúlveda, y Villalobos, 2003, p. 95)

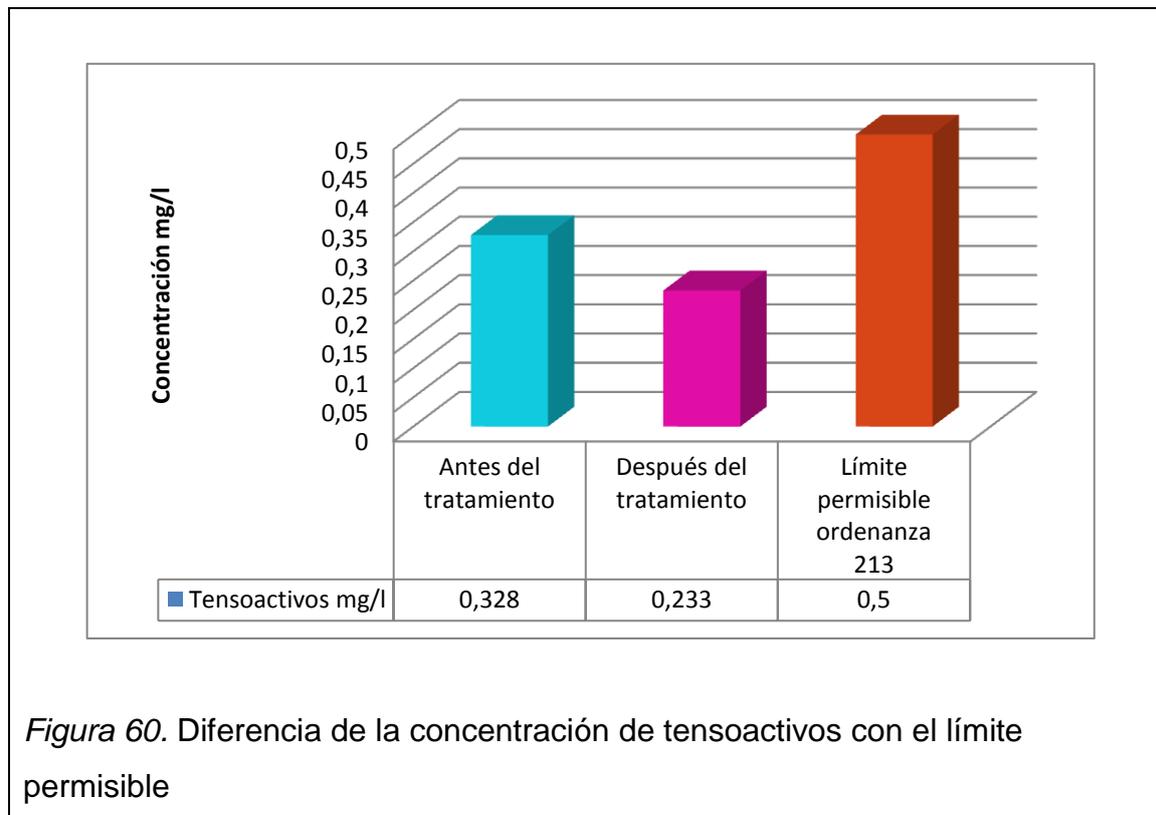


Figura 60. Diferencia de la concentración de tensoactivos con el límite permisible

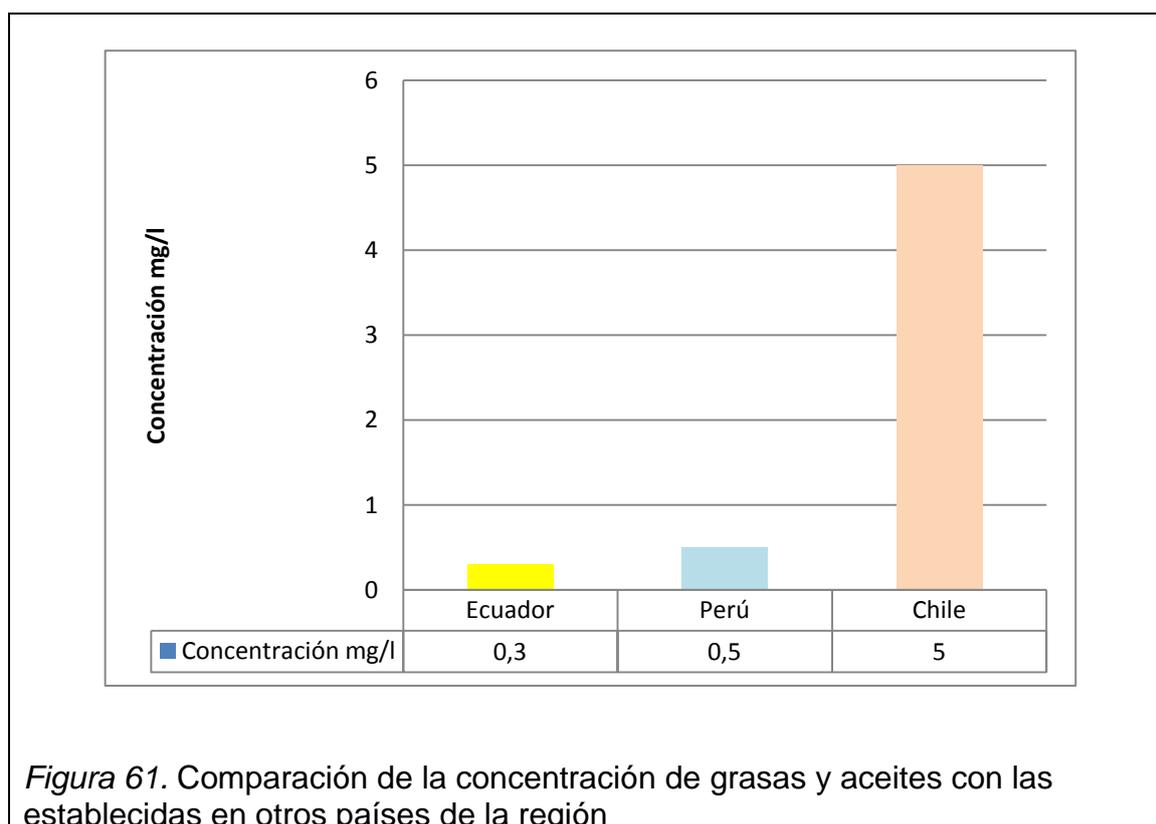
4.2.7. Análisis comparativo de la reducción de grasas y aceites en el agua

La reducción de grasas y aceites presentes en el agua ocurre durante el proceso de filtración, las cuales quedan atrapadas en los poros del carbón activado y en los espacios vacíos entre los granos de carbón. Ya que la concentración de grasas y aceites antes del tratamiento no es alta se determinó que no es necesaria la colocación de una trampa de grasa.

La eficiencia alcanzada para la reducción de grasas y aceites durante el tratamiento fue del 15.38% siendo este un valor adecuado de reducción en filtros de carbono en los que se registra una eficiencia de hasta el 20% en la reducción de dicho compuesto (Díaz y Barreneche, 2005, p. 186).

Al comparar la concentración establecida como límite permisible en Ecuador con la de otros países de la región o guías internacionales tenemos que, La

Ley General de Aguas de Perú establece como límite de concentración 0.5 mg/l, mientras que el Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 5 mg/l para aceites y grasas en aguas destinadas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales (Digesa, 2007).



La presencia de aceites y grasas en el agua de riego impacta directamente al suelo, al producir un recubrimiento de los agregados del suelo, lo que desarrollará fenómenos hidrofóbicos que dan como resultado la disminución de la capacidad de infiltración y almacenaje de agua para las plantas, puede producir también una disminución de la capacidad de intercambio catiónico incidiendo en la fertilidad del suelo, o el desarrollo de fenómenos de anoxia radicular y bacteriana al impedirse el intercambio gaseoso entre el suelo y atmósfera.

Además éstas generan natas en el agua, perjudicando al proceso de tratamiento, facilitan el crecimiento de algas, producen olores y pueden

producir eutrofización al agua. Por esto es importante que la cantidad de grasas y aceites presentes en el agua sean bajas (Gobierno de Chile ,p. 34, 2005).

4.2.8 7. Análisis comparativo de la reducción de la presencia de coliformes en el agua

En la remoción de coliformes tienen efecto principal el tiempo de retención en los filtros, siendo este el proceso que elimina la presencia de coliformes del agua, al generar un eficiencia en la reducción del 71.66%; sin embargo, esta eficiencia lograda no es suficiente para llegar al límite máximo permitido, siendo ésta una de las razones por las cuales se determinó que el agua puede ser únicamente utilizada para el riego de especies de tallo largo y no para cultivos de consumo crudo. Aún así, si lo comparamos con la eficiencia lograda para la reducción de coliformes en un tratamiento primario avanzado que es de un 60 a 90 por ciento (figura 53) el porcentaje obtenido de reducción es óptimo.

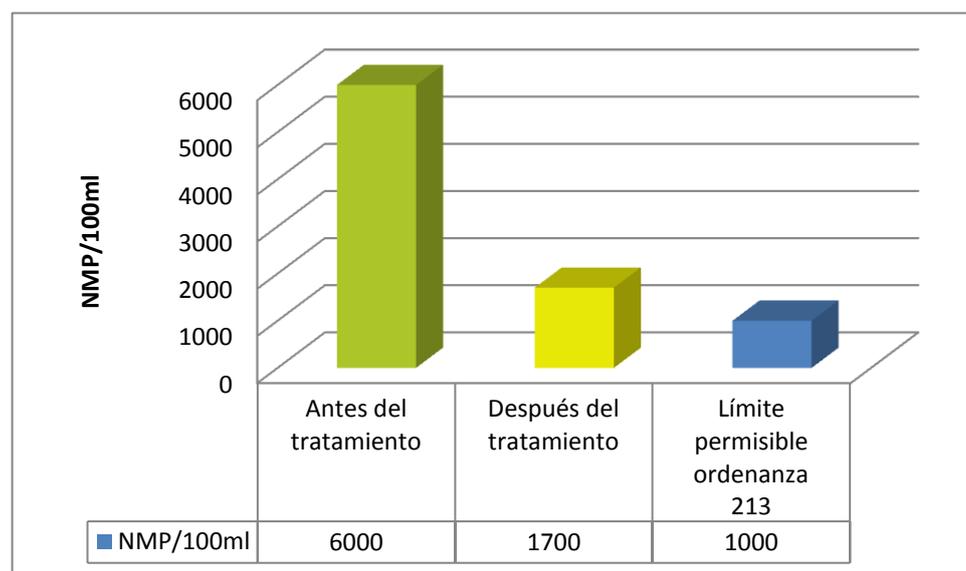


Figura 62. Diferencia en la presencia de coliformes con el límite permisible establecido

Al comparar el límite permitido para coliformes en aguas destinadas a riego con los límites establecidos en Canadá y Venezuela podemos observar que estos son los mismos y que estos límites no están contemplados para riego de cultivos de consumo crudo (Digesa, 2007).

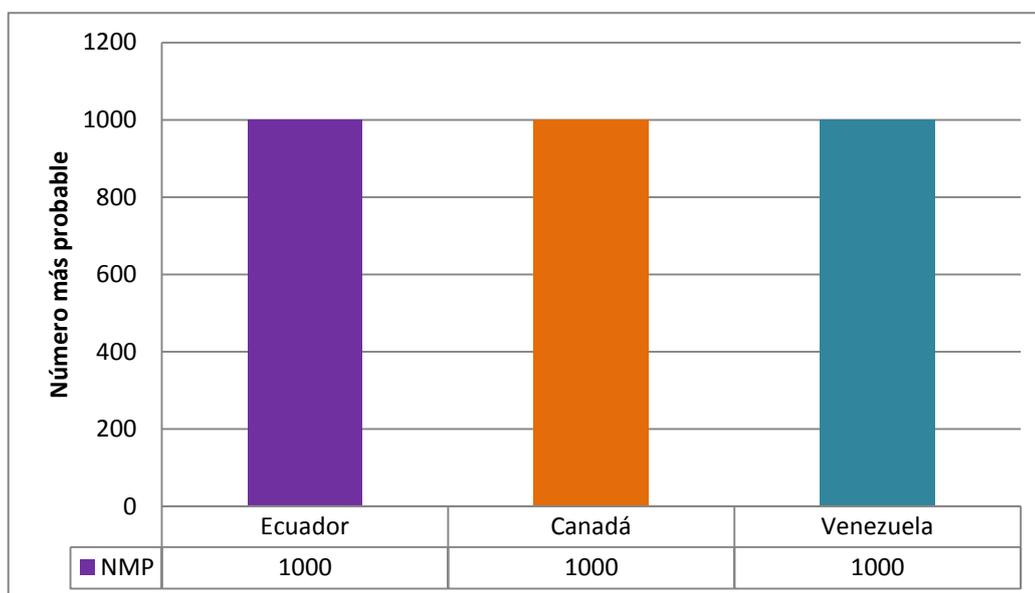


Figura 63. Concentración de coliformes en aguas destinadas para riego en Ecuador, Canadá y Venezuela.

Con excepción de algunas cepas de coliformes fecales enteropatógenos que causa diarrea, los coliformes no son patógenos para el hombre. Sin embargo, los coliformes pueden aceptar y transferir genes resistentes a las drogas (medicamentos), por lo cual hacen necesaria su eliminación (Rojas, 2005, pp. 36-37).

Este factor es de gran importancia ya que el agua va a ser utilizada para riego y esta influye a su vez en la calidad de los productos y salud de los consumidores, por ello es importante respetar los límites establecidos para este parámetro. Como se puede observar la cantidad de coliformes ha disminuido a 1700, permitiendo el uso de estas aguas para riego de especies de tallo largo como: rosas, árboles frutales, choclo, cereales como: el trigo, cebada, entre otros, y no para riego de hortalizas (productos de consumo

crudo) ya que el límite establecido para esta clase de cultivos es de 1000 (nmp/ 100 ml de muestra).

Instituciones como la Organización Mundial de la Salud OMS establecen límites de coliformes dependiendo del tipo de cultivo.

Tabla 14. Límites de coliformes por tipo de cultivo

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Coliformes (nmp por 100 ml)	Tratamiento requerido (para lograr la calidad microbiológica exigida)
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parque públicos	Trabajadores, consumidores, público	≤1000	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales, forraje, praderas y árboles	Trabajadores	No se recomienda ninguna norma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de coliformes
C	Riego localizado en la categoría B,	Ninguno	No aplica	Tratamiento previo según exija la tecnología de riego, pero no menos de sedimentación primaria

Tomado de (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008).

5. DETERMINACION Y DISEÑO DEL TIPO DE TRATAMIENTO APLICABLE AL AGUA RESIDUAL DE LA GRANJA

5.1. Elección del tratamiento primario

La selección del tipo de tratamiento a ser utilizado dependerá de las características del afluente, del espacio disponible y del costo de implementación. Por ello, los procesos de tratamiento escogidos para la planta del Centro Experimental UDLA Nono, serán aquellos que permitan dar un tratamiento óptimo y que generen armonía con el ambiente, al utilizar únicamente los materiales necesarios, evitando por ejemplo el uso de bombas que ocasionan un alto gasto de electricidad.

Mediante los análisis físico - químicos realizados se determinó los procesos de tratamiento primarios que deben ser establecidos para garantizar que el efluente obtenido cumpla con los límites establecidos en la norma aplicable a este sector.

De esta manera se estableció que, el tratamiento primario debe estar compuesto por un sistema de cribas o rejilla que permita retener todos los sólidos u objetos grandes que pueden comprometer el funcionamiento adecuado de los equipos y de un sedimentador primario que brindará dos servicios: el de tanque de almacenamiento del afluente y el de tanque sedimentador, lo cual permitirá ahorrar costos y espacio.

5.1.1. Diseño de cribas

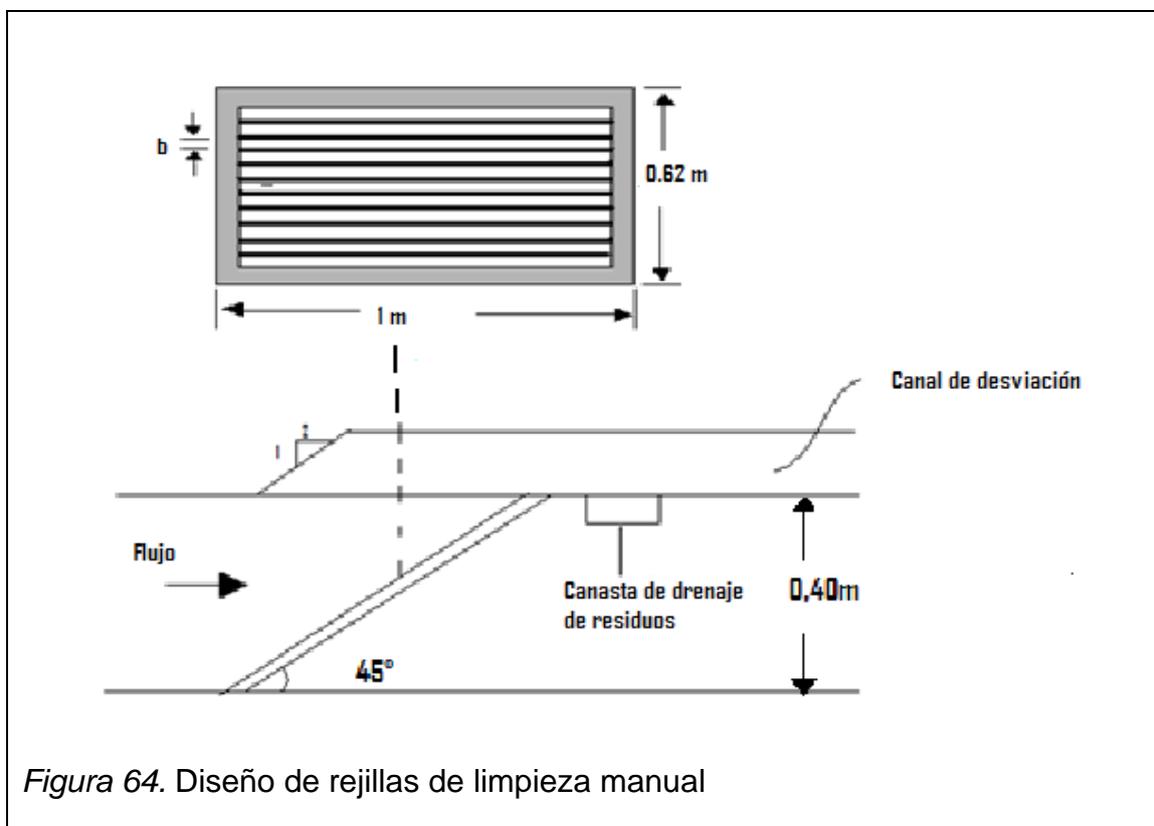
Las cribas permitirán retener todos aquellos sólidos grandes mayores a 0,64 cm que pueden dañar el funcionamiento de los equipos, reduciendo de esta manera la eficiencia de la planta y la calidad del efluente obtenido. Entre los principales objetos o materiales que serán retenidos por este sistema tenemos: fundas, papel, balanceado de los animales, pequeñas piedras, hierbas, etc.

Todos estos generados de las diferentes actividades realizadas en el área de ordeño.

La criba será diseñada de tal manera que permita la limpieza manual por el operador, la cual debe realizarse todos los días para evitar la acumulación de desechos y el posterior taponamiento de la rejilla, generando pérdida de caudal.

Para su construcción se puede utilizar barras cuadradas o circulares, en este caso utilizaremos barras circulares (varillas) de 6 mm de ancho, con un espacio entre barras (b) de 10 mm (1cm), ya que las partículas en el afluente no son de tamaño mayor. Como se mencionó la limpieza de las rejillas será de forma manual, el ancho del canal será de 1m y contará con una canastilla en la cual se escurrirá el exceso de agua de los residuos antes de que estos sean dispuestos en un relleno sanitario. La inclinación a la cual será colocada la rejilla será de 45° con respecto a la horizontal.

A continuación se puede observar el diseño de las cribas



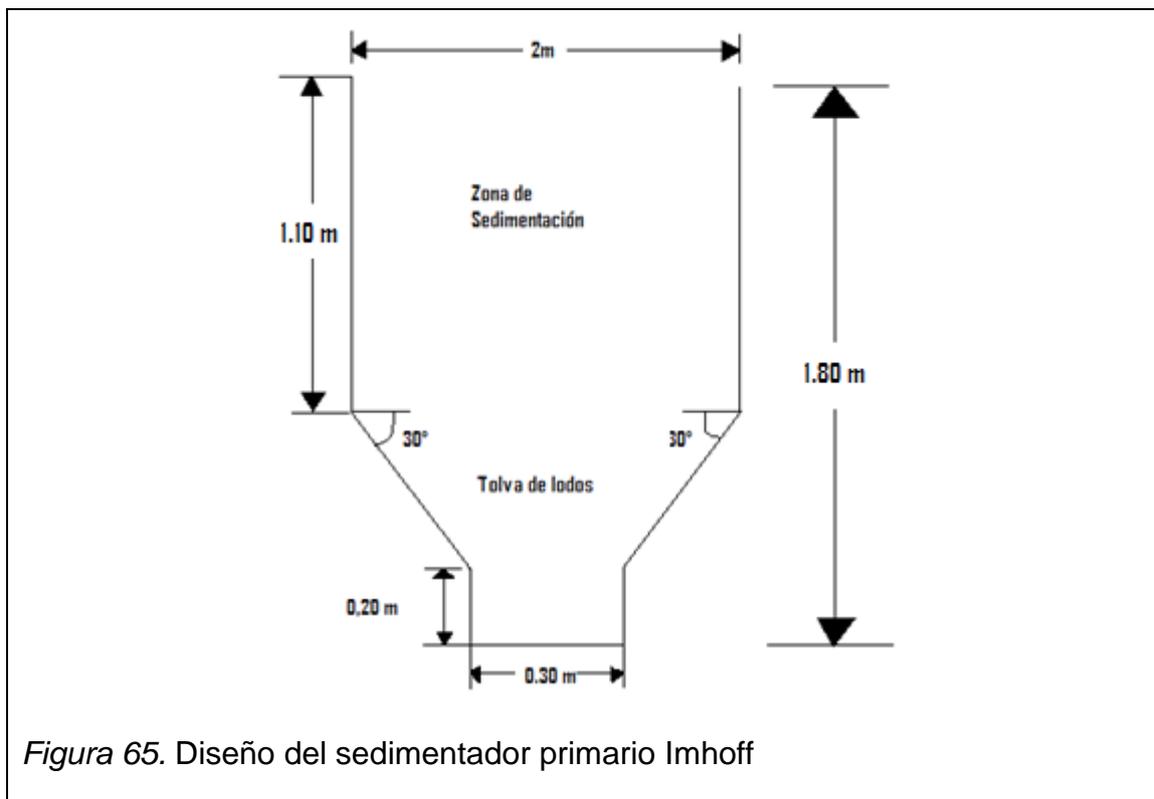
5.1.2. Diseño del sedimentador primario

El diseño del sedimentador se realizará de manera que permita responder a cambios en el futuro.

Para el diseño del sedimentador se tomó en cuenta el volumen diario de agua utilizado, las precipitaciones del sector, la carga de desechos sólidos generados por cada vaca, ya que el incremento de animales aumentará la cantidad de sólidos sedimentables.

El sedimentador tendrá forma de tanque Imhoff porque este modelo permite el uso de una menor área superficial, ya que los tanques pueden ser de gran profundidad (mayor a 4 metros), y permiten una sedimentación acelerada y no necesitan de equipo mecánico para la extracción y barrido de lodos desde y hacia la tolva.

A continuación, se establece el dimensionamiento del sedimentador.



El sedimentador tiene un volumen de 4245 litros o 4,3 m³, que soportará el volumen de agua generado después de cada limpieza del área de ordeño. La

tolva tiene un volumen de 1350 litros o 1.35 m^3 y cuenta con una tubería en la parte inferior que permite evacuar los sólidos sedimentados para limpiar el tanque.

Al volumen total del sedimentador se le incrementó un 20% más de capacidad, lo cual permitirá captar una mayor cantidad de caudal el que aumentará cuando el número de reses crezca, 18 meses aproximadamente es el tiempo en el cual se llegará al número límite de reses que cubre la capacidad de ordeño de la granja. Este porcentaje también permite soportar el aumento de caudal que se pueda generar en el tanque debido a las precipitaciones del sector, evitando así derrames.

El incremento futuro de reses acrecentará la carga de sólidos en el agua, lo que aumentara la frecuencia con la cual los sólidos sedimentados deben ser retirados.

Actualmente la granja cuenta con 38 cabezas de ganado de las cuales 14 son de ordeño o rejo, 4 secas que contribuyen todos los días a la generación de sólidos, 20 son terneros, los cuales son llevados al establo dos veces por semana para su alimentación con balanceado, lo que produce un incremento de la cantidad de sólidos producidos en estos días. Para el diseño del sedimentador se consideró la proyección del número total de ganado que la granja tendrá dentro de un año y medio, siendo este de 66 vacas (capacidad máxima de la granja) entre rejo, terneros y secas. Con este valor se determinará la cantidad aproximada de sólidos que se generará en un futuro y de esta manera se diseñará un sedimentador de capacidad adecuada.

Actualmente se genera un total de 84.88 gr de sólidos por cada 7074 litros de agua. Para determinar la cantidad aproximada de sólidos que cada vaca aporta al sistema se dividirá la cantidad de sólidos generados para el número de animales. Obteniendo así, que el aporte de sólidos por cada animal es de 2.23 gramos.

Con la ayuda de la proyección de animales con los que se contará en el futuro se pudo determinar que la cantidad aproximada de sólidos generados será de 147.18 gramos.

Para determinar el tiempo en el cual la tolva debe ser vaciada, se calculo la capacidad de la misma, de esta manera, la tolva debe limpiarse cada doce días (tiempo en el cual la tolva estará llena) para evitar un acumulamiento excesivo de sólidos y que éstos sean arrastrados por el agua al pasar hacia los filtros y afecten al funcionamiento.

En el futuro la tolva debe ser limpiada cada semana, esto se debe a que el número de animales aumentará y por ende la cantidad de sólidos. Estos valores están calculados en base a los sólidos producidos actualmente y la proyección a futuro.

La carga contaminante en el tanque de sedimentación, se determina a continuación.

$$CC = \left\{ \left[\frac{(2DBO + DQO)}{3} \right] + SS \right\} \times Q$$

Expresada en kilogramos por hora (Kg/h)

Donde:

- CC: Carga contaminante
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- SS: Sólidos Suspendidos
- Q: Caudal

$$CC = \left\{ \left[\frac{(2(300) + 885)}{3} \right] + 640 \right\} \times 3537$$

$$CC = 4,014,495 \frac{mg}{h} \approx 4.015 Kg/h$$

Por lo tanto la carga contaminante aproximada en el sedimentador primario es de 4.015 Kg/h.

El tiempo de retención necesario para una depuración adecuada del agua residual se determinó con ensayos de sedimentación, en función del tiempo, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 15. Volumen de sedimentación en función del tiempo

Tiempo (minutos)	Volumen de sedimentos ml/L
0	0,0
5	3,0
10	4,5
15	6,0
20	6,8
25	7,2
30	7,8
40	8,3
50	8,8
60	9,5
90	11,5
120	12,3
130	12,3
140	12,3

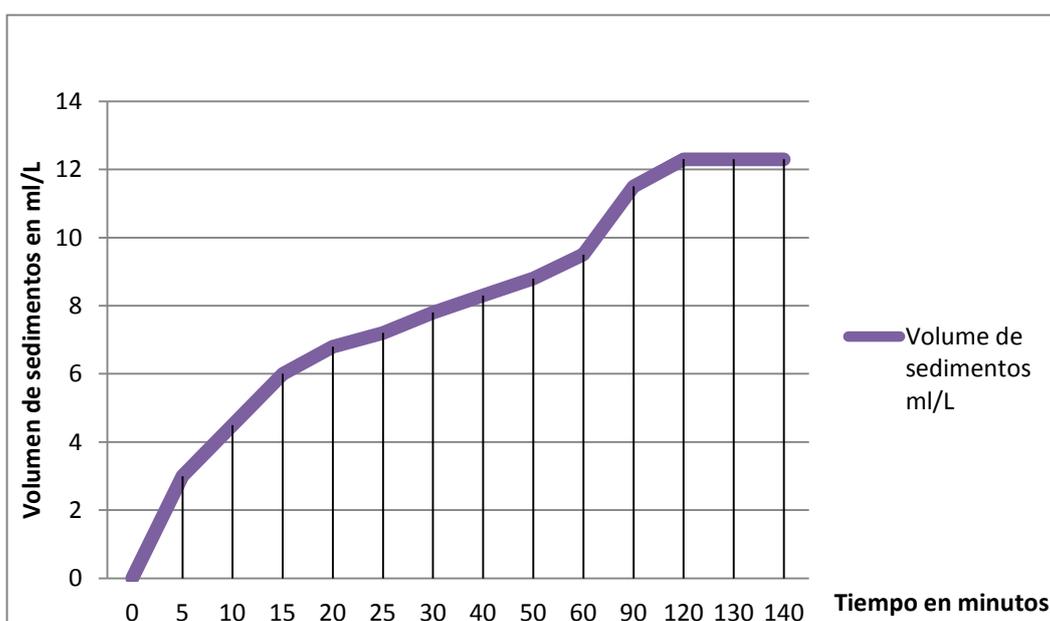


Figura 66. Determinación del tiempo de retención

De la figura 66 se determinó que el tiempo de retención es de 2 horas (tiempo de inflexión), tiempo en el cual todos los sólidos alcanzan el fondo del tanque y el porcentaje o volumen de sedimentación ya no varía en el tiempo.

Los tanques de sedimentación primaria operados de manera eficiente pueden eliminar entre 40 y 70% de sólidos suspendidos y entre el 25 y 40% de DBO_5 .

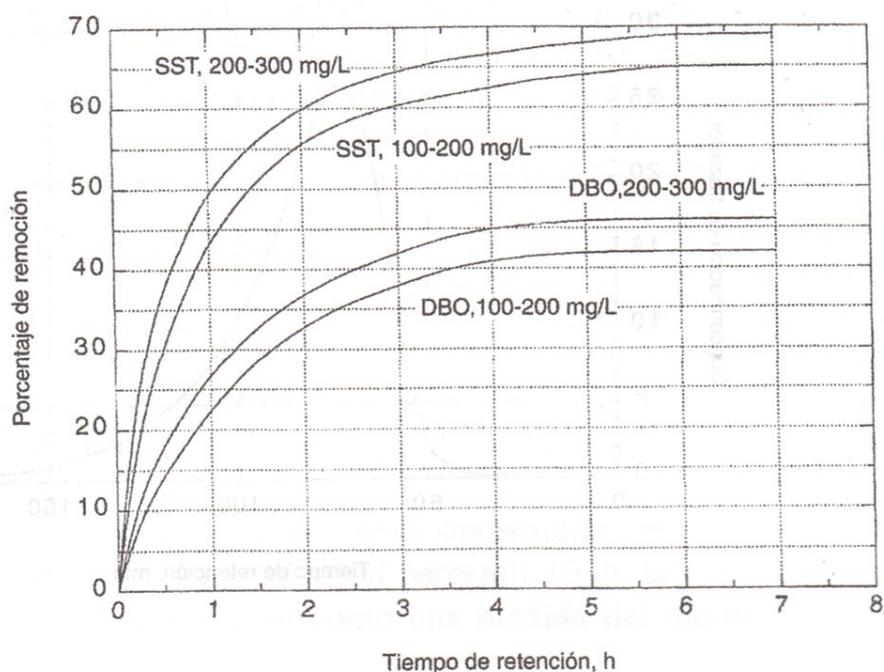


Figura 67. Valores usuales para la remoción de sólidos y DBO en un tanque de sedimentación primaria

Tomado de Crites y Tchobanoglous, 2000, p.304

Con la expresión que se encuentra a continuación se puede modelar matemáticamente como una hipérbola (figura 61) la remoción de estos parámetros. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 303)

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Donde:

R: Porcentaje de remoción esperado

T: Tiempo de retención en horas

A, B: Constantes empíricas

Según Crites y Tchobanoglous las constantes a y b pueden tomar los siguientes valores a 20°C.

Tabla 16. Variables de remoción

Variable	a	b
DBO ₅	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

Tomado de Crites & Tchobanoglous, 2000, pp. 303 -304

Obteniendo así los siguientes valores aproximados de remoción de DBO Y SS

$$R \text{ de } DBO_5 = \frac{2}{0,018 + (0,020 \times 2)}$$

$$R \text{ de } DBO_5 = 34,5\%$$

$$R \text{ de } SST = \frac{2}{0,0075 + (0,014 \times 2)}$$

$$R \text{ de } SST = 56.34\%$$

5.2. Elección del Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo la reducción del material orgánico presente en el afluente. Comúnmente para su reducción se utilizan procesos en la que la acción bacteriana reduce los contaminantes presentes en el agua, también se utilizada para este propósito materiales altamente porosos y de gran capacidad de adsorción como el carbón activado y la antracita.

5.2.1. Diseño del Filtro

Como tratamiento secundario se escogió la filtración con carbón activado ya que este proceso es sencillo, de bajo costo de operación y elimina varios contaminantes del agua.

Los filtros diseñados permitirán la reducción de DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos, coliformes, gases, color, olor, fósforo, entre otros.

Se decidió elaborar un filtro de carbón activado el cual mejorará el porcentaje de depuración y con ello la calidad del agua de riego. A continuación se describe el proceso de diseño.

Para determinar la cantidad adecuada de carbón que se debe utilizar, se realizó un ensayo de lechos agitados durante una hora, con cuatro diferentes cantidades de carbón y 150ml de muestra. Las muestras luego del tratamiento se filtraron y analizaron obteniendo los siguientes resultados.

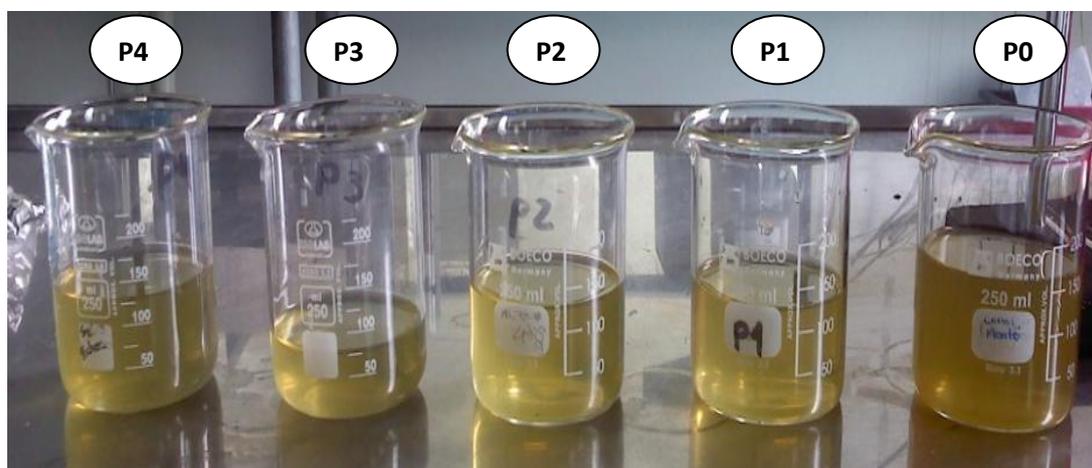


Figura 68. Variación de la turbidez después del proceso de filtración

Nota:

Po: Muestra inicial

P1 Muestra filtrada con 10g de carbón

P2: Muestra filtrada con 20g de carbón

P3: Muestra filtrada con 40g de carbón

P4: :Muestra filtrada con 50g de carbón

Tabla 17. Determinación de la cantidad de carbón activado para disminuir la turbidez del agua a 50 UNT

Masa (g)	Cf (NTU)	$X = (C_i - C_f) \cdot V$	X/M	Ln(X/M)	ln(Cf)
50	46,4	3,675	0,0735	-2,61	3,84
40	59,9	1,65	0,04125	-3,18	4,09
20	66,6	0,645	0,03225	-3,43	4,20
10	67,6	0,495	0,0495	-3,01	4,21

Ci=	70,9	NTU
Volumen	0,15	l

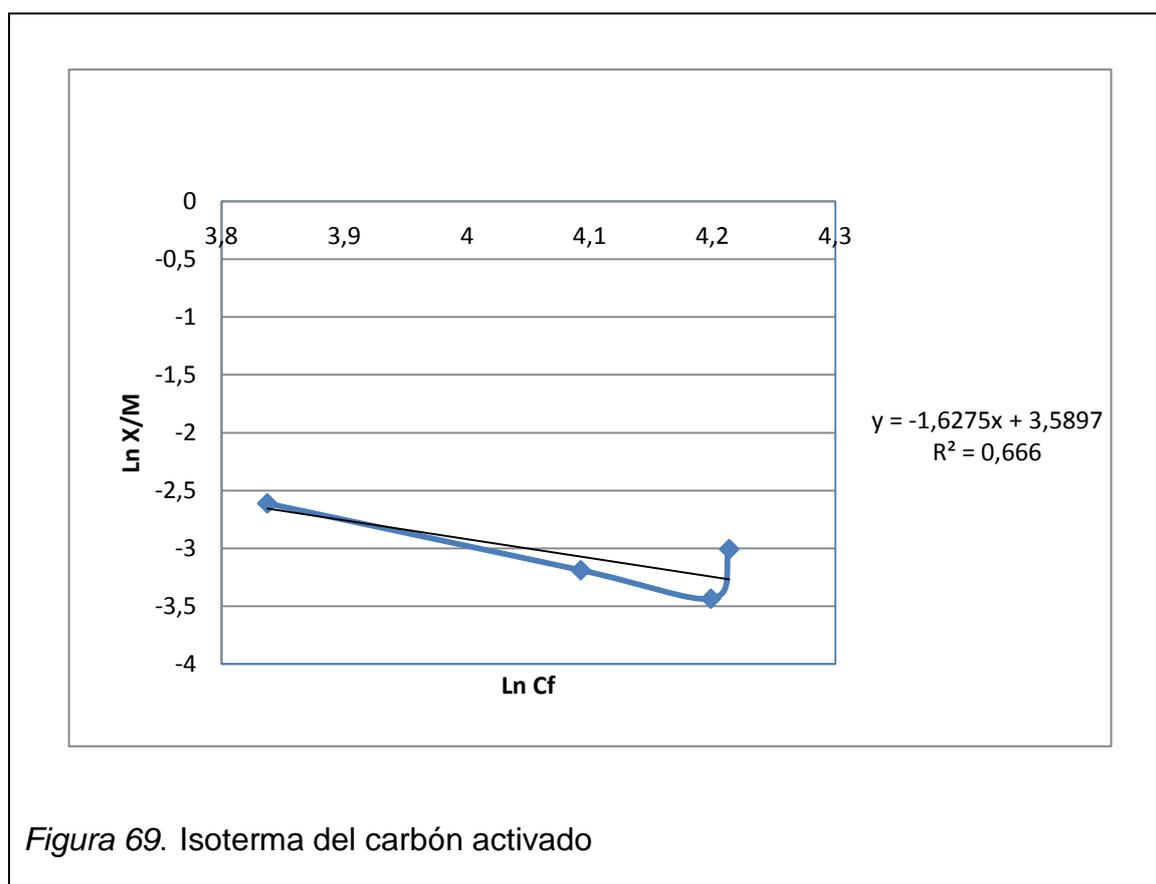


Figura 69. Isoterma del carbón activado

Del diagrama se puede observar que la recta corresponde a $\frac{1}{n}$, y que la ordenada al origen es la constante K.

Material	Ecuación	1/n	lnK	K
Carbón activado K700	$\ln(X/M) = -1,6275(\ln C_f) + 3,5897$	-1,6275	3,5897	36,223

Cálculo de la cantidad de turbidez que se debe retirar

$$\Delta C = C_i - C_f$$

$$\Delta C = 70,9 \text{ UNT} - 50 \text{ UNT}$$

ΔC

= 20,9 Unidades de turbiedad que hay que retirar por cada litro de afluente

Cálculo de la cantidad de unidades de turbiedad eliminados por gramo de carbón

$$\frac{X}{M} = K C_f^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

X: representa la diferencia entre la concentración de entrada y de salida en el volumen de muestra usado

M: cantidad de material usado

$$\frac{X}{M} = 36,223 \times 46,4^{-1,6275}$$

$$\frac{X}{M} = 0,07026 \frac{\text{Unidades de turbiedad}}{\text{gr. de carbón}}$$

Cálculo de la cantidad de unidades de turbidez que hay que retirar del efluente por día.

$$\frac{7074 \text{ litros}}{\text{día}} \times \frac{20,9 \text{ UNT}}{1 \text{ litro}} = 147,846.6 \frac{\text{UNT}}{\text{día}} \text{ que deben ser retirados}$$

Cálculo de la cantidad de material necesario para retirar 147,846.6 UNT/ día del afluente.

$$\frac{147846.6 \text{ UNT}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gr de carbon}}{0,07026 \text{ UNT}} = 2104,278.4 \text{ gr de carbón por día}$$

$$\approx 2104.28 \text{ Kg de carbón por día}$$

Este valor representa la cantidad de carbón necesario, si el agua reposara en un tanque durante un día, pero ya que el agua pasará por un filtro, la cantidad de carbón será aquel que permita dar tratamiento a 885 litros por hora y media generando un tiempo de tratamiento de 6 horas.

A continuación se determina la cantidad de carbón para un filtro con una carrera de filtración de una hora y media.

Cálculo de la cantidad de unidades de turbidez que hay que retirar del afluente por cada hora y media.

$$\frac{885 \text{ litros}}{\text{día}} \times \frac{20,9 \text{ UNT}}{1 \text{ litro}} = 18,142.5 \text{ UNT/día que deben ser retirados}$$

Cálculo de la cantidad de material necesario para retirar 73,923.3 UNT/ día del afluente

$$\frac{18,142.5 \text{ UNT}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gr de carbon}}{0,07026 \text{ UNT}} = 258,219.47 \text{ gr de carbón por hora y media}$$

$$\approx 258.22 \text{ Kg de carbón por hora y media}$$

Este valor representa la cantidad de carbón necesario para filtrar 885 litros cada hora y media, es decir, la filtración del volumen de caudal total tomará 6 horas.

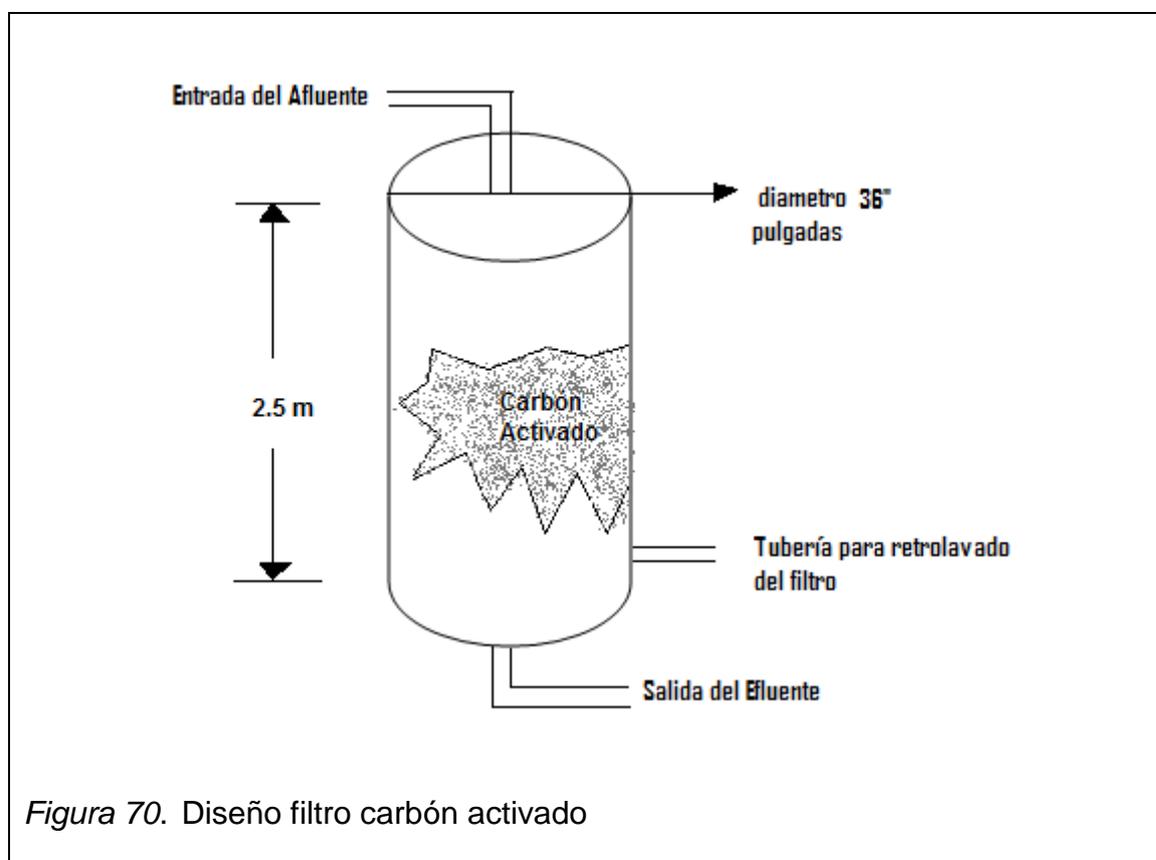
Calculo del costo del carbón

$$\frac{258.22 \text{ Kg de carbon}}{1} \times \frac{1.68 \text{ USD}}{1 \text{ kg de carbón}} = 433.81 \text{ USD}$$

El tamaño de grano del carbón utilizado es de 4x8 con un área superficial específica de $700\text{m}^2/\text{gr}$ y con un volumen de poro de $0.35 \text{ cm}^3/\text{g}$ el cual permite trabajar con afluentes de un pH de hasta 10.

Para evitar el taponamiento prematuro del filtro, se recomienda que se realice un retrolavado con agua limpia, por lo menos una vez al mes.

A continuación se establece el diseño del filtro para el cual se decidió una forma cilíndrica.



El tiempo de residencia de cada 885 litros de agua será de 90 minutos, es decir que los 3537 litros de caudal generados después de cada limpieza, se filtrarán en un total de seis horas.

Si el diseño del filtro en cilindros no es conveniente o no se adapta al lugar, este puede cambiarse por un filtro rectangular, cuadrado o circular; la elección de éste dependerá del constructor y del dueño o encargado del lugar en el cual se establecerá la planta de tratamiento y de la facilidad que requieran los operados para la limpieza del filtro.

Al final del filtro se encontrará un tanque de almacenamiento de 8 m³ de capacidad que permitirá almacenar el agua generada durante todo el día hasta que esta sea utilizada al día siguiente para el riego de los cultivos.

En conclusión, la planta de tratamiento está formada por: un sistema de cribado, un sedimentador, un filtro y tanque de almacenamiento.

6. COSTO – BENEFICIO

El costo de una obra es un aspecto fundamental para su diseño y construcción, entendiendo que el costo como la valoración económica o cantidad de dinero necesario para la ejecución del proyecto.

El costo total de proyecto será la suma de los gastos de mano de obra, materiales, equipos y herramientas. Este presupuesto nos permitirá ver la factibilidad del proyecto con respecto al beneficio que genera.

Para el cálculo aproximado de los costos, se utilizó los valores establecidos actualmente en el mercado, pero se debe tener en cuenta que estos varían de acuerdo a la oferta y la demanda del producto.

Los valores fueron calculados considerando los precios de la Cámara de la Construcción de Quito de Noviembre 2013, última actualización de los mismos.

Tabla 18. Presupuesto referencial del desarenador y rejilla del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO
			UNITARIO	TOTAL
<u>DESARENADOR Y REJILLA</u>				
Limpieza manual de terreno	m ³	2,00	1,63	3,25
Nivelación y replanteo	m ²	3,00	2,43	7,29
Desbanque manual	m ³	1,00	12,52	12,52
Desalojo de material con volqueta	m ³	5,00	5,68	28,41
Hormigón en muros f'c=210 kg/cm ² (Incluye encofrado)	m ³	1,00	269,89	269,89
Acero de refuerzo fy= 4200kg/cm ² d= 12 mm (Con alambre galvanizado No.18)	Kg	30,00	2,03	60,84

Tabla 18. Continuación

Bordillo para acera H.S. f'c =180 kg/cm ² H= 50cm, A= 15cm	m	10,00	29,38	293,80
Acera H.S. 180 kg/cm ² , e= 8 cm.	m ²	10,00	25,65	256,49
Instalación Tubería PVC roscable 2" y 4" incluye válvulas	Global		240	240
Rejilla (ángulo 1"x1"x3mm y varilla d=8mm)	Global		60	60
			Total	1232,49

Tabla 19. Presupuesto referencial del tanque sedimentador del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO
			UNITARIO	TOTAL
TANQUE SEDIMENTADOR				
Limpieza manual de terreno	m ³	7,00	1,63	11,38
Nivelación y replanteo	m ²	25,00	2,43	60,78
Desbanque manual	m ³	6,00	12,52	75,11
Desalojo de material con volqueta	m ³	15,00	5,68	85,22
Hormigón en muros f'c=210 kg/cm ² (Incluye encofrado)	m ³	2,50	269,89	674,73
Acero de refuerzo fy= 4200kg/cm ² d= 12 mm (Con	kg	340,00	2,03	689,52

alambre galvanizado. No. 18)				
Bordillo para acera H.S. f'c =180 kg/cm ² H= 50cm, A= 15cm	m	12,00	29,38	352,56
Acera H.S. 180 kg/cm ² , e= 8 cm.	m ²	12,00	25,65	307,79
Instalación Tubería PVC roscable 2" y 4" incluye válvulas	global		240,00	240,00
			Total	2497,08

Tabla 20. Presupuesto referencial del filtro de carbón activado del tratamiento primario agua residual área de ordeño granja UDLA Nono

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO
			UNITARIO	TOTAL
<u>FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO 1</u>				
Canalización tubería PVC 36"	m	2,5	146,01	365,03
Carbón activado	kg	350,71	1,68	589,19
			Total	954,22
<u>FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO 2</u>				
Limpieza manual de terreno	m ³	2,74	1,63	4,47
Nivelación y replanteo	m ²	25,00	2,43	60,78
Desbanque manual	m ³	2,74	12,52	34,31
Desalojo de material con volqueta	m ³	3,00	5,68	17,04
Hormigón en muros f'c=210 kg/cm ² (Incluye encofrado)	m ³	2,00	269,89	539,78
Carbón activado	kg	350,71	1,68	589,19
Bloques de drenaje	unidad	24,00	5,00	120,00
			Total	1365,47

Tabla 21. Presupuesto referencial del tanque de almacenamiento de agua tratada del área de ordeño granja UDLA Nono

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO
			UNITARIO	TOTAL
<u>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</u>				
Limpieza manual de terreno	m ³	7,00	1,63	11,38
Nivelación y replanteo	m ²	25,00	2,43	60,78
Desbanque manual	m ³	6,00	12,52	75,11
Desalojo de material con volqueta	m ³	8,00	5,68	45,44
Hormigón en muros f'c=210 kg/cm ² (Incluye encofrado)	m ³	2,00	269,89	539,78
Acero de refuerzo fy= 4200kg/cm ² d= 12 mm (Con alambre galvanizado. No. 18)	kg	340,00	2,03	689,52
Bordillo para acera H.S. f'c =180 kg/cm ² H= 50cm, A= 15cm	m	12,00	29,38	352,56
Acera H.S. 180 kg/cm ² , e= 8 cm.	m ²	12,00	25,65	307,79
Instalación Tubería PVC roscable 2" y 4" incluye válvulas	global		240,00	240,00
			Total	2322,35

El costo total de construcción de la planta de tratamiento tomado en cuenta la opción 1 del filtro de carbón activado es de \$7006.14 dólares y el precio con la opción 2 del filtro es de \$ 7417.39 dólares.

Si bien el desarrollo de este proyecto no genera ahorro alguno en el gasto de agua ya que el pago anual por el consumo de este recurso por concesión por año es de \$ 10,00, sí genera beneficios al centro experimental como el de evitar el cierre de las instalaciones por no cumplir con los límites permisibles establecidos en la ley al descargar sus agua, ahorro en fertilizantes ya que la cantidad de fósforo es el adecuado y el principal es el aporte al cuidado del

ambiente lo cual no solo beneficia al centro experimental sino también en general a la población de la parroquia de San Miguel de Nono.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El diseño escogido permite una manipulación fácil por parte del operador, es bajo en costos de operación y construcción ya que el área utilizada es pequeña, pero el proceso brinda una eficiencia adecuada que permite cumplir con los límites máximos establecidos.
- La implementación de la planta genera un ahorro en el consumo de agua ya que esta es reutilizada para el riego de los cultivos que se producen en la granja, generando una disminución de los costos por concepto de consumo de agua.
- La elección adecuada de los procesos, asegura una disminución considerable de los contaminantes presentes en el afluente.
- Para el diseño y dimensionamiento del sedimentador se tomó en cuenta la población futura de animales en la granja, cubriendo de esta manera el posible cambio de carga de sedimentos que se generará.
- El proceso de coagulación - floculación no es el proceso más apto para este sistema ya que la cantidad de sólidos sedimentables generados por este proceso no es representativo, y a que el costo de su implementación es alto. Esto se debe a que la turbidez del agua no es generada por sólidos suspendidos o coloides de menor tamaño, sino por sustancias diluidas.

- El uso de carbón activado permite la depuración de varios contaminantes del afluente a un bajo costo.
- La caracterización realizada al afluente previamente a la elección del tratamiento, permitió establecer los principales contaminantes teniendo así los siguientes resultados DBO₅ (300 mg/l), DQO (885 mg/l) y coliformes (6000) como los parámetros más importantes ya que estos no se encuentran bajo norma y puede perjudicar a los cultivos si no se les da un tratamiento previo.
- Actualmente no existen límites permisibles de DBO y DQO exclusivos para agua de riego en la legislación ecuatoriana, sin embargo estos no deben ser superiores a las cifras de miles (valor no especificado) ya que estos pueden afectar al cultivo por la deficiencia de oxígeno. No obstante a lo expuesto la Agencia de Protección Ambiental (EPA) no ha recomendado un límite para estos parámetros.
- Después de aplicar el tratamiento los valores obtenidos para los parámetros de DBO₅ DQO y coliformes fueron: 102 mg/l (66%), 275mg/l (68.93%) y 1700 (71.66%) respectivamente.
- Se determinó que la eficiencia de la planta es de 69%, valor que permitirá que el efluente obtenido pueda ser utilizado para el riego de cultivos de tallo largo y no para hortalizas ya que el nivel de coliformes no se encuentra bajo reglamento.
- El tratamiento del agua mejorará las condiciones del suelo adyacente al área de ordeño ya que este no recibe el agua generada de la limpieza del mismo, permitiendo que este pueda ser usado para cultivo aumentando el área disponible para esta actividad.

- El tiempo total de residencia de agua en la planta es de 8 horas, tiempo tras el cual el agua estará disponible para su uso y aprovechamiento.

7.2. Recomendaciones

- Realizar continuamente un análisis al proceso establecido para la limpieza del área de ordeño para asegurarse que las cantidades de sustancias químicas utilizadas para este propósito sean las mismas y no generen un cambio brusco en la carga contaminante del agua, disminuyendo así la eficiencia de la planta.
- Se debe realizar un estudio que permita verificar la factibilidad del uso de los sólidos sedimentables como abono.
- Se debe elaborar o generar proyectos de producción más limpia que permitan reducir la cantidad de agua utilizada durante el proceso, como por ejemplo el uso de hidrolavadoras que usan menos agua y permiten limpiar el área de mejor manera y reduciendo el tiempo.
- Se recomienda realizar cada seis meses análisis al efluente obtenido, para verificar que la dinámica no ha cambiado y que los parámetros están bajo reglamento y evitar problemas al no cumplir con los límites establecidos en la ley.
- Se debe realizar un análisis para determinar la capacidad de filtración del suelo.
- Realizar un estudio de factibilidad para el uso de microorganismo para el proceso de tratamiento.

REFERENCIAS

- Academic. (2010). Obtenido de http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/68/Desarenador_%28entrada%29.png
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (s.f). *EPA*. Obtenido de http://www.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html
- Aguilar, M. (2002). *Tratamiento Físico - Químico de Aguas Residuales*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Aquarent. (s.f). Obtenido de http://www.living-water.org/cloracion_o_desinfeccion_del_agua.htm
- Barbecho, V., y Bósquez, C. (Febrero de 2008). *Estudio de prefactibilidad del tratamiento de aguas residuales del colector norte, en la ciudad de Puyo*. Quito.
- Brújula. (s.f). *Centro de Estudios Locales de Andorra*. Obtenido de CELAN: <http://www.celandigital.com/25/index.php/brujula-afondo/medio-ambiente/edar>
- CAPAC. (2012). Obtenido de http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO2.pdf
- Coagulación- Floculación*. (s.f). Obtenido de http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf
- Conil, P. (2009). *LA tecnología anaerobia U.A.S.B.* . Bélgica.
- Crites, R., y Tchobanglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogota: Mc Graw Hill.
- Delgado, I. M. (2012). *Declaración Ambiental Granja UDLA- NONO*. Quito.
- Díaz, V., y Barreneche, R. (2005). *Acondicionamiento térmico de edificios*. Argentina.
- Digesa. (2007). *ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA* . Peru.
- Durkee, d. (2012). Demasiado fósforo en la tierra. *Agrotierra*, 13-15.

- Echeverría, E. (s.f). *Universidad de Chile*. Obtenido de http://www.doh.gob.cl/APR/documentos/Documents/Cloracion%20de%20Agua%20potable_EEO.pdf
- El Telégrafo. (16 de Diciembre de 2012). *El Telégrafo*. Obtenido de <http://www.telegrafo.com.ec/regionales/regional-sur/item/en-funcionamiento-una-planta-para-tratamiento-de-lodos.html>
- Fluidos eia. (s.f). Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamiento-residuales/tratamiento-residuales.html>
- García, I., y Dorronsoro, C. (2011). *Universidad de granate*. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/home.htm>
- García, I., y Dorronsoro, C. (10 de Septiembre de 2013). *Edafología*. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/efectos.htm>
- Gobierno de Chile . (2005). *CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O* . Chile.
- Hanna Instruments. (7 de Octubre de 2004). *Hanna Instruments*. Obtenido de <http://www.hannachile.com/noticias-articulos-y-consejos/articulos/item/199-etapas-tratamiento-aguas-servidas>
- INAMHI. (2010). *Anuario meteorológico 2010*. Quito- Ecuador.
- Infojardín. (2005). *Infojardín*. Obtenido de <http://fichas.infojardin.com/listas-plantas/plantas-suelo-salino.htm>
- Ingeniería de aguas residuales. (s.f). *Ingeniería de aguas residuales*. Obtenido de http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico#2.1_Coagulaci.C3.B3n.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2010). Obtenido de <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/AnalisisRSUenergia.pdf>
- ISA. (2011). *Ingeniería y Servicios Ambientales*. Obtenido de ISA: <http://isa.ec/site/tratamientos.html>
- Jaramillo, A. O. (s.f.). *Bioingeniería de Aguas Residuales*. Acodal.
- Macherey-Nagel. (s.f.). *Manual Macherey-Nagel*. Obtenido de <http://www.ictsl.net/analisisdeaguas/kitsparafotometros/reactivosnanocolor/index.html>
- Ministerio de México DF . (2000). *Reuso de aguas residuales en cultivos reglamento 0044*.

- MONTIEL. (24 de Agosto de 2010). *MONTIEL*. Obtenido de <http://montiel-buffetdebuffet.blogspot.com/2010/08/clasificacion-de-la-basura-y-trampas-de.html>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2008). *Norma Tecnica 213*. Quito - Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. FAO.
- Ortega, D. (Octubre de 2007). *Gkillcity*. Obtenido de <http://gkillcity.com/index.php/el-mirador/1063-acciones-para-enmendar-deuda-ambiental>
- Plantas Purificadoras de Agua. (2010). *Aquarent*. Obtenido de http://www.living-water.org/osmosis_inversa___desmineralizacion___desalacion___agua_d_estilada.htm
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s.f). *METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RIEGO*. Argentina: Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación .
- PUREPRO. (s.f). Obtenido de <http://www.purepro-ecuador.com/osmosis.htm>
- Purificación y Tratamiento de Agua. (03 de 01 de 2010). Obtenido de <http://agua-purificacion.blogspot.com/2010/01/tratamiento-de-agua-por-rayos.html>
- Quito, M. d. (2008). *Norma Tecnica 213*. Quito.
- Raices. (s.f). Obtenido de http://www.e-pol.com.ar/newsmatic/index.php?pub_id=223&sid=2502&aid=15608&eid=3&NombreSeccion=Portada&Accion=VerArticulo
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona- España: Reverté.
- Ramalho, R. S., Jimenez, D., & De Lora Soria, F. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Ramos, R., Sepúlveda, R., y Villalobos, F. (2003). *El agua en el medioambiente: muestreo y análisis*. California.
- Republica de CostaRica, . (1997). *Reglamento de reuso y vertido de agua residuales*.

- República del Ecuador (TULAS). (2008). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (Libro V, Anexo 1)*. Ecuador.
- Rojas, J. A. (2005). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rojas, J. R. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales por LAgunas*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rojas, J. R. (2004). *Purificación del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sáez, J., Aguilar, M., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales/ Coagulación-Floculación*. Murcia-España: Universidad de Murcia.
- Sempertigui, C. (2013). El Fósforo en el Suelo y Agua. *SMART, fertilización inteligente*.
- SEPAL. (s.f). Obtenido de http://www.sepal.gob.mx/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=137&id=1397&Itemid=705
- Soto, O. M. (s.f.). *Fluidos*. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>
- Textos Científicos. (09 de 01 de 2007). Obtenido de <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>
- Torres, P. (2012). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. *Revista EIA*.
- Universidad de las Américas de Puebla. (s.f). Obtenido de http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf
- Universidad de las Américas Puebla. (2010). *Proceso de depuración de aguas residuales*. Puebla, México.
- Universidad de Puerto Rico de Mayagüez. (2011). *UPRM*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-azufre.pdf>
- Villacís, B. (s.f.). *INEC*. Obtenido de http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=326%3AEl-80-de-las-empresas-en-ecuador-no-invierten-en-proteccion-ambiental&catid=56%3Adestacados&Itemid=3&lang=es

Water Treatment Solutions. (2012). *LENNTECH*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>

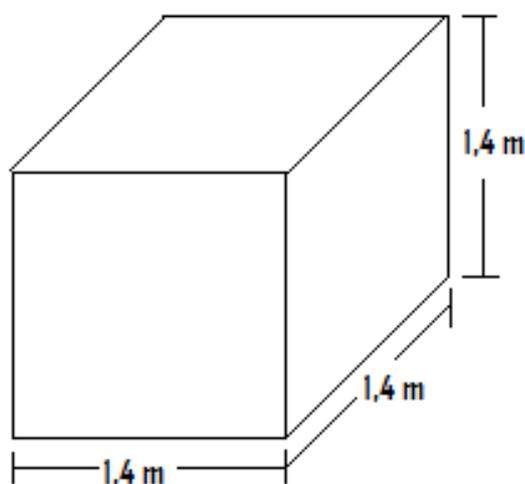
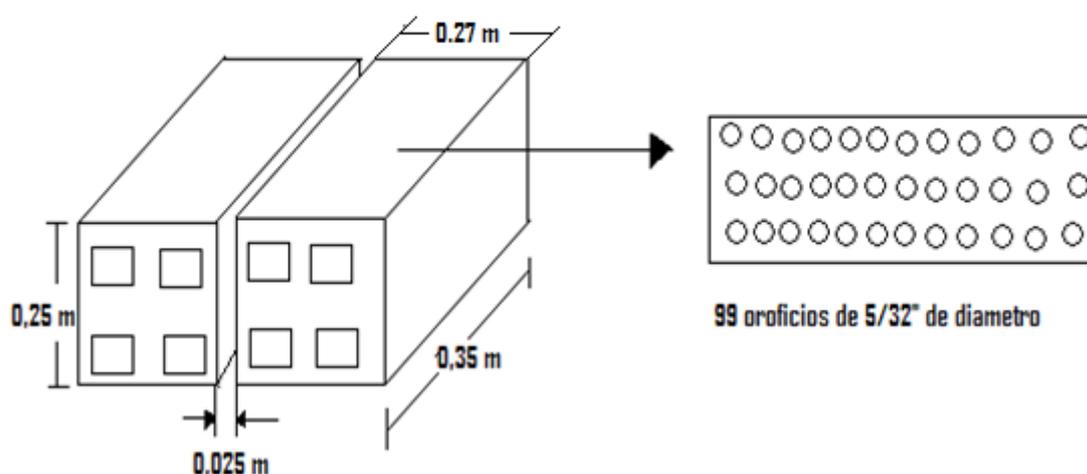
Wild, A. (1990). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas segun russell*. Madrid, España.

ANEXOS

Diseño filtro 2

En el desarrollo de este proyecto se generaron dos modelos de filtros la elección del mismo dependerá de la factibilidad de construcción, del espacio, así como, del constructor y del encargado del la granja. Ambos diseños permiten dar el mismo tratamiento al afluyente y generan los mismos resultados.

Diseño de los bloques de drenaje y del tanque (filtro 2 alternativo)



Dimensiones del Tanque

A continuación se describen los criterios de calidad para agua de uso agrícola establecidos en el TULAS, Libro6, Anexo 1, Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 1.- Criterios de calidad admisibles para agua de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Tabla 2.- Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1): CE (2) SDT (3)	Milimhos/cm mg/l	0,7 450	0,7 450	3,0 2000	>3,0 >2000
Infiltración (4): RAS = 0 – 3 y CE RAS = 3 – 6 y CE RAS = 6 – 12 y CE RAS = 12 – 20 y CE RAS = 20 – 40 y CE		0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,2 0,3 0,5 1,3 2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 <1,3 <2,9
Toxicidad por ión específico (5): - Sodio: Irigación superficial RAS (6) Aspersión - Cloruros Irigación superficial Aspersión - Boro	 meq/l meq/l meq/l mg/l	 3,0 4,0 3,0 0,7	 3,0 4,0 3,0 0,7	 9 10,0 3,0	 > 9,0 >10,0 > 3,0
Efectos misceláneos (7): - Nitrógeno (N-NO ₃) - Bicarbonato (HCO ₃)	mg/l meq/l	5,0 1,5	5,0 1,5	30,0 8,5	>30,0 > 8,5
pH	Rango normal	6,5 –8,4			

Hoja técnica del carbón activado

Los carbones ECO K pueden producirse con cualquier tamaño de grano previamente especificado. La gama de carbón ECO K más utilizados son: 4x8 malla (2.4 - 4.7); 8x20 malla (0.8 - 2.4)

ESPECIFICACIONES

Materia Prima: Cuesco de coco de palma africana

Método de activación: Vapor de agua, alta temperatura

Granulometría: 4x8 malla, 8x20 malla, 6x12 malla, polvo (inferior a 200 mallas)

TIPO	ECO K 500	ECO K 700	ECO K 900	ECO K 1000
Densidad aparente kg/l	0.50	0.48	0.45	0.45
Área superficial específica (m ² /g)	450	650	880	1100
# Yodo (mgI ² /g CA)	500	700	900	1000
Volumen de poro (cm ³ /g)	0.35	0.35	0.40	0.40
pH del agua	9 – 10	9 - 10	9 – 10	9 - 10
Ceniza (%) máximo	12. 0	12. 0	12. 0	12. 0
Humedad del empaque (%)	8.0	8.0	8.0	8.0
Resistencia a la abrasión (%)	98 -99	98 -99	95 -97	95 -97

Origen del agua	Contaminantes
Carbón activado para tratamiento de agua (Purificación) Recomendado: ECO K 500, 700, 900	Cloro activado, ozono, olores y sabores, trihalometanos THN, cloroformo, traza de metales pesado: As, Pb, Zn, Ni, Cd, Ag, pesticidas e insecticidas, sólidos suspendidos
Carbón activado para tratamiento de agua (Purificación de aguas de proceso) Recomendado: ECO K 500, 700, 900	Fenoles, Fe, Mn, As, cianuros complejos, hidrocarburos, pesticidas, benceno, solventes alcoholes
Carbón activado para tratamiento de agua (Purificación de aguas residuales) Recomendado: ECO K 700, 900, 1000	Fenoles, aceites, hidrocarburos, cianuros complejos, dioxinas, furanos, metales pesados: As, Pb, Zn, Cd, Ni, Ag, colorantes textiles, pesticidas, solventes

ESPECIFICACIONES CARBÓN ACTIVADO ECO K 700

Tamaño de partícula	4x8
Densidad aparente (ASTM 2854)	0.45 – 0.50
Área superficial específica	700
Número de Yodo (JIS)	700
Ceniza (ASTM 2866)	Max. 12
Dureza (ASTM 3802)	90 – 96
Volumen del poro	0.30 – 0.40
Humedad al empaque (ADTM 2867 weight %)	Max 6

A continuación se describen los resultados de los parámetros obtenidos de la caracterización del afluente, a su vez se verifica si estos cumplen o no con los límites establecidos en la Norma Técnica 213 de la Ordenanza Municipal 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

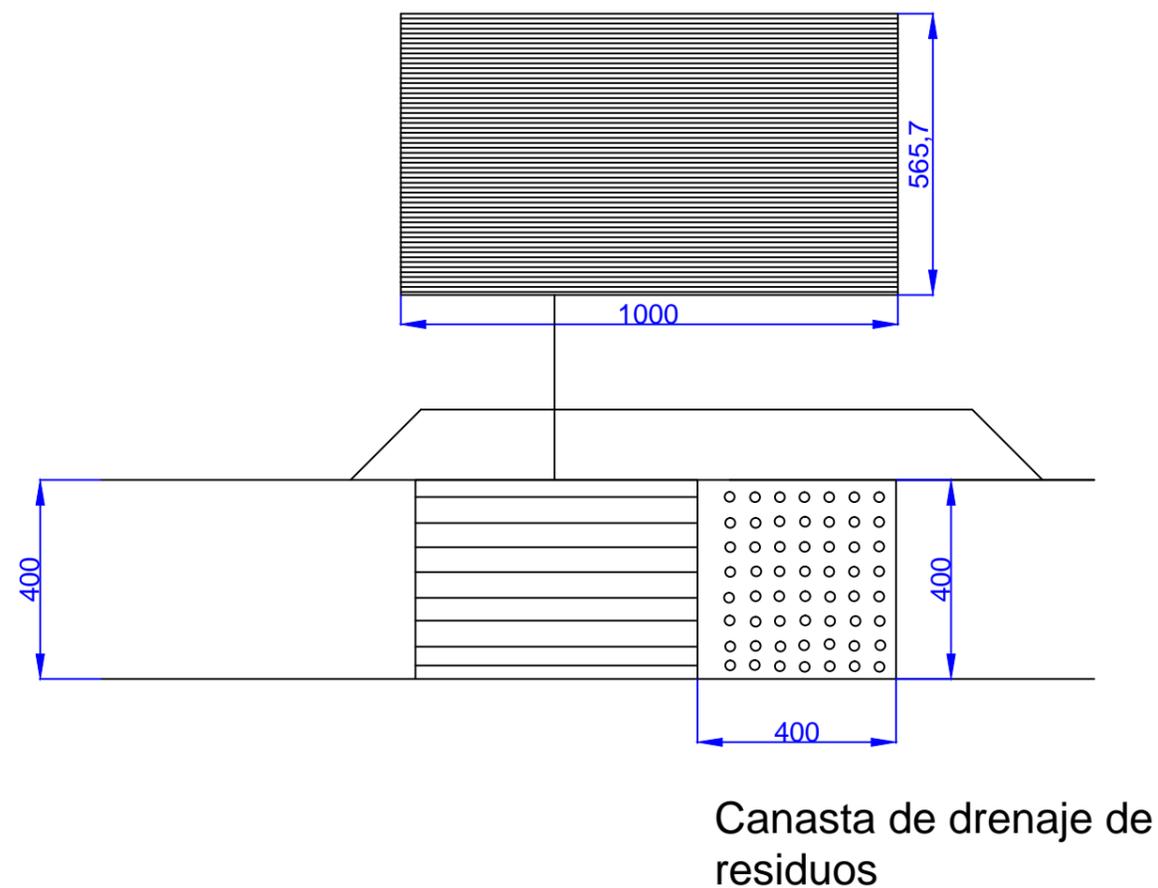
Descripción de los resultados de los análisis de laboratorio

Parámetro	Valor Obtenido	Límite Permisible Norma Técnica 213	
pH	6,8	6-9	Cumple
DQO	885 mg/l	123 mg/l	No Cumple
DBO₅	300 mg/l	70 mg/l	No Cumple
Temperatura	22°C	Condición Natural +/- 3 grados	Cumple
Grasas y Aceites	0,035070 mg/l	0,3 mg/l	Cumple
Sulfatos	40 mg/l	1000 mg/l	Cumple
Fósforo	7,8 mg/l	10 mg/l	Cumple
Tensoactivos	0,328 mg/l	0,5 mg/l	Cumple
Coliformes	6000	nmp/100 ml(1000)	No Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	640 mg/l	53mg/l	No Cumple
Sólidos Sedimentables (Material Flotante)	12 ml/L	1,0 mg/L	No cumple

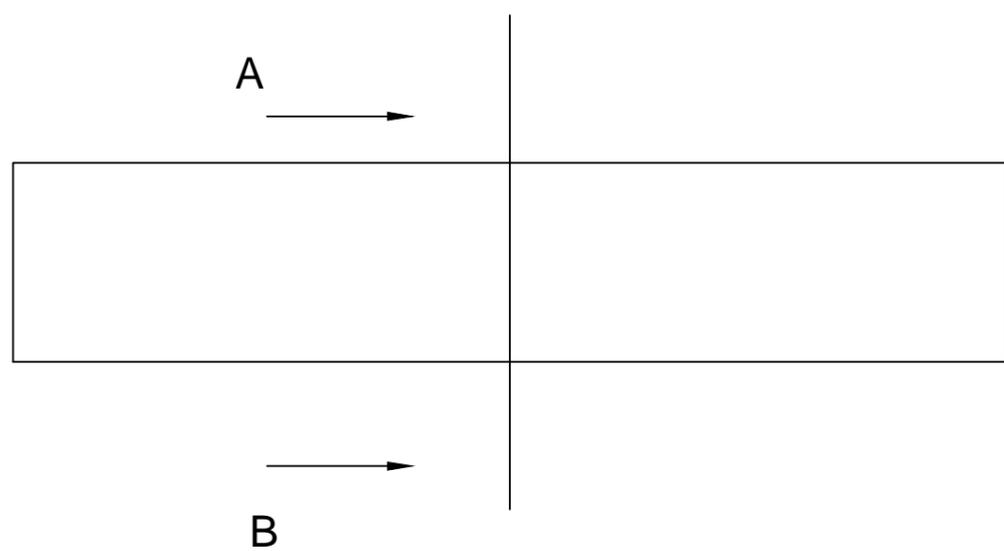
De la tabla anterior se puede determinar la eficiencia requerida por la planta para que permita cumplir con los límites establecidos en la Norma Técnica 213. La cual debe ser del 86%.

Descripción de los resultados de los análisis de laboratorio después de aplicado el tratamiento

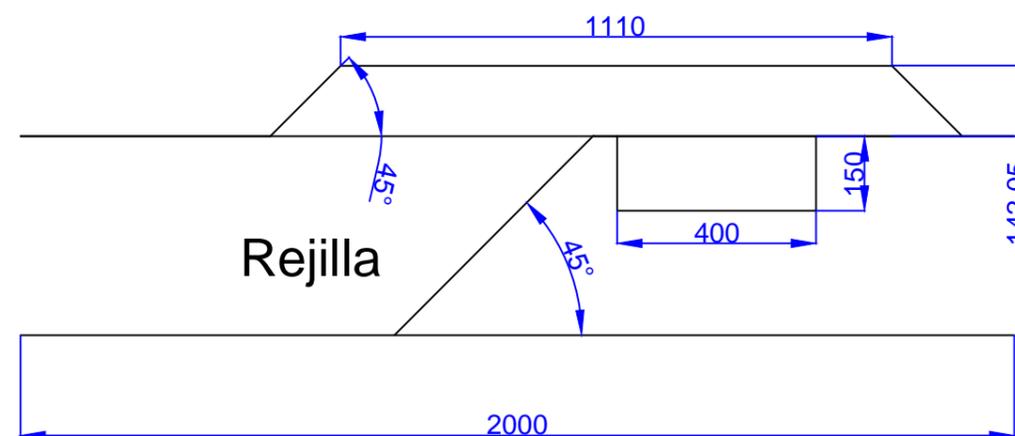
Parámetro	Valor Obtenido	Límite Permisible Norma Técnica 213	
pH	6,5	6-9	Cumple
DQO	275 mg/l	123 mg/l	No Cumple
DBO₅	102 mg/l	70 mg/l	No Cumple
Temperatura	22°C	Condición Natural +/- 3 grados	Cumple
Grasas y Aceites	0,029768 mg/l	0,3 mg/l	Cumple
Sulfatos	10 mg/l	1000 mg/l	Cumple
Fosforo	3,2 mg/l	10 mg/l	Cumple
Tensoactivos	0, 233 mg/l	0,5 mg/l	Cumple
Coliformes	1700	nmp/100 ml(1000)	No Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	47 mg/l	53mg/l	Cumple
Sólidos Sedimentables (Material Flotante)	0,2 ml/L	1,0 mg/L	Cumple



PLANTA

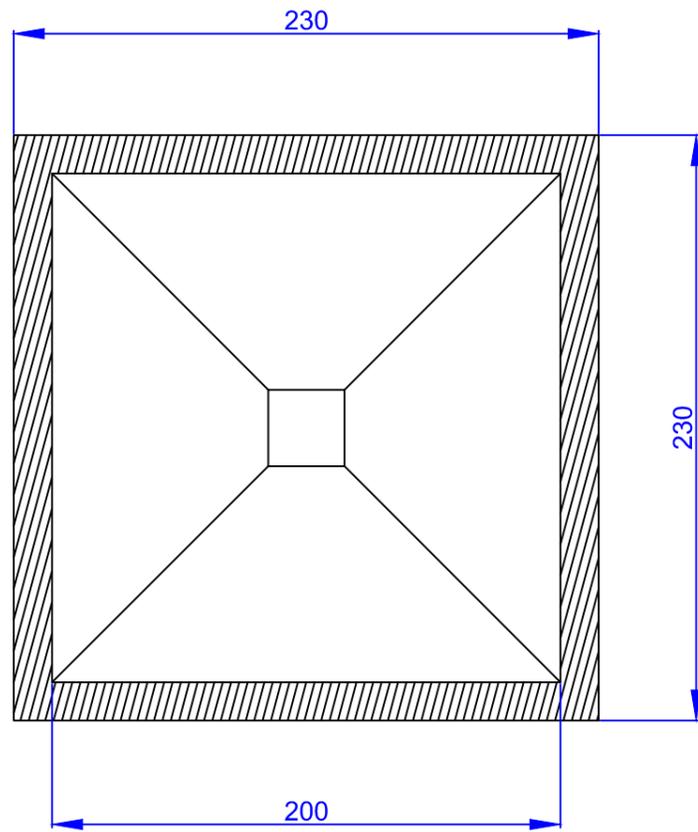


CORTE

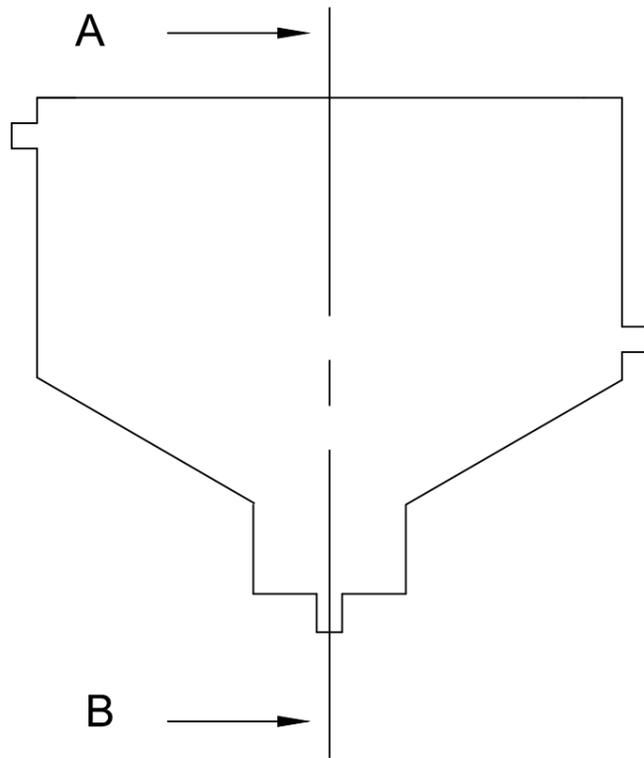


DETALLE
CRIBA/DESARENADOR

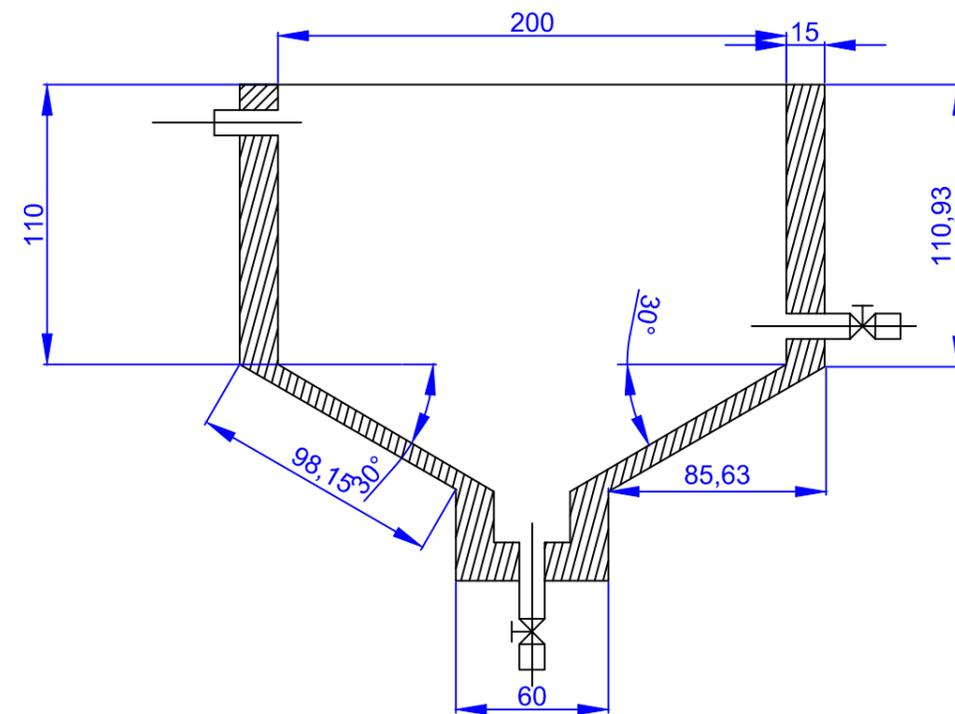
	Universidad de las Américas	Nombre	Odyll Chávez
Escala: 1:20	<h1>CRIBA</h1>	Fecha	2014 - 01 - 04
Unidades mm		Material de Construcción	Hormigón Armado



PLANTA

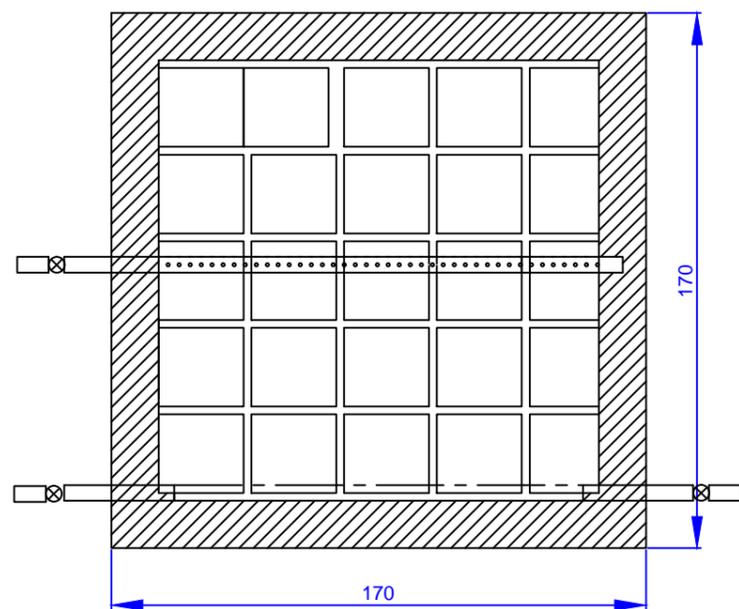


CORTE

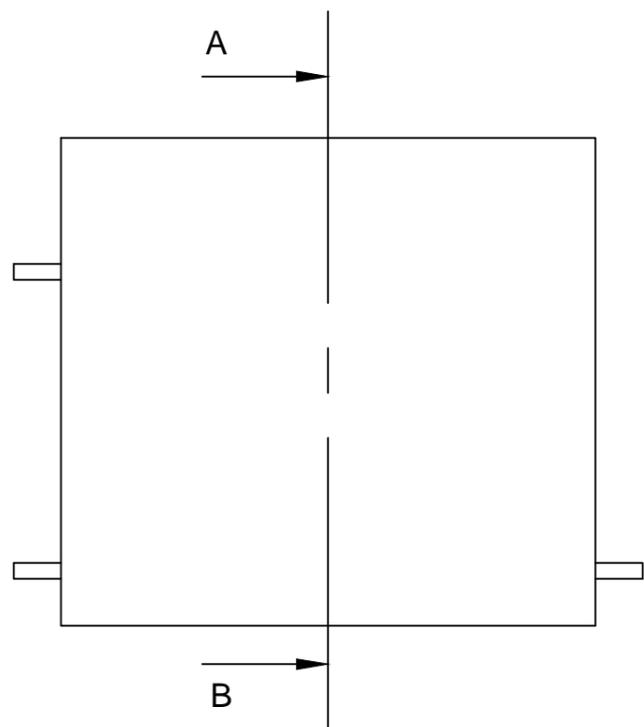


DETALLE SEDIMENTADOR

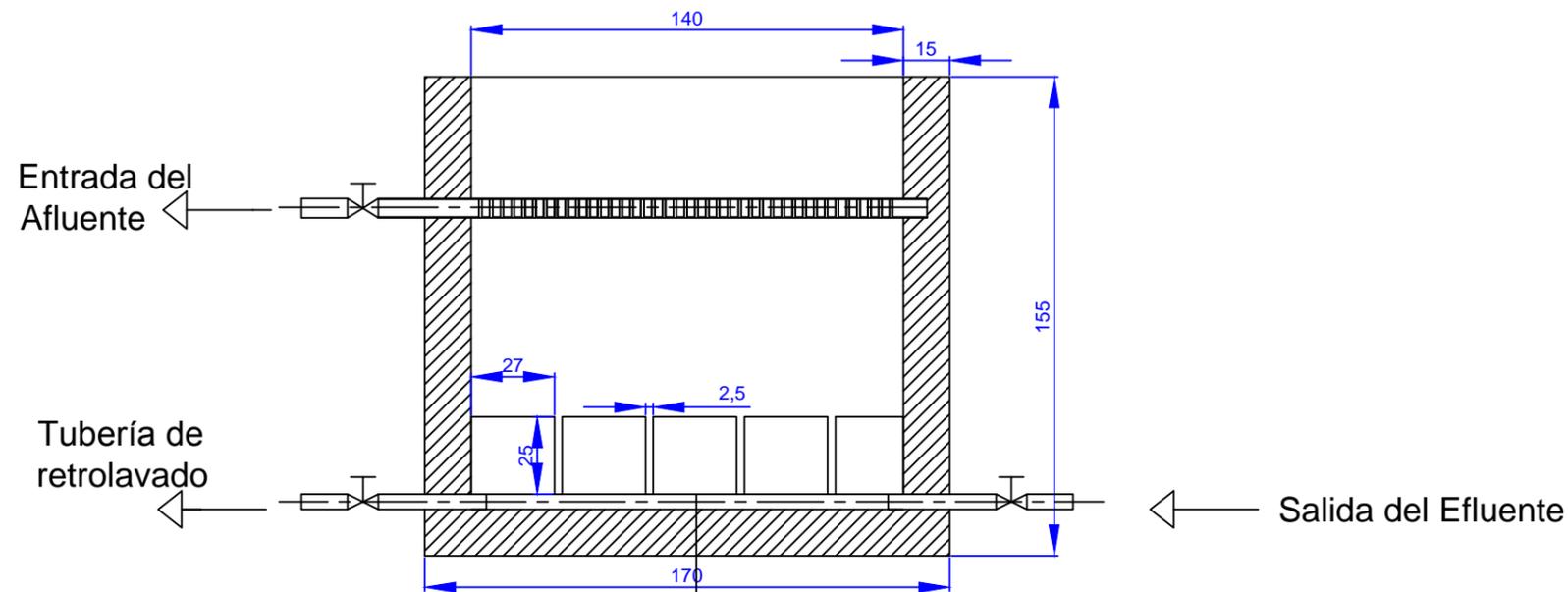
	Universidad de las Américas	Nombre	Odyl Chávez
Escala: 1:20	Sedimentador Primario	Fecha	2014 - 01 -04
Unidades cm		Material de Construcción	Hormigón Armado



PLANTA



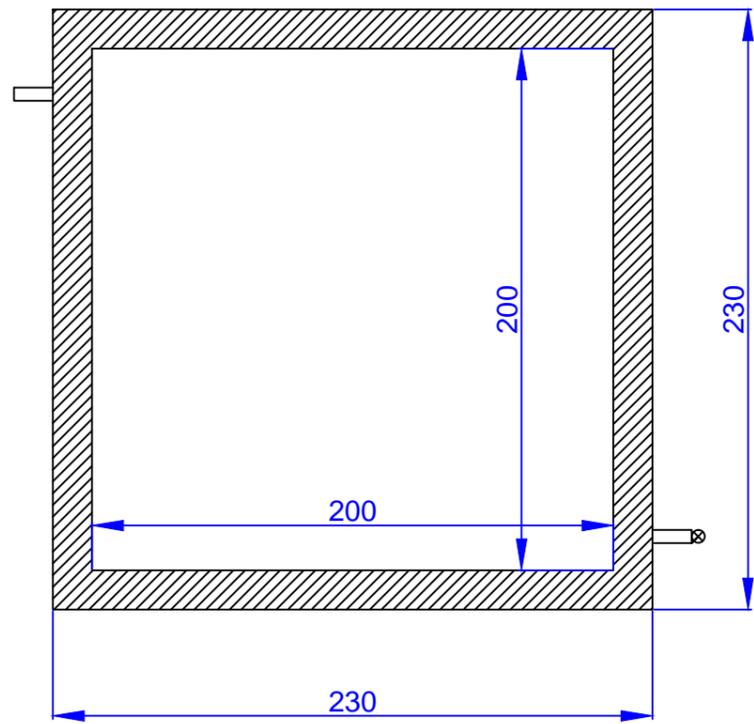
CORTE



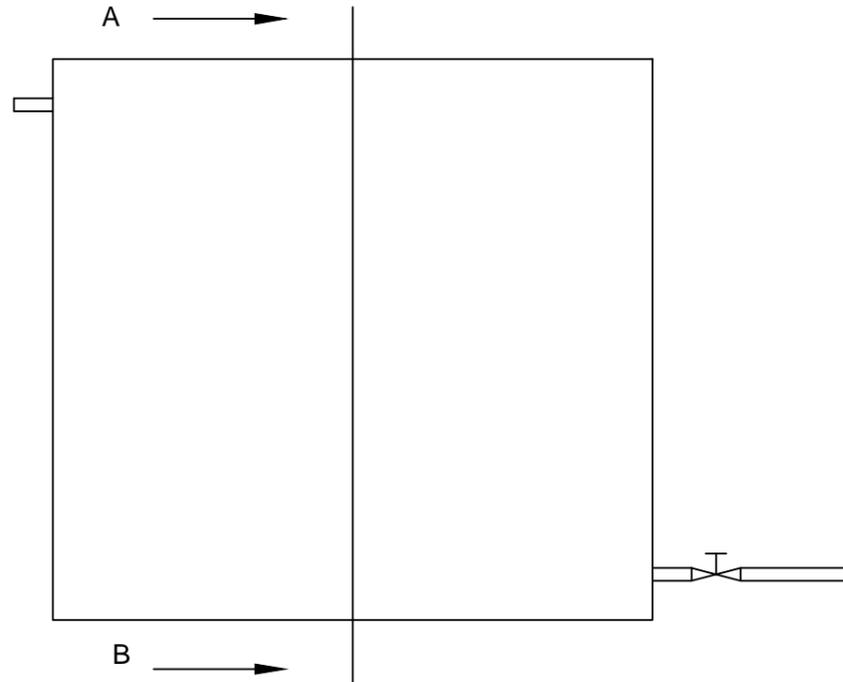
Bloques de drenaje

DETALLE
FILTRO

 Escala: 1: 20 Unidades cm	Universidad de las Américas	Nombre	OdyI Chávez
	<h1>Filtro 2</h1>	Fecha	2014 -01 - 04
		Material de Construcción	Hormigón Armado

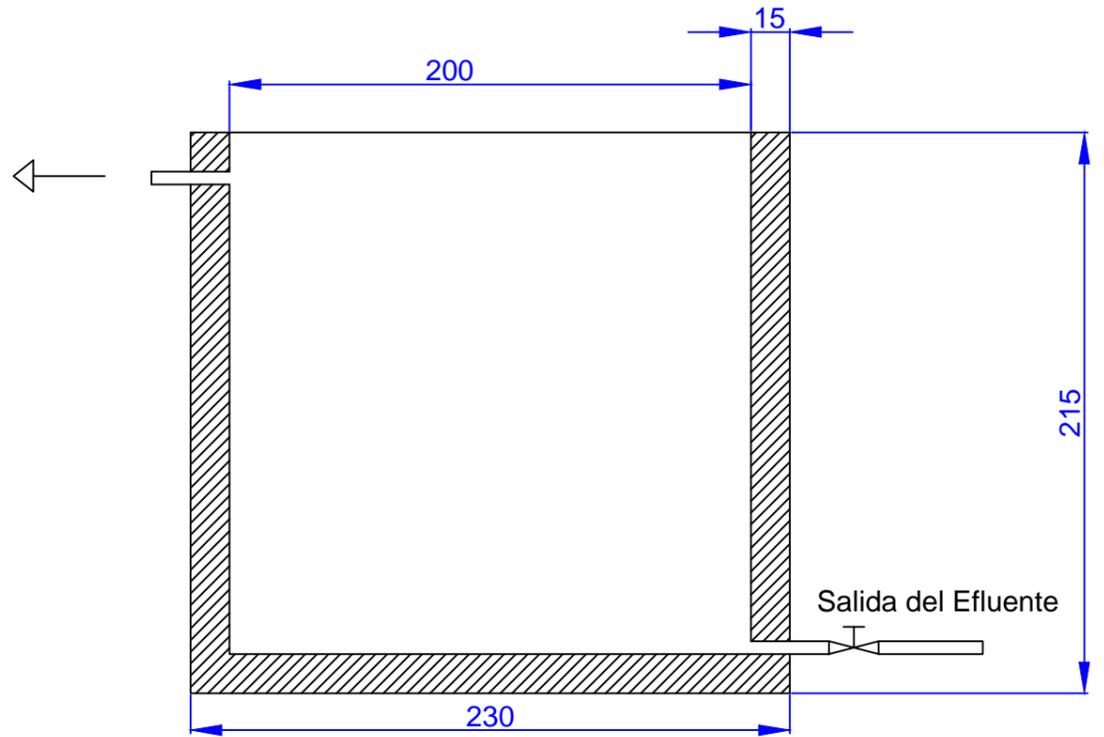


PLANTA



CORTE

Entrada del Afluente



DETALLE TANQUE

	Universidad de las Américas	Nombre	Odyl Chávez
Escala: 1:20	<h1>Tanque de Almacenamiento</h1>	Fecha	2014 - 01 - 04
Unidades cm		Material de Construcción	Hormigón Armado