

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO E INGENIERA AMBIENTAL**

TEMA:

**DETERMINACIÓN DE TRATAMIENTOS PRIMARIOS PARA LA
DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

AUTORES:

ALEX MANUEL PALADINES QUICHIMBO

ANDREA JAZMÍN SALAZAR CÁRDENAS

TUTORA:

XIMENA DEL ROCÍO BORJA VELA

Quito, junio del 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Alex Manuel Paladines Quichimbo y Andrea Jazmín Salazar Cárdenas con documento de identificación N° 1720981131; 1721470084 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación intitulado: DETERMINACIÓN DE TRATAMIENTOS PRIMARIOS PARA LA DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e ingeniera ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Alex Paladines

Cédula: 1720981131

Fecha: junio del 2016



Nombre: Andrea Salazar

Cédula: 1721470084

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTORA

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de investigación, DETERMINACIÓN DE TRATAMIENTOS PRIMARIOS PARA LA DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, realizado por Alex Manuel Paladines Quichimbo y Andrea Jazmín Salazar Cárdenas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio del 2016



Ximena del Rocío Borja Vela

CI: 1711223584

Índice

Índice.....	4
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	7
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
1. Introducción.....	1
Problema.....	1
Delimitación.....	4
Explicación del problema.....	4
Objetivos.....	5
○ General.....	5
○ Específicos.....	5
Fundamentación teórica.....	5
Agua residual.....	5
Agua residual doméstica.....	8
Agua residual de escorrentía.....	9
Caracterización del agua residual de estudio.....	9
Factores para la selección de los procesos y operaciones unitarias.....	11
Parámetros de diseño para unidades de tratamiento de aguas residuales...	12
Caudal.....	12
Caudal del afluente.....	13

Carga másica.....	13
Carga másica del afluente.....	14
Variaciones en las concentraciones de constituyentes en el sistema de alcantarillado.....	14
Tratamientos de afluentes.....	15
Tratamiento primario.....	15
2. Materiales y métodos	19
Población y muestra	19
Metodología de Diseño	20
Metodología en laboratorio.....	20
Metodología para el dimensionamiento.....	21
3. Resultados y discusión	33
Presentación de datos	33
Primer modelo.....	33
Segundo modelo.....	37
Análisis de datos.....	40
Discusión.....	43
4. Conclusiones	46
5. Recomendaciones.....	47
6. Referencias.....	48

Índice de tablas

Tabla 1. Límites máximos permisibles de descarga del agua residual	6
Tabla 2. Composición típica del Agua Residual Domestica.....	8
Tabla 3. Parámetros para la determinación de la calidad del agua residual doméstica.	10
Tabla 4. Factores de evaluación y selección de operaciones y procesos unitarios	11
Tabla 5. Caudales de diseño.....	12
Tabla 6. Promedios diarios y promedio semanal del caudal m^3/s	13
Tabla 7. Concentración de la carga másica de contaminante.....	14
Tabla 8. Operaciones físicas para el tratamiento de aguas residuales.....	18
Tabla 9. Operaciones químicas para el tratamiento de aguas residuales	18
Tabla 10 Criterios de diseño rejas finas	22
Tabla 11. Parámetros de diseño rejas finas	23
Tabla 12. Parámetros de diseño rejas gruesas	25
Tabla 13 Características de un desarenador aireado	27
Tabla 14. Datos de diseño segundo modelo.....	31
Tabla 15. Dimensiones de rejas finas.....	34
Tabla 16. Dimensiones de rejas gruesas	34
Tabla 17. Escalas del modelo del desarenador aireado de flujo helicoidal.....	36
Tabla 18. Escalas del modelo del desarenador.....	38
Tabla 19. Escalas del modelo de la trampa de grasa	39
Tabla 20. Comparación de datos de los modelos propuestos.....	40

Índice de figuras

Figura 1. Se detalla la evolución del caudal durante una semana en el lugar de muestreo	13
Figura 2. Mapa tomado de Google Earth y sitio específico de la toma de muestra... 19	
Figura 3. Muestra de ARD en Conos Imhoff después de 24 horas..... 20	
Figura 4. Turbidímetro Lovibond, Valor de turbidez estimado de la caracterización del ARD. 21	
Figura 5. Diagrama de flujo del primer modelo..... 33	
Figura 6. Descripción del diseño del desarenador aireado de flujo helicoidal..... 35	
Figura 7. Diagrama de flujo del segundo modelo 37	
Figura 8. Se mencionan los porcentajes de remoción del modelo uno y modelo dos, con la concentración uno..... 41	
Figura 9. Se mencionan los porcentajes de remoción del modelo uno y modelo dos, con la concentración dos. 41	
Figura 10. Se mencionan los porcentajes de remoción del modelo uno y modelo dos, con la concentración dos. 42	

Índice de anexos

Anexo 1. Mapa del sitio de muestreo.....	51
Anexo 2. Dimensiones del primer modelo propuesto, vista planta y vista frontal	52
Anexo 3. Dimensiones del segundo modelo propuesto, vista planta y vista lateral ..	53
Anexo 4. Dimensiones del modelo de trampa de grasa, vista planta y vista lateral ..	54
Anexo 5. Comparación entre modelos y concentración uno.....	54
Anexo 6. Comparación entre modelos y concentración dos	55
Anexo 7. Comparación entre modelos y concentración dos	55
Anexo 8. Porcentaje de remoción	55
Anexo 9. Porcentaje de remoción	55
Anexo 10. Porcentaje de remoción	56
Anexo 11. Datos de turbidez para ADEVA	56
Anexo 12. Análisis de varianza - turbidez	57
Anexo 13. Datos de sólidos totales para ADEVA	57
Anexo 14. Análisis de varianza – sólidos totales.....	57
Anexo 15. Datos de aceites y grasas para ADEVA	58
Anexo 16. Análisis de varianza – aceites y grasas.....	58

Términos

A/G	Aceites y grasas
<i>a1</i>	Área del triángulo 1
<i>a2</i>	Área del triángulo 2
<i>Ac</i>	Área del cuadrado
Amáx	Área máxima
Amed	Área media
Amin	Área mínima
AR	Agua residual
ARD	Agua residual domestica
As	Área superficial
AT	Área total
AT1	Área total 1
AT2	Área total 2
COT	Carbono orgánico total
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
DQO	Demanda química de oxígeno
EPMAPS	Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento
L	Litros y longitud (desarenador aireado)
M1	Modelo uno
M1C1	Modelo uno concentración de oxígeno uno
M1C2	Modelo uno concentración de oxígeno dos
M1C3	Modelo uno concentración de oxígeno tres
M2	Modelo dos
M2C1	Modelo dos concentración de oxígeno uno
M2C2	Modelo dos concentración de oxígeno dos
M2C3	Modelo dos concentración de oxígeno tres
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
<i>Qmáxf</i>	Caudal máximo final
<i>Qmed</i>	Caudal medio
<i>Qmedf</i>	Caudal medio final
<i>Qpta</i>	Caudal punta
Tr	Tiempo de retención
<i>V_t</i>	Volumen de tolva (desarenador horizontal de flujo continuo)
<i>Vcanal_{rec}</i>	Volumen de canal de recogida
<i>Vol.Desarenador</i>	Volumen del desarenador
<i>Vol_{arena}</i>	Volumen de arena
<i>Vol_{Desarenador_{Total}}</i>	Volumen total del desarenador aireado

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales se ha venido estudiando desde hace mucho tiempo, por lo tanto, es común ver que se aplique las mismas operaciones y procesos unitarios adaptados a las condiciones de diferentes sitios. Para el presente estudio se pretendió determinar las unidades de tratamiento primario más adecuadas, para la depuración de aguas residuales domésticas, basándose en la calidad del agua residual del sector de Guapulo de Quito D.M. Con la finalidad de indagar que unidades son convenientes aplicar en el proceso previo al ingreso de un reactor de lodos activados se analizó la calidad del ARD, se diseñó y se construyó las unidades más apropiadas para depurar el agua de estudio, y una vez determinadas se planteó dos modelos de tratamiento primario con el fin de obtener cuál de ellos es el más efectivo.

El modelo seleccionado se resume en: cribado, tanque de homogenización, desarenador aireado de flujo helicoidal con una concentración de oxígeno baja (M1C1); el cual fue operado en las instalaciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad Politécnica Salesiana. Los parámetros turbidez, sólidos totales, aceites y grasas; tenían valores de 122,85 NTU; 581,75 mg/L; 987,2 mg/ respectivamente, antes de ingresar al modelo y luego del tratamiento, se obtuvo valores de 75,3 NTU para turbidez; 62,2 mg/L en sólidos totales y 81,1 mg/L en A/G; por ende, los porcentajes de remoción son los siguientes: para turbidez tenemos 75,3%, sólidos totales 62,2% y A/G 81,1%.

ABSTRACT

The wastewater treatment has been studied for a long time; therefore, it is common to apply the same operations and unit processes adapted to the conditions of different sites. For the present study was intended to determine the most appropriate primary treatment units for the purification of domestic wastewater, based on the quality of wastewater from Quito Guapulo sector. In order to ascertain which units are suitable for application prior to a reactor-activated sludge it was necessary to analyze the quality of domestic wastewater, also it has been designed and built the most appropriate purification units based on the wastewater sample. Once the primary treatment was determined, it was posed two models in order to obtain which of them is the most effective.

The selected system is summarized in screening, homogenization tank, helical flow aerated sand trap with a low oxygen concentration (M1C1); which it was operated in the hydraulic laboratory facilities of Universidad Politécnica Salesiana. The turbidity parameters, total solids, oil and greases; values were 122,85 NTU; 581,75 mg / L; 987,2 mg / respectively, before entering the model and after passing through the select model the values obtained were turbidity 75,3 NTU; 62,2 mg / L total solids and 81,1 mg / L in oil and greases; therefore, removal percentages are: 75,3% for turbidity, 62,2% total solids and oil and greases 81,1%.

1. Introducción

Problema

Actualmente, la población del mundo crece a razón de 200 mil personas por día (Grupo del Banco Mundial, 2002), lo que incide en la sostenibilidad ambiental del planeta, pues afecta tanto el consumo de recursos naturales como la generación de contaminantes, desechos y aguas residuales; lo que ha llevado a la sociedad a la búsqueda incesante de nuevas tecnologías dirigidas a mitigar el impacto producido.

Uno de estos impactos es la generación de agua residual. Batista (2013), afirma que un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Inclusive, a nivel mundial el 10% de sistemas de riego agrícolas han utilizado estas aguas afectando no solo al ambiente sino también a la salud pública (Scott, Faruqui, & Raschid-Sally, 2004, p. 240). Es importante mencionar, que el aguas residual domestica puede ser reutilizada después de un adecuado proceso de depuración, que consiste en dar un tratamiento preliminar, primario y un tratamiento secundario, que además de remover de manera eficiente la materia orgánica y sólidos suspendidos, también afecta la estructura de algunos compuestos, por lo que es necesario tomar en cuenta los requerimientos de los cultivos y el tipo de suelo donde se empleará (Silva, Torres, & Madera, 2008), pues el grado de tratamiento dependerá del uso que se pretenda dar al agua.

El tratamiento de aguas residuales es uno de los medios para conservar el recurso agua. Este es un proceso que tiene como objetivo la depuración del agua mediante la remoción de contaminantes que se encuentran en el agua, con el fin de reutilizarla en otros procesos o actividades humanas. El proceso de depuración de agua residual implica el conocimiento de varias operaciones y procesos unitarios

necesarios en las plantas de tratamiento dependiendo de la calidad del agua que se va a tratar y el uso que se le va a dar.

El problema de la presente investigación es desarrollar las unidades más adecuadas para el tratamiento primario que son requeridas en un sistema de depuración de lodos activados basándose en la calidad del agua residual doméstica de Quito D.M.

Por lo tanto, la propuesta en marcha pretenderá beneficiar el desarrollo sostenible a nivel ambiental enfrentando importantes desafíos en el manejo de los recursos hídricos, económico valorizando el daño ambiental (Hernández, Molinos, & Sala, 2007) y social incluyendo a la comunidad a participar en las buenas prácticas ambientales. El Distrito Metropolitano de Quito, a través de la Secretaria de Ambiente desarrolla el Programa para la Descontaminación de los Ríos de Quito. En complemento a las acciones de conservación y preparación frente al cambio climático de las cuencas y sistemas de abastecimiento, el mencionado programa ha iniciado acciones para eliminar la contaminación de los ríos en Quito. Sus principales acciones consisten en la construcción de tubería de intercepción de aguas contaminadas para que no desemboquen en los cuerpos hídricos y de emisarios para llevar las aguas residuales a plantas de tratamiento las mismas que funcionaran mediante un sistema de fangos activados. Las aguas descontaminadas se descargarán a los ríos y quebradas, cumpliendo con la norma ambiental vigente y permitiendo usos benéficos de estos cuerpos de agua, como ciclos ecológicos, riego y generación hidroeléctrica (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento-EPMAPS, 2016).

Además, la implementación de este tipo de proyectos promueve la conservación de la calidad de vida de los habitantes puesto que al darle tratamiento al agua residual se evita aumentar la contaminación y por lo tanto la proliferación de vectores¹ transmisores de enfermedades perjudiciales. También ayudará a la conservación del ambiente, al evitar que los caudales de agua agoten la capacidad de asimilación de carga contaminante que pueden desintegrar, puesto que al tratarla totalmente se lograra llegar a los límites máximos permisibles de descarga.

A nivel nacional, se han implantado en varias ciudades del país plantas de tratamiento de aguas residuales. En el Tena, el crecimiento poblacional de los últimos años ha provocado que las actividades humanas contribuyan en gran manera a la toxicidad y contaminación de los ríos Pano, Tena y esteros aledaños por lo que en noviembre del 2015 se inauguró el 90% de la planta de tratamiento de aguas residuales el mismo que cuenta con un sofisticado sistema de membranas de biorreacción que les permite procesar 50 litros por segundo, en media hectárea de superficie. Y en tan solo cuatro horas devuelve a los ríos agua purificada en un 98% (Agencia Publica de Noticias del Ecuador y Sudamerica-Andes, 2015). De igual manera, en el cantón Ibarra de la provincia de Imbabura se ha iniciado con el proyecto de una planta de tratamiento que depurará el agua residual de la ciudad que funcionara mediante un sistema de lodos activados (TVN Canal, 2013), la misma estará lista para el año 2017 y tendrá una vida útil de 20 años, hasta el momento la obra civil se encuentra en un 35% de avance (La Hora, 2016).

¹ **Vector:** En términos biológicos, un vector es un agente generalmente orgánico que sirve como medio de transmisión de un organismo a otro. Los vectores biológicos se estudian por ser causas de enfermedades, pero también como posibles curas.

Delimitación

Se tomó en cuenta como población el barrio de Guapulo, ubicado en la parte nororiental del Distrito Metropolitano de Quito, el mismo que está integrado por los sectores: Piedra Grande, Cementerio, Bello Horizonte, Camino de Orellana, El Calvario, Chirincho, Central, Guadalupano, La Tolita, Guashayacu, y Los Conquistadores. Incluidos en Guápulo, están los barrios Miravalle Alto y Bajo que son barrios emergentes, ubicados en un área de protección ecológica (Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (CEPEIGE), 2008).

La localización geográfica es en latitud $-0,200416$, longitud $-78,4766152$; a una altura de 2400-2700 msnm. Además, el área está contemplada dentro de un clima templado, con una temperatura media aproximada de 15° C, sometida al régimen de lluvias con dos estaciones: la lluviosa entre febrero–abril y septiembre-noviembre y la estación seca (verano) de junio-agosto y diciembre-enero. La pluviosidad del área, está representada por una media anual de 1085,8 mm, aproximadamente, que se caracterizan por lluvias intensas de corta duración que se manifiestan, particularmente, en épocas de invierno (CEPEIGE, 2008).

Explicación del problema

La investigación busca principalmente la resolución del problema anteriormente mencionado. Para lo cual, es necesario plantearse preguntas de sentido y guiar la investigación.

Ho: De acuerdo a la calidad del agua residual se justifica la aplicación de las unidades de tratamiento primario definidas para la depuración de las mismas, previo al ingreso al reactor de lodos activados.

H1: De acuerdo a la calidad del agua residual no se justifica la aplicación de las unidades de tratamiento primario definidas para la depuración de las mismas, previo al ingreso al reactor de lodos activados.

Objetivos

○ **General**

Determinar las unidades de tratamiento primario más adecuadas, para la depuración de aguas residuales domésticas basándose en la calidad del agua residual del sector de Guapulo de Quito D.M.

○ **Específicos**

- Diseñar las unidades de tratamiento primario para la depuración del agua residual doméstica.
- Construir a escala de laboratorio las unidades de tratamiento primario establecidos para la depuración.
- Comparar los parámetros obtenidos experimentalmente, con datos reportados en bibliografía.

Fundamentación teórica

A continuación, se desglosan los tópicos relacionados a la investigación con el fin de profundizar el entendimiento y desarrollar la misma. Dentro de los cuales se tiene el proceso de tratamiento de AR, la clasificación del AR, las unidades de tratamiento, entre otros.

Agua residual

“Las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo” (Reynolds, 2002, p. 3); de acuerdo a su

constitución se ha convertido en un gran problema a nivel mundial donde la única solución es el tratamiento, acopio, depuración y disposición a cuerpos de agua.

Localmente, la Secretaria de Ambiente desarrolla el Programa para la Descontaminación de los Ríos de Quito. En complemento a las acciones de conservación y preparación frente al cambio climático de las cuencas y sistemas de abastecimiento, el mencionado programa ha iniciado acciones para eliminar la contaminación de los ríos en Quito. Sus principales acciones consisten en la construcción de tubería de intercepción de aguas contaminadas para que no desemboquen en los cuerpos hídricos y de emisarios para llevar las aguas residuales a plantas de tratamiento. Las aguas descontaminadas se descargarán a los ríos y quebradas, cumpliendo con los parámetros de calidad acorde a la normativa ambiental vigente y permitiendo usos benéficos de estos cuerpos de agua, como ciclos ecológicos, riego y generación hidroeléctrica (EPMAPS, 2016)

Actualmente, la Secretaria del Ambiente que es la institución encargada de la emisión de las políticas vigentes ha decretado los siguientes parámetros para la descarga de agua residual:

Tabla 1.
Límites máximos permisibles de descarga del agua residual

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/L	70	30
Aluminio	Al	mg/L	5	5
Arsénico total	As	mg/L	0,1	0,1
Bario	Ba	mg/L		2
Boro total	B	mg/L		2
Cadmio	Cd	mg/L	0,02	0,02
Cianuro total	CN*	mg/L	1	0,1
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5	0,5

Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L		1000
Cobre	Cu	mg/L	1	1
Cobalto	Co	mg/L	0,5	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 mL		2000
Color real	Color real	Unidades de color		*Inapreciable en dilución:1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2	0,2
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	250	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	500	200
Estaño	Sn	mg/L		5
Fluoruros	F	mg/L		5
Fósforo total	P	mg/L	15	10
Hierro	Fe	mg/L	25	10
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	20	20
Materia flotante	Visible		Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/L	10	2
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,01	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L		30
Nitrógeno total kjedahl	N	mg/L	60	50
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05	0,05
Organofosforados y carbamatos	Organofosforados totales	mg/L	0,1	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,5	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,5	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/L	6 - 9	6 - 9
Selenio	Se	mg/L	0,5	0,1
Sulfuros	S	mg/L	1	0,5
Sólidos Suspendidos	SS	mg/L	220	130
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400	1000

Temperatura		°C	<40	Condición natural ±3
Tensoactivos	Substancias activas al alcohol de metileno	mg/L	2	0,5
Turbidez		NTU		**
Zinc	Zn	mg/L	10	5

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015

Agua residual doméstica

El agua residual doméstica siendo el resultado de las diferentes actividades humanas, está compuesta por materia orgánica y desechos líquidos procedentes de viviendas y establecimientos educativos, comerciales e industriales (Romero, 2004).

A continuación, en la Tabla 2 se resume la composición del agua mencionada.

Tabla 2.
Composición típica del Agua Residual Domestica

Contaminantes	Unidades	CONCENTRACIÓN	
		Rango	Típico
Sólidos totales (ST)	mg/L	390-1230	720
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L	270-860	500
Sólidos disueltos fijos	mg/L	160-520	300
Sólidos disueltos volátiles	mg/L	110-340	200
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	120-400	210
Sólidos suspendidos fijos	mg/L	25-85	50
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	95-315	160
Sólidos sedimentables	mg/L	5-20	10
DBO (5 días, 20°C)	mg/L	110-350	190
COT	mg/L	80-260	140
DQO	mg/L	250-800	430
Nitrógeno total	mg/L	20-70	40
Nitrógeno orgánico	mg/L	8-25	15
Nitrógeno amoniacal	mg/L	12-45	25
Nitritos	mg/L	0-rastro	0
Nitratos	mg/L	0-rastro	0
Fósforo total	mg/L	4-12	7
Fósforo orgánico	mg/L	1-4	2

Fósforo inorgánico	mg/L	3-10	5
Cloruros	mg/L	30-90	50
Sulfatos	mg/L	20-50	30
Aceites y grasas	mg/L	50-100	90
Compuestos orgánicos volátiles	mg/L	<100->400	100-400
Coliformes totales	no./100mL	10^6 - 10^9	10^7 - 10^8
Coliformes fecales	no./100mL	10^3 - 10^3	10^4 - 10^5

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2007

Agua residual de esorrentía.

Viene a formarse por la esorrentía de las precipitaciones que arrastran sólidos gruesos y arenas de calles, terrazas, techos y otras superficies por donde circule; las cuales ingresan al alcantarillado, mezclándose con el agua residual doméstica (Romero, 2004).

Caracterización del agua residual de estudio.

Para la caracterización del agua residual doméstica, se tomaron varias muestras en una caneca de 20 litros en diferentes días durante 3 meses, todas las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana cumpliendo todos los estándares de muestreo, transporte y almacenamiento.

La metodología utilizada para analizar la calidad del agua residual se basó en el libro: Standard Methods for examination of water and wastewater- APAHA/AWWA/WEF.

Para platear el mejor tratamiento de depuración, es necesario conocer la calidad del agua residual dada por sus parámetros, es decir, características físicas, químicas y microbiológicas. Los parámetros de control considerados para la determinación de la calidad de aguas residuales domesticas en el sitio de muestreo se citan a continuación:

Tabla 3.

Parámetros para la determinación de la calidad del agua residual doméstica.

Parámetros físicos del agua residual doméstica – Sector Guápulo			
Parámetro	Expresado	Unidad	Valor
Temperatura	T	°C	15,2
Conductividad	Cond	ms/cm	0,40
Turbidez	-	NTU	122,85
Sólidos totales	ST	mg/L	597,3
Sólidos totales fijos	STF	mg/L	103,3
Sólidos totales volátiles	STV	mg/L	494,00
Sólidos totales disueltos	STD	mg/L	423,8
Sólidos totales en suspensión	STS	mg/L	173,50
Sólidos sedimentables	-	ml/L	0,93
Color	-		480
Índice del volumen del lodo	IVL	ml/mg	343,91
Caudal	Q	m ³ /s	0,0010
Parámetros químicos del agua residual doméstica - Sector Guápulo			
Parámetro	Expresado	Unidad	Valor
Cloruros	-	mg/L de Cl	0,08
Potencial de hidrógeno	p H	-	7,21
Nitrógeno total	N	mg/L	40
Nitrógeno de amonio	N-NH3	mg/L	8,25
Fosfatos	(PO4) -3	mg/L	14,8
Fósforo soluble	-	mg/L	5,6
Fósforo total	P	mg/L	7,5
Sulfuro	S	mg/L	5,4
Alcalinidad	-	ppm CaCO3	161,12
Demanda química de oxígeno	DQO	mgO ₂ /L	47,00
Demanda bioquímica de oxígeno (5días)	DBO ₅	mgO ₂ /L	16,00
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	987,2
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	2,895
Parámetros microbiológicos del agua residual doméstica - Sector Guápulo			
Parámetro	Expresado	Unidad	Valor
Coliformes totales	CT	NMP/100mL	1,6x10 ¹⁴
Coliformes fecales	CF	NMP/100mL	1,1x10 ⁶

Nota: Adaptado de Valle, 2016 por A. Paladines y A. Salazar

Factores para la selección de los procesos y operaciones unitarias

Las diferentes combinaciones de procesos y operaciones unitarias de una planta de tratamiento funcionan como un sistema, por lo que el ingeniero debe abordar el proyecto de la planta desde una perspectiva global. La evaluación del proceso no se limita al estudio de las unidades de tratamiento de agua residual, sino que también debe incluir la interacción entre las diferentes alternativas de tratamiento del agua y de los fangos (Metcalf & Eddy, 2003).

Los factores de mayor importancia en la valoración y selección de los procesos y operaciones unitarias son los siguientes:

Tabla 4.
Factores de evaluación y selección de operaciones y procesos unitarios

Factor	Comentario
Intervalo de caudal aplicable	El proceso se debe corresponder con el intervalo de caudales esperado
Variación de caudal aplicable	La mayoría de las operaciones y procesos unitarios trabajan mejor a caudal constante, a pesar de que puedan tolerar algunas variaciones.
Características del agua a tratar	Las características del agua a tratar afectan a los tipos de procesos (químicos o biológicos) y las exigencias para su adecuada explotación.
Limitaciones climáticas	La temperatura afecta la velocidad de reacción en la mayoría de procesos químicos y biológicos, y también puede afectar al funcionamiento de las operaciones físicas. Las temperaturas cálidas pueden acelerar la aparición de olores y limitar la dispersión en la atmosfera
Eficacia	La eficacia se suele medir en función de la calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido de efluentes.
Tratamiento del fango	¿Existe alguna limitación que convierta el tratamiento de fangos en un proceso excesivamente caro o inviable?
Limitaciones ambientales	Factores ambientales como la presencia de vientos, dirección preferencial y la proximidad a los núcleos de población, pueden restringir la implantación de varios procesos.
Necesidades químicas, energéticas y de otros recursos	Que recurso y cantidad se va utilizar a largo plazo, la cantidad de energía, así como el coste a futuro de la energía.
Fiabilidad	Fiabilidad a largo plazo de la operación.

Complejidad	Grado de complejidad presente la explotación de procesos.
Disponibilidad de espacio	Tomar en cuenta que superficie de terreno hay disponible para minimizar el impacto visual de la construcción.

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Parámetros de diseño para unidades de tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento del agua residual las variables caudal y concentración de contaminantes son de gran importancia para determinar las unidades de operación (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Caudal.

Muchas de las unidades de tratamiento se diseñan con base al tiempo de retención o la carga superficial para lograr las tasas deseadas de remoción de DBO₅ y SST. En vista que el desempeño de las unidades de tratamiento se pueden ver afectadas por las variaciones en el caudal o en la carga másica del contaminante afluente, se deben considerar los caudales máximos y mínimo en el diseño (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tabla 5.
Caudales de diseño

Caudal promedio	Se los puede identificar como: 1) el caudal promedio diario durante un año 2) caudal promedio en tiempo seco 3) caudal promedio en tiempo lluvioso Los mismos se utilizan para definir la capacidad del diseño, así como los requerimientos hidráulicos del sistema de tratamiento.
Caudal máximo, mínimo y mantenidos	El caudal máximo horario se usa en el diseño de instalación de bombeo y líneas de conducción de agua residual, además para mejorar algunas unidades de tratamiento.

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000

Caudal del afluente.

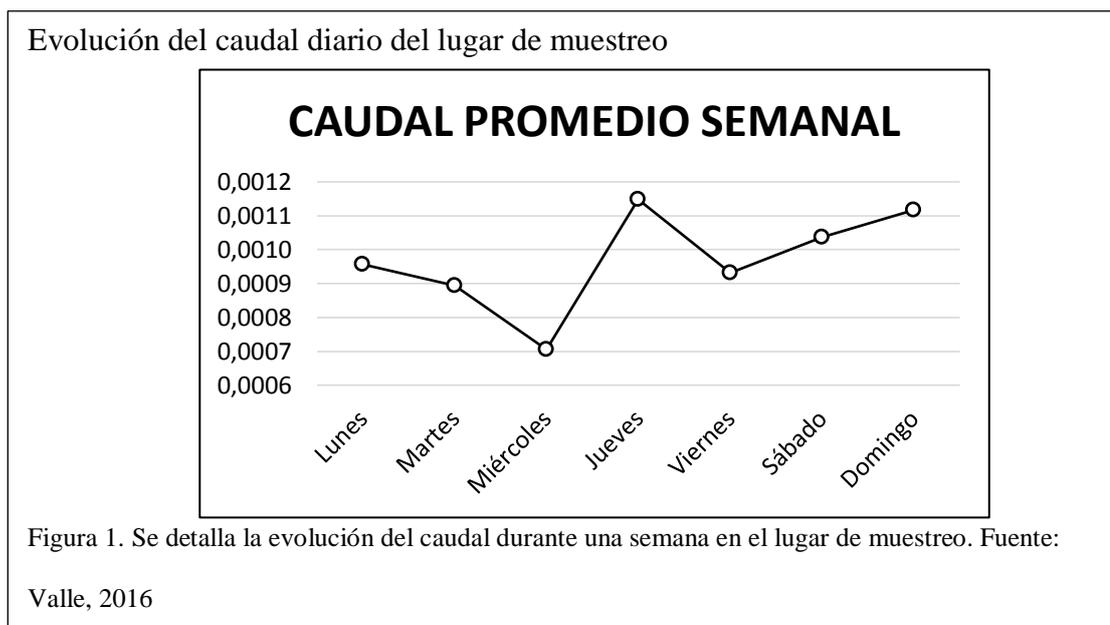
El estudio de Valle (2016) determinó el caudal promedio mediante varias mediciones, las mismas que se realizaron durante la estación lluviosa en el mismo sitio de estudio. Estos resultados se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Promedios diarios y promedio semanal del caudal m^3/s

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio semanal
Promedios	0,001	0,0009	0,0007	0,0011	0,0009	0,001	0,0011	0,001

Nota: adaptado de Valle, 2016 por A. Paladines y A. Salazar



Carga másica.

La carga másica de contaminante es importante para el diseño de unidades de tratamiento en el diseño de las unidades biológicas y la cantidad de lodo que el tratamiento de las mismas generará. Esta expresa la cantidad de un contaminante y se expresa en unidades de masa por unidad de tiempo. En la Tabla 7 se describen las concentraciones de carga másica.

Tabla 7.
Concentración de la carga másica de contaminante

Factor (promedio)	Carga Másica
Mínimo mensual	Requerimientos de paradas de procesos
Mínimo diario	Dimensiones de sistemas de recirculación en filtros percoladores
Máximo mensual	Dimensionamiento y selección de unidades de proceso
Máximo diario	Dimensionamiento de instalaciones para almacenar lodos y unidades de compostaje
Máximo permanente	Dimensionamiento de las unidades de procesos seleccionados

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000

Carga másica del afluente

Valle (2016), determinó la carga másica del agua de muestreo, cabe mencionar que al igual que el caudal estos análisis se realizaron en estación lluviosa. Los cálculos los realizo mediante la ecuación (1) (Romero Rojas, 2010) y el resultado fue 1,38 Kg/d

$$W = 10^3 QC \tag{1}$$

Dónde:

W = carga másica, kg/d

Q = caudal, m^3/d

C = concentración, mg/L o g/m^3

Variaciones en las concentraciones de constituyentes en el sistema de alcantarillado

Los factores responsables de las variaciones son de diferentes tipos dependiendo de la duración. Existen aquellas por descargas no domésticas, las cuales también pueden causar variaciones de concentración de DBO y SST, tanto de corto como de largo plazo, debido al vertimiento de aguas muy concentradas por pequeñas empresas. Por otro lado, las de corto plazo, son causadas por las costumbres de los

residentes de la población (semanales, horarias y diarias); son variaciones estacionales en donde se puede afirmar que las condiciones de infiltraciones de agua, aportes de contaminantes por habitante y la concentración de aguas residuales domesticas no varía el caudal significativamente durante el año, pero donde existan zonas turísticas tendrán gran relevancia en las variaciones de caudal. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tratamientos de afluentes

La mezcla del agua residual doméstica (ARD) y agua residual de escorrentía da un afluente que se tendrá que tratar. Al implementar un sistema de tratamiento de ARD; se toman en cuenta las características de las mismas y los límites máximos permisibles para la descarga al alcantarillado o cuerpos de agua. De manera general se podrían aplicar varios procesos que siguen una secuencia lógica para poder remover los diferentes contaminantes existentes en el agua: tratamiento primario (físico-químico), tratamiento secundario (biológico) y tratamiento terciario (desinfección). Sin embargo, la presente investigación se limitará a las operaciones unitarias del tratamiento primario en base a la caracterización del ARD.

Tratamiento primario.

Son conocidos como tratamientos físicos-químicos, ya que aplican técnicas estructurales para la retención de partículas gruesas, evitando que exista material que obstruya tuberías, variaciones en el caudal o la composición del agua residual que puedan afectar el funcionamiento de otros procesos. También se aplica sustancias que generalmente son químicos para ayudar a sedimentar o a flotar a las partículas coloidales existentes en el agua. Las principales operaciones y procesos unitarios se describen a continuación.

Operaciones físicas.

Son aquellas operaciones que, para tratar el agua residual, lo realizan mediante la aplicación de fuerzas físicas. A continuación, se detalla las principales operaciones físicas.

- Cribado o rejas

Es la primera operación unitaria que se suele utilizar en una planta de tratamiento de aguas residuales, utilizada para separar sólidos gruesos que puedan existir en el agua y puedan alterar el funcionamiento de los siguientes procesos. Por lo general se utilizan dos tipos de rejas, de limpieza manual las cuales son empleadas en instalaciones pequeñas, con espaciamentos relativamente grandes y las mecánicas las cuales necesitan un minucioso mantenimiento (Hess, 1981). De acuerdo a las características y al caudal obtenido del agua residual en estudio resultaría adecuado el uso de rejas por limpieza mecánica, puesto que este tipo son utilizadas en plantas grandes, tienen larga vida y su sistema de limpieza es automático.

- Desarenador

Es un tanque que tiene como función remover sólidos pesados en suspensión como arena, grava, arcilla u otro material que tenga un peso con el que pueda sedimentar por efecto de la gravedad. El desarenador es una unidad muy importante ya que aquí retiene aquellos residuos que pueden perjudicar equipos, tuberías y canales, obstruyendo la capacidad hidráulica (Hess, 1981). Además, quita el material coloidal que luego se disuelve aumentando la DBO₅ (Sánchez, 2016).

Las clasificaciones de desarenadores son varias pero las más conocidas son (I. Metcalf & Eddy, 2003):

- Desarenador de flujo horizontal cuadrado y rectangular
- Desarenador aireado de flujo helicoidal
- Desarenador de vórtice
 - Trampa de grasa

Son equipos específicos en la remoción de líquidos no miscibles en el agua, que debido a sus características de baja densidad tienden a flotar en la superficie del agua.

Para aceites animales o hidrocarburos , cuya densidad esta alrededor de 0.8 kg/L, basta la permanencia de 3 minutos en la pequeñas unidades (hasta los 10 L/s), de 4 minutos en las medias (10-20 L/s) y 5 minutos en unidades de más de 20 L/s (Hess, 1981, p. 8-15). Los sistemas más usados según Garcia, 2006 son:

- Tanques separadores de grasas: Un tanque separador de grasas consiste en un depósito en el que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del tanque de forma continua, a través de una abertura situada en el fondo. La salida, que está sumergida, se halla situada en el lado opuesto a la entrada y a una cota inferior a ésta para facilitar la flotación y eliminar cualquier sólido que pueda sedimentarse.
- La emulsión de las grasas en el desarenador mediante aireación: Permitiendo su ascenso a la superficie, y su subsiguiente retirada. La velocidad ascensional de las burbujas de grasa puede estimarse entre 3 y 4 mm/s.
- Separación de grasas residuales en las balsas de decantación: Retirando éstas por medio de rasquetas superficiales.

Adicionalmente en la tabla 8, se describen otras operaciones físicas.

Tabla 8.
Operaciones físicas para el tratamiento de aguas residuales

Operación	Aplicación
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesados de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos finalmente divididos y de partículas con densidad similar a la del agua. También espesa lodos biológicos.
Filtración	Eliminación de sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Operaciones químicas.

Son aquellos procesos empleados en el tratamiento de aguas residuales mediante reacciones químicas, los cuales se aplican en combinación con las operaciones físicas para obtener un mayor rendimiento. En la Tabla 9 se detalla las principales operaciones químicas.

Tabla 9.
Operaciones químicas para el tratamiento de aguas residuales

Proceso	Aplicación
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria y empleadas en tratamientos fisicoquímicos.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con tratamientos químicos y biológicos. También se emplea para decolorar el agua residual
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Decloración	Eliminación de cloro combinado residual total remanente después de la cloración.
Otros	Para alcanzar objetivos específicos en el tratamiento de aguas residuales, uso de otros productos químicos.

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

2. Materiales y métodos

Población y muestra

La presente investigación tomó como población el barrio de Guápulo como se mencionó previamente en la delimitación del proyecto (Ver anexo1).

El sitio de muestreo fue en un dique del sistema de alcantarillado previo a la descarga al río Machángara ubicado en el sector Miravalle, barrio Guápulo de la parroquia Itchimbia (Figura 2).



Las muestras se las tomaron directamente del dique, mediante un balde de 10 litros. Posteriormente, se procedió a almacenar la muestra en una caneca de 20 L para su transporte hasta las instalaciones de la Universidad, la cual se encuentra a una hora aproximadamente desde el sitio de muestreo. Una vez dentro de los laboratorios de la Facultad se conservó el ejemplar a una temperatura de 3-4°C.

Metodología de Diseño

Metodología en laboratorio.

Tiempo de sedimentación.

Para determinar el tiempo de sedimentación, la muestra se colocó en un instrumento llamado como Imhoff de 1 litro de capacidad, tomando en consideración que la muestra tiene que estar bien homogenizada. Este instrumento nos permite visualizar la cantidad de sólidos sedimentados en un tiempo determinado.

La gravedad tiene mucha importancia dentro de este fenómeno físico, ya que al tener agua en estado estacionario permite que los sólidos sedimenten por su propio peso específico. Este proceso es importante para el diseño de la operación de desarenado.

Análisis de solidos sedimentables en conos imhoff



Figura 3. Muestra de ARD en Conos Imhoff después de 24 horas Elaborado por: A. Paladines y A.

Salazar

Determinación de turbidez.

La turbiedad, consiste en la medida de la cantidad de material suspendido en el agua. Este parámetro por lo general es bastante alto en aguas residuales, mientras

que en aguas tratadas sirve como un factor importante del control de la calidad (Romero, 2004).

Para determinar la turbidez, se tomó una muestra de 12 mL y se introdujo dentro del turbidímetro Lovibond wáter testing.

Equipo para la medición de turbidez



Figura 4. Turbidímetro Lovibond, Valor de turbidez estimado de la caracterización del ARD.

Elaborado por: A. Paladines y A. Salazar

Metodología para el dimensionamiento.

De acuerdo a la calidad del agua, se determinó las operaciones unitarias primarias que son: rejas para evitar el paso de sólidos de gran tamaño, tanque de homogenización que sirve para amortiguar las variaciones de caudal y carga contaminante, desarenador y trampa de grasa debido a que se identifica gran cantidad de sólidos, aceites y grasas; todo esto como tratamiento previo al sistema de lodos activados. De acuerdo a estas consideraciones se construyó dos modelos para la remoción de estos parámetros.

Rejas finas.

Para el dimensionamiento de las rejas finas se tomó en cuenta dos caudales al azar, un caudal máximo de $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal medio de $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, los cuales se aproximan a valores establecidos en la planta de tratamiento de aguas residuales en

Quitumbe al sur de Quito (EPMAPS, 2016). Los criterios de diseño según bibliografía se describen en la siguiente tabla.

Tabla 10
Criterios de diseño rejas finas

Velocidad caudal medio (Q_{med})	0.6m/s - 1.0 m/s
Velocidad caudal punta (Q_{pta})	<1.4 m/s

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Romero, 2004

Se hizo una proyección del caudal hasta el año 2045 usando la ecuación de Sánchez (2016), tomando como referencia los caudales antes descritos para el año 2016:

$$Q_f = Q_o(1 + i)^{(T_f - T_o)} \quad (2)$$

Donde:

Q_f = Caudal final

Q_o = Caudal inicial

i = Tasa de crecimiento Quito (0,018)

T_f = Tiempo final

T_o = Tiempo actual

$$Q_{máxf} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}(1 + 0,014)^{(2045-2016)}$$

$$\mathbf{Q_{máxf} = 0,20 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Q_{medf} = 0,07 \text{ m}^3/\text{s}(1 + 0,014)^{(2045-2016)}$$

$$\mathbf{Q_{medf} = 0,11 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Con los dos caudales proyectados para 29 años se dimensiona:

- *Cálculo de área total.*

Para poder determinar el área total es necesario calcular el área máxima y mínima, con el fin de estimar cuál de ellas es la más adecuada para llegar a una

eficiencia del 70% las ecuaciones se tomaron del seminario impartido por Duque (2014).

$$A_{min} = \frac{Q_{med}}{V_{paso.máx}} \quad ; \quad A_{min} = \frac{0,12 \text{ m}^3/s}{1\text{m/s}} \quad ; \quad A_{min} = 0,11 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$A_{máx} = \frac{Q_{med}}{V_{paso.min}} \quad ; \quad A_{máx} = \frac{0,12 \text{ m}^3/s}{0,6\text{m/s}} \quad ; \quad A_{máx} = 0,18 \text{ m}^2 \quad (4)$$

$$A_{máx} = \frac{Q_{máx}}{V_{paso.máx}} \quad ; \quad A_{máx} = \frac{0,22 \text{ m}^3/s}{1,4\text{m/s}} \quad ; \quad A_{máx} = \mathbf{0,14 \text{ m}^2} \quad (5)$$

De los valores calculados se eligió el área intermedia, para que la carga orgánica retenida no sea excesiva ni deficiente.

$$A.Total = \frac{A_{máx}}{Eficiencia} \quad ; \quad A.Total = \frac{0,14 \text{ m}^2}{0,7} \quad ; \quad A.Total = \mathbf{0,20 \text{ m}^2} \quad (6)$$

A continuación, se escogen los parámetros de las rejillas:

Tabla 11.

Parámetros de diseño rejillas finas

Separación entre barrotes ($Sep_{barrotes}$)	1,5cm - 2cm	0,017 m
Espesor de barrotes ($Esp_{barrotes}$)	0,5cm - 1cm	0,007 m
Altura(h)=		0,55 m

Nota: Los datos subrayados son los considerados para el dimensionamiento. Fuente: Romero, 2004.
Elaborado por: A. Paladines y A. Salazar

$$A.Total = altura (h) \times ancho(b)$$

(7)

$$b = \frac{A.Total}{h} \quad ; \quad b = \frac{0,20 m^2}{0,55 m} \quad ; \quad \mathbf{b = 0,4 m}$$

Se calculó el número de espacios (n_{esp}) y el número de barrotes ($n_{barrotes}$) a utilizarse, para posteriormente determinar el ancho real (A_{real}) de la reja.

$$n_{esp} = \frac{b}{Sep_{barrotes}} \quad ; \quad n_{esp} = \frac{0,4 m}{0,017 m} \quad ; \quad \mathbf{n_{esp} = 22}$$

(8)

$$n_{barrotes} = n_{esp} - 1 \quad ; \quad n_{barrotes} = 22 - 1 \quad ; \quad \mathbf{n_{barrotes} = 21}$$

(9)

$$A_{real} = (n_{esp} \times Sep_{barrotes}) + (n_{barrotes} \times Esp_{barrotes})$$

$$A_{real} = (22 \times 0,017 m) + (21 \times 0,007m)$$

$$\mathbf{A_{real} = 0,52 m}$$

- *Validación del modelo:*

De acuerdo a la relación altura y área de la reja se puede visualizar que tan viables son las dimensiones propuestas para que la unidad sea eficiente, siendo posible el valor a uno o superior, de la siguiente manera:

$$Posibilidad = \frac{h}{Areal} \quad ; \quad Posibilidad = \frac{0,55 m}{0,52 m} \quad ; \quad \mathbf{Posibilidad = 1,06}$$

(10)

Rejas gruesas.

Para el dimensionamiento se tomaron algunos datos de las rejas finas, pero con parámetros específicos para el dimensionamiento de rejas gruesas.

Tabla 12.
Parámetros de diseño rejas gruesas

Separación entre barrotes ($Sep_{barrotes}$)	5cm - 10 cm	0,05	cm
Espesor de barrotes ($Esp_{barrotes}$)	1cm - 2 cm	0,01	cm

Nota: Los datos subrayados son los considerados para el dimensionamiento. Fuente: Romero, 2004.
Elaborado por: A. Paladines y A. Salazar

Utilizamos el mismo ancho real (A_{real}) que es **0,52 m**, para poder calcular el número de espacios (n_{esp}) de la reja gruesa:

$$n_{esp} = \frac{(A_{real} + Esp_{barrotes})}{(Sep_{barrotes} + Esp_{barrotes})} \quad n_{esp} = \frac{(0,52 \text{ m} + 0,01 \text{ m})}{(0,05 \text{ m} + 0,01 \text{ m})}$$

$$n_{esp} = 8,83 == \mathbf{9 \text{ Espacios}}$$

$$n_{barrotes} = n_{esp} - 1 ; \quad n_{barrotes} = 9 - 1 ; \quad n_{barrotes} = \mathbf{8 \text{ Barrotes}}$$

Para el ancho real de la reja gruesa ($A_{realreja \text{ gruesa}}$):

$$A_{realreja \text{ gruesa}} = (n_{esp} \times Sep_{barrotes}) + (n_{barrotes} \times Esp_{barrotes})$$

$$A_{realreja \text{ gruesa}} = (9 \times 0,05 \text{ m}) + (8 \times 0,01)$$

$$A_{realreja \text{ gruesa}} = \mathbf{0,52 \text{ m}}$$

- *Validación del modelo.*

De acuerdo a la relación altura y área de la reja se puede visualizar que tan viables son las dimensiones propuestas para que la unidad sea eficiente, siendo posible el valor a uno o superior, de la siguiente manera:

$$Posibilidad = \frac{h}{A_{realreja \text{ gruesa}}} ; \quad Posibilidad = \frac{0,55 \text{ m}}{0,52 \text{ m}} ; \quad Posibilidad =$$

1,06

Metodología de construcción de modelos.

- *Selección de la escala.*

La selección de la escala es un punto muy importante al momento de la construcción de modelos a escala de laboratorio. Los estudios hidráulicos dan a conocer el criterio de similitud de Froude (Novak, Moffat, & Nalluri, 2001), el cual permite transformar las magnitudes derivadas a una escala menor. Las ecuaciones de similitud para poder escalar son las siguientes (Ojeda & Tapia, 2011):

Ecuación de similitud de longitud

$$L_m = \frac{L_P}{\lambda} \tag{11}$$

L_P : Longitud en prototipo

L_m : Longitud en modelo

λ : Factor de escala

Ecuación de similitud de volumen

$$V_m = \frac{V_P}{\lambda^3} \tag{12}$$

V_P : Longitud en prototipo

V_m : Longitud en modelo

λ : Factor de escala

Ecuación de similitud de caudal

$$Q_m = \frac{Q_P}{\lambda^{5/2}} \tag{13}$$

Q_P : Longitud en prototipo

Q_m : Longitud en modelo

λ : Factor de escala

- *Primer modelo – Desarenador aireado de flujo helicoidal.*

Para la selección de la escala se determinó varios factores como disponibilidad de espacio y la similitud de escalas para caudal, así se obtendrá datos más cerca a la realidad a nivel de laboratorio. Se decidió por la escala 1:10 para el modelo físico a escala reducida.

Desarenador

Metcalf & Eddy (2003), establecen los siguientes valores para el diseño de un desarenador aireado. El diseño de un desarenador considera importante la construcción de dos tanques paralelos, para permitir el mantenimiento en operación ya que se necesitará vaciar uno mientras el otro se encuentra en operación. La operación del prototipo será de flujo continuo por 24 horas.

Tabla 13
Características de un desarenador aireado

Característica	Valor	
	Intervalo	Típico
Tiempo de retención	2-5 min	3 min
Profundidad	2-5 m	
Longitud	7,5-20 m	
Ancho	2,5-7 m	
Relación ancho-profundidad	1:1 a 5:1	1,5:1
Relación longitud-ancho	3:1 a 5:1	4:1
Suministro de aire	0,18-0,45 m ³ O ₂ /min*m	
Cantidad de arena	4-195 cm ³ / m ³	15 c m ³ / m ³

Nota: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003 por: A. Paladines y A. Salazar

- *Volumen del desarenador*

La estimación del volumen del desarenador se determinó en base al caudal punta (Q_{pta}) de 0,20 m³/s y un tiempo de retención (Tr) de 4 minutos cuyo valor se estableció según el criterio de los investigadores.

$$Vol. Desarenador = \frac{1}{2} \times Q_{pta} \times Tr$$

$$\text{Vol. Desarenador} = \frac{1}{2} \times 0,20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 240\text{s}$$

$$\text{Vol. Desarenador} = 24 \text{ m}^3$$

Con el factor de seguridad de 1.2 (Sánchez, 2016).

$$\text{Vol. Desarenador} = 28,8 \text{ m}^3$$

- *Dimensiones del desarenador*

Para dimensionar el desarenador se asumió una profundidad (h) de 2 metros, la cual se multiplico por el factor de seguridad 1,2 (Sánchez, 2016), así tenemos un h=2,4 metros. Con una relación anchura-profundidad de **1,2:1** para el ancho (Metcalf & Eddy, 2003):

$$\text{Ancho} = 1,2 \times 2\text{m} \quad ; \quad \text{Ancho} = 2,4 \text{ m}$$

Se aplica el factor de seguridad de 1,2 (Sánchez, 2016).

$$\text{Ancho} = 2,88 \text{ m}$$

El área superficial (As) se determina:

$$As = \frac{\text{Vol. Desarenador}}{h} \quad ; \quad As = \frac{28,8 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \quad ; \quad As = 14,4 \text{ m}^2$$

La longitud (L):

$$L = \frac{\text{Vol. Desarenador}}{\text{Ancho} \times h} \quad ; \quad L = \frac{28,8 \text{ m}^3}{2,4 \text{ m} \times 2\text{m}} \quad ; \quad L = 6 \text{ m}$$

Volumen total con el factor de corrección propuesto:

$$Vol_{Desarenador_Total} = Ancho \times h \times L$$

$$Vol_{Desarenador_Total} = 2,88m \times 2,4m \times 6m$$

$$Vol_{Desarenador_Total} = 41,47m^3$$

- *Suministro de aire de los sopladores*

El suministro de aire adecuado tomado es de $0,3 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{m}.\text{min}$ (I. Metcalf & Eddy, 2003).

$$Suministro_{necesario} = L \times suministro_{aire}$$

(15)

$$Suministro_{necesario} = 6m \times 0,3 \frac{m^3 O_2}{m.\text{min}}$$

$$Suministro_{necesario} = 1,8 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{min}$$

- *Volumen de arena a tratar*

La cantidad media de arena a extraer y tratar se estima dentro de $50 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ valor estimado dentro del rango propuesto por Metcalf & Eddy, 2003.

$$Vol_{arena} = Q_{pta} \times Cantidad_{media}$$

(16)

$$Vol_{arena} = 0,20 \frac{m^3}{s} \times 50 \frac{cm^3}{m^3} \times \frac{86400 s}{1 \text{ día}} \times \frac{1m^3}{1000000 cm^3}$$

$$Vol_{arena} = 0,86 \frac{m^3}{día}$$

Se incluye un canal de recogida de arenas con una profundidad de $0,9 \text{ m}$ (I. Metcalf & Eddy, 2003)(Ver anexo 2).

$$Ac = b \times h ; Ac = 0,96 m \times 0,9m ; Ac = 0,864 m^2$$

$$a1 = \text{tang } \alpha \times C.\text{adyacente} ; a1 = \text{tang } (12) \times 0,8m ; a1 = 0,61m$$

$$a_2 = \tan \alpha \times C. \text{adyacente} ; a_2 = \tan (12) \times 0,8m ; a_2 = 0,61m$$

$$AT_1 = \frac{b \times h}{2} ; AT_1 = \frac{0,96m \times 0,61m}{2} ; AT_1 = 0,3 m^2$$

$$AT_2 = \frac{b \times h}{2} ; AT_2 = \frac{0,96m \times 0,61m}{2} ; AT_2 = 0,3 m^2$$

$$AT = A_c + AT_1 + AT_2 ; AT = 0,864 m^2 + 0,3 m^2 + 0,3 m^2 ; AT = 1,46 m^2$$

Volumen del canal de recogida;

$$V_{\text{canal}_{rec}} = AT \times L ; V_{\text{canal}_{rec}} = 1,46 m^2 \times 6 m ; V_{\text{canal}_{rec}} = 8,76 m^3$$

Tolva de recogida inclinada

$$Area = \frac{b \times h}{2} ; Area = \frac{6m \times 0,5m}{2} ; Area = 1,5 m^2$$

$$Volumen = Area \times b ; Volumen = 1,5 m^2 \times 0,96 m ; V = 1,44 m^3$$

- *Segundo modelo – Diseño de desarenador horizontal de flujo continuo y trampa de grasa*

Debido a que este sistema consta de dos equipos con las mismas funciones del anterior, fue necesario identificar las escalas adecuadas de trabajo para cada uno en base a los requerimientos de espacio y simulación del sistema a nivel de laboratorio. Se decidió la escala 1:17 para el modelo del desarenador y 1:13 para el modelo de la trampa de grasa.

Para el diseño el sistema desarenador seguido de la trampa de grasas se tomará en cuenta los datos detallados en la Tabla 14:

Tabla 14.
Datos de diseño segundo modelo

Parámetro	Datos	Unidad
Caudal	0.20	m ³ /s
Solidos sedimentables (en 24hrs)	0.91	mL/L
Aceites y grasas	930.8	mg/L

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Además, se considerará según Metcalf & Eddy, 1995 que la velocidad de ingreso al desarenador de 0.3 m/s y la pendiente de la tolva es de 10%. Para los cálculos del diseño se basó en lo establecido por Sánchez, 2016.

- *Volumen del sedimentador*

$$V = 0.20 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{1 min} \times 20 min = 240 m^3$$

$$240 m^3 \times 1.20 = 288 m^3 \text{ Factor de seguridad (Sánchez, 2016)}$$

- *Dimensiones del sedimentador*

Las relaciones y los cálculos fueron tomados de Sánchez, 2016

Relación: $l = 1.5a = 2h$

$$V = l \times \frac{l}{1.5} \times \frac{l}{2} ; \quad \sqrt[3]{V} = 3l ; \quad l = \sqrt[3]{288} ; \quad l = 9.52 m$$

$$a = 6.34 \quad h = 4.8$$

Tolva

$$\frac{0.91 ml}{L} \times \frac{0.20 m^3}{s} \times \frac{1 l}{1000 ml} \times \frac{86400 s}{1 dia} = 15.72 m^3/dia$$

$$\cos 10 = \frac{l}{x} ; \quad x = \frac{9.52}{\cos 10} ; \quad x = 9.66 m$$

$$\tan 10 = \frac{y}{l} ; \quad y = 9.52 \times \tan 10 ; \quad y = 1.67 m$$

- *Volumen de la tolva*

$$V_t = \frac{x.y.a}{2} ; V_t = \frac{9.66 \times 1.67 \times 6.34}{2} ; V_t = 51.13 \text{ m}^3$$

- *Trampa de grasa*

El dato de densidad que se utilizara para el presente diseño es de 0.7 Kg/L

Factor de seguridad: 1,1 (Sánchez, 2016).

$$\begin{aligned} \frac{0.20 \text{ m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} \times \frac{987.2 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{0.7 \text{ Kg}} \\ \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 24.37 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 2 = 48.73 \text{ m}^3 \times 1.1 = 53.61 \end{aligned}$$

Dimensiones caja pequeña

$$\begin{aligned} V = \frac{l^3}{6} ; l = \sqrt[3]{6V} ; l = \sqrt[3]{6 \times 53.61} ; l = 6.83 \text{ m} \quad a = 3.41 \text{ m} \quad h \\ = 2.27 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensiones caja grande

$$L = \frac{3}{2l} = \frac{3(6.83)}{2} = 10.25 \text{ m} \quad H = \frac{3}{2h} = \frac{3(2.27)}{2} = 3.41 \text{ m}$$

- *Suministro de aire para trampa de grasa*

Para el diseño de la trampa de grasa se adaptó un sistema de aireado el mismo que se determinó mediante los siguientes cálculos. El suministro de aire adecuado tomado es de 0,3 m³ O₂/m.min (I. Metcalf & Eddy, 2003).

$$\text{Suministro}_{necesario} = L \times \text{suministro_aire}$$

$$\text{Suministro}_{necesario} = 6.83 \text{ m} \times 0,3 \frac{\text{m}^3 \text{ O}_2}{\text{m. min}}$$

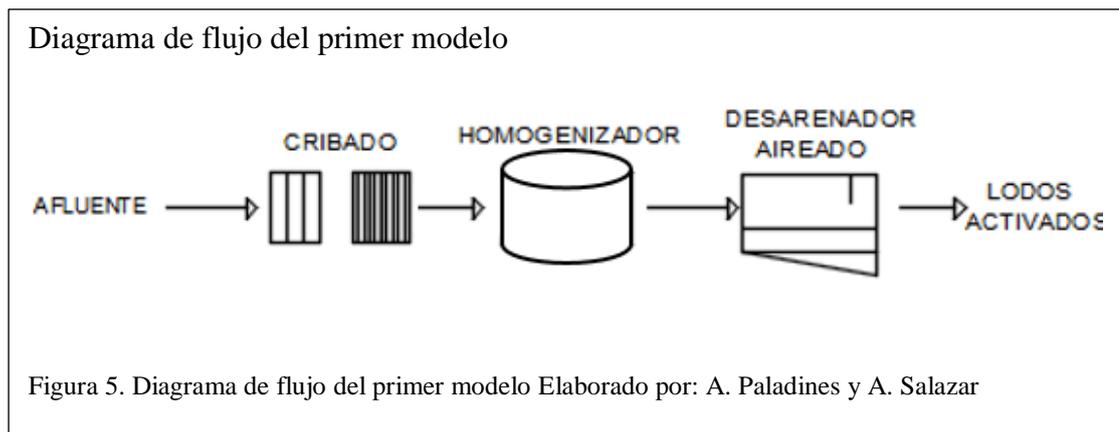
$$\text{Suministro}_{necesario} = 2.05 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{min}$$

3. Resultados y discusión

Presentación de datos

A continuación, se da a conocer los resultados de los sistemas determinados mediante su respectivo diagrama de flujo (Figura 5 - Figura 6), y la descripción del mismo. Estas operaciones unitarias se determinaron a partir de la calidad del agua, como se mencionó previamente.

Primer modelo



Cribado

El cribado, sea fino o grueso evitará que sólidos de gran tamaño pasen a otros procesos. La principal ventaja de las rejillas de limpieza mecánica que son la que propone el presente trabajo es que las operaciones de mantenimiento son sobre el nivel de agua por lo tanto no es necesario el vaciado del canal. Sin embargo una de sus limitaciones es que tiene una capacidad limitada para tratar agua residual con altos contenidos de residuos (Hammeken & Romero, 2005, p. 85).

Diseño

La operación de cribado consta de dos partes, las rejillas finas y las gruesas, además se realizó el mismo diseño para ambos modelos. En la Tabla 15-16 se detalla las dimensiones determinadas.

Tabla 15.
Dimensiones de rejas finas

PARÁMETRO	REPRESENTACIÓN	CANTIDAD	UNIDADES
Espacios	n_{esp}	22	---
Barrotes	$n_{barrotes}$	21	---
Altura	h	0,55	m
Ancho	A_{real}	0,52	m

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Tabla 16.
Dimensiones de rejas gruesas

PARÁMETRO	REPRESENTACIÓN	CANTIDAD	UNIDADES
Espacios	n_{esp}	9	---
Barrotes	$n_{barrotes}$	8	---
Altura	h	0,55	m
Ancho	$A_{real}reja\ gruesa$	0,52	m

Nota: A. Paladines y A. Salazar Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Homogeneizador

La homogeneización consiste en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante.

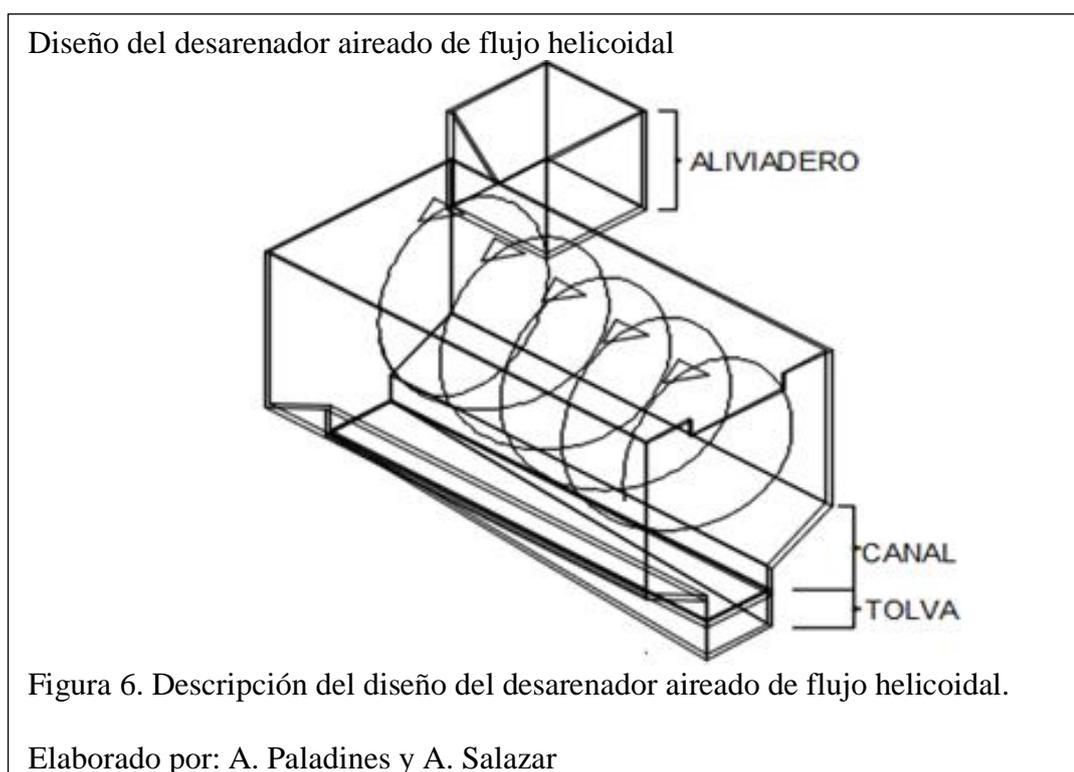
Se lo emplea para abordar problemas de explotación causados por las variaciones de caudal y para mejorar la efectividad de los procesos situados aguas abajo (Metcalf & Eddy, 2003).

La ubicación de esta operación depende de cada caso de estudio, dado que esto dependerá del tratamiento. En el presente estudio para ambos modelos se ubicó previo al desarenador debido a que el ARD no contiene gran cantidad de sólidos por lo tanto se considerará un grado de mezclado adecuado para evitar la sedimentación de sólidos y las variaciones de concentración (Metcalf & Eddy, 2003).

Desarenador aireado de flujo helicoidal.

El desarenador aireado de flujo helicoidal que se presenta, se proyecta para la eliminación de partículas de 0,20 mm o superior, con un tiempo de retención de 4 minutos en caudal punta, teniendo la sección transversal una semejanza con los tanques de aireación de fangos activados de circulación espiral, con la diferencia que se presenta con un canal de paredes inclinadas de 0,90 m, una tolva de inclinación 10° para la recogida de arenas y por encima del canal a 0,45 m los difusores de aire.

Debido a la dirección de rotación del agua residual en el tanque, esta pasará dos o tres veces por el fondo del tanque en condición de caudal punta, incrementándose las veces de pasada del agua por el fondo cuando el caudal sea menor. Así también la velocidad de paso es un determinante importante, ya que si es excesivamente elevada las arenas serán arrastradas a la salida del tanque, mientras que si es demasiado pequeña se producirá sedimentación de materia orgánica (García, 2006).



Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente por realizar el desarenado y la remoción de grasas en el mismo depósito. Esto se debe a la diferencia de densidades entre las partículas de arena y grasas. El aire comprimido añadido para la extracción de grasas ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de lodo, poco densas por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador es más limpia. Las partículas de arena, al sedimentar, deceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así éstas de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentándose el rendimiento de la floculación de grasas.

(Revuelta, 2014, p.49)

En cuanto al aire suministrado se puede regular fácilmente, con un buen ajuste se puede tener un 100% de eliminación y una arena bien limpia (García, 2006); mientras que para la extracción de arenas y lodos se plantea una llave de evacuación en la tolva inclinada.

Diseño.

A continuación, en la tabla 17 se describe las dimensiones determinadas para el prototipo y modelo.

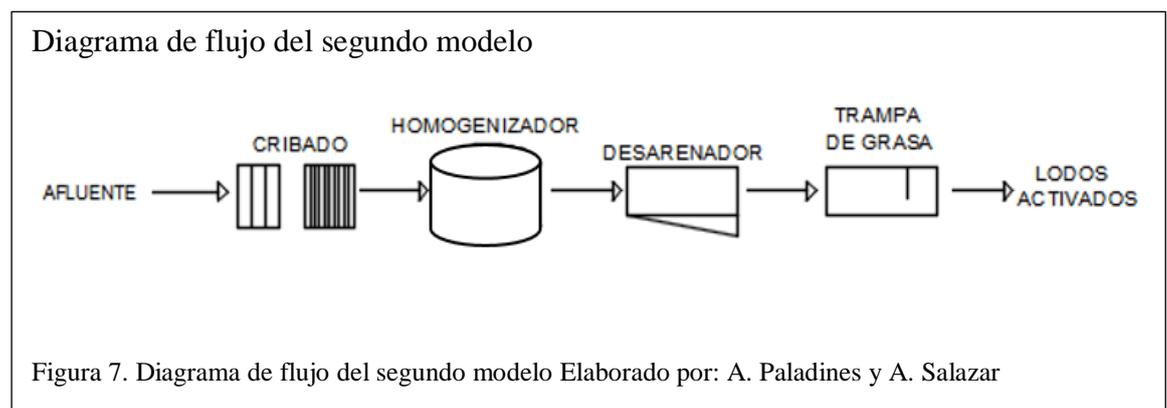
Tabla 17.
Escalas del modelo del desarenador aireado de flujo helicoidal

MAGNITUD	PROTOTIPO	MODELO Escala de Froude
Longitud	(m)	1:10 (m)
Largo	6	0,6
Ancho	2,88	0,288
Profundidad	2,4	0,24

Volumen	(m ³)	(m ³)
Vol_Desarenador	41,47	0,0415
Vol_recogida_incl	2,16	0,00216
V_canal_rec	5,6	5,60E-03
Caudales	(m ³ /s)	(lt/min)
Caudal_trabajo	0,2	37,94

Nota: A. Paladines y A. Salazar

Segundo modelo.



Desarenador de flujo horizontal

Este sistema cuenta con un canal por el cual debe tener una velocidad controlada de 0.3 m/s (Metcalf & Eddy, 2003), y una estructura que garantice que las partículas de arena sedimenten. La extracción de las arenas depositadas en el fondo del desarenador se realiza mediante un desagüe y de forma manual.

Es importante considerar que estos sistemas se usan tradicionalmente en plantas pequeñas, además al ser la limpieza manual, es preciso que las dimensiones no sean tan grandes y que existan unidades de reserva (Sainz, 2005).

Diseño

De acuerdo a las ecuaciones y cálculos realizados, se determinó las dimensiones que se especifican en la siguiente tabla con la escala seleccionada:

Tabla 18.
Escala del modelo del desarenador

MAGNITUD	PROTOTIPO	MODELO Escala de Froude
Longitud	(m)	1:17 (m)
Largo	9.52	0.56
Ancho	6.34	0.37
Profundidad	4.8	0,28
Relación 1:1.5:2		
Volumen	(m ³)	(m ³)
Desarenador	240	0.0488
Tolva	51.35	0.0105
Caudales	(m ³ /s)	(L/min)
Caudal_trabajo	0,2	10.1
Tiempo	(min)	(min)
Retención	20	4.85

Nota: A. Paladines y A. Salazar

Trampa de grasa

Las grasas y aceites en agua residual provienen principalmente de los garajes, hogares, lavaderos y mataderos (Garcia, 2006). Es importante considerar el tratamiento que se debe dar a este parámetro puesto que pueden crear muchos problemas en la técnica de depuración, especialmente en plantas de tratamiento sensibles. Los efectos que podrían ocasionar según Garcia (2006) son:

- En rejillas finas causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación.
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
- En la depuración por el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación y participan del fenómeno de «bulking».

- Perturban el proceso de digestión de lodos.
- La DQO se incrementa en un 20 a 30 %, por las grasas contenidas en los vertidos.
- Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero para aguas urbanas, pueden considerarse unas cifras de 24 gramos por habitante y día, o bien el 28 % de los sólidos en suspensión. (p.14)

Diseño

De los equipos que se usan tradicionalmente, mencionados en la revisión bibliográfica se determinó para el presente trabajo el tanque separador de grasa, adaptado con un sistema de aireación con el fin de verificar si existirá mayor remoción de A/G. En la posterior tabla se establecen las medidas del diseño de la trampa de grasas.

Tabla 19.
Escalas del modelo de la trampa de grasa

MAGNITUD	PROTOTIPO	MODELO Escala de Froude
Longitud	(m)	1:13 (m)
Caja Grande		
Largo	10.25	0.78
Ancho	3.41	0.26
Profundidad	3.41	0,26
Caja Pequeña		
Largo	6.83	0.52
Ancho	3.41	0.26
Profundidad	2.27	0.17
Volumen	(m ³)	(m ³)
Trampa total	119.18	0.052
Caudales	(m ³ /s)	(L/min)
Caudal de trabajo	0,2	3.28E-4
Tiempo	(h)	(h)
Retención	24	6.65
Suministro de aire	m ³ O ₂ /min	L O ₂ /min
	2.05	3.36

Nota: A. Paladines y A. Salazar

Análisis de datos

Una vez puestos en marcha los modelos a escala, se realizó los análisis de laboratorio de los parámetros turbidez, sólidos totales, aceites y grasas que permitieron verificar el porcentaje de remoción, en comparación de la calidad del agua establecida en la Tabla 3. Ambos modelos constaron de un sistema de aireación los cuales tuvieron variación en alta (3 L/min) media (2.5 L/min) y baja (2 L/min) concentración de oxígeno. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20.

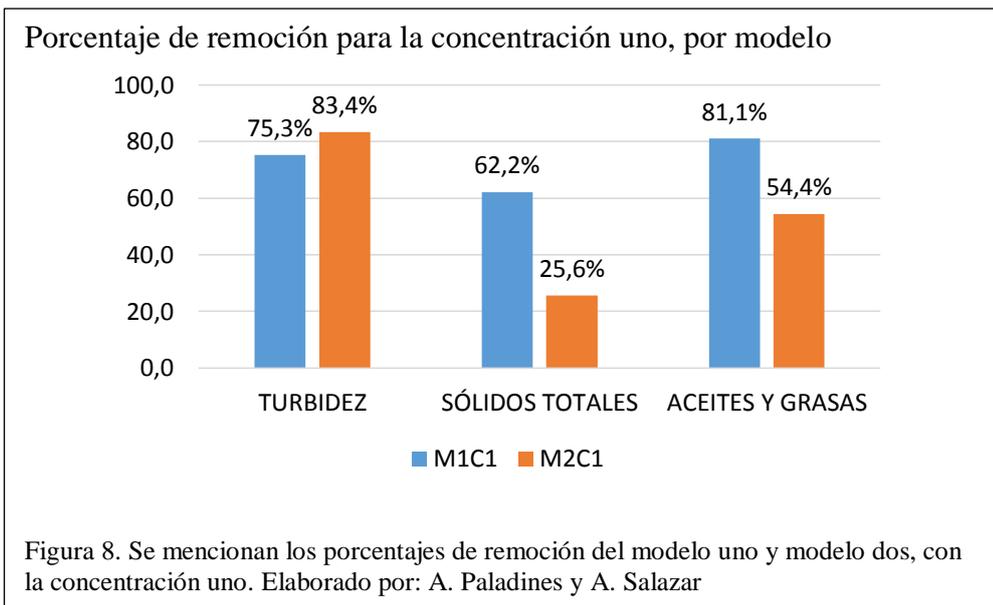
Comparación de datos de los modelos propuestos

Parámetros	MODELO 1			MODELO 2		
	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)
Concentraciones						
Concentración 1(2 L/min)	30,40	220,00	176,40	20,45	432,67	424,40
Concentración 2 (2,5 L/min)	27,78	428,00	52,20	8,92	140,67	711,20
Concentración 3 (3 L/min)	32,15	223,33	554,60	11,58	232,67	673,20

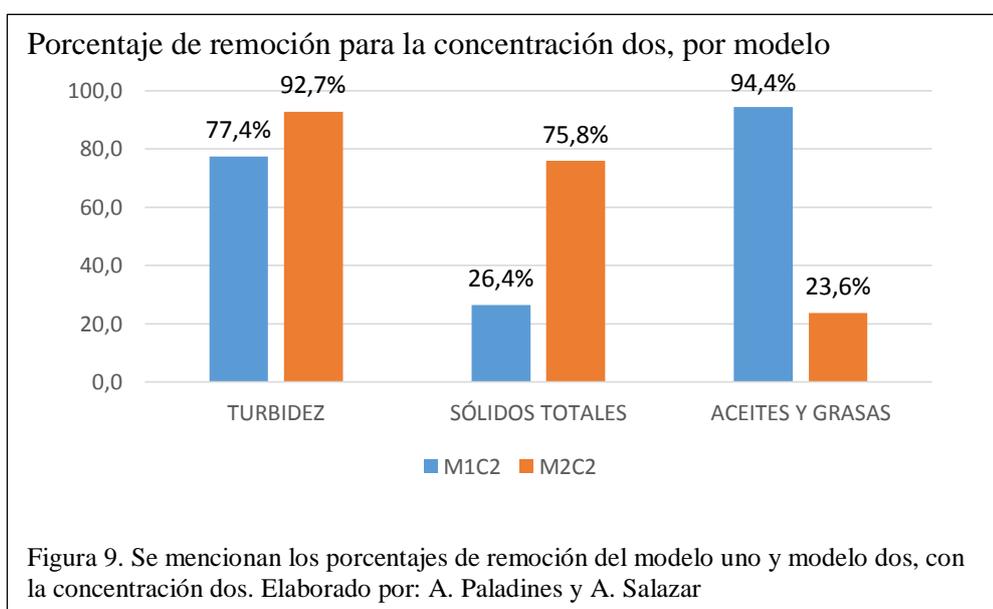
Nota: A. Paladines y A. Salazar

La tabla 20 resume los resultados de varias repeticiones obtenidos en los análisis de los parámetros tabulados (Ver anexo 11-13-15). La concentración uno que es la menor de las experimentadas, presento los mejores resultados de los parámetros estudiados y además si se considera que una menor concentración de aire es un menor consumo de energía y por ende de dinero, se estableció esta como la mejor.

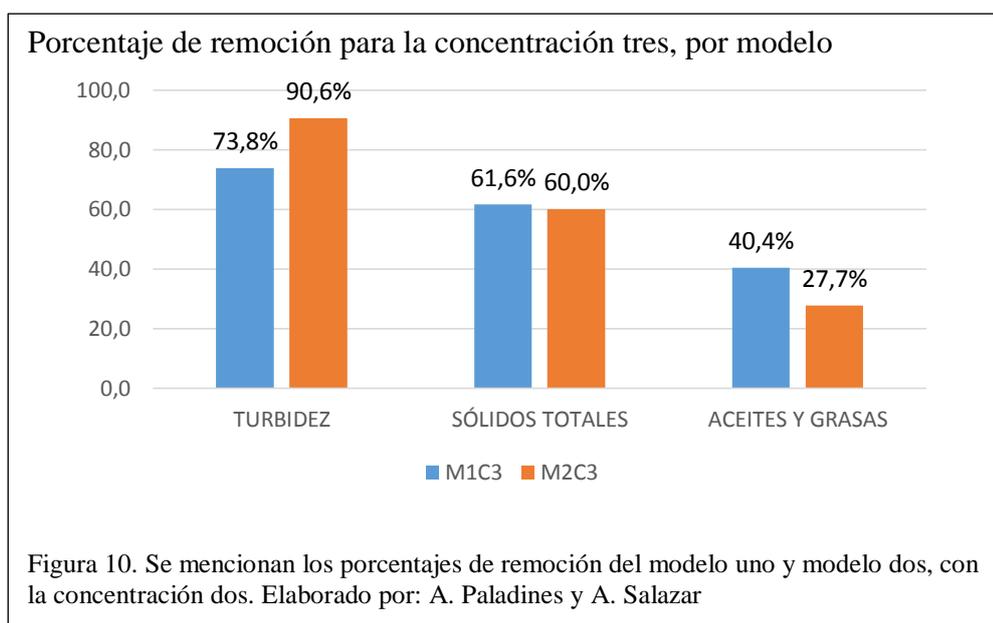
A continuación, se presentan las gráficas de resultados donde se analizaron los datos de los modelos versus concentraciones, tomando en cuenta los porcentajes de remoción, donde en azul muestra los resultados del modelo uno y en anaranjado los del modelo dos.



Se observan en la figura 8 los promedios de remoción para turbidez, sólidos totales, aceites y grasas siendo; 75,3%, 62,2% y 81,1% respectivamente; dando un promedio de porcentaje de remoción de 73% para el M1C1. Así mismo, los promedios de remoción con 83,4%, 25,6% y 54,4%, respectivamente para los mismos parámetros antes mencionados; promediándose a 54,5% para el M2C1.



En la figura 9 se destacan los promedios de remoción para turbidez, sólidos totales, aceites y grasas con; 77,4%, 26,4% y 94,4% respectivamente; proporcionando un promedio de porcentaje de remoción de 66,1% para el M1C2. Así mismo, los promedios de remoción con 92,7%, 75,8% y 23,6%, respectivamente para los mismos parámetros antes mencionados; promediándose a 64,1% para el M2C2.



Se muestran en la Figura 10 los promedios de remoción para turbidez, sólidos totales, aceites y grasas; 73,8%, 61,6% y 40,4% respectivamente; dando un promedio de porcentaje de remoción de 58,6% para el M1C3. Así mismo, los promedios de remoción con 90,6%, 60% y 27,7%, respectivamente para los mismos parámetros antes mencionados; promediándose a 59,4% el M2C3.

Se determinó que el modelo más eficiente con la concentración de aire óptima es el modelo uno y la concentración de oxígeno uno, valores que se pueden evidenciar en la figura 8 esta combinación M1C1 tiene porcentaje de remoción del

73% (Ver anexo 5), donde se muestra que existe mayor remoción en comparación a las demás combinaciones.

Discusión

El presente estudio pretendió determinar las unidades de tratamiento primario más adecuadas para la depuración de aguas residuales domésticas, basándose en la calidad del agua residual del sector de Guapulo de Quito D.M., con la finalidad de indagar que unidades son convenientes para aplicarse antes de un reactor de lodos activados.

Una vez tratada el ARD por los modelos diseñados se pudo descartar uno de ellos y tomar el más eficiente, por lo tanto, el modelo de mejor resultado fue el número uno a una concentración baja de oxígeno, que obtuvo un porcentaje de remoción para sólidos totales de 62.2%, para turbidez 75.3% y para A/G 81.1 %. Al respecto, la bibliografía indica que el tratamiento primario cumple con la función de remover el 9% de sólidos totales, el 12% de turbidez (Metcalf & Eddy, 2007) y algunos equipos como el tanque imhoff llegan a remover hasta 35% de la DBO₅ (Organización Panamericana de la Salud, 2005). Asimismo, el tratamiento primario ha sido utilizado ampliamente como tratamiento único para depurar ARD principalmente por su simplicidad, bajo costo de operación y alta capacidad de eliminar SST y DBO₅, pero existen limitaciones de eficiencia debido a la velocidad de sedimentación que es baja y la existencia de partículas no sedimentables (Reardon, 2005). A pesar de las ventajas que tienen los tratamientos primarios en la remoción de DBO₅ con un porcentaje del 19%, la principal unidad de tratamiento para remover DBO₅ es el tratamiento biológico con un porcentaje de remoción del 74% (Metcalf & Eddy, 2007). Como se muestra en los análisis en el segundo modelo donde la remoción de sólidos totales y en su rendimiento fue menor al

modelo uno, debido a sus limitaciones. Al contrario, Puig et al. (2010) quienes evaluaron a escala real el efecto de clarificación primaria sobre la eficiencia en la reducción de nutrientes en una PTAR, comenta que la ausencia del tratamiento primario no mejora la calidad del agua al pasar por este tratamiento, pero si beneficia la relación de los nutrientes como carbono, nitrógeno y fosforo al ingresar a un sistema biológico, especialmente cuando existen sistemas de tratamiento de aireación prolongada.

También, al considerar que el ARD del presente estudio cuenta con una carga bastante alta de A/G se justifica el uso de una operación unitaria para la remoción de este parámetro puesto que podría interferir en otros procesos tal como indica Mañunga (2012) en su estudio donde señala que los A/G se acumularon en el reactor de lodos activados, lo cual altera las características de sedimentabilidad del lodo secundario provocando su flotación y eventual esponjamiento, todo esto debido a la ausencia de un tratamiento preliminar.

En este estudio para la remoción de A/G se planteó, en el primer modelo que la remoción de grasas este unido al desarenador y en el modelo dos que este parámetro se trate mediante una operación separada al desarenador. En ambos casos se hizo uso de un sistema de aireación la cual se adaptó a diferentes concentraciones de oxígeno, donde a pesar de que el mejor resultado se dio en una concentración media de oxígeno con un porcentaje de remoción de 94.4%, se determinó como optima la de baja concentración de oxígeno con un porcentaje de 81.1% ya que además de remover A/G es funcional para los otros parámetros medidos. En concordancia Revuelta (2014), menciona que por medio de la inyección de aire en el desarenador se posibilita su utilización como desengrasador, al desemulsionar las

grasas y mejorar la flotación de las mismas. Además, se obtienen ventajas como la reducción de olores y la extracción de arenas con bajo contenido en materia orgánica.

Con el fin de verificar cuál de los dos modelos era el más efectivo se realizó un estudio estadístico mediante un análisis de varianza (Ver anexo 12-16), la diferencia estadística del análisis indicó que ambos modelos serían aplicables. Sin embargo, al considerar el área que ocuparía la implementación, la cantidad de remoción y las ventajas que presenta el modelo, como arenas más limpias y un control de olores eficiente se optó por la elección del M1.

4. Conclusiones

- Se determinó el tratamiento primario cuyo porcentaje de remoción demostró ser el más adecuado, el mismo consta de una operación de cribado, tanque homogeneizador y desarenador aireado de flujo helicoidal, el cual se tomó en base a la calidad de agua del presente estudio.
- En base a los resultados de remoción del 73%, 54.5% obtenidos para los modelos 1, 2 respectivamente y las concentraciones de oxígeno estudiadas se determinó que el modelo 1 con la menor concentración es el más adecuado, entonces el tratamiento primario de desarenador aireado resultó ser el mejor, además que este remueve en una unidad sólidos y grasas frente al otro modelo que necesita dos unidades.
- Los parámetros considerados en esta investigación y su porcentaje de remoción fueron turbidez 75,3%, sólidos totales 62,2% y A/G 81,1%, los cuales al comparar con bibliografía indicaron porcentajes mucho menores en turbidez 12%, sólidos totales 9% (Metcalf & Eddy, 2007); no obstante, para A/G no se obtuvo un dato específico, sin embargo como se observa si existe una remoción muy considerable.
- Se comprobó que el tratamiento primario es un proceso importante en la depuración de aguas residuales domésticas, ya que con el tiempo los sólidos volátiles decantan siendo este proceso el responsable de la remoción de la DBO. A pesar de que no cumple con los mayores porcentajes de remoción como lo haría un sistema biológico, como se mencionó previamente en algunos sitios se ha venido utilizando como el único sistema de depuración debido a sus porcentajes de remoción considerables.

5. Recomendaciones

Se recomienda promover la investigación en caracterización de agua residual doméstica a nivel nacional para que en base a estos datos, profesionales o empresas puedan tomar decisiones, plantear mejores diseños y mejorar la calidad del agua.

Con el fin de fomentar la investigación, sería importante realizar estudios respecto a modificaciones técnico-científicas del desarenador aireado de flujo helicoidal, que conlleven el análisis de diferentes variables, con el fin de mejorar aún más la eficiencia de remoción del modelo.

En base a un estudio social, económico y ambiental se propone determinar si es viable la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas totalmente completas como las que se están planteado en DMQ.

Al tener Quito un sistema de saneamiento combinado, se recomienda plantearse como estructura la colocación de un aliviadero que permita tratar el agua residual únicamente cuando sus concentraciones no se ven muy diluidas con el agua de infiltración y el agua lluvia, esto sería útil para la época seca, donde del 50% al 100% del caudal del río Machángara es agua residual y aquí si se va a necesitar tratarlo, ya que en estos casos las aportaciones de escorrentía e infiltración son nulas, por lo que se va a tener agua contaminada.

6. Referencias

- Agencia Publica de Noticias del Ecuador y Sudamerica (Andes). (2015). Ciudad amazónica de Ecuador ya cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ciudad-amazonica-ecuador-ya-cuenta-planta-tratamiento-aguas-residuales.html>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. (M.-H. I. S.A., Ed.). Bogota-Colombia.
- Garcia, M. (2006). *Diseño y dimensionamiento de una EDAR mediante tratamiento biológico de fangos activados*. Universidad de Cádiz.
- Grupo del Banco Mundial. (2002). Tasa de Crecimiento de la Población. Recuperado de <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/modules/social/pgr/>
- Hammeken, A. M., & Romero, E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Universidad de las Américas Puebla.
- Hernández, F., Molinos, M., & Sala, R. (2007). *Valoración economica de los beneficios ambientales del proceso de de aguas residuales*. Recuperado de <http://www.uv.es/asepuma/XVII/103.pdf>
- Hess, M. L. (1981). *Tratamientos Preliminares*. Sao Paulo-Brazil.
- Mañunga, T. (2012). *Evaluación del desempeño de un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto sin clarificación primaria tratando agua residual doméstica*. Universidad del Valle.
- Metcalf & Eddy, A. (2007). *Water Reuse issues, technologies and applications*. (McGraw-Hill, Ed.) (Primera ed). USA.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilizacion* (McGraw-Hil). España.
- Ministerio del Ambiente. Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (2015).
- Ojeda, A., & Tapia, J. (2011). *ESTUDIO EN MODELO HIDRÁULICO DE LAS*

OBRAS DEL TRASVASE DEL RIO DAULE AL RIO VINCES. Escuela Politécnica Nacional.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos: tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima. Recuperado de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf

Planta de tratamiento de aguas residuales toma forma. (2016). *La Hora*, A2. Retrieved from http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101904763/-1/Planta_de_tratamiento_de_aguas_residuales_toma_forma.html#.Vw0fi_nhDIV

Reardon, R. (2005). Clarification concepts for treating peak wet weather wastewater flows. *Florida Water Resources Journal*. Recuperado de http://fwrj.com/TechArticle05/0105_tech1.pdf

Revuelta, E. (2014). *DISEÑO DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE RAMONETE, T.M. DE LORCA (MURCIA)*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/46665/memoria.pdf?...1>

Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. *Agua Latinoamerica*, 1, 3.

Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales* (Primera Ed). Madrid. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=r9aK7UttDU8C&pg=PA102&dq=desarenador+de+flujo+horizontal&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj82-rvp7TMAhUJ9x4KHVU9BT8Q6AEIGjAA#v=onepage&q=desarenador de flujo horizontal&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=r9aK7UttDU8C&pg=PA102&dq=desarenador+de+flujo+horizontal&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj82-rvp7TMAhUJ9x4KHVU9BT8Q6AEIGjAA#v=onepage&q=desarenador%20de%20flujo%20horizontal&f=false)

Scott, C. A., Faruqui, N. I., & Raschid-Sally, L. (2004). *Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities*. *Irrigation*

and Drainage Systems. Recuperado de
<http://doi.org/10.1079/9780851998237.0000>

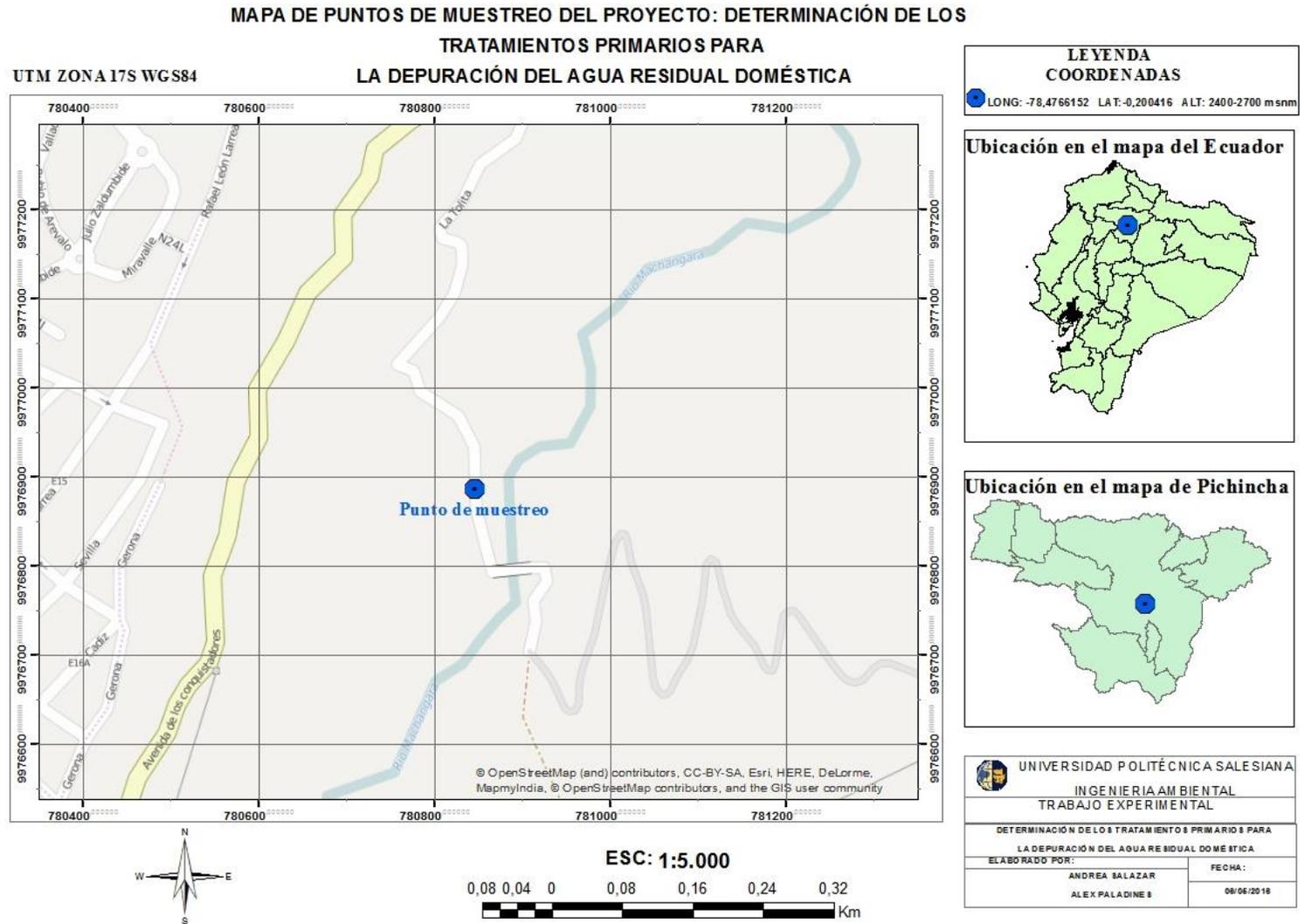
Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura . Una revisión Domestic wastewater reuse in agriculture . A review. *Agronomia Colombiana*, 26(1), 347–359. Recuperado de
<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13521/14204>

Tvn Canal. (2013). *Planta de tratamiento de aguas residuales se construirá en éste año*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Rup4ycMl6t0>

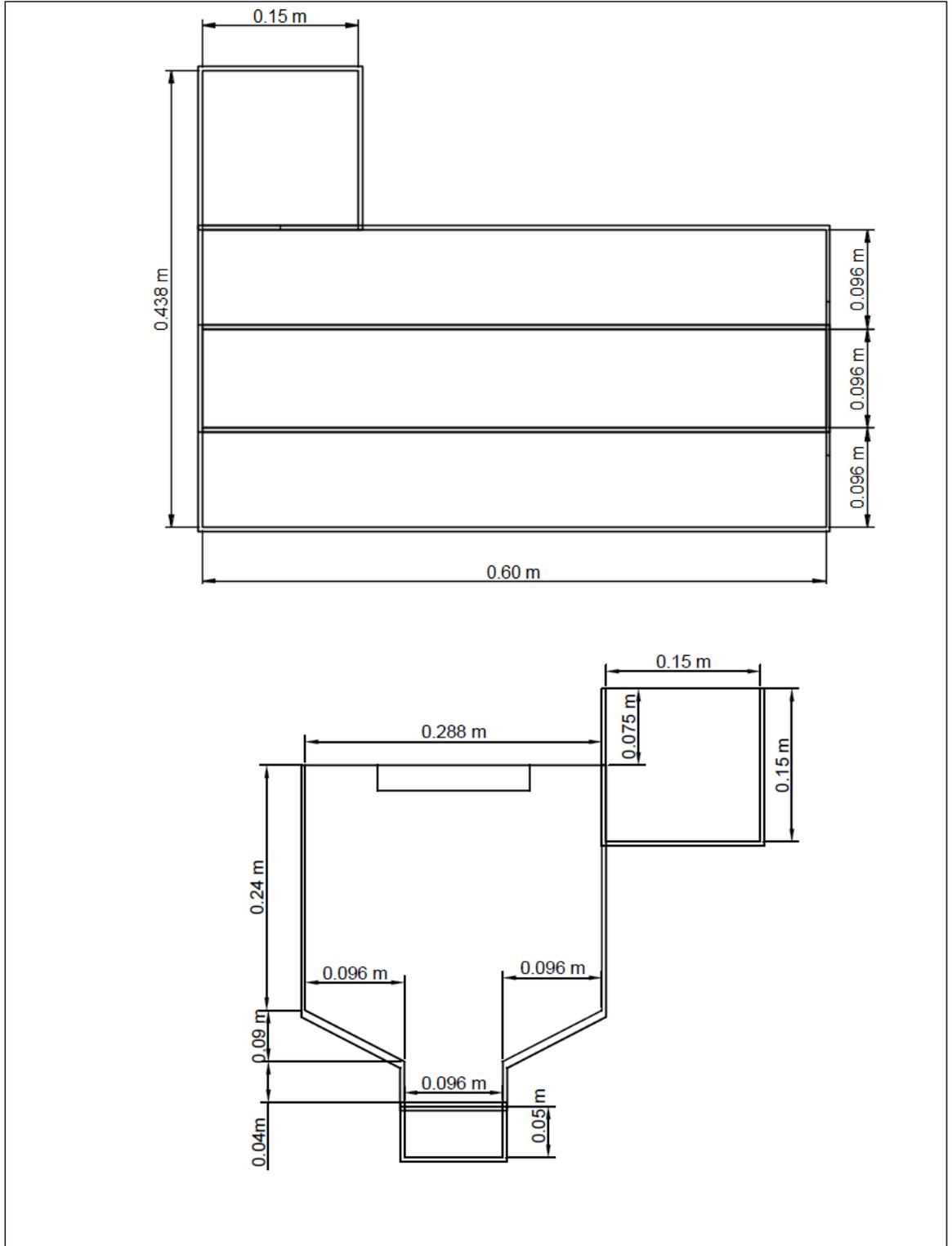
Valle, V. (2016). *Evaluación de parametros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito*. Universidad Politécnica Salesiana.

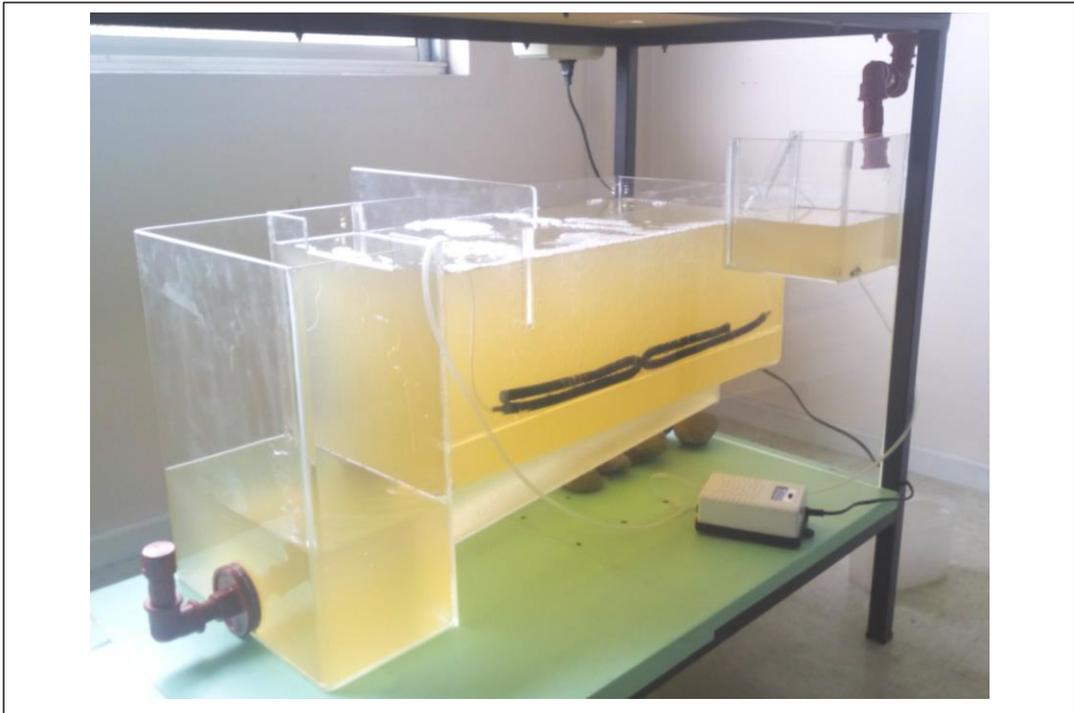
7. Anexos

Anexo 1. Mapa del sitio de muestreo

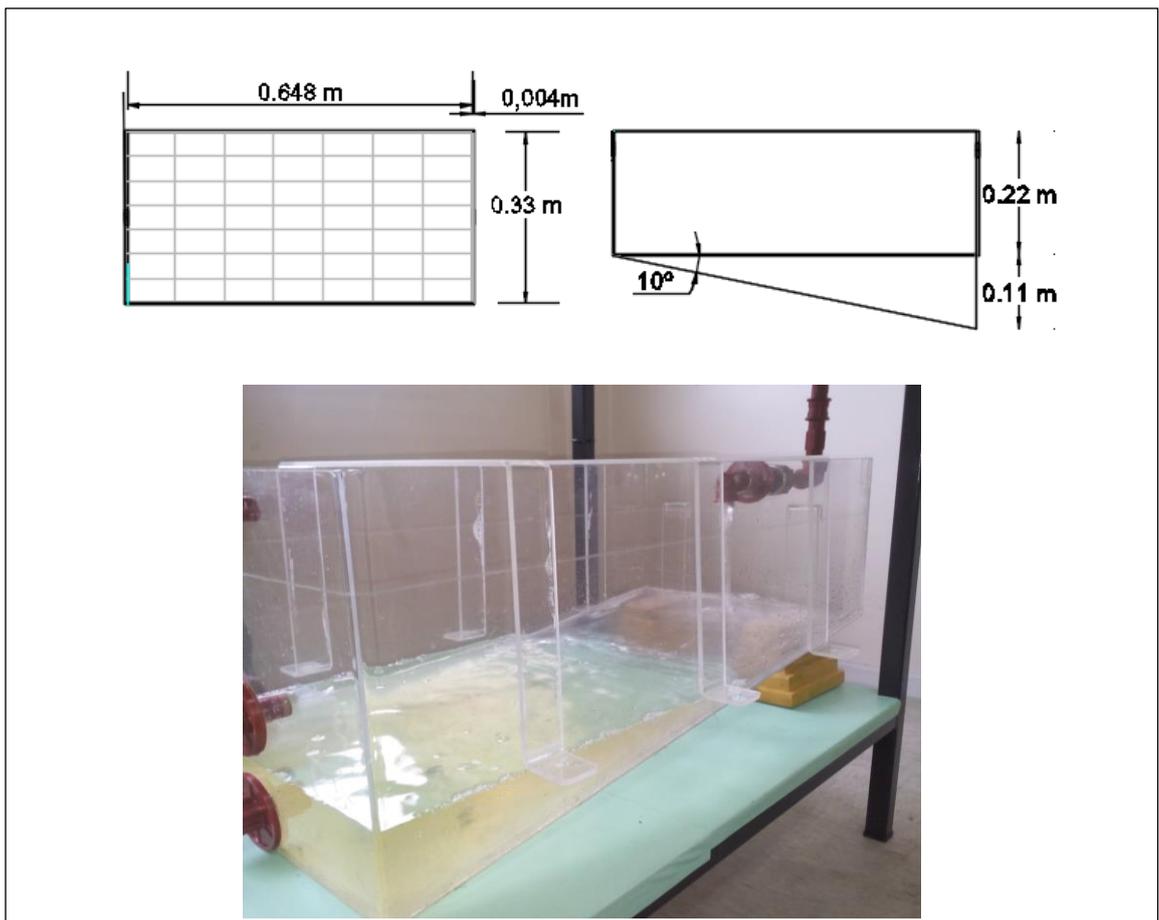


Anexo 2. Dimensiones del primer modelo propuesto, vista planta y vista frontal

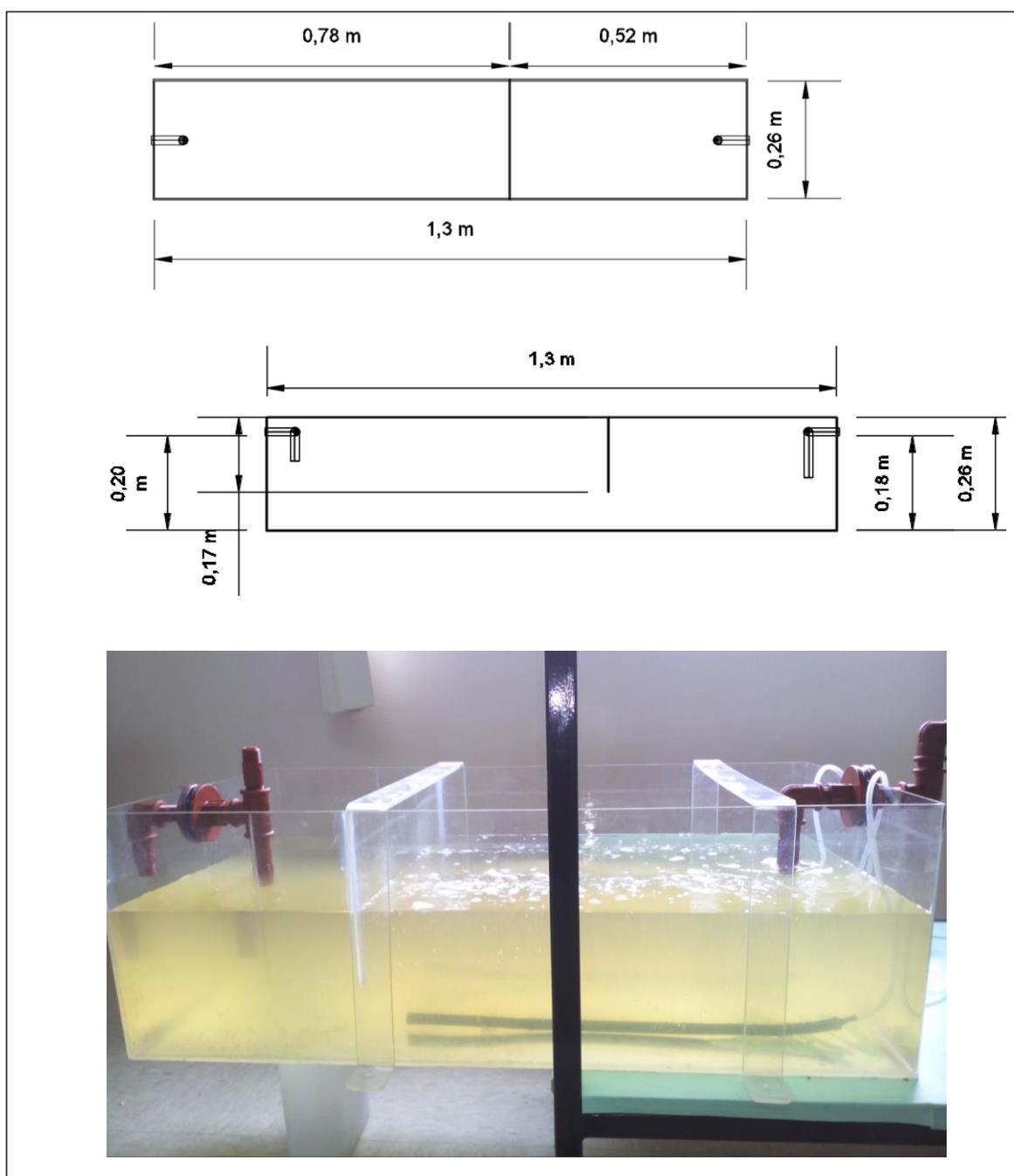




Anexo 3. Dimensiones del segundo modelo propuesto, vista planta y vista lateral



Anexo 4. Dimensiones del modelo de trampa de grasa, vista planta y vista lateral



Anexo 5. Comparación entre modelos y concentración uno

PARÁMETROS	M1C1 (%)	M2C1 (%)
TURBIDEZ	75,3	83,4
SÓLIDOS TOTALES	62,2	25,6
ACEITES Y GRASAS	81,1	54,4
PROMEDIO	73	54,5

Anexo 6. Comparación entre modelos y concentración dos

PARÁMETROS	M1C2 (%)	M2C2 (%)
TURBIDEZ	77,4	92,7
SÓLIDOS TOTALES	26,4	75,8
ACEITES Y		
GRASAS	94,4	23,6
PROMEDIO	66,1	64,1

Anexo 7. Comparación entre modelos y concentración dos

PARÁMETROS	M1C3 (%)	M2C3 (%)
TURBIDEZ	73,8	90,6
SÓLIDOS TOTALES	61,6	60,0
ACEITES Y		
GRASAS	40,4	27,7
PROMEDIO	58,6	59,4

Anexo 8. Porcentaje de remoción

Turbidez inicial (NTU)		122,85		
Concentraciones	Turbidez (NTU) M1	Turbidez (NTU) M2	%REMOCIÓN M1	%REMOCIÓN M2
Concentración 1	30,4	20,45	75,25	83,35
Concentración 2	27,78	8,92	77,39	92,74
Concentración 3	32,15	11,58	73,83	90,57

Anexo 9. Porcentaje de remoción

Sólidos totales inicial (mg/l)		581,75		
Concentraciones	Sólidos Totales (mg/l)M1	Sólidos Totales (mg/l) M2	%REMOCIÓN M1	%REMOCIÓN M2
Concentración 1	220	432,6667	62,18	25,63
Concentración 2	428	140,6667	26,43	75,82
Concentración 3	223,3333	232,6667	61,61	60,01

Anexo 10. Porcentaje de remoción

Aceites y grasas inicial (mg/lit)		930,8		
Concentraciones	Aceites y grasas (mg/lit)M1	Aceites y grasas (mg/lit)M2	%REMOCIÓN M1	%REMOCIÓN M2
Concentración 1	176,4	424,4	81,05	54,40
Concentración 2	52,2	711,2	94,39	23,59
Concentración 3	554,6	673,2	40,42	27,68

Anexo 11. Datos de turbidez para ADEVA

Turbidez inicial (NTU)	122,85	
	Turbidez (NTU) M1	Turbidez (NTU) M2
Concentración 1	31,1	20,1
	29,7	21
	31,2	20,3
	29,6	20,4
Concentración 2	27,2	9,33
	28,4	8,33
	27,5	8,91
	28	9,09
Concentración 3	31,7	11,5
	32,8	12
	31,8	11,6
	32,3	11,2

Anexo 12. Análisis de varianza - turbidez

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentraciones	200,51	2	100,25	347,03	4,21538E-15	3,55
Modelos	1625,92	1	1625,92	5628,07	6,31879E-24	4,41
Interacción	130,15	2	65,07	225,25	1,82421E-13	3,55
Dentro del grupo	5,20	18	0,29			
Total	1961,77	23				

Anexo 13. Datos de sólidos totales para ADEVA

Sólidos totales inicial (mg/l)	581,75	
	Sólidos Totales (mg/l)M1	Sólidos Totales (mg/l) M2
Concentración 1	224	330
	244	494
	192	474
Concentración 2	412	134
	422	150
	450	138
Concentración 3	220	194
	224	258
	226	246

Anexo 14. Análisis de varianza – sólidos totales

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentraciones	29213,78	2	14606,89	8,49	0,01	3,89
Modelos	2134,22	1	2134,22	1,24	0,29	4,75
Interacción	189677,78	2	94838,89	55,15	0,00	3,89
Dentro del grupo	20634,67	12	1719,56			
Total	241660,44	17				

Anexo 15. Datos de aceites y grasas para ADEVA

Aceites y grasas inicial (mg/lt)	930,8	
	Aceites y grasas (mg/lt) M1	Aceites y grasas (mg/lt)M2
Concentración 1	172,4	429,6
	180,4	419,2
Concentración 2	34,8	686,8
	69,6	735,6
Concentración 3	885,6	1062
	223,6	284,4

Anexo 16. Análisis de varianza – aceites y grasas

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Concentraciones	211745,04	2	105872,52	1,21	0,36	5,14
Modelos	350618,45	1	350618,45	4,02	0,09	5,99
Interacción	159232,51	2	79616,25	0,91	0,45	5,14
Dentro del grupo	523335,20	6	87222,53			
Total	1244931,20	11				