



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL.**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Ambiental”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE
LABORATORIO QUE SIMULE LOS PROCESOS DE DIGESTIÓN
AERÓBICA Y ANAERÓBICA.**

Autor: YURINA BELÉN CARRILLO SILVA.

Director: Dra. ANA MEJÍA LÓPEZ.

Riobamba – Ecuador

AÑO

2014

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO QUE SIMULE LOS PROCESOS DE DIGESTIÓN AERÓBICA Y ANAERÓBICA.**

Presentado por: **YURINA BELÉN CARRILLO SILVA**
y dirigida por: **Dra. ANA MEJÍA.**

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:



Ing. Mario Cabrera.
Presidente del Tribunal



Dra. Ana Mejía López.
Directora



Ing. Valeria Lara.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Yurina Belén Carrillo Silva y a la Directora del Proyecto Doctora Ana Mejía y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

YURINA CARRILLO

Nombre: Yurina Carrillo.

Cédula: 060301728-6

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento más profundo a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela de Ingeniería Ambiental y a sus Docentes por formarme como profesional de Éxito.

A la Doctora Ana Mejía tutora del proyecto de Investigación por brindarme la oportunidad el apoyo incondicional durante la realización de la tesis.

Agradezco a los miembros del tribunal de tesis por brindarme su tan valioso tiempo, por su excelente orientación, dirección y todos los consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de este trabajo.

Al personal del LSA (Laboratorio de Servicio Ambientales) de la Facultad de Ingeniería por el completo apoyo durante toda la fase de experimentación “gracias amigos”

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico con gran cariño y amor a mis padres, que con su trabajo y sacrificio han sido un pilar fundamental en mi vida, a mis familiares, amigos por todo el apoyo brindado para seguir alcanzando mis metas propuestas.

Yurina Belén Carrillo Silva.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE ANEXOS.	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.	v
RESUMEN	vii
SUMMARY	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	3
1.1 Agua residual.....	3
1.2 Origen de las aguas residuales.....	3
1.3 Composición de las aguas residuales.....	3
1.4 Características del agua residual doméstica o urbana.....	4
1.4.1 Características físicas.....	4
1.4.2 Características químicas.	5
1.4.3 Características biológicas.	5
1.5 Clasificación de las aguas residuales.....	6
1.6 Tratamiento de aguas residuales.....	7
1.7 Depuración biológica de aguas residuales.....	8
1.8 Sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población.....	9
CAPÍTULO II.....	24
2. Metodología.....	24
2.1 Tipo de estudio.	24
2.2 Operacionalización de variables.	24
2.3 Procedimientos.	25
2.3.1 Caracterización del agua residual urbana.	25
2.3.2 Diseño, construcción y puesta en marcha de la planta piloto a escala de laboratorio.....	26
2.3.3 Operación y puesta en marcha.	30
2.3.4 Elaboración de un manual de funcionamiento de la planta.	32
2.4 Procesamiento y análisis.....	32
2.4.1 Determinación de caudal.	32

2.4.2	Determinación de oxígeno disuelto y temperatura.	32
2.4.3	Determinación de pH.	33
2.4.4	Determinación de DQO demanda química de oxígeno.	34
2.4.5	Determinación de sólidos suspendidos.	34
2.4.6	Determinación de turbidez.	35
2.4.7	Determinación color.	36
2.4.8	Determinación sólidos sedimentables.	36
2.4.9	Determinación de coliformes totales y fecales.	37
CAPÍTULO III.		38
3.	Resultados.	38
3.1	Caracterización del agua residual.	38
3.2	Evaluación y funcionalidad del sistema con agua residual doméstica.	39
3.3	Parámetros de operación.	49
CAPÍTULO IV.		56
DISCUSIÓN.		56
CAPÍTULO V.		57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		57
5.1	CONCLUSIONES.	57
5.2	RECOMENDACIONES.	59
CAPÍTULO VI.		60
PROPUESTA.		60
6.1	Título de la propuesta.	60
6.2	Introducción.	60
6.3	Objetivos.	60
6.4	Fundamentación Científico –Técnica.	60
6.5	Descripción de la propuesta.	65
6.6	Diseño Organizacional.	66
6.7	Monitoreo y Evaluación de la propuesta.	66
VII. BIBLIOGRAFÍA.		67
VII. APÉNDICES Y ANEXOS.		69

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1	Resultados de la caracterización del agua residual durante la repetición 1.....	69
Anexo 2	Resultados de la caracterización del agua residual durante la repetición 2.....	70
Anexo 3	Valores de los diferentes parámetros analizados de la Repetición 1 del Tratamiento anaerobio.....	71
Anexo 4	Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 2 del Tratamiento anaerobio.....	72
Anexo 5	Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tratamiento aerobio.....	73
Anexo 6	Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 2 del Tratamiento aerobio.....	74
Anexo 7	Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tanque sedimentador.....	75
Anexo 8	Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tanque sedimentador.....	76
Anexo 9	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	77
Anexo 10	Manual de funcionamiento de la planta piloto para el tratamiento de aguas residuales.....	79

ÍNDICE DE CUADROS.

Tabla 1	Operacionalización de las variables.....	24
Tabla 2	Parámetros establecidos para la caracterización del agua tratada.....	31
Tabla 3	Resultados promedios obtenidos en la caracterización del agua residual repetición 1.....	38
Tabla 4	Resultados promedios obtenidos en la caracterización del agua residual repetición 2.....	38
Tabla 5	Datos obtenidos de los parámetros de operación en el tratamiento anaeróbico 1.....	50
Tabla 6	Datos obtenidos de los parámetros de operación en el tratamiento anaeróbico 2.....	51
Tabla 7	Valores obtenidos del tanque anaeróbico 1 del tratamiento 1 y del tanque anaeróbico 2 del tratamiento 2.	52
Tabla 8	Consideraciones de diseño.....	53
Tabla 9	Valores obtenidos de los parámetros de diseño y operación del tratamiento aeróbico 1.....	54
Tabla 10	Valores obtenidos de los parámetros de diseño y operación del tratamiento aeróbico 2.....	54
Tabla 11	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	55

ÍNDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.

Fig.1	Especificaciones Técnicas para el diseño de Tanque Séptico.....	15
Fig.2	Diseño del prototipo.....	27
Fig.3	Prototipo construido.....	27
Fig.4	Diseño de la planta.....	28
Fig.5	Prototipo.....	30
Fig.6	Medición de oxígeno disuelto y temperatura.....	33
Fig.7	Equipo para determinación de pH (Mettler Toledo).....	34
Fig.8	Equipo HACH DR 5000 para determinación de DQO Demanda Química de Oxígeno.....	34
Fig.9	Equipo HACH DR 5000 para determinación de sólidos suspendidos.....	35
Fig.10	Equipo para determinación de Turbidez (Hanna Instruments).....	35
Fig.11	Selección del programa (Color120) en el HACH DR 5000.....	36
Fig.12	Determinación del IVL en el cono Imhoff.....	36
Fig.13	Determinación de coliformes fecales y totales.....	37
Fig.14	Valores de pH.	39
Fig.15	Valores de Oxígeno disuelto mg/l.	39
Fig.16	Valores Turbidez FTU.	40
Fig.17	Valores de Sólidos suspendidos mg/l.....	40
Fig.18	Valores de DQO mg/l Repetición 1 – Repetición 2.....	41
Fig.19	Comparación de pH de la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico 1 y el tratamiento aeróbico.....	42
Fig.20	Comparación de pH de la repetición 2 la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico 1 y el tratamiento aeróbico.....	43
Fig.21	Comparación de Oxígeno disuelto pH de la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.....	44
Fig.22	Comparación de Oxígeno disuelto pH de la repetición 2 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.....	44
Fig.23	Comparación de Sólidos suspendidos de la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.....	45
Fig.24	Comparación de Sólidos suspendidos de la repetición 2 del agua cruda	46

	con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.....	
Fig.25	Reducción del DQO en porcentaje del agua cruda 1 y el tratamiento anaeróbico 1.....	46
Fig.26	Reducción del DQO en porcentaje de la repetición 2 del agua cruda respecto del tratamiento anaeróbico2.	47
Fig.27	Reducción del DQO en porcentaje del tratamiento anaeróbico 1 con el tratamiento aeróbico 1.	47
Fig.28	Reducción del DQO en porcentaje de la repetición 2 del agua cruda con respecto del tratamiento anaeróbico 2..	48
Fig.29	Porcentaje de reducción total de DQO del sistema entre el agua cruda y el tratamiento aeróbico de la repetición 1.	48
Fig.30	Porcentaje de reducción total de DQO del sistema entre el agua cruda y el tratamiento aeróbico de la repetición 2.	49

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar el tratamiento de las aguas residuales municipales combinando dos procesos biológicos como son el anaeróbico a través de tanques sépticos y el aeróbico a través de lodos activados operaciones que se realizan en un sistema de tratamiento a escala de laboratorio, construido en vidrio y consta de un tanque de almacenamiento, un tanque anaeróbico, un reactor de lodos activados y un sedimentador.

Para la puesta en marcha del prototipo se alimentó con agua residual doméstica urbana proveniente del ingreso de la planta de tratamientos de la Comunidad de Pulingui perteneciente a la Parroquia de San Andrés Cantón Guano, se lleva a cabo por un periodo de 30 días realizando 2 repeticiones de igual tiempo. Se tomaron datos diarios de Oxígeno disuelto, Sólidos Suspendidos (SS), Temperatura, pH, Turbidez y DQO para la determinación de la eficiencia del proceso.

En la caracterización del agua de ingreso se determinó que hay variación en los resultados de los parámetros determinados, debido a que no existe una educación ambiental en las personas y desechan a la alcantarilla todo tipo de residuos que no son los destinados para la red de alcantarillado para la cual fue diseñada la planta de tratamiento de aguas de Pulingui.

La eficiencia de remoción de la carga contaminante del reactor prototipo, tomando en cuenta los valores de (Demanda Química de Oxígeno) DQO fueron respectivamente del 56% del agua cruda respecto al tratamiento anaeróbico, mientras que se redujo el 65% en cuanto al tratamiento anaeróbico respecto del tratamiento aeróbico y de la misma manera el porcentaje total de reducción en el sistema es del 86%.

Finalmente el prototipo puede ser utilizado como material de apoyo para la cátedra Control de contaminantes 1 de la carrera de Ingeniería Ambiental y para procesos de investigación.

SUMMARY



Lic. Geovanny Armas.



Riobamba 28 de Octubre del 2014.

SUMMARY

This investigation aims to carry out the treatment of municipal wastewater by combining two biological processes such as the anaerobic process through septic tanks and the aerobic one through activated sludge, these operations are performed in a laboratory treatment system at scale, it is built in glass and it consists of a storage tank, an anaerobic tank, an activated sludge reactor, and a settling tank.

For starting, the prototype was fed with urban domestic wastewater coming from the entrance of the treatment plant located in the *Pulinguí* Community which belongs to the San Andrés parish, Guano canton, this process is conducted for a period of 30 days, 2 repetitions of the same duration were made. The data about dissolved oxygen, suspended solids (SS), temperature, pH, turbidity and COD for determining the efficiency of the process were taken.

The characterization of the incoming water determined that there is a variation in the results of the parameters, since there is no environmental education in people, they discharge to the sewer all types of waste that are not intended for the sewer network for which the water treatment plant at Pulinguí was designed.



A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'G. Armas'.

The efficiency in the removal of the polluting load from the prototype reactor, bearing in mind the values of (Chemical Oxygen Demand) COD were respectively 56% of the raw water compared to the anaerobic treatment, while the anaerobic treatment reduced 65% in comparison to the aerobic treatment and in the same way, the total percentage reduction is 86%.

Finally, the prototype can be used as support material for the subject about “Pollutant Control 1” taught in the career of Environmental Engineering and for research processes.



INTRODUCCIÓN

El agua residual es un producto inevitable de toda actividad humana tanto doméstica como industrial que al ser descargada sin ningún tratamiento previo en cuerpos hídricos o fuentes de aguas naturales representa una grave amenaza al ecosistema. Por lo tanto el desarrollo y la aplicación de procesos de tratamiento de aguas residuales es indispensable para preservar el ambiente, cuidar el recurso hídrico y proteger así la salud pública.

En países latinoamericanos existe el grave problema de la disposición de las aguas residuales generadas en centros urbanos, industriales y agrícolas, en el caso de las aguas residuales domésticas, el problema se agrava debido a que la población no cuenta con un sistema de drenaje, situación que se presenta cuando éste tiene un alto costo de construcción por la naturaleza del terreno o cuando las zonas pobladas crecen a una tasa mayor que los servicios de urbanización, aun citado lo anterior se presenta una propuesta para tratar estas aguas en un tanque séptico en un sistema que no es conocido su comportamiento, lo que con el prototipo diseñado se puede comprobar su funcionamiento.

La presente investigación estuvo orientada hacia el diseño y construcción de un prototipo a escala de laboratorio que simule los procesos de digestión aeróbica y anaeróbica utilizando para ello las aguas residuales domésticas provenientes de la planta de tratamientos de la comunidad de Pulingui perteneciente a la parroquia de San Andrés del Cantón Guano.

Los objetivos para el desarrollo de la investigación fue la caracterización del agua residual urbana, la realización del diseño, construcción y puesta en marcha de la planta piloto a escala de laboratorio, la evaluación de la funcionabilidad del sistema con agua residual doméstica, la caracterización del agua tratada y finalmente la elaboración de un manual de prácticas para la planta, los mismos que están desarrollados en el documento y que permiten verificar el cumplimiento de la hipótesis planteada que fue “El diseño y construcción de un prototipo logrará

simular los procesos de digestión aeróbica y anaeróbica utilizando las aguas residuales urbanas”, para lo cual se presentan los resultados como una fuente de verificación para el cumplimiento de esta hipótesis.

CAPÍTULO I

1.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.1 AGUA RESIDUAL.

Las aguas residuales son aquellas aguas servidas, fecales o cloacales que se encuentran contaminadas por sustancias fecales y orina procedentes de desechos orgánicos humanos o animales.

Las aguas residuales antes de ser vertidas en los cuerpos receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, al límite de evitar que su disposición provoque problemas de polución y de contaminación de las aguas de recepción.

1.2 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. [3]

1.3 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales se componen básicamente de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0,1% por peso de sólidos ya sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada y pueda ser ocupada en otra actividad como el riego, la agricultura entre otras actividades. El agua sirve y actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA O URBANA.

Existen 3 tipos de características de las aguas residuales domésticas o urbanas que son: físicas, químicas y biológicas.

1.4.1 Características físicas.

Temperatura: La temperatura oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

Turbidez: Se refiere a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (entre ellas tenemos el limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que causaría una menor productividad primaria.

Color: Suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro.

Olor: Se debe principalmente a la presencia de ciertas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles. Si las aguas residuales son recientes, no presentan olores desagradables ni intensos, a medida que pasa el tiempo aumenta el olor por el desprendimiento de los gases como el sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia.

Sólidos:

Se pueden clasificar en:

- Totales: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C durante 60 minutos.
- Fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización a 600 °C durante minutos.

- Volátiles: es la diferencia entre sólidos totales y fijos.

1.4.2 Características químicas.

Entre las características químicas tenemos las siguientes:

Materia orgánica: Esta constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar:

- Proteínas (40-60 %)
- Carbohidratos (25-50 %)
- Grasas y aceites (10 %)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante el lapso de 5 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO_5 . La diferencia entre el contenido de oxígeno en las dos muestras antes y después del periodo de incubación da el valor de la DBO valor expresado en ppm de O_2 .

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La DQO es una técnica que permite medir el material orgánico y algún compuesto inorgánico presente en las aguas residuales, susceptible a ser oxidado químicamente en una solución de dicromato en medio ácido. Al ser la DBO una técnica donde se oxida solo la materia orgánica biodegradable y la DQO oxida toda la materia orgánica, la relación entre ambos siempre será menor que la unidad. [10].

1.4.3 Características biológicas.

Las aguas residuales dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en ella gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse. [5]

Entre los principales grupos de organismos que se pueden encontrar son:

- **Bacterias:** Gran cantidad de bacterias inofensivas son desechadas normalmente por las heces de los seres humanos. Sin embargo, individuos infectados de bacterias patógenas excretan en sus heces bacterias patógenas, llegando a contaminar las ARD.
- **Virus:** provienen de la excreción por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Estos poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.
- **Algas:** su crecimiento está beneficiado por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno está producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium* 2 *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc.
- **Protozoos:** los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados.
- **Hongos:** la mayoría de estos son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace cumplir una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*. [5]

1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales se clasifican según su origen y composición. Las aguas residuales por su origen se clasifican en:

1. **Aguas residuales domésticas, urbanas o aguas negras:** Son los vertidos que se generan en los núcleos de la población urbana como consecuencia de las

actividades propias de estos. Los aportes que generan estas aguas son aguas negras o fecales, aguas de lavado doméstico, aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas y aguas de lluvia.

2. **Aguas residuales industriales:** son aquellas aguas que proceden de los diferentes procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
3. **Aguas residuales comerciales:** son aquellas aguas provenientes de los mercados, restaurantes, hoteles.
4. **Aguas residuales agrícolas:** son aquellas aguas procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

1.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como objetivo eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia o también llamado efluente tratado y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso.

Estas aguas básicamente pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (como por ejemplo: tanques sépticos) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Básicamente el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes como la basura de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas, posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para lo que es la eliminación de metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural como un río u otro ambiente como puede ser un terreno superficial, subsuelo, etc. Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. [15].

1.7 DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES.

Es importante el papel de los microorganismos en la depuración del agua, para ello se divide en:

- **Acción de los microorganismos anaerobios:** Las bacterias anaerobias atacan y descomponen gran cantidad de las materias en suspensión que tiene el agua residual. Por ello se colecta esta agua en depósitos profundos donde ocurre la descomposición anaeróbica. Estos microorganismos hidrolizan a compuestos más simples la celulosa, el almidón, las proteínas y las grasas. Se dice que puede solubilizarse el 50% de la materia orgánica. Entre los microorganismos más activos están: Escherichia, Aerobacter, Proteus, Clostridium.

- **Acción de los microorganismos aerobios:** El proceso aerobio disminuye la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos en el agua residual, mineralizando los productos del proceso anaerobio. Se usan tres métodos de purificación:
 - ✓ **Lechos aerobios o de contacto:** son depósitos cuyo fondo está constituido por piedras, grava, gravilla y arena, dispuestas en capas. Se regula la entrada del agua y ocurre la oxidación y descomposición de las sustancias disueltas.
 - ✓ **Sistema de riego sub-superficial:** En este sistema se distribuye el agua en el terreno de modo que siempre prevalezcan en él las condiciones aerobias, por lo que el tanque séptico situado a 40-50cm por debajo de la superficie del suelo descarga periódicamente una o dos veces al día, para que no se sature el sistema. El agua tiende a subir por capilaridad y en este recorrido del proceso aerobio, descompone la materia orgánica, lo que origina el CO₂ que con los cationes del suelo, da lugar a carbonatos.
 - ✓ **Lodos activados:** consiste en hacer burbujear aire durante algunas horas a través de toda la masa de agua. La materia en suspensión se deposita en forma de barro estabilizado, inofensivo y el líquido decantado puede verterse sin peligro a lagos, mares, corrientes de agua, etc. [15].

1.8 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA PEQUEÑOS NÚCLEOS DE POBLACIÓN

Este tipo de sistema está constituido por las siguientes operaciones:

a) TRAMPAS DE GRASA.

Las trampas de grasa también llamados interceptores de grasas son fuentes de almacenamiento o recipientes que se encuentran ubicados entre las líneas de desagüe de la fuente o fuente generadora del residuo líquido y las alcantarillas,

esta permite la separación y recolección de grasas y aceites del agua usada la misma que evita que estos materiales ingresen a la red de alcantarillado público.

El objetivo de la trampa de grasa es principalmente evitar que las grasas y aceites entren al sistema de alcantarillado en grandes cantidades, debido a que estas puedan afectar debido a que estas generan enormes perturbaciones al sistema de recolección de las aguas servidas.

Funcionamiento de la trampa de grasas.

Las trampas de grasas aplazan el flujo del agua procedente de los desagües, con lo que las grasas y el agua tienen tiempo para separarse. Al separarse las grasas flotan en la superficie mientras que otros sólidos más pesados se depositan en el fondo de la trampa. El resto del agua pasa libremente por el alcantarillado.

Requisitos para la instalación de trampas de grasas.

- Las trampas de grasa deben instalarse cerca del punto generador de grasa como sea posible.
- Deben ser colocadas según el espacio disponible sobre el suelo parcialmente o empotradas.
- Debe existir espacio libre suficiente para retirar la tapa de la trampa de grasa y facilitar su inspección y mantenimiento.
- Deberá ser ubicada en lugares seguros y no expuestas a riesgos por fugas o derrames.
- La distancia total de las tuberías entre el punto generador de grasas más lejanas y la entrada a la trampa de grasa nunca deberá ser mayor a 7 metros.
- Se debe tener en cuenta que los lavabos, duchas y retretes no deben conectarse a la trampa de grasas.

Mantenimiento de la trampa de grasas.

Para realizar el mantenimiento adecuado es necesario que la persona encargada del mantenimiento posea lo siguiente:

- El usuario deberá tener como mínimo guantes, botas y mascarillas.
- No se debe usar detergentes ni jabones.

Iniciar con el mantenimiento de la siguiente manera:

- Destapar y extraer los flotantes que son las natas de grasas y aceites, usar un colador con orificios que le permita retirarlos. Si hay suficiente cantidad retirar los lodos del fondo dejando un residuo aproximado al 20% del total.
- Remover grasas, aceites y sólidos del fondo de la trampa usando espátulas, palas o herramientas que le permitan realizar esta labor.
- Recoger y transportar las natas y lodos, preferibles en canecas, retirándole toda el agua posible. Evitar cualquier derrame.
- Las grasas se deben vaciar en fundas completamente serradas y listas para depositarlas en la basura.
- Para aceites y derivados del petróleo, recoger y transportar los lodos y natas en contenedores herméticos resistentes al impacto. Luego deben almacenarse para ser desalojados. Los aceites de las lubricadoras deberán almacenarse en contenedores para luego ser comercializadas.

b) TANQUE SÉPTICO.

Es un sistema de tratamiento de las aguas residuales domesticas provenientes de una vivienda o un conjunto de viviendas, que combinan la separación y digestión de sólidos. El efluente es dispuesto por infiltración en el terreno y los sólidos sedimentados acumulados en el fondo del tanque los mismos que son removidos periódicamente de forma manual o mecánica. [22].

Diseño del tanque séptico.

Para el diseño del tanque séptico es necesario determinar los siguientes aspectos:

1. Tiempo de retención hidráulica del volumen de sedimentación.
2. Volumen de sedimentación.
3. Volumen de almacenamiento de lodos.
4. Volumen de natas.
5. Espacio de seguridad.

Tiempo de retención hidráulica del volumen de sedimentación.

$$Pr = 1.5 - 0.3 * \log (P*q) \quad (\text{Ecuación 1}).$$

Dónde:

Pr = Tiempo promedio de retención hidráulica en días.

P = Población servida.

q = Caudal de soporte unitario de aguas residuales en litros/habitante/día.

Nota: En ningún caso el tiempo de retención hidráulica de diseño deberá ser menor a seis horas.

Volumen de sedimentación. Se calcula mediante la siguiente formula.

$$Vs = 10^{-3} \times (P \times q) \times Pr \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Dónde:

Vs = Volumen de sedimentación en m³.

Volumen de almacenamiento de lodos. Se calcula mediante el empleo de la siguiente formula:

$$V_d = G \times P \times N \times 10^{-3} \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Dónde:

V_d = Volumen de almacenamiento de lodos en m^3 .

G = Volumen de lodos producidos por persona y por año en litros.

N = Intervalo de limpieza o retiro de lodos en años.

Volumen de lodos producidos. La cantidad de lodos producidos por habitante y por año depende de la temperatura ambiental y de la descarga de los residuos de la cocina, los valores a considerarse son los siguientes:

- Clima cálido: 70 litros/ habitante/año.
- Clima frío: 60 litros/ habitante/año.

En caso de descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales entre otros, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasas que afecte al buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, a los valores anteriores se les adiciona un valor de 20 litros/habitante –año.

Volumen de natas. Como valor normal se considerara un volumen máximo de $0.7 m^3$.

Espacio de seguridad. La distancia entre la parte inferior del ramal de la tee de salida y la superficie inferior de la capa de nata no deberá ser menor a 0.10m.

Profundidad de sedimentación. Se tomara como el valor resultante de la división entre el volumen de sedimentación (V_s) y el área superficial del tanque séptico (A). Se debe tomar en cuenta que por ningún caso la profundidad de sedimentación será menor a 0.30.

Profundidad de nata y de almacenamiento de lodos. La determinación de las profundidades correspondientes al volumen de natas y el volumen de lodos, se

efectuara dividiendo el volumen de las natas y el volumen de almacenamiento de lodos entre el área superficial del tanque séptico.

Profundidad neta del tanque séptico. La profundidad neta del tanque séptico se obtendrá a partir de la suma de las profundidades de natas, sedimentación, almacenamiento de lodos y del espacio de seguridad.

Características del tanque séptico.

- a) La relación largo: ancho del área superficial del tanque séptico deberá estar comprendida entre 2:1 a 5:1.
- b) El espacio libre entre la capa superior de las natas o también llamadas espuma y la parte inferior de la losa del techo del tanque séptico no será menor a 0.30 m. En este punto se deberá considerar que un tercio de la altura de la nata o espuma se encontrara por encima del nivel del agua.
- c) El ancho del tanque séptico no deberá ser menor a 0.60 m y la profundidad neta no menor a 0.75 m.
- d) El diámetro mínimo de las tuberías de la entrada y de salida del tanque séptico será de 100 mm (4") y 75 mm (3") respectivamente.
- e) El nivel de la tubería de la salida del tanque séptico deberá estar situado a 0.05 m por debajo de la tubería de entrada del tanque séptico.
- f) Los dispositivos de entrada y de la salida del agua residual al tanque séptico estarán constituidos por tees o pantallas.
- g) Cuando se van usar las pantallas se deben tener en cuenta que estas deberán estar distanciadas de las paredes del tanque séptico a no menos de 0.20 m ni mayor a 0.30m.
- h) La prolongación del ramal de fondo de las tess o pantallas de entrada y salidas serán calculadas por la siguiente formula:

$$(0.47/A + 0.10)$$

- i) La parte superior de los dispositivos de entrada y salida deberán dejar una luz libre para la ventilación de no más de 0.05m por debajo de la losa del techo del tanque séptico
- j) Cuando el tanque tenga más de una cámara, las interconexiones entre las cámaras consecutivas se proyectaran de tal forma que evite el paso de natas y lodos al año horizonte del proyecto.
- k) El fondo de los tanques sépticos tendrá pendiente de 2% orientada hacia el punto de ingreso de los líquidos.
- l) En los casos en que el terreno lo permita, se colocara una tubería de 150 mm de diámetro para el drenaje de lodos, cuyo extremo se ubicara a 0.10 m por encima de la sección más profunda del tanque séptico. La tubería estará provista de la válvula del tipo compuerta y la carga de agua sobre el mismo no deberá ser menor a 1.80m.
- m) El techo de los tanques sépticos deberán estar dotados de losas removibles y registros de inspección. Las losas removibles deberán colocarse sobre los dispositivos de entrada, salida e interconexión y deberán ser no menor a 0.60 x 0.60 m. los registros serán de 150mm de diámetro como mínimo y se ubicaran al medio de cada cámara del tanque séptico.

En la figura 1 se indica los detalles de la construcción del prototipo.

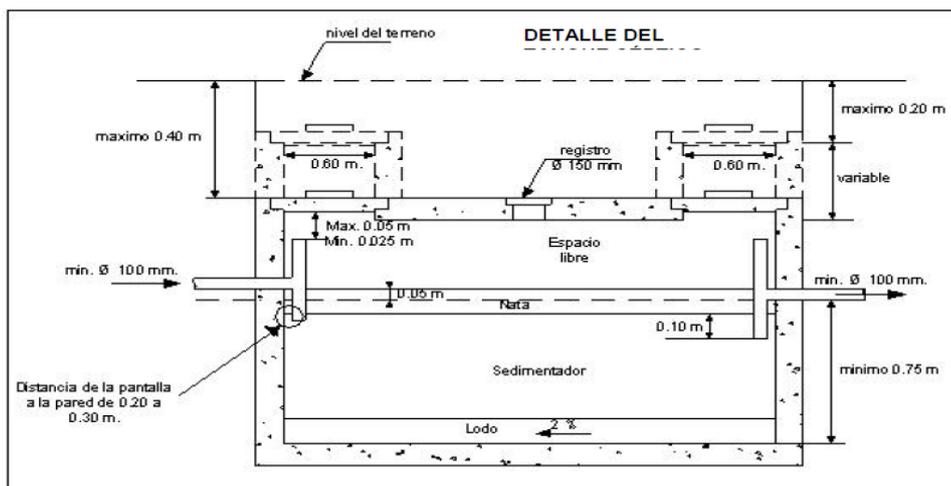


Fig. 1 Especificaciones Técnicas para el diseño del tanque séptico.

Responsable: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Operación y control del tanque séptico.

Arranque. Antes de poner en funcionamiento el tanque séptico, este debe ser llenado con agua y si fuera posible inoculado con lodo proveniente de otro tanque séptico a fin de acelerar el desarrollo de los microorganismos anaeróbicos. Es aconsejable que la puesta en funcionamiento se realice en los meses de mayor temperatura para facilitar el desarrollo de los microorganismos en general.

Inspección y evaluación. El Tanque séptico se debe inspeccionar cada año, cuando se trate de instalaciones domésticas y cada seis meses en el caso de establecimientos públicos como escuelas, industrias o comercios. Al abrir el registro del tanque séptico para efectuar la inspección o la limpieza, se debe tener el cuidado de dejar transcurrir un tiempo hasta tener la seguridad que el tanque se haya ventilado lo suficiente porque los gases que en ella se acumulan pueden causar asfixia o ser explosivos al mezclarse con el aire.

El tanque séptico se debe limpiar cuando el fondo de la capa de nata se encuentre a unos ocho centímetros por encima de la parte más baja del deflector o prolongación del dispositivo de salida o cuando la capa de lodos se encuentre a 0,30 m por debajo del dispositivo de salida.

La caja de distribución debe ser inspeccionada cada tres o seis meses para observar la presencia de sedimentos que pudieran afectar la distribución del agua residual hacia los fosos o zanjas de percolación. En caso de verificarse una mala distribución de agua por la presencia de sólidos se deberá proceder a su limpieza.

c) LODOS ACTIVADOS.

El proceso aerobio de crecimiento en suspensión, o más comúnmente conocido como lodos activados, fue desarrollado en Inglaterra por E. Arden y W. T. Lockett en 1914. Ellos observaron que al proveer de aire al agua residual se conducía al

aparecimiento de flóculos, los cuales al ser retenidos en el sistema contribuían a la eliminación de compuestos orgánicos en un menor periodo de tiempo. [2].

Lo lodos activados es un proceso biológico aerobio de crecimiento en suspensión, usado en el tratamiento de aguas residuales basado principalmente en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas negras y los lodos biológicamente activos.

Los lodos activados se desarrollan inicialmente por la aireación prolongada bajo ciertas condiciones que favorecen el crecimiento de los organismos que tienen la habilidad de oxidar la materia orgánica.

La materia orgánica degradable, que se encuentra en el agua residual, se estabiliza por la acción de las bacterias, que utilizan esa materia a manera de alimento, ya que de ella obtienen la energía que requieren para mantenerse vivas y reproducirse.

El sistema está conformado por las siguientes unidades internas.

- a) Cámara de sedimentación primaria (digestión anaeróbica).
- b) Cámara de aireación (digestión aeróbica)
- c) Cámara de sedimentación secundaria.
- d) Cámara de cloración. (Opcional)
- e) Filtro UVC (Opcional)

a) Cámara de sedimentación primaria.

Esta cámara recibe el efluente crudo, la materia en suspensión se sedimenta y se produce un primer tratamiento anaeróbico de la carga orgánica, así como la digestión de parte de los barros generados en la etapa aeróbica, aquí se tratan los sólidos gruesos (papeles y algodones así como también la orina).

b) Sistema de aireación.

Este es alimentado por soplador, dispersa el aire en el fondo de la cámara de aireación por medio de una serie de difusores de alto rendimiento y están diseñados de tal manera que son inconstruibles, impidiendo el retorno del líquido por la cañería al cesar el flujo de aire. En esta etapa se eliminan todos los elementos que provocan olores y también las grasas y detergentes.

c) Cámara de sedimentación secundaria.

Proceso que está asociado a los tratamientos biológicos o secundarios.

d) Cámara de cloración.

Esta etapa implica la eliminación de todo tipo de contaminación bacteriana a través de incorporación de cloro a demanda. Se prevé un mínimo de contacto del líquido con el cloro de 30 minutos.

e) Filtro UVC.

El filtro UV es un equipo que tiene adentro de tubo de luz ultravioleta el cual está en contacto con el agua del estanque. La función de este filtro es eliminar las algas unicelulares (agua verde), algas microscópicas que no capture el filtro mecánico, parásitos, hongos, bacterias y virus. [14]

PARÁMETROS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

Parámetros operacionales.

Existen unos parámetros operacionales que son característicos del proceso, cuyos rangos se deben respetar para mantener un óptimo rendimiento.

Carga Másica: Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico al día y la masa de microorganismos existentes en el mismo. Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración que puede dar la planta.

La fórmula de la carga másica se expresa como:

$$C_m = Q * S_0 / V * X \quad (\text{Ecuación 4}).$$

Dónde:

Q = es el caudal (m³/día).

S₀ = es el DBO5 de entrada (mg/l).

V = es el volumen (m³).

X = Sólidos en Suspensión Volátiles del Licor Mezcla (mg/l)

Edad del Fango: Es la relación entre la masa de fangos existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad del fango tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO. Cada operador debe encontrar la edad de fango adecuada para su planta en concreto dentro de unos rangos que están relacionados con la carga másica. La fórmula para calcular la edad del fango es la siguiente:

$$E = V * X / Q_p * X_p \text{ (días)} \quad (\text{Ecuación 5}).$$

Dónde:

Q_p = caudal de purga de fangos (m³).

X_p = Sólidos en suspensión volátiles de los fangos purgados o fangos en exceso (mg/l).

Carga Volumétrica: Es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor, por unidad de tiempo y el volumen de la cuba. La carga volumétrica se expresa con la siguiente formula:

$$C_v = Q * S_0 / V \text{ (Kg DBO5/m}^3 \text{ día)} \quad (\text{Ecuación 6}).$$

Rendimiento en la Depuración: Es la relación entre la masa de la materia orgánica eliminada y la del influente que entra en el reactor biológico. Se expresa en porcentaje de eliminación:

$$R = S_0 - S / S_0 \text{ (\%)} \quad (\text{Ecuación 7}).$$

S = DBO5 del efluente del decantador secundario.

S₀ = DBO de entrada.

Parámetros de control.

El control se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores relacionados entre sí:

Relación Alimento/Microorganismo, F/M – A/M: Este valor representa la razón los kg./día de DBO5, por Kg. de sólidos suspendidos en el reactor. El valor de F/M constituye un parámetro de diseño y se usa para determinar el tipo de proceso de lodos activados a usar. El F/M nos indica cuanto de alimento hay para los lodos activados. El monitoreo constante del F/M permitirá a los operadores obtener el mejor F/M de la planta.

Para determinar F/M se usa la expresión siguiente:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{V X} \quad (\text{Ecuación 8}).$$

Dónde:

Q = caudal del efluente (m³/día).

S₀ = concentración de sustrato del efluente (mg/l).

V = volumen del reactor (m³).

X = biomasa en el reactor (mg SSV/L).

ϑ = tiempo de retención hidráulica (d).

Decantabilidad de los Fangos en el Clarificador: La decantabilidad puede controlarse mediante el Índice Volumétrico de Fangos.

Tiempo de Permanencia del Fango Activo en el Decantador Secundario: El fango del decantador debe extraerse tan pronto como se forme la manta de fangos, cuyo espesor se recomienda que esté comprendido entre 0,3 - 1 metro, esto se controla con el disco Secchi.

Concentración de Oxígeno Disuelto en la Cuba de Aireación: La aportación de O₂ a la cuba debe ser suficiente para que los microorganismos puedan respirar y oxidar la materia orgánica y debe regularse en función de la carga orgánica que llegue a la cuba.

Edad de lodos: Es la relación entre la masa celular en el reactor y la masa celular extraída por día, para calcular la edad de lodos se aplica la ecuación:

Es decir:

$$\vartheta_c = \frac{V X}{Q_w X_R + Q_e X_e} \quad (\text{Ecuación 9}).$$

Dónde:

ϑ_c = tiempo promedio de retención celular con base en el volumen del tanque de aireación.

V = volumen del tanque de aireación (m³).

X = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM, con mg/l.

Q_w = caudal del lodo dispuesto (m³/día).

X_R = concentración de SSV en el lodo dispuesto (mg/l).

Q_e = caudal efluente tratado (m³/día).

X_e = concentración de SSV en el efluente tratado (mg/l).

Índice Volumétrico de lodos SVI. Es una herramienta que nos ayuda a determinar las tendencias del sistema, este índice debe graficarse todos los días para determinar si existe diferencia de un día a otro y para optimizar el sistema. Si en caso el SVI comienza aumentar a lo largo de la semana se debe buscar la causa de inmediato. Para calcular el SVI se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{IVL} = (\text{SSe}) * (1000) / (\text{SSTLM}) \quad (\text{Ecuación 10}).$$

IVL = Volumen del lodo sedimentado en una probeta de 1 L, después de 30 min (ml/L) dividido por la concentración de SSTLM y este resultado multiplicado por 1000.

Caudal de Recirculación: Regula la concentración de sólidos en suspensión en la cuba, es decir los sólidos suspendidos del licor mezclado.

Extracción de Fangos en exceso: Regula la edad del fango y la concentración de los sólidos suspendidos del licor mezclado en la cuba. Existen otros factores que no son controlables por el operador, pero que influyen decisivamente en el rendimiento, como son:

TIPOS DE LODOS ACTIVADOS.

Convencional. Este proceso se caracteriza por operar con régimen de flujo pistón. Este proceso consiste de un tanque de aireación, un sedimentador secundario y una recirculación del lodo. El sistema de aireación puede estar constituido por difusores o aireadores mecánicos, obteniéndose eficiencia en la remoción de DBO5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que varía de 4 a 8 horas. Este proceso es sensible a sobrecargas.

Mezcla Completa. Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa entre las bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman

flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentara en la unidad subsiguiente del sistema. Este tipo de tratamiento es el más comúnmente utilizado a nivel mundial para tratar aguas residuales de ciudades de población media, además de ser uno de los procesos más estudiados y seguros con el cual es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico de 3 a 5 horas.

Lodos de Aireación Prolongada o Extendida. Conocido también como Oxidación Total, en este tipo de lodos activados el tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión. Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA.

2.1 TIPO DE ESTUDIO.

El tipo de estudio del presente tema de investigación está basado en un método experimental y deductivo.

El método es experimental porque se controla variables como: caudal, pH, sólidos suspendidos en el licor de mezcla, retorno de lodos y es deductivo porque se podrá proyectar los resultados a escala real.

2.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Las variables se operacionalizarán en función de su categoría y se refleja en la Tabla 1.

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	TÉCNICAS
Diseño del prototipo a escala de laboratorio.	Es una planta de proceso a escala reducida, con el fin de obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.	Variable independiente	Caudal TRH F/M	Medición directa Criterios de diseño para un tratamiento anaerobio y aerobio.

Digestión aeróbica y anaeróbica.	<p>Digestión anaeróbica: proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.</p> <p>Digestión aeróbica: Procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.</p>	Variable dependiente.	pH Temperatura Caudal Oxígeno disuelto. DBO DQO Sólidos suspendidos	Potenciómetro Medición termométrica. Medición directa. HACH. Espectrofotómetro.
----------------------------------	--	------------------------------	---	---

Tabla 1: Operacionalización de las variables.

Responsable: Yurina Carrillo.

2.3 PROCEDIMIENTOS.

Los procedimientos que se aplicaron cumplieron con los objetivos específicos planteados en el anteproyecto siendo estos:

Caracterización del agua residual urbana.

Diseño, construcción y puesta en marcha la planta piloto a escala de laboratorio.

Evaluación de la funcionabilidad del sistema con agua residual doméstica.

Caracterización del agua tratada.

Elaboración de un manual de prácticas para la planta.

2.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA.

Para la caracterización del agua residual urbana se tomó las muestras al ingreso de la planta de tratamientos de la Comunidad de Pulingui utilizando la vestimenta apropiada (botas de caucho, mascarilla, recipientes, botellas etc).

Las muestra se toma en forma puntual después del desbaste, recolectando de 20 litros diarios aproximadamente, los mismos que servirán para realizar los análisis y alimentar el prototipo.

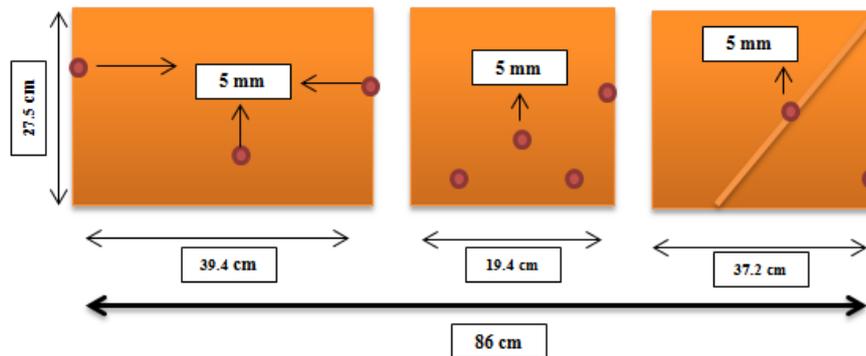
Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, los parámetros analizados en las dos repeticiones realizadas son: Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Caudal, Sólidos suspendidos, Turbidez, DQO, Color, Sólidos Sedimentables. (**Ver Anexo 1 - 2**).

2.3.2 DISEÑO, CONSTRUCCION Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA PILOTO A ESCALA DE LABORATORIO.

a) DISEÑO Y CONSTRUCCION.

Para el diseño se consideró que su tamaño debe ajustarse para tratar aproximadamente 20 litros por día de agua, volumen que permitiera la evaluación del comportamiento del sistema con una cantidad de agua manejable para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas.

El prototipo consiste en un tanque de vidrio de 86 cm de largo, 19cm de ancho y 27.5 cm de alto, con un volumen útil aproximado de 27.8 L, dividido en tres compartimientos, uno que corresponde a la cámara anaeróbica, el segundo compartimiento al tanque de aeración o reactor aeróbico y el tercero al sedimentador. Con volúmenes de 15.78 -7.7 y 4.4 litros respectivamente. Dichas unidades se comunican a través de orificios de 5 mm de diámetro, ubicados en la parte superior de los tabiques. En las parte media existen salidas con una manguera que permite la extracción de muestras para su análisis .**Ver figura 2.**



*Fig.2. Diseño del prototipo.
Responsable: Yurina Carrillo.*

El suministro del aire se realiza por medio de difusores porosos, utilizando 2 aireadores de 60 Hz, introducidos por los orificios de 5 mm que se encuentran en la parte inferior del tanque

El control del tiempo de residencia celular se realiza mediante la extracción de un volumen específico de lodos del sedimentador de forma manual

El efluente del prototipo o agua cruda se recolecta en un tanque de plástico de una capacidad de 30 litros aproximadamente que alimenta el sistema por gravedad controlando su caudal por medio de unas llaves.

En la figura 3 se presenta el prototipo construido.



*Fig.3 Prototipo construido.
Responsable: Yurina Carrillo.*

1. Tanque anaeróbico.

Para el diseño del tanque anaeróbico se considera un tiempo de retención de 24 horas y un volumen de 18 l/d. El cálculo del área del tanque anaeróbico se procede de la siguiente manera

$$V = \text{Área} * \text{profundidad.}$$

Despejando área y asumiendo una profundidad útil de 22.5 cm:

$$\text{Área} = 18000 \text{ cm}^3 / 22.5 \text{ cm} = 800 \text{ cm}^2.$$

Para obtener el largo y el ancho del tanque se debe considerar que el largo debe ser 2 veces su ancho por lo tanto:

$$A = l * a$$

$$A = 2 a * a$$

$$a = \frac{A}{2}$$

$$a = \frac{800}{2}$$

$$a = 20$$

Su largo es $2 * 20 = 40$ cm.

Las medidas finales se proyectan en la **fig. 4** en donde la profundidad es de 27 cm pues se deja un margen de 4.5 cm.

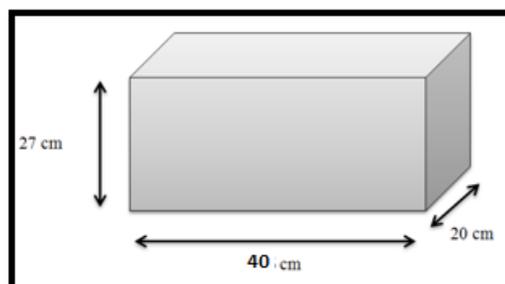


Fig.4 Diseño de la planta.
Responsable: Yurina Carrillo.

2. Reactor aeróbico.

Para el diseño del reactor aeróbico se considera los parámetros de operación de lodos activados dados por Jairo Romero Rojas, que indica que para un tratamiento de lodos activados por mezcla completa debe cumplir con las siguientes condiciones: una relación F/M entre (0,2 -0,6 g DBO – g SSVLM d) SSLM (sólidos suspendidos en el licor de mezcla de 2500 – 4000 mg/l edad de lodos de 5 – 15 tasa de recirculación de 25 al 100% y un eficiencia de remoción del DBO del 85 al 90%.

Considerando la relación alimento/microorganismo se tiene:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{V X}$$

Remplazando el volumen:

$$V = (0,018 \text{ m}^3/\text{día} * 295,46 \text{ mg/l}) / (0,3 * 2000 \text{ mg/l})$$
$$V = 0.0088 \text{ m}^3 = 8.8 \text{ litros.}$$

Tiempo de retención hidráulica.

$$t = V/Q$$

$$t = 0.0088 \text{ m}^3 / 0.018 \text{ m}^3/\text{día} = 0,48 \text{ día} * 24 = 11.7 \text{ horas.}$$

3. Tanque sedimentador.

Para el diseño del tanque se toma en consideración los criterios de diseño para decantador secundarios de Lozano-Rivas quien indica que el tiempo de retención hidráulico debe comprender un valor de 3 a 5 horas. Para este caso se considera el tiempo máximo de 5 horas.

Despejando Volumen de la fórmula de caudal se tiene:

$$V = Q * t$$

$$V = 18\text{lbs /día} * 5 \text{ h} * 1 \text{ día/24h} = 3,75 \text{ litros.}$$

En la figura 5 se muestra el funcionamiento del prototipo construido.



*Fig. 5 Prototipo.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.3.3 OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

La operación y puesta en marcha del equipo se lleva a cabo por un periodo de 30 días realizando 2 repeticiones de igual periodo.

Para la puesta en marcha del prototipo se empezó alimentando el sistema con agua residual doméstica urbana proveniente del ingreso de la planta de tratamientos de la Comunidad de Pulingui perteneciente a la Parroquia de San Andrés Cantón Guano.

La determinación del caudal de operación se obtiene a partir de la medición que se hace en la probeta de 100 ml durante un minuto.

Para la operación del tanque anaeróbico se considera el periodo de tiempo durante el cual la biomasa anaerobia se adapta en cantidad y calidad a las características

del agua residual. La duración de la etapa de funcionalidad dependerá del tiempo que se requiera para obtener una calidad constante del efluente y una masa de lodo suficiente, que no varíe cualitativamente con el tiempo. Por otro lado se identifica el final de la funcionabilidad del equipo cuando hay la aparición de granulación y/o formación de un floc estable que pase a la siguiente etapa.

El funcionamiento del reactor aerobio está basado en el mantenimiento dentro del mismo de una población de microorganismos denominados “Biolodos”, que en presencia de oxígeno literalmente devoran la materia orgánica que se encuentra en el agua a depurar. La forma de suministrar oxígeno al reactor es mediante aireadores que agitan la mezcla presente en el reactor, permitiendo así que la muestra sea homogénea en todo instante. De la concentración de O₂ dependerá en gran medida el rendimiento del proceso, ya que cataliza el consumo de “sustrato” y la creación de nuevos microorganismos. Cabe mencionar que un aumento excesivo de la población dará lugar a un proceso de canibalismo por falta de alimento, con el consiguiente desequilibrio del sistema.

Para mantener una correcta operación se controlan los parámetros de OD (Oxígeno disuelto, pH, Tiempo de residencia hidráulica y la aireación).

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA.

Para la caracterización del agua tratada se toma en cuenta los siguientes parámetros:

PARAMETROS	EQUIPO
Oxígeno Disuelto y	Sonda del
pH	pHmetro Mettler Toledo
Sólidos suspendidos	HACH DR 5000
Color	HACH DR 5000
Turbidez	Hanna Instruments
DQO	HACH DR 5000
Sólidos sedimentables	Cono Inhoff.

Tabla 2: Parámetros establecidos para la caracterización del agua tratada.
Responsable: Yurina Carrillo.

2.3.4 ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA PLANTA.

La elaboración de un manual de prácticas del equipo diseñado a escala de laboratorio adquirirá el siguiente contenido:

- Tema.
- Objetivo.
- Alcance.
- Descripción.
- Funcionamiento.
- Terminología.
- Prácticas a desarrollarse.

2.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

2.4.1 DETERMINACIÓN DE CAUDAL.

1. Tomar la manguera que se encuentra a la salida del tanque de almacenamiento.
2. Tomar una probeta de 100ml.
3. Colocar la manguera sobre la probeta, con la ayuda del cronometro observamos cuanto de agua se llena en la probeta durante el tiempo de un minuto aproximadamente.
4. Anotar el valor.

2.4.2 DETERMINACIÓN DE OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA.

1. Llevar el multiparámetros HACH al lugar donde se encuentra el prototipo.
2. Coger los recipientes de plástico que contiene el multiparámetros HACH para tomar las muestras de agua de cada una de las cubas del prototipo

incluyendo el tanque de almacenamiento o de entrada para la medición del oxígeno disuelto.

3. Sacar la sonda del medidor de OD del multiparámetros HACH.
4. Conectar al equipo HACH la sonda.
5. Prender el equipo.
6. Esperar unos minutos hasta que se estabilice el equipo, calibramos el mismo y se procede a colocar la sonda en los recipientes plásticos que contiene las muestras de agua.
7. Se espera unos minutos hasta que se estabilice la sonda y se procede a leer el valor del oxígeno disuelto presente en cada una de las muestras, a su vez observamos a que temperatura se encuentra cada una de las muestras, esto debido a que la sonda del medidor de oxígeno disuelto también nos proporciona el valor de la temperatura de la cada una de las muestras.
8. Para realizar las siguientes mediciones de OD de las siguientes muestras se debe lavar la sonda con agua destilada como establece el manual.



*Fig. 6 Medición de oxígeno disuelto y temperatura.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.3 DETERMINACIÓN DE pH.

1. Prender el pHmetro Mettler Toledo.
2. Sacar la tapa de la sonda del pHmetro, colocar la sonda en las muestras esperar unos minutos y observar el valor de pH de cada una de las muestras a medir.

3. Tomar en cuenta que para cada una de las mediciones de las muestras se debe lavar la sonda con agua destilada como establece el manual.



*Fig. 7 Equipo para determinación de pH (Mettler Toledo).
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.4 DETERMINACIÓN DE DQO DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.

1. Tomarlos viales para DQO de rango de 0- 1500 mg/l.
2. Homogenizar la muestra analizar.
3. Abrir el vial.
4. Tomar 2ml de la muestra, colocar en el vial y tapar el vial.
5. Colocar el vial en el Reactor de DQO por 2 horas.
6. Después de las 2 horas sacar del reactor, esperar unos 30 a 45 minutos aproximadamente que se enfríe el vial y luego de ello leer en el HACH DR 5000.



*Fig.8 Equipo HACH DR 5000 para determinación de DQO Demanda Química de Oxígeno.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.5 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS.

1. Prender el HACH DR 5000 y encerrar el equipo con agua destilada

2. A su vez preparar las diferentes muestras para la medición de Sólidos Suspendidos.
3. Seleccionar el programa # 630.
4. Limpiar la celda del blanco para que esté libre de impurezas, y procedemos a colocar en el equipo para encerrar.
5. Seguidamente colocar las celdas una por una para leer cada una de las muestras que deben se agitadas previa a la lectura.



*Fig.9 Equipo HACH DR 5000 para determinación de sólidos suspendidos.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.6 DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ.

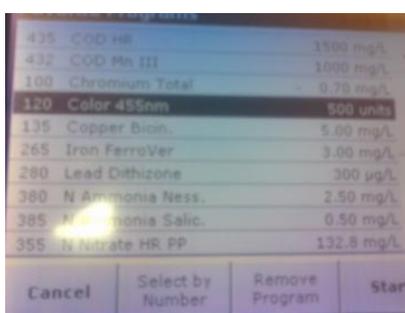
1. Prender el Turbidímetro Hanna Instruments.
2. Tomar la celda de vidrio.
3. Llenar la celda de vidrio de agua destilada hasta donde indica la celda.
4. Limpiar la celda por fuera para que esté libre de impurezas.
5. Colocar la celda y prender el Turbidímetro Hanna Instruments.
6. Presionar Read y esperamos unos minutos hasta que se encere.
7. Una vez encerado sacar la celda, trasvasar el agua destilada de la celda, colocar la muestra a analizar y leer.



*Fig. 10 Equipo para determinación de Turbidez (Hanna Instruments)
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.7 DETERMINACIÓN COLOR.

1. Prender el HACH DR 5000, esperamos unos minutos que se complete el 100%.
2. Seleccionaren el programa 120 que es Color
3. Encerar el equipo con agua destilada.
4. Colocar cada una de las muestras,
5. Anotar el valor que se obtiene en la pantalla.



*Fig. 11 Selección del programa (Color120) en el HACH DR 5000.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.8 DETERMINACIÓN SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

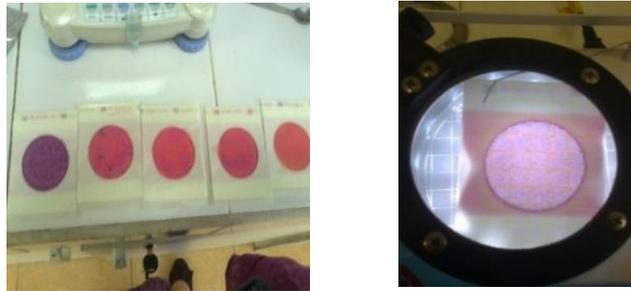
1. Homogenizar la muestra que se encuentra en la cuba de sedimentación.
2. Tomar 1 lts de agua de la cuba de sedimentación.
3. Colocar en el cono Imhoff el 1lts
4. Dejar reposar durante 30 minutos.
5. Observar cuanto de lodos se ha sedimentado y leer.



*Fig. 12 Determinación del IVL en el cono Imhoff.
Responsable: Yurina Carrillo.*

2.4.9 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES.

1. Esterilizar los materiales a ocupar.
2. Preparar una solución al 10% con la muestra analiza
3. A partir de la solución anterior preparar soluciones de 10^{-2} y 10^{-3} .
4. Etiquetar las placas petrifilm.
5. Tomar 1 ml de las soluciones 10^{-1} y 10^{-3} y colocar en los petrifilm.
6. Llevar a la incubadora por 24 horas a 35°C .
7. Identificar y contar los coliformes totales y fecales (colonias rojas y colonias azules respectivamente).
8. Los coliformes totales es la sumatoria de colonias rojas y azules.



*Fig.13 Determinación de coliformes fecales y totales.
Responsable: Yurina Carrillo.*

CAPÍTULO III.

3. RESULTADOS.

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.

Los resultados de la caracterización del agua residual durante la repetición 1 y repetición 2 se muestran en el Anexo 1 y 2 los promedios las medianas, el valor máximo y mínimo de cada uno de los diferentes parámetros que fueron analizados en las 2 repeticiones se detallan en la Tabla 3 y 4.

Repetición 1.

	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	DQO mg/l
Promedio	8,10	2,77	163,04	301,10	151,82
Mediana	8,03	2,515	103,5	298	285,5
Valor mínimo	7,62	0,95	45,93	275	209
Valor máximo	8,6	6,57	711	400	372

Tabla 3: Resultados promedios obtenidos en la caracterización del agua residual Repetición 1.

Responsable: Yurina Carrillo.

Repetición 2.

	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	DQO mg/l
Promedio	8,51	2,69	239,04	239,00	126,65
Mediana	8,18	2,53	195	215	246,5
Valor mínimo	6,6	0,29	49,66	165	110
Valor máximo	8,8	4,87	548,35	308	652

Tabla 4: Resultados promedios obtenidos en la caracterización del agua residual Repetición 2.

Responsable: Yurina Carrillo.

A continuación se analizarán los resultados por separado.

Se puede observar en la figura 14 que durante todo el tratamiento presenta variaciones comprendidas entre 6.9 a 8.9 manteniendo un promedio de alrededor de 8 unidades.

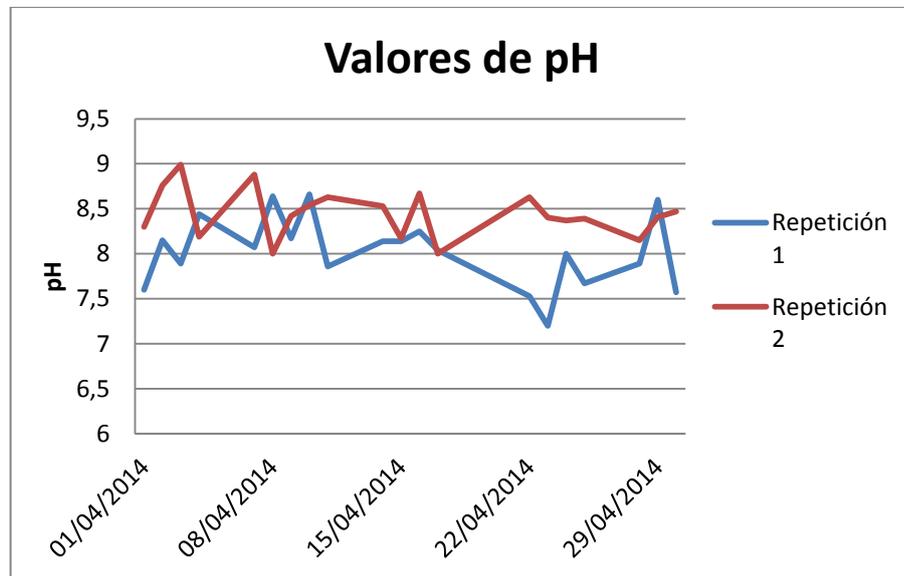


Fig. 14 Valores de pH.
Responsable: Yurina Carrillo.

En cuanto al oxígeno disuelto, la turbidez, los sólidos suspendidos y el DQO representados en las figuras 15,16,17 y 18 también presentan variaciones propias, esto debido a la falta de concientización de las personas ya que arrojan a las alcantarillas sustancias ajenas a las que fueron establecidas.

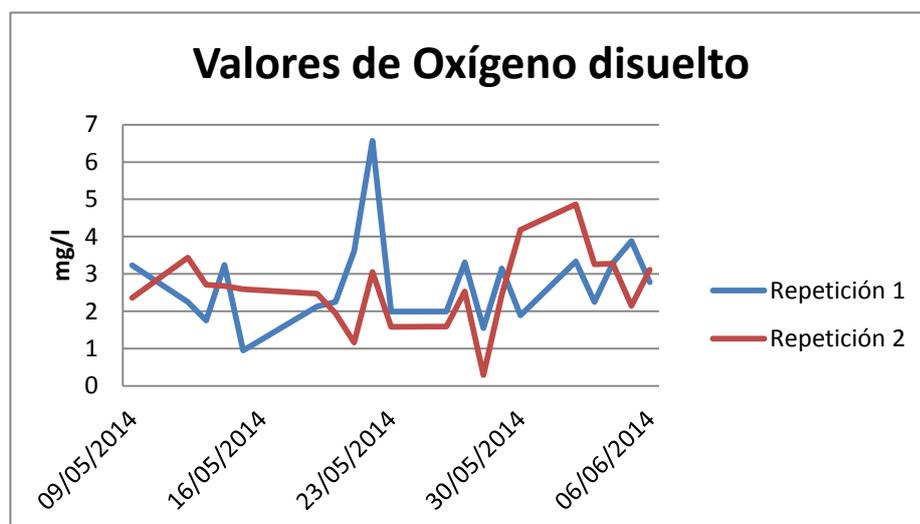


Fig. 15 Valores de Oxígeno disuelto mg/l.
Responsable: Yurina Carrillo.

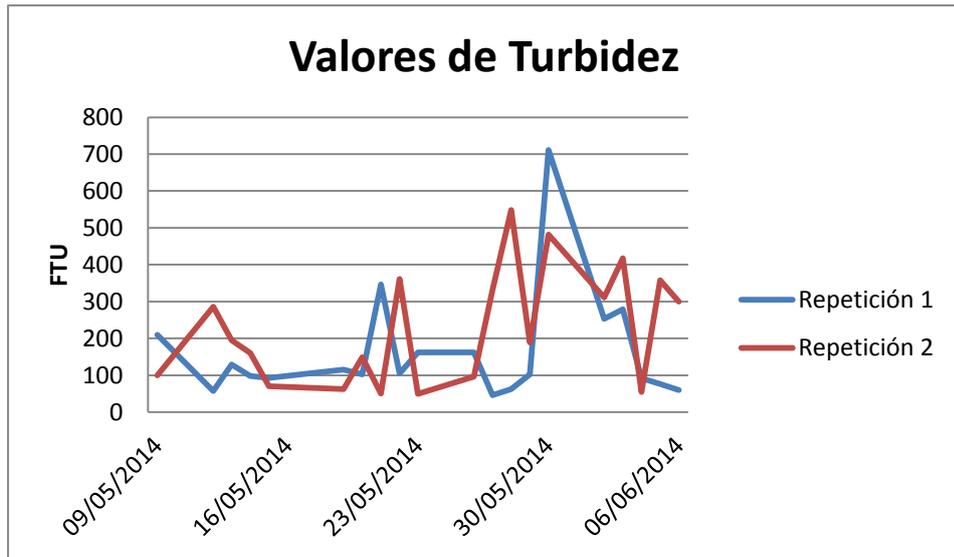


Fig. 16 Valores Turbidez FTU.
Responsable: Yurina Carrillo.

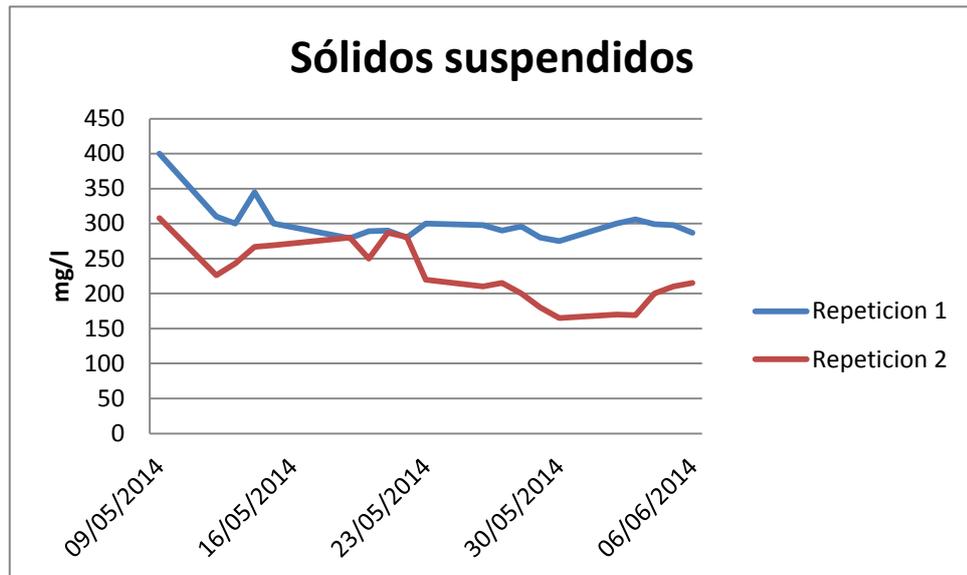


Fig. 17 Valores de Sólidos suspendidos mg/l.
Responsable: Yurina Carrillo.

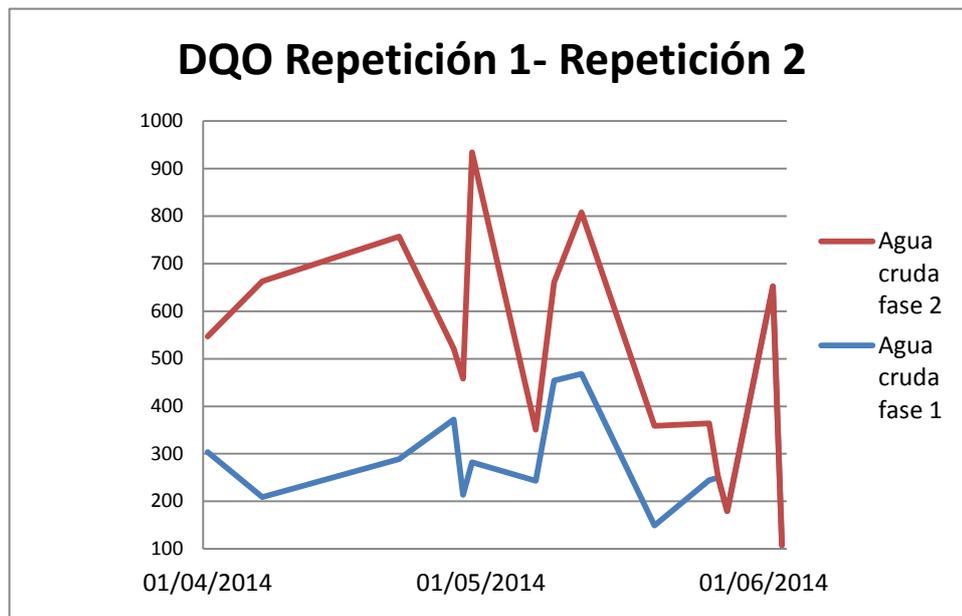


Fig. 18 Valores de DQO mg/l Repetición 1 – Repetición 2.
Responsable: Yurina Carrillo.

3.2 EVALUACIÓN Y FUNCIONABILIDAD DEL SISTEMA CON AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

En el Anexo 3 y 4 se muestran los resultados y análisis estadístico en cuanto se refiere a promedios, la mediana, valores máximos y mínimos obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 y de la repetición 2 del tratamiento anaerobio.

En el Anexo 5 y 6 se registran los datos obtenidos en el tratamiento aeróbico y sus respectivos valores estadísticos.

A continuación se presentan los resultados que se analizan en función de su efecto en el tratamiento tanto en la repetición 1 como en la 2.

pH Repetición 1.

En la Fig. 19 Se muestra la variación de pH del agua cruda con respecto al tratamiento anaerobio y al tratamiento aeróbico en el cual se puede observar que el pH se va estabilizando durante el tratamiento, tomando valores más bajos; en el tratamiento aeróbico tiende por la formación de bacterias a tomar valores cercanos a 7.

En el tratamiento anaeróbico y aeróbico se muestra variaciones en toda la repetición 1 teniendo así valores entre 8 lo que indica que tenemos una agua básica.

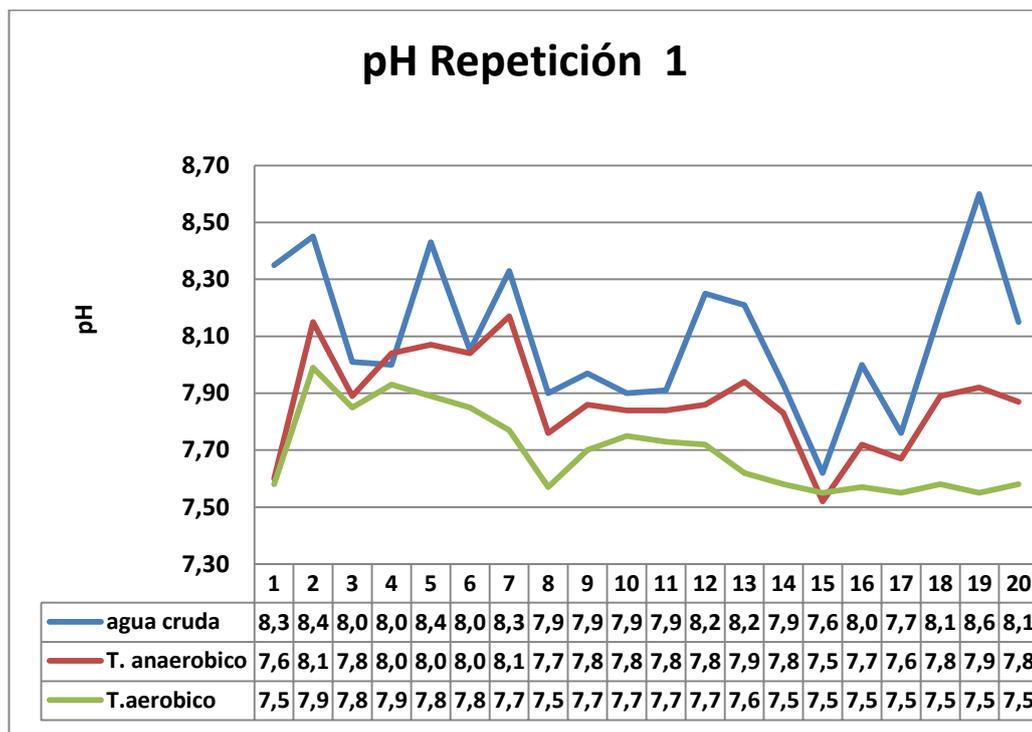


Fig. 19 Comparación de pH de la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

pH Repetición 2.

En la Fig. 20 Se muestra la variación de pH de la repetición 2, los mismos que presentan las mismas tendencias que la repetición 1.

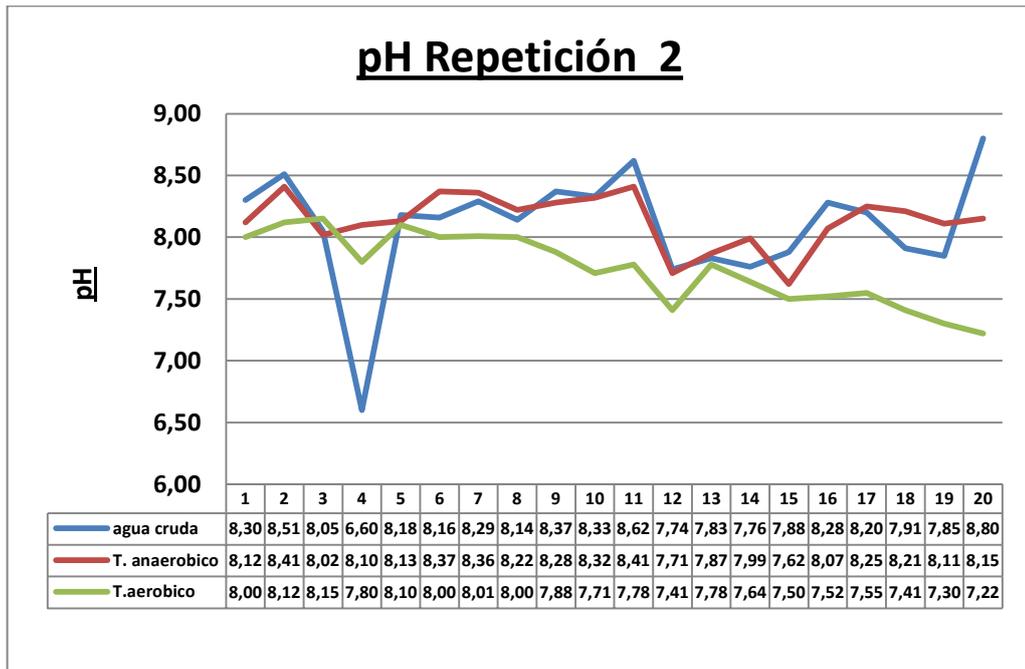


Fig. 20 Comparación de pH de la repetición 2 del agua cruda con el tratamiento anaerobio y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

Oxígeno disuelto Repetición 1.

En la Fig. 21 y 22 muestra las tendencias que presenta el Oxígeno disuelto del agua cruda con el tratamiento anaerobio y el tratamiento aeróbico, en el cual se puede observar que tanto en la repetición 1 con 2 las tendencias son similares, baja el oxígeno con respecto al agua cruda y en el tratamiento anaeróbico sube manteniéndose constante en el tratamiento aerobio.

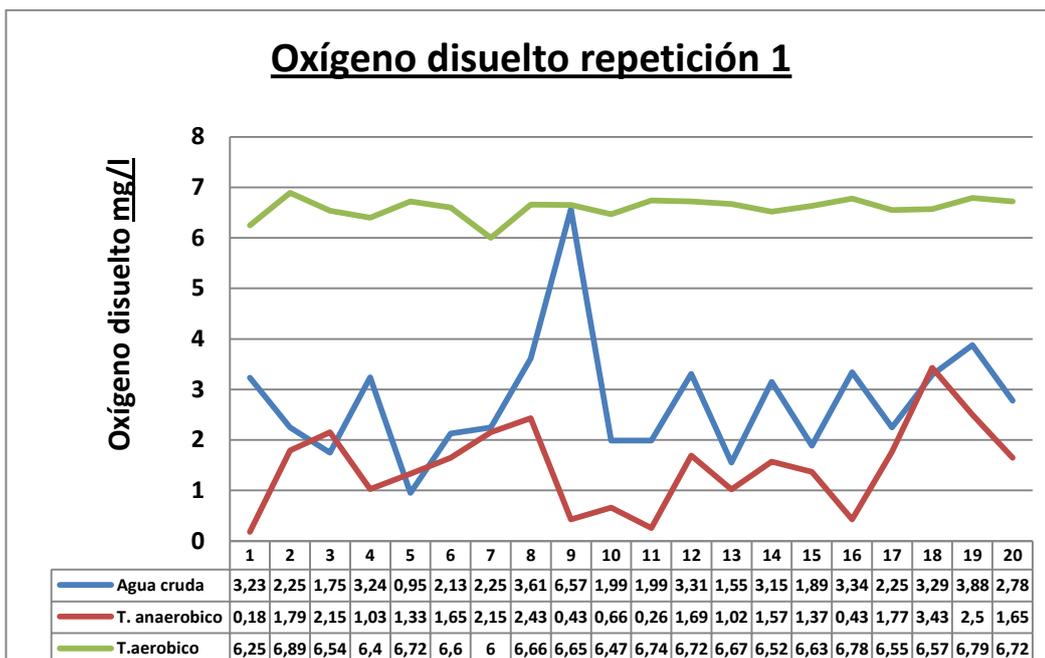


Fig. 21 Comparación de Oxígeno disuelto de la repetición 1 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

Oxígeno disuelto Repetición 2.

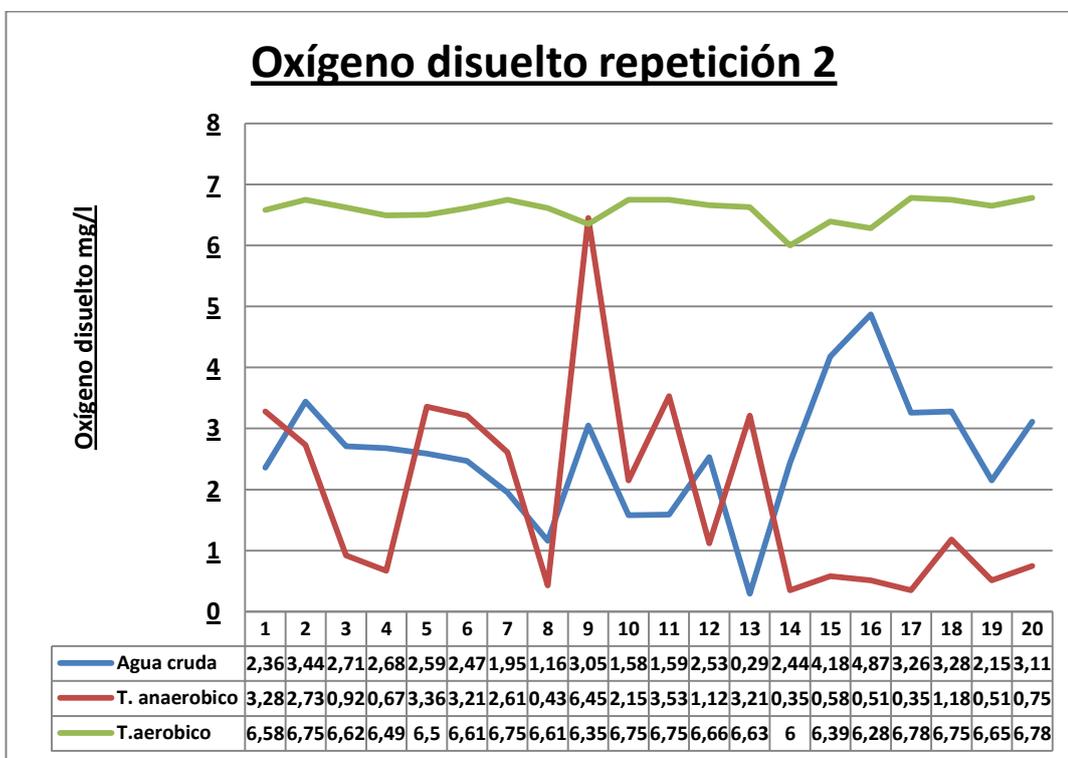


Fig. 22 Comparación de Oxígeno disuelto de la repetición 2 del agua cruda con el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

Sólidos suspendidos Repetición 1.

En la Fig. 23 y 24 muestra las tendencias que presenta los sólidos suspendidos del agua cruda con el tratamiento anaerobio y el tratamiento aeróbico, en el cual se puede observar que tanto en la repetición 1 con 2 las tendencias son similares, baja los sólidos suspendidos con respecto al agua cruda y sube manteniéndose constante en el tratamiento aerobio, propios de este tipo de sistema.

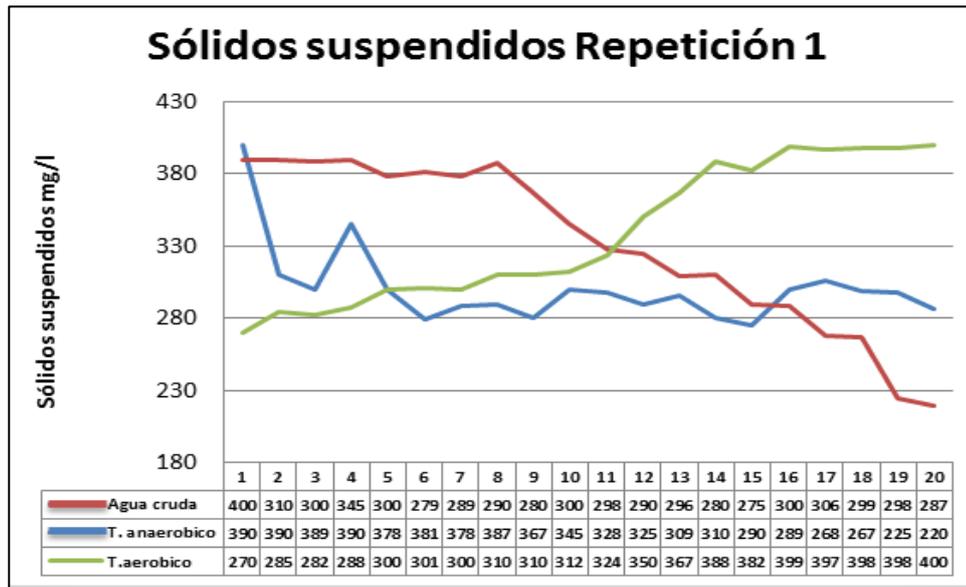


Fig. 23 Comparación de Sólidos suspendidos de la repetición 1 del agua cruda y el tratamiento anaeróbico y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

Sólidos suspendidos Repetición 2.

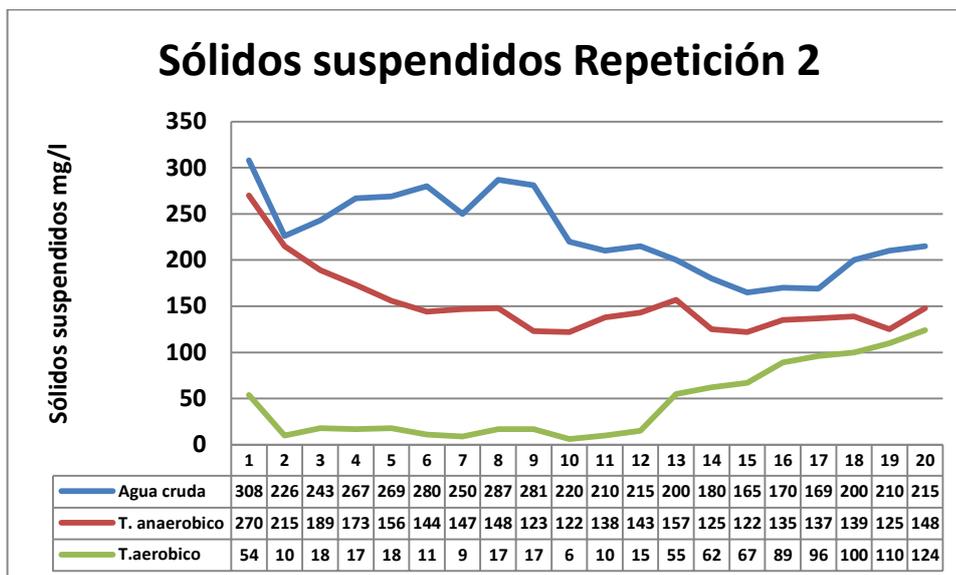


Fig. 24 Comparación de Sólidos suspendidos de la repetición 2 del agua cruda y el tratamiento anaeróbico1 y el tratamiento aeróbico.

Responsable: Yurina Carrillo.

En la figura 25 y 26 se muestra el porcentaje de reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua tratada anaeróbicamente con respecto del agua cruda observando en los 2 casos que la reducción es progresiva y que puede soportar el tratamiento anaeróbico con variaciones de DQO de entrada.

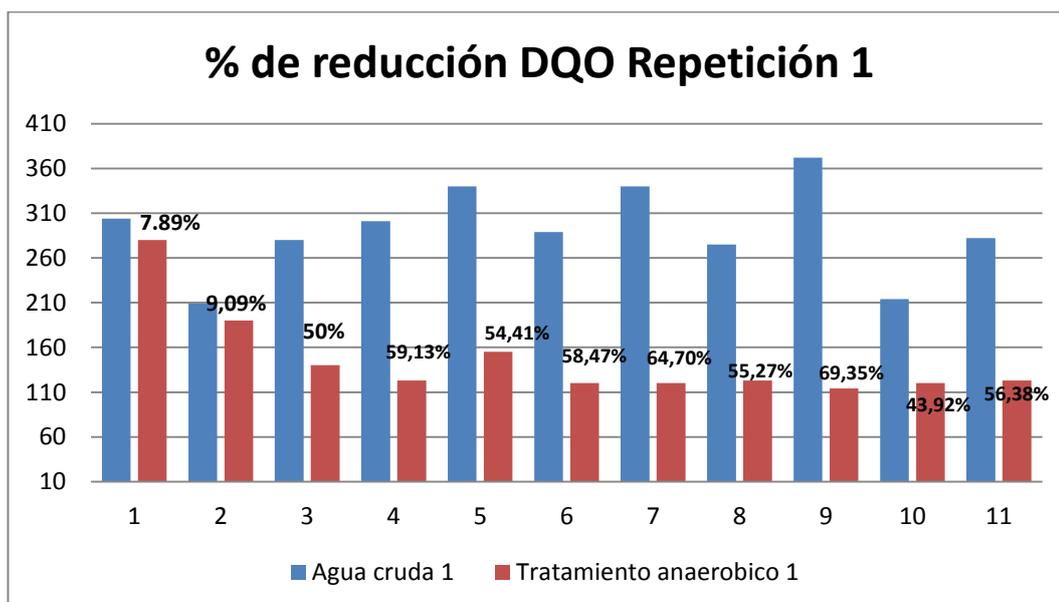


Fig. 25 Reducción del DQO en porcentaje del agua cruda 1 y el tratamiento anaeróbico 1.

Responsable: Yurina Carrillo.

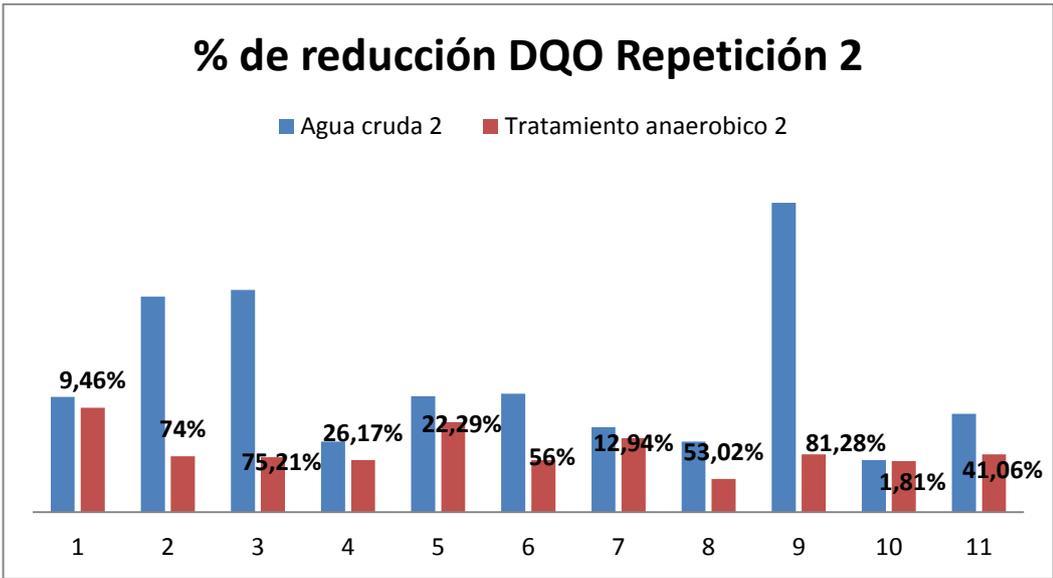


Fig. 26 Reducción del DQO en porcentaje de la repetición 2 del agua cruda respecto del tratamiento anaeróbico2.

Responsable: Yurina Carrillo.

En las figuras 27 y 28 se muestra el porcentaje de reducción de DQO considerando el agua del tratamiento anaeróbico como de alimentación al tanque aeróbico reduciéndose paulatinamente.

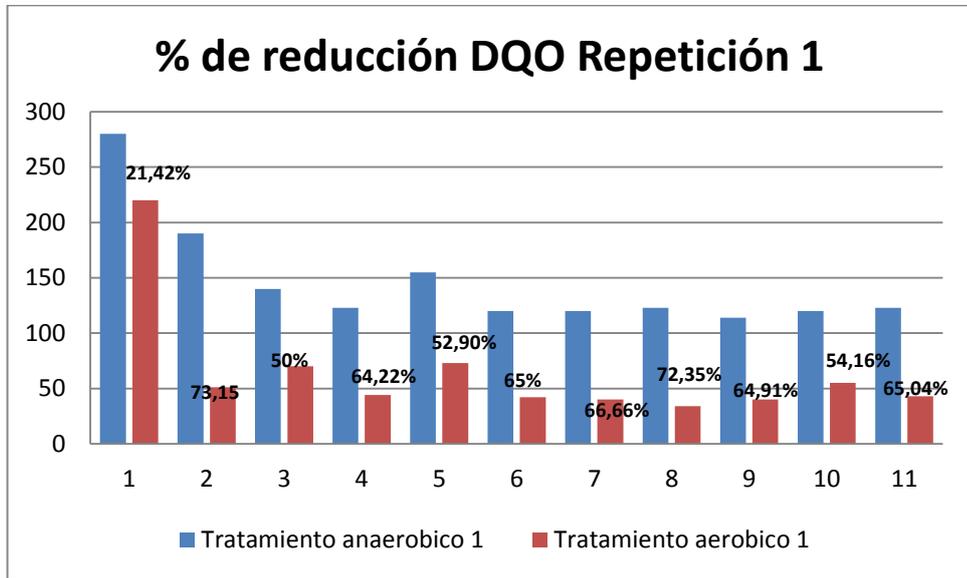


Fig. 27 Reducción del DQO en porcentaje del tratamiento anaeróbico 1 con el tratamiento aeróbico 1.

Responsable: Yurina Carrillo.

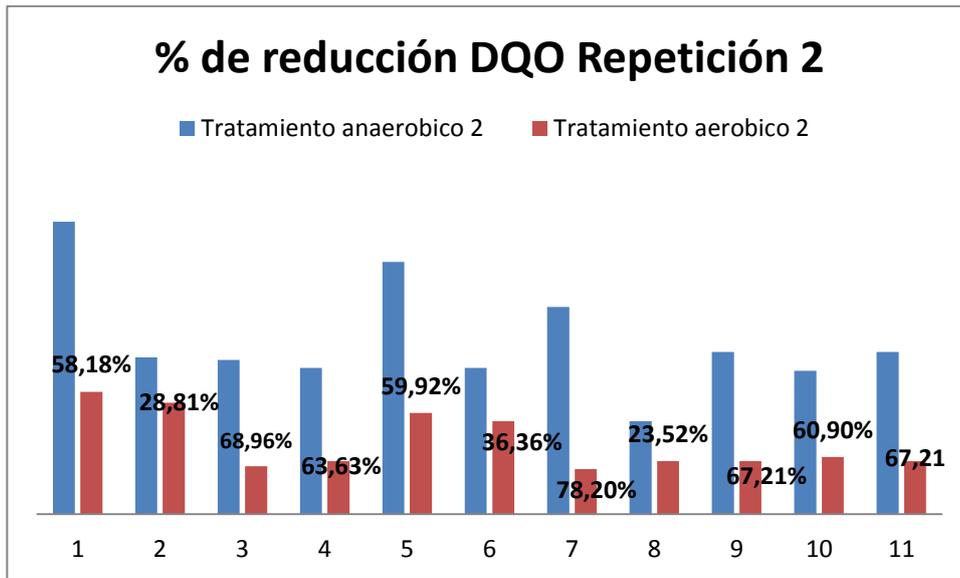


Fig. 28 Reducción del DQO en porcentaje de la repetición 2 del agua cruda respecto del tratamiento anaeróbico 2.

Responsable: Yurina Carrillo.

En vista de que la reducción a partir de los 15 días de tratamiento se mantiene casi constante se decide suspender y dar por terminado el tratamiento a los 30 días.

En la figura 29 y 30 se representa la reducción total del sistema tanto de la repetición 1 y 2 llegando a tener valores de 70% al 85% respectivamente.

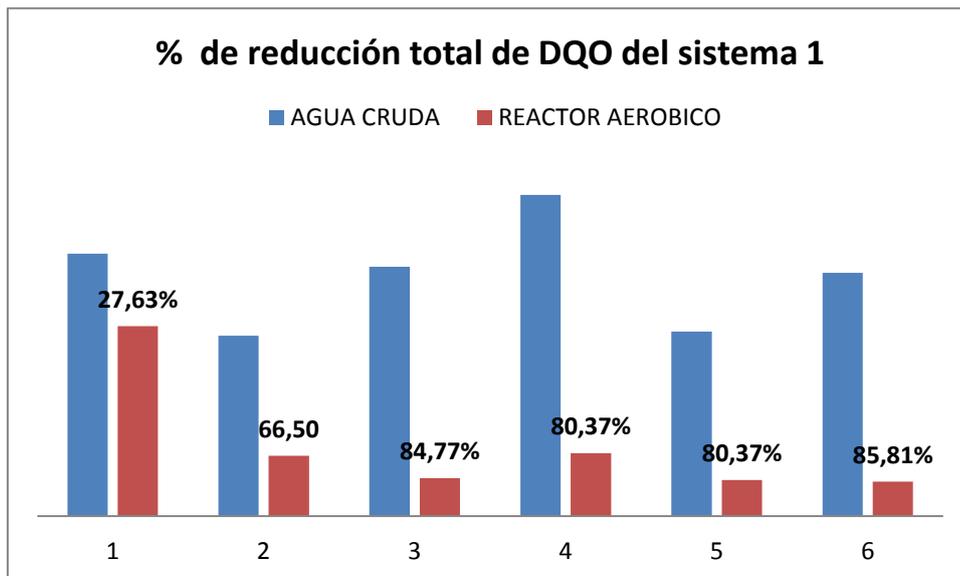
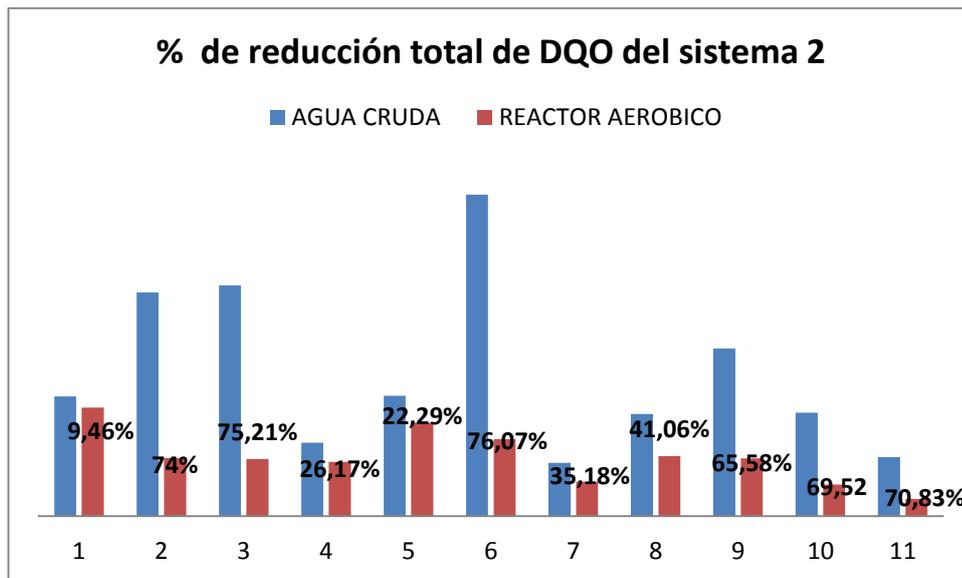


Fig. 29 Porcentaje de reducción total de DQO del sistema entre el agua cruda y el tratamiento aerobio de la repetición 1.

Responsable: Yurina Carrillo.



*Fig. 30 Porcentaje de reducción total de DQO del sistema entre el agua cruda y el tratamiento aeróbico de la repetición 2.
Responsable: Yurina Carrillo.*

3.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

Tratamiento anaeróbico.

En la tablas 5 y 6 se indican los resultados de caudal, tiempo de residencia hidráulica y sólidos suspendidos que son los parámetros de operación en el tratamiento anaeróbico, con respecto al caudal se mantiene con un valor 23 litros/día teniendo un tiempo de residencia de 18.6 horas.

Cabe recalcar que la bibliografía menciona que el tiempo de residencia mínimo es de 12 horas para provocar la degradación anaeróbica adecuadamente, en el sistema tratado en el laboratorio se ha mantenido en 18.6 horas como promedio.

En lo que se refiere a los sólidos suspendidos por efecto de la sedimentación estos van disminuyendo a lo largo del tiempo.

Fechas	Q (lts/día)	Volumen (lts)	Tiempo de residencia (horas)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
01/04/2014	26	18	16,62	390
02/04/2014	24	18	18	390
03/04/2014	27	18	16	389
04/04/2014	25	18	17,28	390
07/04/2014	28	18	15,43	378
08/04/2014	25	18	17,28	381
09/04/2014	24	18	18	378
10/04/2014	26	18	16,62	387
11/04/2014	23	18	18,78	367
14/04/2014	26	18	16,62	345
15/04/2014	18	18	24	328
16/04/2014	25	18	17,28	325
17/04/2014	19	18	22,74	309
22/04/2014	19	18	22,74	310
23/04/2014	19	18	22,74	290
24/04/2014	23	18	18,78	289
25/04/2014	24	18	18	268
28/04/2014	24	18	18	267
29/04/2014	25	18	17,28	225
30/04/2014	22	18	19,64	220
Promedio	23,6		18,6	

*Tabla 5: Datos obtenidos de los parámetros de operación en el tratamiento anaeróbico 1.
Responsable: Yurina Carrillo.*

Fechas	Q (lts/día)	Volumen (lts)	Tiempo de residencia (horas)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
07/05/2014	25	18	17,28	270
09/05/2014	24	18	18	215
12/05/2014	26	18	16,62	189
13/05/2014	25	18	17,28	173
14/05/2014	23	18	18,78	156
15/05/2014	18	18	24	144
19/05/2014	25	18	17,28	147
20/05/2014	19	18	22,74	148
21/05/2014	18	18	24	123
22/05/2014	26	18	16,62	122
23/05/2014	25	18	17,28	138
26/05/2014	25	18	17,28	143
27/05/2014	25	18	17,28	157
28/05/2014	19	18	22,74	125
29/05/2014	19	18	22,74	122
30/05/2014	23	18	18,78	135
02/06/2014	24	18	18	137
03/06/2014	24	18	18	139
04/06/2014	24	18	18	125
05/06/2014	24	18	18	148
Promedio	23,05		19,04	

*Tabla 6: Datos obtenidos de los parámetros de operación en el tratamiento anaeróbico 2.
Responsable: Yurina Carrillo.*

Al finalizar el tratamiento se toman datos de sólidos sedimentables y sólidos flotantes que se han generado en el tanque anaeróbico durante las 2 repeticiones con los cuales se hace una proyección a escala real (tomando en cuenta los datos del tanque anaeróbico de la plata de tratamiento de Pulingui), lugar en donde se tomaron las muestras para el desarrollo de la investigación, como se detalla en la Tabla 7.

Parámetros	Unidades	Tanque anaeróbico del tratamiento 1	Tanque anaeróbico del tratamiento 2	Tanque real proyección.
Caudal	lts/día	23.6	23.05	43.140
Volumen tratado de agua	m ³ /mes	0.708	0.691	1294.2
Volumen de lodos sedimentables	lts/mes	0.198	0.288	539
			m³ de lodos al año	6.5 m³/año

Tabla 7: Valores obtenidos del tanque anaeróbico 1 del tratamiento 1 y del tanque anaeróbico 2 del tratamiento 2 para la proyección.

Responsable: Yurina Carrillo.

Los 6.5 m³ /año de lodos generados en la planta real representa un 12.03% de volumen del tanque #1 que es el que aloja la mayor cantidad de lodos. Bibliográficamente se menciona que un mantenimiento de desalojo de lodos debe llevarse a cabo cuando ocupe las dos terceras partes del volumen total del agua, esto implicaría que el lodo debería ocupar el 66% del volumen del tanque. Consideremos un margen del 25% de error implica un volumen ocupado del 15% esto significa que, si al año se ocupa el 15% de lodos aproximadamente se requeriría 4 años para realizar el desalojo de lodos.

En cuanto a las natas generada en el laboratorio se obtuvo 54 ml al mes lo que implica 1.2 m³/ año de natas al año.

Se concluye que los cálculos teóricos aplicados para el diseño son correctos, pues en ellos se calculó para desalojar los al año y medio si consideramos que la planta está proyectada para 20 años, para los primeros años la planta está sobredimensionada por lo que el desalojo de lodos se estaría proyectando para unos 4 años, obviamente que los chequeos al año sigue dentro de la programación del control de la planta y con esos datos será mejor la proyección.

Tratamiento aeróbico.

Se debe recordar que los parámetros que tienen una particular relevancia al momento del diseño, del control de la planta y que a su vez definen el modo en el cual ésta operará son: la concentración de SSLM, la relación F/M, el TRC, y la relación entre los caudales de recirculación y afluente.

En la Tabla 8 se indican los parámetros de diseño para lodos activados y a la vez nos servirán para verificar el funcionamiento de la planta piloto.

Tipo de proceso	Tiempo de detención (horas)	Edad de lodos (días)	SSLM (mg/l)	Retorno (fracción)	F/M KgDBO ₅ /Kg SSVLM.d	Carga volumétrica KgDBO ₅ /m ³ .d
Convencional	4 – 8	5 – 15	1500 – 3000	0.25 – 0.5	0.2 – 0.4	0.3 – 0.6
Completamente mezclado	4 – 8	5 – 15	2500 – 4500	0.25 – 1.0	0.2 – 0.6	0.8 – 2.0
Aireación escalonada	3 – 5	5 – 15	2000 – 3500	0.25 – 0.7	0.2 – 0.4	0.6 – 1.0
Estabilización	Contacto	0.5 – 1	5 – 15	1000 – 3000	0.2 – 1.0	
	Estabilización	3 – 6	-	4000 – 10000	-	
Aireación extendida	15 – 36	20 - 30	3000 – 6000	0.75 – 1.5	0.05 – 0.15	0.1 – 0.4

Tabla 8: Consideraciones de diseño.

Fuente: Tesis: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas.

En las tablas 9 y 10 se presentan los valores obtenidos de los parámetros importantes en el control del proceso de lodos activados, la concentración de SSLM en la repetición 1 que se llega alcanzar en el prototipo es de 398 mg/l y en la repetición 2 de 110 mg/l, la relación F/M alcanzada es de 3d⁻¹ en la repetición 1 y d⁻¹ 42 en la repetición 2 respectivamente, el TCR llega alcanzar en la repetición 1 a 26 días y en la repetición 2 alcanza a 22 días. Los valores obtenidos se encuentran sobre los valores recomendados como se indica en la Tabla 8 debido a que se debe ir incrementando los SSML a medida que transcurre el tiempo hasta alcanzar dichas recomendaciones llegando solamente de esta manera a remover el 95%, el resto de parámetros se encuentran en los parámetros recomendados.

De todos modos se podría indicar que los valores obtenidos de Tiempo de residencia hidráulica, edad de lodos, está dentro de lo que es un tratamiento de aireación extendida en donde la remoción se alcanza hasta el 80%.

Fechas	V tanque (m ³)	Q _e (m ³ /día)	Q _w (m ³ /día)	X _e (mg/l)	SSV de lodos	Sólidos en recirculación (ml/l)	SSLM - X (mg/l)	So (mg/l)	SSVLM - X _r (mg/l)	FM d-1	TCR	TRH horas	IVL (ml/g)
02/04/2014	0,0077	0,026	0,0005	390	160	0,1	270	280	162	3,5	26	7,11	0,37
07/04/2014	0,0077	0,027	0,0005	390	170	0,1	288	190	172,8	2,3	26	6,84	0,35
15/04/2014	0,0077	0,028	0,0005	345	187	0,1	312	125	187,2	1,5	26	6,60	0,32
23/04/2014	0,0077	0,023	0,0005	310	230	0,1	388	123	232,8	0,9	26	8,03	0,26
29/04/2014	0,0077	0,018	0,0005	267	238	10	398	155	238,8	0,9	26	10,27	25,13
30/04/2014	0,0077	0,025	0,0005	225	238	11	398	120	238,8	1,0	26	7,39	27,64
Promedio		0,025										7,71	

Tabla 9: Valores obtenidos de los parámetros de diseño y operación del tratamiento aerobico1.
Responsable: Yurina Carrillo.

Fechas	V tanque (m ³)	Q _e (m ³ /día)	Q _w (m ³ /día)	X _e (mg/l)	SSV de lodos	Sólidos en recirculación (ml/l)	SSLM - X (mg/l)	So (mg/l)	SSVLM - X _r (mg/l)	FM	TCR	TRH horas	IVL (ml/g)
09/05/2014	0,0077	0,023	0,0005	135	162	0,1	54	220	32,4	12,17	5,13	8,03	1,85
12/05/2014	0,0077	0,018	0,0005	122	129	0,1	10	118	6	27,58	1,19	10,27	10,00
21/05/2014	0,0077	0,025	0,0005	125	89	0,1	17	110	10,2	21,01	2,94	7,39	5,88
27/05/2014	0,0077	0,026	0,0005	138	86	0,1	15	189,9	9	42,75	2,69	7,11	6,67
28/05/2014	0,0077	0,025	0,0005	122	95	0,1	55	108	33	6,38	8,92	7,39	1,82
03/06/2014	0,0077	0,025	0,0005	123	83	0,1	96	156	57,6	5,28	17,81	7,39	1,04
04/06/2014	0,0077	0,025	0,0005	148	84	0,1	100	70	60	2,27	18,33	7,39	1,00
05/06/2014	0,0077	0,019	0,0005	147	76	0,1	110	122	66	2,74	22,29	9,73	0,91
Promedio		0,023										8,09	

Tabla 10: Valores obtenidos de los parámetros de diseño y operación del tratamiento aerobico2.
Responsable: Yurina Carrillo.

Comparación de los valores obtenidos en el sistema aplicado con los valores permisibles que se encuentran establecidos en el TULSMA. (Ver Anexo 9).

Parámetros	Expresados Como	Unidad	Valores obtenidos en el sistema aplicado (Tratamiento anaeróbico)		Valores obtenidos en el sistema aplicado (Agua tratada)		Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULSMA
			Repetición 1	Repetición 2	Repetición1	Repetición 2	
Potencial de hidrógeno	pH		7.87	8.14	7.70	7.74	5-9
Sólidos suspendidos		mg/l	331.3	152.80	28	60	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	139.22	134.4	83.33	55.51	250
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en una dilución 1/20	Inapreciable en una dilución 1/20	Inapreciable en una dilución 1/20	Inapreciable en una dilución 1/20	Inapreciable en dilución: 1/20

Tabla 11. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Responsable: TULSMA (Ver Libro VI - Anexo1- Tabla 12)

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN.

El agua residual que sirvió para alimentar el prototipo, presentó características muy variadas en los parámetros analizados como: pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, turbidez, color y DQO, se pudo observar sin embargo que estas variaciones no afectaron al tratamiento.

En el tanque anaeróbico, el pH no sufre mayor variación con el pH de ingreso, los sólidos suspendidos disminuyen en un 65% y las bacterias anaeróbicas desarrolladas degradan la materia orgánica reduciendo el DQO un 50% a un 69%.

Luego del tratamiento anaeróbico esta agua pasa a un sistema aeróbico, el pH se estabiliza con el pasar del tiempo bajando sus valores, mientras que los sólidos suspendidos se incrementan.

Los datos de sólidos sedimentables y sólidos flotantes obtenidos al finalizar cada una de las repeticiones del tanque anaeróbico permiten proyectar a escala real el desalojo de los lodos generados en la planta de tratamiento de Pulingui dando como resultado que este se debe efectuar en un periodo de 4 años.

Las bacterias que se desarrollan con la aireación permiten reducir el DQO a lo largo del proceso de una forma paulatina llegando a obtener al final del mismo una reducción del 65% y 67% en la repetición 2 esto con relación al DQO que sale del tanque anaeróbico, si consideramos la reducción total tomando en cuenta el ingreso del agua cruda se llega a reducir un 86% repetición 1 y un 71% en la repetición 2.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- Con la caracterización del agua residual doméstica, se pudo determinar que hay variación en los resultados de los parámetros determinados, debido a que no existe una educación ambiental en las personas y desechan a la alcantarilla todo tipo de residuos que no son los destinados para la red de alcantarillado para la cual fue diseñada la planta de tratamiento de aguas de Pulingui.
- El prototipo diseñado tiene una capacidad de 30 litros de los cuales 15.78 litros van al reactor anaeróbico, 7,7 litros al reactor aeróbico y 4,4 litros al tanque de sedimentación.
- Se evaluó el funcionamiento del sistema realizando 2 repeticiones de 30 días cada una, durante este tiempo se determinaron parámetros que permitieron verificar su comportamiento para eliminar la contaminación representada en el DQO. Obteniéndose como resultado que el pH se mantiene en un rango de 7.8 - 8.14 sin variación en el tanque anaeróbico con respecto al agua cruda de ingreso mientras que en el aeróbico se observa una reducción y un comportamiento estable que se encuentra en un rango de 7.4 -7.7.
- Las bacterias que se desarrollan con la aireación permiten reducir el DQO a lo largo del proceso de una forma paulatina llegando a obtener al final del mismo una reducción del 65% y 67% en la repetición 2 esto con relación al DQO que sale del tanque anaeróbico, si consideramos la reducción total tomando en cuenta el ingreso del agua cruda se llega a reducir un 86% repetición 1 y un 71% en la repetición 2.

- En base al análisis comparativo realizado entre los valores obtenidos de los diferentes parámetros del tratamiento anaeróbico y el agua tratada en el sistema aplicado con los valores permisibles que establece el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA) Libro VI – Anexo 1 Tabla 12: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, nos indica que los valores obtenidos en el tratamiento anaeróbico de pH – Color real - DQO y sólidos suspendidos en el tratamiento total cumplen con la norma, sin embargo si analizamos los tratamientos por separado se puede evidenciar que en el tratamiento anaerobio los sólidos suspendidos no cumplen debido a que esta aguas requieren de tratamientos complementarios que en el caso de este trabajo es el tratamiento aerobio o pueden ser procesos de infiltración o de filtración entre otros. Por otro lado los valores obtenidos del agua en el tratamiento final, si cumplen con la normativa en los parámetros indicados.
- Se elaboró un manual que servirá de guía en la enseñanza – aprendizaje de los alumnos en el tema de tratamiento biológico de aguas residuales.
- Los parámetros de diseño, operación y control del prototipo son de gran importancia ya que una vez obtenidos y analizados los resultados estos pueden ser utilizados para cualquier otra investigación en donde se puede proyectar para la realidad de cualquier comunidad.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Usar el prototipo para la realización de prácticas de laboratorio en la cátedra Control de Contaminantes 1 que permitan comprender los conocimientos teóricos impartidos en el aula. Estas prácticas se dejan recomendando en el manual del funcionamiento de la planta.
- Utilizar el prototipo para realizar tratamiento de aguas de tipo biológico como unidades independientes.
- Si por la manipulación del equipo existe infiltraciones, se recomienda el engomado de toda la base del prototipo con silicona.

CAPÍTULO VI.

PROPUESTA

5.1 Título de la propuesta.

Manual de prácticas de la planta piloto para el tratamiento de aguas residuales.

5.2 Introducción.

En este capítulo se presenta el manual de prácticas de la planta piloto que se diseñó para esta investigación, el mismo que servirá de apoyo para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental al momento de la realización de prácticas que complementen la teoría impartida.

5.3 Objetivos

Objetivo General.

- Elaborar un manual de prácticas de la planta piloto para el tratamiento de aguas residuales.

Objetivos Específicos:

- Indicar los usos que se pueden dar a la planta piloto
- Establecer los procedimientos para su operación.

5.4 Fundamentación Científico –Técnica

Muchos de los estudios a nivel de campo deben efectuarse en el laboratorio para comprender la fundamentación teórica que es impartida en las aulas, sobre todo en los temas de tratamiento biológicos ya sea anaeróbico o aeróbico.

Tratamiento Biológico.

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos. El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado “Catabolismo”. Otro proceso denominado “Anabolismo ó Síntesis” ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular.

DIGESTIÓN ANAEROBIA

La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio (Ver Figura 1 y 2).

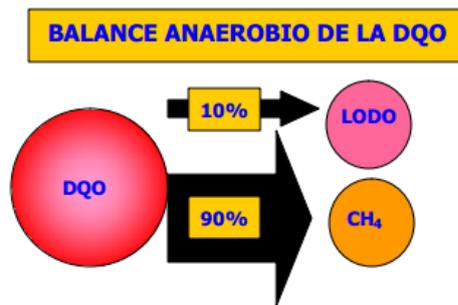


Figura 1. Balance Anaerobio de la Materia orgánica (www.uasb.org)

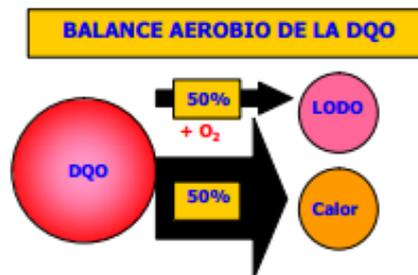


Figura 2. Balance Aerobio de la Materia orgánica (www.uasb.org)

- **Tratamiento Anaerobio:** Es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.
- **Tratamiento Aerobio:** En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de

la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado.

En la última década del siglo XIX y comienzos del siglo XX, se desarrollaron varios sistemas muy conocidos: el tanque séptico y el tanque imhoff en los cuales los sólidos presentes sedimentan para ser degradados anaerobiamente en el fondo del reactor (Ver Figura 3). El diseño del tanque de digestión, en estos reactores, estaba ligado a la cámara de sedimentación:

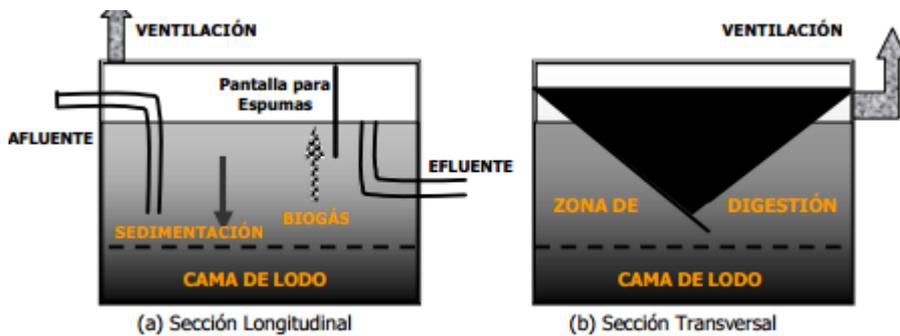


Figura 3. Esquemas de los Sistemas Clásicos: Tanque séptico (a); Tanque Imhoff (b)

APLICACIÓN DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.

La digestión anaerobia ha sido utilizada ampliamente para estabilizar lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, y en una menor proporción, pero con una tendencia de aumento significativo, es utilizada para el tratamiento de aguas residuales diluidas como es el caso de las aguas residuales domésticas, con bastante éxito en zonas de clima tropical, y aguas residuales concentradas como las industriales (destilerías, cervecerías, malherías, papeleras, alimentos, etc).

La digestión anaerobia no se limita solamente a remover la materia orgánica del agua residual, existen otras aplicaciones tales como:

- **Sulfato reducción:** aplicado para la remoción y recuperación de sulfuros y metales pesados: Los sulfuros formados biológicamente forman precipitados altamente insolubles con metales pesados tales como cobre o zinc. Si los iones

metálicos de estos precipitados están presentes en una alta concentración, ellos pueden ser recuperados para su reutilización en la industria.

Los sulfuros formados biológicamente pueden ser parcialmente reoxidados bajo condiciones microaerófilas por bacterias quimio-tróficas (sulfoxidación), a la forma insoluble de azufre elemental. El azufre elemental sedimentado puede ser recolectado para su reutilización industrial. La sulfoxidación puede ser utilizada en pos-tratamientos de aguas residuales y para limpiar gases.

- **Desnitrificación:** es un proceso anóxico en el cual los nitratos son reducidos a nitrógeno gaseoso. La desnitrificación es utilizada en pos-tratamientos de aguas residuales para remover nutrientes como es la:

Bioremediación: es la digestión anaerobia puede ser utilizada para la biodegradación o biotransformación de contaminantes tóxicos. Comunidades de microorganismos en ambientes anaerobios puede causar la oxidación de contaminantes a productos estables (CO₂) o pueden causar la biotransformación de contaminantes a sustancias menos tóxicas. La Bioremediación anaerobia puede ser utilizada en el tratamiento de efluentes industriales que contienen sustancias tóxicas, como es el caso de la industria del plástico, cuyas aguas residuales contienen altas concentraciones de terephthalato.

Tratamiento aeróbico.

Lo lodos activados es un proceso biológico aerobio de crecimiento en suspensión, usado en el tratamiento de aguas residuales basado principalmente en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas negras y los lodos biológicamente activos.

Los lodos activados se desarrollan inicialmente por la aireación prolongada bajo ciertas condiciones que favorecen el crecimiento de los organismos que tienen la habilidad de oxidar la materia orgánica.

El sistema está conformado por las siguientes unidades internas.

- Cámara de aireación (digestión aeróbica)
- Cámara de sedimentación secundaria.
- Cámara de cloración. (Opcional)
- Filtro UVC (Opcional)

TIPOS DE LODOS ACTIVADOS.

- **Convencional:** Este proceso consiste de un tanque de aireación, un sedimentador secundario y una recirculación del lodo. El sistema de aireación puede estar constituido por difusores o aireadores mecánicos, obteniéndose eficiencia en la remoción de DBO5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que varía de 4 a 8 horas.
- **Mezcla Completa:** Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa entre las bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentara en la unidad subsiguiente del sistema.
- **Lodos de Aireación Prolongada o Extendida:** en este tipo de lodos activados el tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión.

5.5 Descripción de la propuesta

La propuesta planteada consiste en exponer a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental la funcionalidad del prototipo diseñado, esto con la finalidad de que ellos una vez expuesto el prototipo y su funcionalidad ´puedan acceder hacer uso del mismo desarrollando prácticas que les ayudaran a reforzar sus conocimientos. El mismo que se describe en el Anexo 10.

5.6 Diseño Organizacional.

La ejecución de la propuesta “Elaboración de un manual de prácticas de la planta” será puesta a consideración a la Dirección de la Carrera de Ingeniería Ambiental para que conjuntamente con el Docente encargado de la Cátedra de Control de Contaminantes 1 y el Técnico encargado del Laboratorio en donde se encontrará el prototipo, para que realicen conjuntamente un cronograma de actividades y en ella conste el número de prácticas a realizarse en el laboratorio con los respectivos estudiantes.

5.7 Monitoreo y Evaluación de la propuesta.

Monitoreo:

El proyecto será evaluado cada semestre de acuerdo al número horas de prácticas que realicen los docentes con los estudiantes en el prototipo, de esta manera se podrá verificar la funcionalidad del mismo.

Evaluación:

Debido a la inexistencia de los equipos necesarios para la realización de las prácticas de los estudiantes en la cátedra de Control de contaminantes 1 de la carrera de Ingeniería Ambiental se propone la siguiente investigación ya que mediante el desarrollo de esta los estudiantes podrán acceder al uso del equipo para la realización de diferentes prácticas que desean realizar con sus respectivos docentes.

Con la presente investigación se espera obtener buenos resultados, ya que de una u otra manera el uso del prototipo en las diferentes practicas a efectuarse, contribuirá a que los estudiantes refuercen los conocimientos teóricos adquiridos.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

1. Barnes, G. “Tratamiento de aguas negras y desechos industriales”, primera edición, manuales UTEHA N° 337, México (1970).
2. Bruce E. Rittmann and Perry L. McCarty. Biotecnología del Medio Ambiente: Principios y Aplicaciones. McGraw-Hill, 2001.
3. Castro, A. “Diseño computarizado de sistemas de tratamiento de aguas residuales”, Trabajo especial de grado UCV departamento de Ingeniería Química y Petróleo, Caracas (2001).
4. Crites, R. y Tchobanoglous G, “Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones”, McGraw-Hill, Colombia (2000).
5. Espigares García, M. y Pérez López, JA. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.
6. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, and H. David Stensel. Wastewaterengineering: treatment and reuse. McGraw-Hill, 2004.
7. Metcalf y Eddy “Ingeniería de aguas residuales”, segunda edición, volumen 1, McGraw-Hill, España (1995).
8. Nalco, “Manual de agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”, tomo I, McGraw-Hill, México (1989).
9. Rivas, G. “Tratamiento de aguas residuales”, segunda edición, ediciones Vega, España (1978).
10. Ron Crites and George Tchobanoglous. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. McGraw-Hill, 2000.
11. Romero Rojas Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2008.

12. Sainz Sastre Juan Antonio, Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Fundación EOI, 2005

Referencias de internet.

13. http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas

14. <http://www.monografias.com/trabajos74/lodos-activos/lodos-activos2.shtml#ixzz2zex9ATmK>.

15. http://www.ecured.cu/index.php/Aguas_residuales

16. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Caracteristicas-De-Las-Aguas-Residuales/1591011.html>

17. <http://www.slideshare.net/PatySalazar2/aguas-residuales-industriales-20762488>.

18. http://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/027.asp

19. <http://www.slideshare.net/ilserocio/lodos-activados>

20. https://docs.google.com/presentation/d/1RC_yoVmS2W05UXdxvk74o1v1IU-EVeieuHpZtFsXBHwc/present#slide=id.i279

21. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia38.pdf>

22. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima 2003

VII. IAPÉNDICES Y ANEXOS

ANEXO 1.

Resultados de la caracterización del agua residual durante la repetición 1.

Agua cruda.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	DQO mg/l
01/04/2014	8,35	3,23	210	400	304
02/04/2014	8,45	2,25	56,89	310	
03/04/2014	8,01	1,75	129	300	
04/04/2014	8,00	3,24	98	345	
07/04/2014	8,43	0,95	93	300	209
08/04/2014	8,05	2,13	115	279	
09/04/2014	8,33	2,25	102	289	280
10/04/2014	7,90	3,61	347	290	
11/04/2014	7,97	6,57	105	280	
14/04/2014	7,90	1,99	162	300	301
15/04/2014	7,91	1,99	162	298	
16/04/2014	8,25	3,31	45,93	290	340
17/04/2014	8,21	1,55	62	296	
22/04/2014	7,93	3,15	102	280	289
23/04/2014	7,62	1,89	711	275	
24/04/2014	8,00	3,34	253	300	275
25/04/2014	7,76	2,25	279	306	340
28/04/2014	8,19	3,29	92	299	372
29/04/2014	8,60	3,88	76	298	214
30/04/2014	8,15	2,78	60	287	282

Promedio	8,03	2,77	163,04	301,10	151,82
Mediana	8,06	2,52	103,50	298,00	285,50
Valor mínimo	7,20	0,95	45,93	275,00	209,00
Valor máximo	8,66	6,57	711,00	400,00	372,00

Responsable: Yurina Carrillo

ANEXO 2.

Resultados de la caracterización del agua residual durante la repetición 2.

Agua cruda.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	DQO mg/l
07/05/2014	8,3	2,36	100	308	243
09/05/2014	8,51	3,44	286	226	454
12/05/2014	8,05	2,71	195	243	468
13/05/2014	6,6	2,68	160	267	
14/05/2014	8,18	2,59	70	269	
15/05/2014	8,16	2,47	62	280	
19/05/2014	8,29	1,95	149	250	
20/05/2014	8,14	1,16	49,99	287	149
21/05/2014	8,37	3,05	361	281	
22/05/2014	8,33	1,58	49,66	220	
23/05/2014	8,62	1,59	96	210	
26/05/2014	7,74	2,53	331,65	215	244.4
27/05/2014	7,83	0,29	548,35	200	250
28/05/2014	7,76	2,44	189	180	179.2
29/05/2014	7,88	4,18	482	165	
30/05/2014	8,28	4,87	311,24	170	
02/06/2014	8,2	3,26	417,39	169	652
03/06/2014	7,91	3,28	54,54	200	110
04/06/2014	7,85	2,15	358	210	207
05/06/2014	8,8	3,11	300	215	
06/06/2014	8,3	2,18	210	215	

Promedio	8,1	2,6	227,7	227,6	253,3
Mediana	8,18	2,53	195	215	246,5
Valor mínimo	6,6	0,29	49,66	165	110
Valor máximo	8,8	4,87	548,35	308	652

Responsable: Yurina Carrillo

ANEXO 3.

Valores de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tratamiento anaerobio.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	DQO mg/l
02/04/2014	8,15	0,18	34,89	390	280
03/04/2014	7,89	1,79	6,7	390	
04/04/2014	8,04	2,15	55	389	
07/04/2014	8,07	1,03	24,7	390	190
08/04/2014	8,04	1,33	34,5	378	140
09/04/2014	8,17	1,65	76	381	
10/04/2014	7,76	2,15	123,5	378	150
11/04/2014	7,86	2,43	52	387	
14/04/2014	7,84	0,43	58	367	
15/04/2014	7,84	0,66	55	345	125
16/04/2014	7,86	0,26	66	328	
17/04/2014	7,94	1,69	52	325	
22/04/2014	7,83	1,02	24,63	309	
23/04/2014	7,52	1,57	48,72	310	123
24/04/2014	7,72	1,37	64	290	
25/04/2014	7,67	0,43	37,15	289	
28/04/2014	7,89	1,77	17,75	268	
29/04/2014	7,92	3,43	17,73	267	155
30/04/2014	7,87	2,5	15,69	225	120
01/05/2014	7,6	1,65	18,76	220	120

Promedio	7,87	1,47	44,14	331,3	139,22
Mediana	7,87	1,61	42,94	336,5	132,5
Valor mínimo	7,52	0,18	6,7	220	120
Valor máximo	8,17	3,43	123,5	390	280

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 4.

Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 2 del Tratamiento anaerobio.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos suspendidos mg/l	Color CoPt	DQO mg/l
09/05/2014	8,12	3,28	20,42	270	357	220
12/05/2014	8,41	2,73	14,01	215	228	118
13/05/2014	8,02	0,92	18	189	142	116
14/05/2014	8,1	0,67	30,43	173	346	
15/05/2014	8,13	3,36	30,01	156	303	
19/05/2014	8,37	3,21	29,43	144	233	
20/05/2014	8,36	2,61	21,2	147	255	
21/05/2014	8,22	0,43	48,7	148	400	110
22/05/2014	8,28	6,45	48,03	123	419	
23/05/2014	8,32	2,15	34,87	122	346	
26/05/2014	8,41	3,53	20	138	212	
27/05/2014	7,71	1,12	131,35	143	1445	189,9
28/05/2014	7,87	3,21	111	157	1410	108
29/05/2014	7,99	0,35	109	125	498	
30/05/2014	7,62	0,58	85,24	122	1920	
02/06/2014	8,07	0,51	78,31	135	636	
03/06/2014	8,25	0,35	49,4	137	715	156
04/06/2014	8,21	1,18	291	139	520	70
05/06/2014	8,11	0,51	210	125	560	122
06/06/2014	8,15	0,75	128	148	300	

Promedio	8,14	1,90	75,42	152,80	562,25	134,4
Mediana	8,14	1,15	48,37	143,5	378,5	118
Valor mínimo	7,62	0,35	14,01	122	142	70
Valor máximo	8,41	6,45	291	270	1920	220

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 5.

Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tratamiento aerobio.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Turbidez FTU	Sólidos Suspendedos mg/l	DQO mg/l
02/04/2014	7,58	6,25	18,9	270	220
03/04/2014	7,99	6,89	34,51	285	
04/04/2014	7,85	6,54	23,12	282	
07/04/2014	7,93	6,4	3,63	288	51
08/04/2014	7,89	6,72	18,5	300	70
09/04/2014	7,85	6,6	48,65	301	
10/04/2014	7,77	6	79	300	
11/04/2014	7,57	6,66	68,9	310	
14/04/2014	7,7	6,65	7,97	310	
15/04/2014	7,75	6,47	18,04	312	
16/04/2014	7,73	6,74	18,04	324	
17/04/2014	7,72	6,72	12,66	350	
22/04/2014	7,62	6,67	10,95	367	
23/04/2014	7,58	6,52	7,03	388	
24/04/2014	7,55	6,63	5,1	382	44
25/04/2014	7,57	6,78	18,48	399	73
28/04/2014	7,55	6,55	1,6	397	
29/04/2014	7,58	6,57	3,27	398	
30/04/2014	7,55	6,79	5,54	398	
01/05/2014	7,58	6,72	6,11	400	42

Promedio	7,70	6,59	20,50	338,05	83,33
Mediana	7,66	6,64	15,35	318	60,5
Valor mínimo	7,55	6	1,6	270	42
Valor máximo	7,99	6,89	79	400	220

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 6.

Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 2 del Tratamiento aerobio.

Fechas	pH	Oxígeno disuelto mg/l	Sólidos Suspendedos mg/l	Turbidez FTU	Color CoPt	DQO mg/l
09/05/2014	8	6,58	54	20,04	467	92
12/05/2014	8,12	6,75	10	6,83	144	84
13/05/2014	8,15	6,62	18	7,6	60	36
14/05/2014	7,8	6,49	17	8,57	169	
15/05/2014	8,1	6,5	18	11,49	183	
19/05/2014	8	6,61	11	12,29	141	
20/05/2014	8,01	6,75	9	8,63	116	40
21/05/2014	8	6,61	17	9,84	182	
22/05/2014	7,88	6,35	17	7,31	174	
23/05/2014	7,71	6,75	6	4,66	105	
26/05/2014	7,78	6,75	10	5,99	28	76,1
27/05/2014	7,41	6,66	15	7,59	169	
28/05/2014	7,78	6,63	55	21,54	445	70
29/05/2014	7,64	6	62	22,42	90	
30/05/2014	7,5	6,39	67	8,64	290	
02/06/2014	7,52	6,28	89	16,82	290	
03/06/2014	7,55	6,78	96	6,67	135	34
04/06/2014	7,41	6,75	100	156	310	40
05/06/2014	7,3	6,65	110	70	320	40
06/06/2014	7,22	6,78	124	78	290	43

Promedio	7,74	6,58	45,25	24,55	205,40	55,51
Mediana	7,78	6,63	18	9,24	171,5	41,5
Valor mínimo	7,22	6	6	4,66	28	34
Valor máximo	8,15	6,78	124	156	467	92

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 7.

Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 1 del Tanque sedimentador.

Fechas	pH	Sólidos suspendidos mg/l	Oxígeno disuelto mg/l	DQO mg/l
02/04/2014	8	78	4,89	70
03/04/2014	8	56	4,35	
04/04/2014	7,15	65	3,44	
07/04/2014	8,19	17	4,21	36
08/04/2014	7,69	7	4,66	44
09/04/2014	7,89	44	5,15	
10/04/2014	8,1	71	4,63	
11/04/2014	8	57	5,14	
14/04/2014	7,88	18	5,11	
15/04/2014	7,65	16	5,09	
16/04/2014	8,17	23	4,55	
17/04/2014	8,12	25	4,18	
22/04/2014	8	7	3,18	
23/04/2014	8,26	40	4,43	
24/04/2014	8	25	2,45	45
25/04/2014	8,3	15	2,88	32
28/04/2014	8	7	3,5	
29/04/2014	7,69	5	4,38	
30/04/2014	7,98	7	4,83	
01/05/2014	8	9	4,83	

Promedio	7,95	29,60	4,29	45,40
Mediana	8	20,5	4,49	44
Valor mínimo	7,15	5	2,45	32
Valor máximo	8,3	78	5,15	70

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 8.

Valores promedio obtenidos de los diferentes parámetros analizados de la repetición 2 del Tanque sedimentador.

Fechas	pH	Sólidos suspendidos mg/l	Oxígeno disuelto mg/l	DQO mg/l
09/05/2014	8	55	4,25	34
12/05/2014	8,2	9	2,43	28
13/05/2014	7,7	14	4,4	16
14/05/2014	8	17	2,57	
15/05/2014	8,2	19	4,2	
19/05/2014	7,5	7	4,92	
20/05/2014	8,36	6	3,28	23
21/05/2014	8	12	4,52	
22/05/2014	8,26	10	3,62	
23/05/2014	7,13	12	4,18	45
26/05/2014	7,89	2	4,06	
27/05/2014	7,39	13	5,66	
28/05/2014	8,4	15	2,11	32
29/05/2014	8,15	47	3,04	
30/05/2014	8	43	2,15	
02/06/2014	8,12	33	3,25	
03/06/2014	8,16	28	4,3	
04/06/2014	8	12	2,55	
05/06/2014	8,2	18	3,18	32
06/06/2014	8,10	44	3,12	

Promedio	7,99	20,80	3,48	30
Mediana	8,05	14,50	3,62	32
Valor mínimo	7,13	2	2,11	16
Valor máximo	8,4	55	5,66	45

Responsable: Yurina Carrillo.

ANEXO 9.

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como	mg/l	10,0

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
	Nitrógeno (N)		

CONTINUACIÓN...

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

ANEXO 10.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

**MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL.

**MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Autor: YURINA BELÉN CARRILLO SILVA.

Riobamba – Ecuador

AÑO

2014

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

TABLA DE CONTENIDO.

1. Introducción.....	82
2. Objetivo.....	82
3. Alcance.....	82
4. Descripción.....	82
5. Funcionamiento.....	87
6. Terminología.....	88
7. Desarrollo de la prácticas.....	91-107

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

INTRODUCCIÓN

En la educación de las Ciencias ambientales, tanto a nivel universitario como en secundaria, el medio ambiente es un tema de gran importancia que siempre despierta un gran interés por parte de los estudiantes. En nuestro país en donde el agua cobra una especial relevancia, el tratamiento de las aguas residuales y su posible reutilización permite ofrecer un gran número de actividades de enseñanza-aprendizaje a los estudiantes con gran variedad de contenidos transversales.

Este manual cuenta con una descripción del prototipo diseñado, el funcionamiento del mismo y una práctica a desarrollarse.

Los objetivos del presente documento son:

1. Comprender el proceso de degradación biológica de la materia orgánica tanto de forma anaeróbica como aeróbica y los fundamentos del funcionamiento de los reactores biológicos.
2. Ayudar al docente y al alumno a conocer cómo se realizó el prototipo.
3. Guiar el desarrollo de las prácticas con el objetivo de que el estudiante refuerce sus conocimientos.

ALCANCE.

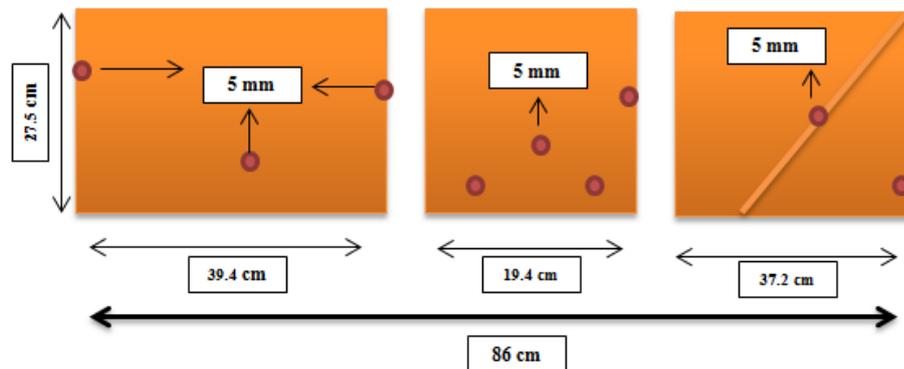
El prototipo debe usarse como base primordial para la realización de investigaciones o prácticas que vayan a tratar aguas residuales de carácter biológico.

DESCRIPCIÓN.

El prototipo consiste en un tanque de vidrio de 0,82 m de largo, 0,20 m de ancho y 0,27 m de altura, con un volumen útil aproximado de 30 L, dividido en tres

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

compartimientos, uno que corresponde a la cámara anaeróbica, el segundo compartimiento al tanque de aeración o reactor aeróbico y el tercero al sedimentador. Con volúmenes de 15,78 - 7,7 y 4,4 litros respectivamente. Dichas unidades se comunican a través de orificios de 5 mm de diámetro, ubicados en la parte superior de los tabiques colocados adecuadamente divididos los mismos que cumplen entrada y salidas. En las parte media existen salidas con una manguera que permite la extracción de muestras para su análisis .Ver figura 1.



*Fig1. Diseño del prototipo.
Responsable: Yurina Carrillo.*

El suministro del aire se realiza por medio de difusores porosos, utilizando 2 aireadores de 60 Hz, introducidos por los orificios de 5 mm que se encuentran en la parte inferior del tanque

El control del tiempo de residencia celular se realiza mediante la extracción de un volumen específico de lodos del sedimentador de forma manual.

El efluente del prototipo o agua cruda se recolecta en un tanque de plástico de una capacidad de 30 litros aproximadamente que alimenta el sistema por gravedad controlando su caudal por medio de unas llaves. **Ver figura 2.**

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.



*Fig.2 Construcción del prototipo.
Responsable: Yurina Carrillo.*

Tanque anaeróbico.

Para el diseño del tanque anaeróbico se considera un tiempo de retención de 24 horas y un volumen de 18 l/d. El cálculo del área del tanque anaeróbico se procede de la siguiente manera

$$V = \text{Área} * \text{profundidad.}$$

Despejando área y asumiendo una profundidad útil de 22.5 cm:

$$\text{Área} = 18000 \text{ cm}^3 / 22.5 \text{ cm} = 800 \text{ cm}^2.$$

Para obtener el largo y el ancho del tanque se debe considerar que el largo debe ser 2 veces su ancho por lo tanto:

$$A = l * a$$

$$A = 2 a * a$$

$$a = \sqrt{A/2}$$

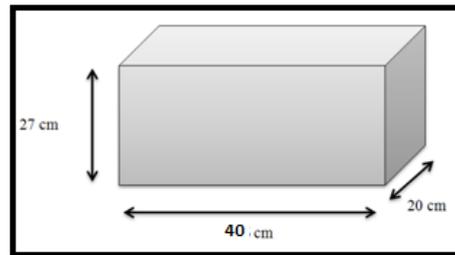
$$a = \sqrt{800/2}$$

$$a = 20$$

Su largo es $2 * 20 = 40 \text{ cm}$.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Las medidas finales se proyectan en la **fig. 3** en donde la profundidad es de 27 cm pues se deja un margen de 4.5 cm.



*Fig.3 Diseño de la planta.
Responsable: Yurina Carrillo.*

Reactor aeróbico.

Para el diseño del reactor aeróbico se consideró los parámetros de operación de lodos activados dados por Jairo Romero Rojas, que indica que para un tratamiento de lodos activados por mezcla completa debe cumplir con las siguientes condiciones: una relación F/M (Alimento microorganismo) entre (0,2 -0,6 g Demanda Bioquímica de Oxígeno – g Sólidos Suspendidos Volátiles en el licor de mezcla, sólidos suspendidos en el licor de mezcla de 2500 – 4000 mg/l edad de lodos de 5 – 15 tasa de recirculación de 25 al 100% y una eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del 85 al 90%.

Considerando la relación alimento/microorganismo se tiene:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{V X}$$

Dónde:

- Q = caudal del efluente (m³/día).
- S₀ = concentración de sustrato del efluente (mg/l).
- V = volumen del reactor (m³).
- X = biomasa en el reactor (mg SSV/L).
- ϑ = tiempo de retención hidráulica (d).

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Remplazando el volumen:

$$V = (0,018 \text{ m}^3/\text{día} * 295,46 \text{ mg/l}) / (0,3 * 2000 \text{ mg/l})$$
$$V = 0.0088 \text{ m}^3 = 8.8 \text{ litros.}$$

4. Tanque sedimentador.

Para el diseño del tanque se tomó en consideración los criterios de diseño para el decantador secundario de Lozano-Rivas quien indica que el tiempo de retención hidráulico debe comprender un valor de 3 a 5 horas. Para este caso se considera el tiempo máximo de 5 horas.

$$V = Q * t$$

Dónde:

- V = volumen del reactor (m^3).
- t = tiempo (horas)

Despejando Volumen de la fórmula de caudal se tiene:

$$V = 18 \text{ lts /día} * 5 \text{ h} * 1 \text{ día}/24\text{h} = 3,75 \text{ litros.}$$

En la figura 4 se muestra el prototipo construido y puesto en marcha.



Fig. 4 Prototipo construido y puesto en marcha.
Responsable: Yurina Carrillo.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

FUNCIONAMIENTO

Se sugiere empezar con un grupo de 4 a 5 estudiantes para realizar la puesta en marcha del sistema.

- Colocar en el tanque de almacenamiento el agua residual doméstica la misma que va hacer utilizada durante el desarrollo de la puesta en marcha del prototipo, se recomienda traer 20 litros aproximadamente de agua residual doméstica.
- Inicialmente el caudal de agua que baja del tanque de almacenamiento al tanque anaeróbico, se controla por medio de una manguera la cual posee unas llaves.
- Después de haberse llenado la cuba del tratamiento anaeróbico en un lapso de tiempo de 24 horas, el agua pasa seguidamente a la cuba de aireación en donde va a permanecer aireándose con la ayuda de unos dispositivos (aireadores).
- Seguidamente el agua pasa a la cuba de sedimentación donde el agua residual permanece en reposo para sedimentar los sólidos formados en el reactor aeróbico.
- Posteriormente a ello ya sale el agua tratada la misma que va hacer depositada en un recipiente de plástico, para realizar los respectivos análisis.
- En cada cuba del prototipo se debe controlar los siguientes parámetros:
 - En el tanque anaerobio se controla: pH- sólidos sedimentables- oxígeno disuelto – DQO (Demanda química de oxígeno).
 - En el tanque aerobio se controla: pH- sólidos suspendidos en el licor de mezcla – oxígeno disuelto.
 - En el tanque sedimentador se controla: pH- oxígeno disuelto – temperatura – sólidos suspendidos – color.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Parámetros a analizar	Unidades
Oxígeno disuelto	mg/l
pH	
Sólidos suspendidos.	mg/l
DQO (Demanda química de oxígeno).	mg/l
Temperatura	°C
Color.	unidades de color

Responsable: Yurina Carrillo.

- Para el análisis de los diferentes parámetros mencionados anteriormente se toma muestras de agua de cada una de las cubas (anaeróbica – aireación - sedimentación), estas muestras se toman en recipientes plásticos, estos análisis se recomiendan hacer diariamente para llevar un control de los parámetros y así poder ver la variabilidad de cada uno de los resultados obtenidos en caso de que se requiera hacer comparaciones entre los valores obtenidos de los diferentes días.
- En lo que respecta al control del oxígeno disuelto en la cuba de aireación se realiza “in situ” mediante un medidor de oxígeno disuelto, debido a que las condiciones del medio pueden alterar los resultados.
- Una vez que se haya terminado de realizar el correcto funcionamiento con el agua residual doméstica, se puede poner a consideración el uso del prototipo para el desarrollo de prácticas con la utilización de otro tipo de aguas residuales, de esta manera se podrá hacer un análisis de cada una de las prácticas que se desarrolle entre los estudiantes.

Terminología.

- **Aguas Residuales:** son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Esto puede ser tratado dentro del sitio en el cual es generado (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o

recogido y llevado mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal.

- **DBO5:** Es la cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.
- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** Es la cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales.
- **Digestión aeróbica:** es el proceso donde se usan los residuos orgánicos como sustrato, para el crecimiento de las bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno, con el fin de estabilizar los residuos y reducir su volumen.
- **Digestión anaeróbica:** es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado).
- **Lodos:** Sólidos que se encuentran en el fondo del tanque séptico.
- **Oxígeno Disuelto:** Es el oxígeno libre que se encuentra en el agua, vital para las formas de vida acuática y para la prevención de olores.
- **pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.
- **Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado (SSLM):** Corresponde a la concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el estanque de aireación. Se asume que la porción de sólidos correspondiente a la concentración de microorganismos en suspensión, se mide cómo la porción volátil de éstos sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, los sólidos suspendidos en el licor de mezcla se miden en mg/l, y sus valores típicos son de 1.500 a 3.000 mg/l para lodos activados convencionales y de 3.000 a 6.000 mg/l para aireación extendida lodos Activados por aireación extendida.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

- **Relación Alimento/Microorganismos (F/M):** Corresponde a la relación que existe entre la masa del sustrato y la masa de la población de microorganismos presentes en el sistema. Se mide en kg Demanda bioquímica de oxígeno /kg sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla día, y el rango de valores deseados en la operación varían entre 0,15 a 0,4 Demanda bioquímica de oxígeno/día para Lodos activados convencionales y 0,05 a 0,12 kg Demanda bioquímica de oxígeno/día para Lodos activados aireación extendida.
- **Tiempo de Retención Celular o Edad de Lodos (TRC, θ_c):** Corresponde al tiempo, en promedio, que permanece una partícula de sólido dentro del sistema. Este valor se estima con el cociente entre la masa de microorganismos presentes en el sistema y la masa de microorganismos que lo abandona por unidad de tiempo.
- **Sólidos sedimentables:** es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo.

Fuentes:

- Ron Crites and George Tchobanoglous. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. McGraw-Hill, 2000.
- http://www.urbipedia.org/index.php?title=Tratamiento_de_aguas_residuales.
- <http://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-agua-faq-calidad-agua>.

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

PRÁCTICA 1 A DESARROLLARSE CON EL EQUIPO.

TEMA: Depuración de aguas residuales.

ACTIVIDADES PREVIAS DE MOTIVACIÓN.

El docente encargado de la cátedra de Control de Contaminantes 1 planteará en el salón de clases la práctica que se propone, la cual se centra en plantear la importancia y la necesidad del agua para el desarrollo de todas las actividades humanas: domésticas agrícolas e industriales.

A su vez el docente encargado impartirá una introducción sobre la contaminación del agua y la importancia del cuidado del medio ambiente que posibilite un desarrollo sostenible.

OBJETO DE LA PRÁCTICA.

Conocer como es el proceso de depuración de un agua residual mediante un proceso biológico aerobio (con fangos activos) con el fin de obtener agua limpia o reutilizable en el ambiente para disposición de rehusó en cualquier actividad como el riego o la recreación.

El desarrollo de la práctica deberá tomarse un tiempo aproximado de 2 semanas, debido a que es un sistema biológico, el mismo que debe estar bajo unas condiciones que permitan el crecimiento de los microorganismos responsables de la depuración, en la planta biológica de tratamiento de efluentes se deberá permanecer controlando las condiciones de operación como los parámetros a medirse ya sea pH- color – sólidos suspendidos – turbidez – DQO – temperatura – entre otros.

Objetivos de la práctica.

- Montaje y puesta en marcha de un reactor biológico de tratamiento de agua residual.
- Caracterización del agua residual.
- Seguimiento y control del proceso de depuración biológica de un agua residual urbana.

FUNDAMENTOS.

Para el desarrollo de la práctica se debe instruir a los estudiantes con ciertos conceptos como los que se menciona anteriormente en la terminología, ya que estos servirán de gran ayuda al momento del desarrollo y aplicación de la práctica.

A continuación se describe brevemente como es el funcionamiento de la depuración en aguas residuales.

En la figura 1 se muestra el sistema biológico de depuración de aguas residuales que es uno de los procesos de oxidación biológica más empleados es el denominado “fangos activos”. El sistema consiste desarrollar en un reactor biológico un cultivo bacteriano disperso en forma de floculo, aireado y alimentado de forma continua con el agua a tratar.

La aireación tiene por finalidad el suministro de oxígeno necesario al cultivo para el desarrollo de los procesos bioquímicos aerobios. En la oxidación biológica con fangos activos se establece un tiempo de contacto suficiente entre el agua residual y los microorganismos de manera que éstos degraden la materia organica y la mezcla formada envíe a un clarificador donde se separa por sedimentación la biomasa constituida por los fangos activos del agua.

Al cabo de un periodo determinado y una vez que la materia organica ha sido suficientemente oxidada, el liquido el liquido de mezcla se envia a un tanque

sedimentador o también llamado decantador secundario, en donde se separa el fango biológico del agua. Una parte de la biomasa decantada recircula al reactor para mantener una concentración de microorganismos adecuada, mientras que el resto del fango se extrae del sistema para evitar la acumulación excesiva de la biomasa y controlar el tiempo medio de estancia celular. Los fangos o lodos activados están constituidos por la biomasa formada y la materia particulada aportada por el agua residual (Winkler, 1998, Leo, 1996).

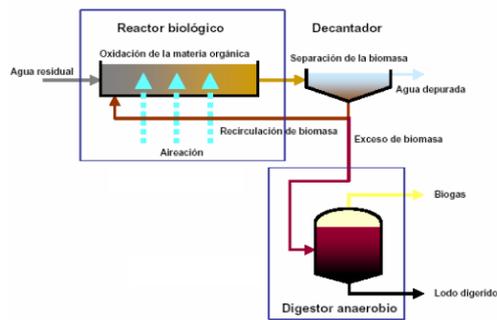


Figura1. Sistema biológico de depuración de aguas residuales

Materiales.

- pHmetro.
- Medidor de oxígeno disuelto.
- Mandil.
- Mascarilla.
- Balde plástico (capacidad 30 litros).
- Recipientes plásticos para la toma de muestras.
- Termómetro.
- Turbidímetro.
- Guantes.
- Marcador.

Sustancias.

- Agua residual a utilizar.
- Agua destilada.

El profesor explicará brevemente en el salón de clase las tareas a realizarse en la práctica, además de ello instruirá a los alumnos sobre las condiciones de seguridad que se deben mantener en el laboratorio, como de los materiales y sustancias a utilizar que cada grupo debe tener.

Seguidamente se realizará grupos de trabajo de 4 o 5 personas, esto debido a que en el desarrollo de practica cada uno de ellos tendrá una función que cumplir diariamente; es decir; observar que no exista ningún tipo de taponamiento tanto en el tanque de almacenamiento como en la manguera, deberán controlar el caudal cada cierto tiempo, deberán realizar la medición de los diferentes parámetros a analizar, alimentación de agua al prototipo diariamente, anotar cada uno de los valores obtenidos una vez medidos los parámetros, elaboración diario de un informe para saber cómo se encuentra el sistema durante la fase del desarrollo de la práctica.

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

- Obtención del agua residual urbana 20 litros diarios aproximadamente durante el tiempo que dure el desarrollo de la práctica.
- Homogenizar el agua residual.
- Tomar un litro de muestra del agua residual a tratar para realizar los análisis correspondientes.
- Analizar los parámetros establecidos con la muestra que se tomó.
- Colocar en el tanque de almacenamiento el agua residual.
- Regular el ingreso del agua al caudal requerido 15 litros/día aproximadamente.
- Colocar la manguera que sale del tanque de almacenamiento hacia el primer tanque en donde se realiza el tratamiento anaeróbico.
- Después de 24 horas el tanque anaeróbico se llenará y que pasará a la cuba de aireación en donde se prenden los aireadores los que suministrarán oxígeno en la cuba, después de 12 horas el agua aireada pasará al tanque sedimentador donde permanecerá 6 horas aproximadamente y finalmente se obtendrá el agua tratada.
- El sistema debe alimentarse diariamente con el agua residual, debido a que el sistema debe mantenerse continuo.
- Diariamente se tomara muestras de agua de cada una de las cubas para realizar los análisis respectivos.

- Anotar cada uno de los resultados obtenidos en los análisis, tomando en cuenta que el agua cruda del día anterior es el agua que entra hoy ´por lo tanto los resultados del tratamiento deben compararse con los parámetros del agua residual del día anterior.
- Observar que sucede en cada una de las cubas del sistema.
- Realización de conclusiones y recomendaciones.
- Elaboración de un informe.

Los análisis que se recomiendan realizar son:

- **Agua residual cruda:** Demanda química de oxígeno, pH, solidos suspendidos, solidos sedimentables, turbiedad, color, sólidos flotantes.
- **Tanque anaeróbico:** Demanda química de oxígeno, pH, solidos suspendidos. Al final del tratamiento se toma con mucha precaución las natas generadas que se encuentran flotando, seguidamente se procede a medir y anotamos el valor, luego agitamos la cuba y los sólidos sedimentables.
- **Tanque aeróbico:** solidos suspendidos sedimentables, solidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, pH, temperatura.
- **Tanque sedimentador:** Demanda química de oxígeno, pH, solidos suspendidos, turbiedad, color.

Discusión y exposición en el aula clase de los resultados

Una vez que todos los grupos han participado en el desarrollo de la práctica, el docente asignara un tiempo determinado para que los alumnos expongan los resultados obtenidos, a su vez puedan realizar un debate sobre el tema de la práctica como también se puede hacer un foro de preguntas que se puede dar por las debidas inquietudes de los estudiantes.

Seguidamente a esto se hará un informe final, adjuntando fotografías que sirvan de evidencia que se ha realizado la práctica.

Los datos finales obtenidos de la práctica se presentarán en un informe en el cual debe constar:

1. Tema de la práctica.
2. Objetivos.
3. Materiales.
4. Sustancias.
5. Fundamentación teórica.
6. Procedimiento.
7. Resultados y discusión.
8. Conclusiones.
9. Recomendaciones.
10. Anexos – fotografías.

**MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

PRACTICA 2 A DESARROLLARSE CON EL EQUIPO.

Referencia bibliografía: Práctica tomada de: Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.

TEMA: Tratamiento por lodos activados con agua residual simulada.

ACTIVIDADES PREVIAS DE MOTIVACIÓN.

El docente encargado de la cátedra de Control de contaminantes 1 planteará en el aula la práctica que se propone, la cual se centra en plantear la importancia y la necesidad de agua para el desarrollo de todas las actividades humanas: domésticas agrícolas e industriales. A su vez se impartirá una introducción sobre la contaminación del agua y la importancia del cuidado del medio ambiente que posibilite un desarrollo sostenible.

OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

1. Trabajar con el prototipo como unidades independientes – sistema aerobio.
2. Conocer como tiene lugar el proceso de depuración de un agua residual mediante un proceso biológico aerobio (con fangos activos) y ser capaz de entender cómo funciona una planta de tratamiento de aguas residuales de funcionamiento continuo.

Este funcionamiento en continuo hace necesario que esta práctica tenga que realizarse durante un periodo largo de tiempo (mínimo dos semanas), por tratarse de un sistema biológico, debe estar bajo unas condiciones que permitan el crecimiento de los microorganismos responsables de la depuración, la planta

biológica de tratamiento de efluentes deberá permanecer controlando las condiciones de operación.

Los objetivos que se plantean en esta práctica son:

- Montaje y puesta en marcha de un reactor biológico de tratamiento de agua residual.
- Caracterización de un fango activo por observación con microscopio óptico.
- Seguimiento y control del proceso de depuración biológica de un agua residual.
- Elaboración de un informe que recoja el desarrollo del proceso y las conclusiones.

FUNDAMENTOS.

Entre las técnicas empleadas para reducir la concentración de materia orgánica de las aguas residuales son especialmente importantes los tratamientos de oxidación biológica. El fundamento de estos tratamientos consiste en la asimilación aerobia de la materia orgánica degradable biológicamente (Demanda Biológica de Oxígeno: DBO) por microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes, a través de procesos biológicos de oxidación, síntesis y endogénesis (**Figura 1**). Los productos finales del metabolismo son CO₂ y H₂O, produciéndose un incremento de la biomasa de microorganismos a expensas de parte de la materia orgánica consumida. Cabe decir que en función de los parámetros de operación, mediante los sistemas de fangos activos es posible también la transformación del nitrógeno amoniacal en nitratos (nitrificación).

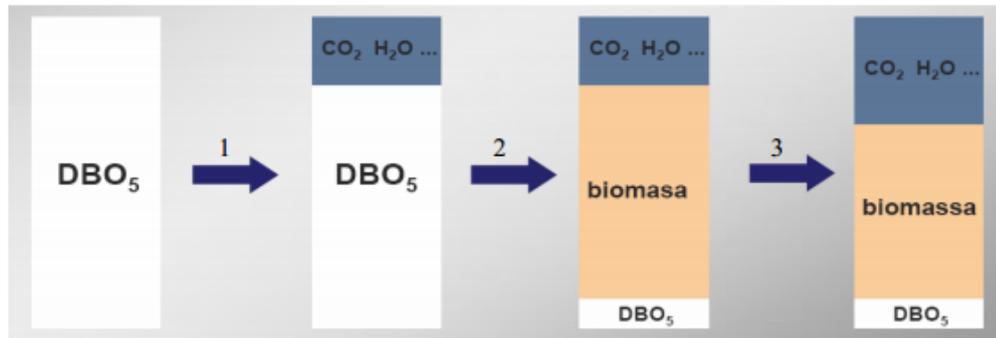


Figura 1. Metabolización de materia orgánica: (1) Oxidación, (2) Síntesis y (3) Endogénesis

Uno de los procesos de oxidación biológica más empleados es el denominado “fangos activos”, la **Figura 2** recoge un esquema del proceso. El sistema consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de floculo en un reactor biológico, aireado y alimentado de forma continua con el agua a tratar.

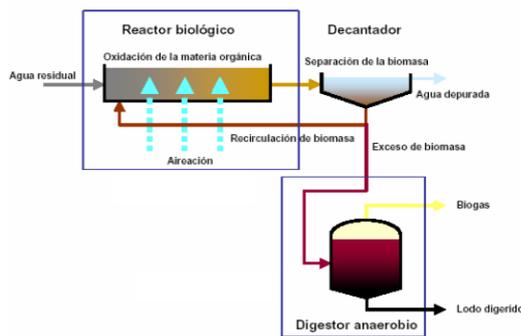


Figura 2. Sistema biológico de depuración de aguas residuales

La aireación tiene por finalidad suministrar al cultivo el oxígeno necesario para el desarrollo de los procesos bioquímicos aerobios. En la oxidación biológica con fangos activos se establece un tiempo de contacto suficiente entre el agua residual y los microorganismos, de manera que éstos degraden la materia orgánica; y mezcla se envía a un clarificador donde se separa por sedimentación la biomasa, constituida por los fangos activos, del agua. Una determinada fracción de esta biomasa separada es generalmente recirculada al reactor para mantener la adecuada concentración de microorganismos, que permita continuar con el proceso de depuración, mientras que el exceso es extraído del sistema para un

tratamiento posterior. El fango activo que está constituido básicamente por material celular (**Figura 3**), será sometido a un proceso de estabilización a fin de reducir su capacidad de fermentación.



Figura 3. Composición de un fango activo

Las experiencias de crecimiento de microorganismos muestran que la velocidad de crecimiento varía con el tiempo y esta influenciada por muchos factores ambientales físico-químicos y biológicos como: concentración de sustrato (SD), concentración de biomasa (X), concentración de productos (p), pH, temperatura (T), concentración de oxígeno disuelto (S_o), intensidad luminosa y varios inhibidores del crecimiento microbiano.

Los principales organismos presentes en un proceso aerobio de fangos activos son:

- **Bacterias:** Constituyen el 95% de la biomasa (formadoras de flóculos, filamentosas, nitrificantes, etc.) Son los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico del influente.
- **Hongos:** Son poco comunes en los sistemas de tratamientos de aguas residuales urbanas. Su presencia en abundancia se asocia, por lo general, a condiciones de pH demasiado bajas. Pueden ser usuales en procesos industriales.
- **Protozoos:** Son eucariotas unicelulares heterótrofos. Consumen las bacterias dispersas que no han flocculado. Distinguimos entre: Flagelados, Rizópodos (Amebas) y Ciliados (pedunculados, libre nadadores, libres reptantes, succionadores, etc.).
- **Algas:** Su importancia estriba, no tanto por su capacidad de depuración sino por su capacidad fotosintética, aportando oxígeno. Por ser autótrofas

permiten el aumento de la materia orgánica consumiendo el carbono mineral.

- **Metazoos:** Son animales pluricelulares, muy abundantes en los sistemas de depuración que emplean soporte fijo. Se alimentan de sustrato y consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado (Rotíferos, Nematodos, Oligoquetos, etc.).

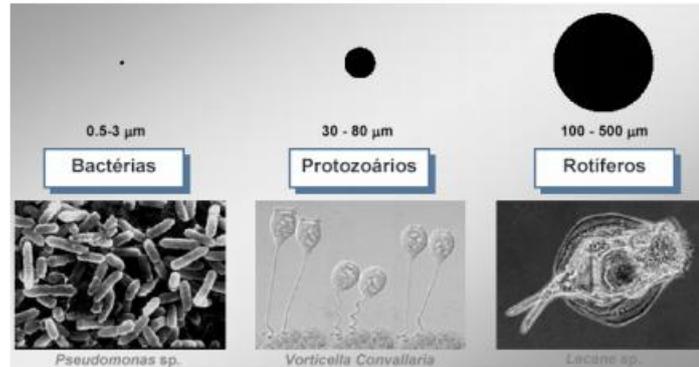


Figura 4. Fotografías y tamaños relativos de los componentes de los fangos activos

Así, el estado de la depuradora se puede determinar en función del tipo de organismos que se encuentre:

- **Los protozoos flagelados:** son organismos poco frecuentes en sistema de depuración maduros bajo condiciones estables de funcionamiento. Suelen observarse en las fases de puesta marcha del proceso en compañía de rizópodos (protozoos), para seguidamente ser reemplazados por los ciliados (protozoos). Una población de flagelados abundante indica la presencia de algún tipo de “alteración” en el sistema.
- **Los protozoos rizópodos,** al igual que los flagelados, son poco frecuentes en sistemas de depuración maduros. Pueden aparecer durante las fases de arranque junto con los flagelados, siendo sustituidos posteriormente por los ciliados. Sin embargo, las amebas testáceas pueden aparecer de forma estable junto con algunos ciliados en sistemas que funcionan a elevados tiempos de retención celular (TRC) y en los que las condiciones de oxigenación son favorables.

- **Los ciliados nadadores (protozoos)** son más abundantes en las fases de puesta en marcha que en fangos maduros. En las fases maduras de colonización, la presencia del flóculo de fango activo, sustrato de los ciliados sésiles, asegura la presencia de éstos, claros competidores con los nadadores por las bacterias en disolución.
- **Los ciliados reptantes y sésiles (protozoos)** dominan de forma conjunta la micro fauna de un fango activo maduro bajo condiciones estables de funcionamiento. Esta situación se debe a la dependencia de ambos grupos por la presencia de flóculos de fango activo y a la falta de competencia por el alimento. La relación entre ambas poblaciones está en dependencia con ciertas condiciones ambientales como la concentración de carga orgánica.

Normalmente, un fango activo en un sistema estable presenta estas 3 características:

- La población de protozoos se presenta en una densidad superior a 106 individuos L-1.
- La micro fauna se compone principalmente de ciliados reptantes y sésiles, sin apenas presencia de flagelados.
- Las especies y grupos de ciliados están muy diversificadas, de manera que ningún grupo supera numéricamente a otro con un factor superior a 10.

En el caso de que estas premisas no se cumplan, la identificación del grupo dominante permitirá obtener información sobre la situación particular del sistema (**Ver Tabla 1**). Así se puede determinar el estado del sistema con la simple observación microscópica.

Grupo Dominante	Nivel de Depuración	Posibles Causas
Pequeños flagelados	Bajo	Oxigenación insuficiente, sobrecarga orgánica, sustancias en fermentación
Pequeños nadadores (ciliados)	Mediocre	Fango con aireación insuficiente
Grandes nadadores (ciliados)	Mediocre	Sobrecarga orgánica; fango pobremente aireado
Ciliados reptantes	Bueno	
Ciliados sesiles y reptantes	Bueno	
Ciliados sésiles	En descenso	Transitoriedad en la carga orgánica, extracción de fangos reciente, etc
Amebas desnudas y flagelados	Pobre	Carga orgánica muy alta poco degradable
Amebas testáceas	Bueno	

Tabla 1. Estado del nivel de depuración atendiendo a la observación microbiológica.

Material

- Microscopio óptico (portaobjetos y cubreobjetos).
- Material de laboratorio: vaso de precipitado de 1 l, probeta de 1 l, pipetas, espátula, frasco lavador, tubos de ensayo, gradilla.
- Balanza granatario, pH metro, conductivímetro.
- Centrífuga, espectrofotómetro, estufa.
- Reactor biológico para el tratamiento de aguas residuales.

Reactivos

- Fango activo fresco.
- Agua residual simulada: peptona de carne, urea, NaCl, CaCl₂ 2H₂O, K₂HPO₄, MgSO₄ 7H₂O.
- Colorantes para tinción de protozoos.
- Colorantes vitales:
- Azul de metileno (1: 10000 = 0,01g en 100 ml de agua destilada).
- Rojo neutro (1: 1000 = 100 ml de agua destilada + 0,01g de colorante o 1: 3000 = 0,03g de colorante en 100 ml de agua destilada).

Una vez obtenido los reactivos realizar las siguientes tareas:

- Preparar un nuevo bidón de agua residual.
- Seguimiento de la depuración biológica: tomar muestras del interior y de la salida del reactor biológico, determinar el caudal de salida, comprobar el buen funcionamiento del sistema.
- Observar y analizar los microorganismos presentes en el reactor biológico.
- Procesar, etiquetar y almacenar las muestras para su análisis posterior.

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA.

- Preparación del agua residual sintética (25 litros)
- Peptona 7 gramos; urea 0,75 gramos, NaCl 0,175 gramos; $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, 0,1 gramos, Sulfato magnésico heptahidrato 0,05 gramos, K_2HPO_4 0,7 gramos.

Funcionamiento y puesta en marcha del reactor biológico.

Inicialmente se llena la cuba de aireación y el decantador con agua residual sintética.

Seguidamente se pondrá en funcionamiento el dispositivo de aireación, El agua residual sintética deberá pasar a través de la cuba de aireación a razón de 3 litro por hora, lo que equivale a un tiempo medio de retención de 3 horas.

El efluente debe mantenerse bajo condiciones aerobias. Las condiciones aerobias necesarias para el desarrollo del tratamiento se mantienen mediante suministro de aire a través de un difusor.

Seguimiento de la depuración biológica

Se van tomando muestras del efluente con el tiempo (al menos una cada día, durante el tiempo que dure la práctica). En las muestras de agua residual depurada

se analizan los siguientes parámetros: el pH, la conductividad, o la cantidad de fango (peso seco, secando hasta peso constante), sólidos suspendidos. La cantidad de fangos en suspensión debe estar entre 2 y 3 g/l. Los datos finales obtenidos se presentarán en forma de gráficos donde se represente la evolución temporal de cada parámetro medido.

Estudio microbiológico de un fango activo

Consiste en observar microscópicamente que especies habitan en el reactor biológico a estudiar (bacterias, protozoarios, rotíferos). Para ello se recogen muestras de 100 mL y se dejan destapadas para que el oxígeno difunda. Las muestras han de ser observadas al microscopio lo antes posible ya que las condiciones en el bote cambian y con ellas las poblaciones de microorganismos. Las muestras se observan en vivo pues el tipo de movimiento de los organismos te indica bastante sobre el grupo al que pertenecen. Se pone una gota en el portaobjetos y se le pone un cubreobjetos, posteriormente se observan bajo el microscopio óptico de menor a mayor aumento teniendo en cuenta que para utilizar el objetivo de mayor aumento es necesario el aceite de inmersión. También se puede concentrar una pequeña muestra de 1 ml por centrifugación y utilizar el precipitado para la visualización al microscopio. Para la determinación de ciertos organismos es necesario observar sus estructuras internas: núcleo, vacuolas pulsátiles, flagelos, patrones de ciliación, etc. Siendo necesario hacer tinciones. Colorantes vitales: azul de metileno evidencia núcleo y gránulos citoplasmáticos eventualmente vacuolas, rojo neutro se acumula en vacuolas digestivas.

En la Figura 5 se puede ver un ejemplo de la diversidad microbiológica que podría observarse en una toma de muestra del interior del reactor biológico.



Figura 5. Microfotografías de fangos activos: se observa un rotífero cercano al floculo principal, y en la inferior un ciliado móvil alimentándose de células bacterianas sueltas en la periferia del floculo.

Discusión y exposición en el aula clase de los resultados

Una vez que todos los grupos han participado en la realización de la práctica será el momento en el que los alumnos tengan que poner en común los resultados obtenidos. Para ello se deja un tiempo para que realicen y compartan los datos, realizando cálculos y comparando resultados y elaboren un informe para hacer la presentación de los resultados obtenido. En la sesión de presentación cada responsable de grupo explicará los resultados más relevantes que se han obtenido de la práctica, incluyendo comentarios y discusión de los mismos. Se establece un debate en el que se puede plantear alguna posibilidad de mejora en el desarrollo del experimento y/o manejo de aparatos. Finaliza esta sesión comentando lo que han aprendido.

**MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA PLANTA PILOTO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

PRACTICA 3 A DESARROLLARSE CON EL EQUIPO.

TEMA: Tratamiento por lodos activados con diferentes aguas residuales domésticas.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

- Que el estudiante pueda observar el tratamiento de lodos activados con diferentes aguas residuales de carácter biológico como pueden ser: aguas de mataderos, aguas residuales de industrias lácteas, aguas residuales de la agroindustria.

PROCEDIMIENTO.

Para el procedimiento se realizará el mismo explicado en la práctica #2.