

**SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS
FOSA SÉPTICA MEJORADA FALG II**

WILMAR ANDRES GOYES ARAUJO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO 2001**

**SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS
FOSA SÉPTICA MEJORADA FALG II**

WILMAR ANDRES GOYES ARAUJO

Director:

Msc ROBERTO SALAZAR CANO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO 2001**

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. AGUAS RESIDUALES.

1.1.1. Muestreo y procedimientos analíticos.

1.1.1.1. Muestreo.

1.1.1.2. Unidades de medida para parámetros físicos y químicos.

1.1.2. Características físicas.

1.1.2.1. Sólidos.

1.1.2.2. Turbiedad.

1.1.2.3. Color.

1.1.2.4. Olor.

1.1.2.5. Temperatura.

1.1.2.6. Densidad.

1.1.2.7. Conductividad.

1.1.3. Características químicas inorgánicas.

1.1.3.1. Potencial de Hidrogeno pH

- 1.1.3.2. Nitrógeno.
- 1.1.3.3. Fósforo.
- 1.1.3.4. Alcalinidad.
- 1.1.3.5. Cloruros.
- 1.1.3.6. Azufre.
- 1.1.4. Características químicas de compuestos orgánicos agregados.
 - 1.1.4.1. Caracterización de la materia orgánica agregada en aguas residuales.
 - 1.1.4.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno DBO.
 - 1.1.4.1.2. Demanda química de oxígeno DQO.
 - 1.1.4.1.3. Carbono orgánico total COT.
 - 1.1.4.1.4. Relaciones entre DBO, DQO y COT.
 - 1.1.4.1.5. Grasas y aceites.
 - 1.1.4.1.6. Tensoactivos.
 - 1.1.5. Características biológicas.
 - 1.1.5.1. Microorganismos presentes en aguas superficiales y AR.
 - 1.1.5.2. Organismos patógenos.
 - 1.1.5.2.1. Bacterias.
 - 1.1.5.2.2. Protozoos.
 - 1.1.5.2.3. Helmintos.
 - 1.1.5.2.4. Virus.
 - 1.1.5.3. Empleo de organismos indicadores.
 - 1.1.5.4. Conteo e identificación de bacterias.
 - 1.1.5.4.1. Conteo directo.

1.1.5.4.2. Cultivo en placa.

1.1.5.4.3. Técnica de filtro de membrana.

1.1.5.4.4. Fermentación en tubos múltiples.

1.2. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA CONTAMINACION HIDRICA.

1.2.1. Antecedentes sobre la preocupación internacional por la contaminación hídrica.

1.2.2. Prevención y control de la contaminación hídrica.

1.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

1.3.1. Poblaciones mediana -grandes.

1.3.1.1. Pretratamientos.

1.3.1.2. Tratamientos primarios.

1.3.1.3. Tratamientos secundarios.

1.3.1.4. Tratamientos terciarios.

1.3.1.5. Tratamiento de fangos.

1.3.2. Poblaciones pequeñas.

1.4. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.

1.4.1. Descripción del proceso.

1.4.1.1. Hidrólisis.

1.4.1.2. Fase acetogenica.

1.4.1.3. Fase metanogenica.

1.4.2. Parámetros de operación y control en los procesos anaerobios.

1.4.2.1. Parámetros de operación.

1.4.2.2. Parámetros de control.

- 1.4.3. Digestión anaerobia en dos fases.
- 1.4.4. Industrias en las que se emplea la depuración anaerobia a sus AR.
 - 1.4.4.1. Sector ganadero.
 - 1.4.4.2. Industria alimentaria.
 - 1.4.4.3. Industria no alimentaria.
- 1.4.5. Resultados comparativos entre los procesos biológicos aerobios y anaerobios.
 - 1.4.5.1. Ventajas del tratamiento anaerobio.
 - 1.4.5.2. Inconvenientes del proceso anaerobio.
- 1.4.6. Conclusiones sobre los procesos anaerobios.
- 1.5. PROCESOS ANAEROBIOS.
- 1.6. NORMAS DE VERTIMIENTO EN COLOMBIA.
- 1.7. FOSAS SEPTICAS
 - 1.7.1. Definición de fosa séptica.
 - 1.7.2. Descripción.
 - 1.7.3. Principios de funcionamiento de las fosas sépticas.
 - 1.7.3.1. Eliminación de sólidos.
 - 1.7.3.2. Tratamiento biológico.
 - 1.7.3.3. Tratamiento de cieno y natas.
 - 1.7.4. Funcionamiento y operación.
 - 1.7.5. Problemas de operación.
 - 1.7.6. Localización.
 - 1.7.7. Materiales de construcción.

- 1.7.8. Elementos adicionales en los tanques sépticos.
- 1.7.9. Configuración del tanque.
- 1.7.10. Integridad estructural del tanque.
- 1.7.11. Prueba de permeabilidad.
- 1.7.12. Tamaño del tanque.
- 1.7.13. Utilización de tanques sépticos de gran volumen.
- 1.7.14. Mantenimiento del tanque séptico.
 - 1.7.14.1. Inspección de rutina.
 - 1.7.14.2. Extracción de lodo del tanque séptico.
- 1.7.15. Desarrollo histórico del tanque séptico.

2. PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO.

2.1. LOCALIZACION.

2.2. CAPTACION.

2.3. ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

2.3.1. Desbaste.

2.3.2. Tanque séptico.

2.3.3. Filtro anaerobio de soporte fijo.

2.3.4. Filtro en arena.

2.4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

3. FOSA SEPTICA MEJORADA.

3.1. GENERALIDADES.

3.2. DATOS PRELIMINARES.

3.2.1. Dimensiones del tanque.

3.3. CARACTERÍSTICAS.

3.4. COMPONENTES DE LA FOSA SÉPTICA MEJORADA.

3.4.1. Cámara de llegada y quietamiento.

3.4.2. Tubo de entrada.

3.4.3. Compartimiento principal.

3.4.3.1. Lamina inclinada.

3.4.3.2. Zona de decantación.

3.4.3.3. Zona de digestión y almacenamiento de lodos.

3.4.3.4. Zona de gases.

3.4.4. Tubo de salida.

3.4.5. Cámara de salida y distribución.

3.4.6. Cubierta.

4. FUNCIONAMIENTO Y EVALUACION DEL SISTEMA - SEGUNDA ETAPA.

4.1. MANTENIMIENTO DE LA FOSA SEPTICA MEJORADA.

4.1.1. Medidas preventivas.

4.1.2. Limpieza de la captación.

4.1.3. Limpieza de la tubería de conducción.

4.1.4. Limpieza de la cámara de quietamiento y llegada.

4.1.5. Limpieza del compartimiento principal.

4.1.6. Limpieza de la cámara de distribución.

4.2. LABORATORIOS REALIZADOS EN LA FASE II.

4.2.1. Toma de muestras.

4.2.1.1. Tipos de muestras.

4.2.1.1.1. Muestra simple.

4.2.1.1.2. Muestra compuesta.

4.2.1.1.3. Muestra integrada.

4.2.1.2. Recipientes para las muestras.

4.2.1.2.1. Para análisis fisico-químico.

4.2.1.2.2. Para análisis bacteriológico.

4.2.2. Descripción de ensayos realizados.

4.2.2.1. DQO.

4.2.2.2. DBO5.

4.2.2.3. Nitratos.

4.2.2.4. Nitritos.

4.2.2.5. Dureza total.

4.2.2.6. Alcalinidad.

4.2.2.7. Sólidos suspendidos.

4.2.2.8. PH.

4.2.2.9. Temperatura.

4.2.2.10. Oxígeno disuelto.

4.2.2.11. Bacteriológico NMP de coliformes totales.

4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

4.3.1. Resultados fosa séptica mejorada.

4.3.2. Análisis de resultados. Fosa Séptica Mejorada.

4.3.3. Resultados del Sistema Anaerobio

4.3.4. Análisis de resultados del sistema anaerobio.

5. CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES ESPECIFICAS.

5.2. CONCLUSIONES GENERALES.

6. RECOMENDACIONES.

6.1. RECOMENDACIONES ESPECIFICAS.

6.2. RECOMENDACIONES GENERALES.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Principales constituyentes de interés en el tratamiento de AR.

Tabla 2. Unidades comúnmente usadas para expresar resultados analíticos.

Tabla 3. Definiciones para sólidos encontrados en AR.

Tabla 4. Descripción de microorganismos presentes en aguas naturales y residuales.

Tabla 5. Procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales y biosólidos.

Tabla 6. Rendimiento típico de los procesos anaerobios.

Tabla 7. Edades de lodos para diseño.

Tabla 8. Relación entre el volumen del tanque séptico y el intervalo de extracción de lodos.

Tabla 9. Especificación de reactivos para Dureza Total.

Tabla 10. Especificación de reactivos para Alcalinidad.

Tabla 11. Resultados DQO. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 12. Resultados DBO5. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 13. Resultados Sólidos suspendidos. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 14. Resultados Nitritos. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 15. Resultados Nitratos. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 16. Resultados Alcalinidad. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 17. Resultados Dureza. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 18. Resultados Temperatura. Fosa Séptica Mejorada.

Tabla 19. Resultados pH. Fosa Séptica Mejorada.

- Tabla 20. Resultados Oxígeno disuelto. Fosa Séptica Mejorada.
- Tabla 21. Resultados DQO. Sistema anaerobio.
- Tabla 22. Resultados DBO5. Sistema anaerobio
- Tabla 23. Resultados Sólidos suspendidos. Sistema anaerobio
- Tabla 24. Resultados Nitritos. Sistema anaerobio
- Tabla 25. Resultados Nitratos. Sistema anaerobio
- Tabla 26. Resultados Alcalinidad. Sistema anaerobio
- Tabla 27. Resultados Dureza. Sistema anaerobio
- Tabla 28. Resultados Temperatura. Sistema anaerobio
- Tabla 29. Resultados pH. Sistema anaerobio
- Tabla 30. Resultados Oxígeno disuelto. Sistema anaerobio
- Tabla 31. Resultados Coliformes totales. Sistema anaerobio

LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 1. Interrelación de los valores de las fracciones de sólidos

en AR.

Figura 2a. Tanque convencional de dos compartimientos con salida en forma de T.

Figura 2b. Corte de un tanque de un solo compartimiento con valvula de filtro.

Figura 3a. Fotografía de un Tanque Séptico en concreto, provisto de paneles de vidrio.

Figura 3b. Fotografía de un tanque Séptico en fibra de vidrio.

Figura 4. Diagrama de un tanque séptico en donde se aprecian las zonas de lodo, espuma y de agua clarificada.

Figura 5a. Cámara de filtrado de una fosa séptica.

Figura 5b. Elemento filtrante removido para limpieza.

Figura 6. Cámara de filtración del efluente provista de una bomba multietapa de gran cabeza.

Figura 7. Tanque Séptico usado para una comunidad pequeña.

Figura 8a. Bara en forma de L usada para medir la capa de espuma en un tanque séptico.

Figura 8b. Bara con fuente luminosa usada para medir la capa de lodo en un tanque séptico.

Figura 9. Primer sistema de un tanque séptico privado.

Figura 10. Esquema general de la planta piloto para el tratamiento de AR.

Figura 11a. Zonas de la fosa séptica mejorada.

Figura 11b. Cámara de distribución de AR y vertederos.

Figura 12. Planta fosa séptica mejorada.

Figura 13. Perfil fosa séptica mejorada.

Figura 14. Cubierta fosa séptica mejorada.

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Gráfica 1. Variación de DQO. Fosa Séptica Mejorada.

Gráfica 2. Variación de DBO5. Fosa Séptica Mejorada.

- Gráfica 3. Variación de Sólidos suspendidos. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 4. Variación de Nitritos. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 5. Variación de Nitratos. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 6. Variación de Alcalinidad. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 7. Variación de Dureza. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 8. Variación de Temperatura. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 9. Variación de pH. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 10. Variación de Oxígeno disuelto. Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 11. Relación entre DQO y DBO5. Entrada Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 12. Relación entre DQO y DBO5. Salida Fosa Séptica Mejorada.
- Gráfica 13. Variación DQO. Sistema anaerobio.
- Gráfica 14. Variación DBO5. Sistema anaerobio.
- Gráfica 15. Variación Sólidos suspendidos. Sistema anaerobio.
- Gráfica 16. Variación Nitritos. Sistema anaerobio.
- Gráfica 17. Variación Nitratos. Sistema anaerobio.
- Gráfica 18. Variación Alcalinidad. Sistema anaerobio.
- Gráfica 19. Variación Dureza. Sistema anaerobio.
- Gráfica 20. Variación Temperatura. Sistema anaerobio.
- Gráfica 21. Variación pH. Sistema anaerobio.
- Gráfica 22. Variación Oxígeno disuelto. Sistema anaerobio.
- Gráfica 23. Variación Coliformes Totales. Sistema anaerobio

RESUMEN

En la línea de investigación que se ha denominado **Sistema de Filtros Anaerobios de Lecho Granular para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas** después de haber pasado por un período de arranque y maduración, ha sido necesario realizar una evaluación del funcionamiento del sistema en condiciones normales, es decir, después de haber superado dicho período. Esto

con el fin de verificar que el sistema de tratamiento de aguas residuales que se está estudiando tenga un comportamiento aceptable en nuestro medio, teniendo en cuenta que las temperaturas en nuestra región no favorecen el tratamiento biológico de las aguas residuales.

La línea de investigación se compone físicamente de una captación localizada en las instalaciones del Instituto Correccional Santo Ángel y de la Planta Experimental Piloto localizada en las instalaciones del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Desde la captación se conducen las aguas residuales hasta la Planta Experimental, la cual está constituida por una Fosa Séptica Mejorada y un sistema de tratamiento anaerobio compuesto por un Filtro Anaerobio de Soporte Granular Fijo y un Filtro anaerobio en Arena.

La línea de investigación en su parte de evaluación se compone por una serie de análisis físicos, químicos y bacteriológicos que se realizaron por un período de cinco meses, con los cuales se evaluó el funcionamiento de las diferentes unidades de tratamiento en su etapa normal. Con lo anterior se obtuvieron resultados que fueron analizados mediante procesos matemáticos los cuales nos permitieron concluir conceptos acerca de dicho funcionamiento.

Para terminar se pudo establecer que gran parte del éxito del tratamiento de las aguas residuales depende de un correcto y oportuno mantenimiento que preserve

en buen estado las estructuras componentes del sistema y proporcione las condiciones necesarias para llevar a cabo procesos eficientes.

SUMMARY

In the investigation line that has been named FILTER ANAROBIOUS SYSTEM OF GRANULAR BED TO THE TREATMENT OF RESIDUAL URBAN WATER, after passing one period of initiation and think out, it has been necessary to realize an evaluation about the system function in usual conditions; it is to say, after working this period. It was done in order to verify that the residual water treatment system that has been studied has an acceptable behavior in our environmet, according the temperatures in our region doesn't permit the biologic trearment of residual water.

The investigation line is composed physically of one deposit located in Santo Angel reformatory institute, and the Piloto Experimental Plant located in the National Service of learning (SENA).

The residual waters are channelled from this deposit to experimental plant. It is built by an improvement septic tank and a treatment anaerobic system composed by an anaerobic filter of fixed granular support and anaerobic filter made with sand. The investigation line in its evaluation part is composed by a series of physic, chemist and bacteriological analysis that were made by a period of five months which permitted to evaluate the function of the different units of treatment in the normal stage. With these procedures the results were obtained that were analyzed by mathematics procedures which permit us to conclude concepts about this operation.

Finally, we can say to conclude that great part of the successful of the treatment of the residual waters depends of the correct and opportune maintenance that preserve in good conditions the structures composed of the system and give the necessary conditions to realize efficient process.

GLOSARIO

Adsorción: Fenómeno físicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

Absorción: Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

Acidez: La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

Acuífero: Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

Aireación: Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Aireación mecánica: Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.

Aireación prolongada: Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aeración.

Adensador (Espesador): Tratamiento para remover líquido de los lodos y reducir su volumen.

Afluente: Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Agua residual: Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

Agua residual doméstica: Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Agua residual municipal: Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Anaerobio: Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

Análisis: El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

Aplicación en el terreno: Aplicación de agua residual o lodos parcialmente tratados, bajo condiciones controladas, en el terreno.

Bacterias: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

Bases de diseño: Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes.

Biodegradación: Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

Biopelícula: Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

Carga del diseño: Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

Carga superficial: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

Caudal pico: Caudal máximo en un intervalo dado.

Caudal máximo horario: Caudal a la hora de máxima descarga.

Caudal medio: Promedio de los caudales diarios en un período determinado.

Clarificación: Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración: Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.

Coagulación: Aglomeración de partículas coloidales ($< 0,001$ mm) y dispersas ($0,001$ a $0,01$ mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

Coliformes: Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

Criba gruesa: Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm) para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

Criba Media: Estructura de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4cm) para remover sólidos flotantes y en suspensión; generalmente se emplea en el tratamiento preliminar.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

Depuración de aguas residuales: Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

Desinfección: La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

Digestión: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

Digestión aerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.

Edad del lodo: Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes en el tanque de aeración dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Emisor: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final.

Examen bacteriológico: Análisis para determinar y cuantificar el número de bacterias en las aguas residuales.

Filtro biológico: Sinónimo de "filtro percolador", "lecho bacteriano de contacto" o "biofiltro".

Filtro percolador: Sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

Grado de tratamiento: Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reuso.

Interceptor: Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento.

Laguna aerada: Estanque para el tratamiento de aguas residuales en el cual se inyecta oxígeno por acción mecánica o difusión de aire comprimido.

Laguna aerobia: Laguna con alta producción de biomasa.

Laguna anaerobia: Estanque con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno. Este tipo de laguna requiere tratamiento posterior complementario.

Laguna de estabilización: Estanque en el cual se descarga aguas residuales y en donde se produce la estabilización de materia orgánica y la reducción bacteriana.

Laguna de maduración: Estanque de estabilización para tratar el efluente secundario o aguas residuales previamente tratadas por un sistema de lagunas, en donde se produce una reducción adicional de bacterias. Los términos "lagunas de pulimento" o "lagunas de acabado" tienen el mismo significado.

Laguna facultativa: Estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día.

Lechos bacterianos de contacto: (Sinónimo de "filtros biológicos" o "filtros percoladores).

Lodo activado: Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.

Lodo activado de exceso: Parte del lodo activado que se retira del proceso de tratamiento de las aguas residuales para su disposición posterior (vg. espesamiento, digestión o secado).

Lodo digerido: Lodo mineralizado a través de la digestión aerobia o anaerobia.

Manejo de aguas residuales: Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

Medio filtrante: Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

Muestra compuesta: Combinación de alicuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.

Muestra puntual: Muestra tomada al azar a una hora determinada, su uso es obligatorio para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

Muestreo: Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

Nutriente: Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido.

PH: Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Planta de tratamiento: Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

Planta piloto: Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

Pretratamiento: Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

Proceso biológico: Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.

Proceso de lodos activados: Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.

Requisito de oxígeno: Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.

Sedimentación primaria: Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

Sedimentación secundaria: Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

Tanque séptico: Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas que combina la sedimentación y la digestión. El efluente es dispuesto por percolación en el terreno y los sólidos sedimentados y acumulados son removidos periódicamente en forma manual o mecánica.

Tratamiento avanzado: Proceso de tratamiento físicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario.

Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento de lodos: Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

Tratamiento primario: Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

Tratamiento secundario: Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

Tratamiento terciario: Tratamiento adicional al secundario.

INTRODUCCION

El presente trabajo de grado se ha llevado a cabo como una segunda etapa del proyecto denominado: SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS DE LECHO GRANULAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS, cuya planta experimental piloto se encuentra ubicada en predios del SENA.

En su primera etapa, el proyecto consistió en el diseño, construcción, puesta en marcha y evaluación de las condiciones iniciales del sistema de tratamiento. Durante este primer período de estudio, se inició la maduración del proceso.

Es importante tener en cuenta que el arranque de un proceso de crecimiento bacteriano adherido puede demorar más de seis meses en aguas residuales de baja concentración y bajas temperaturas, como sucede en este caso.

En esta segunda fase de la investigación, el propósito principal fue el de comprobar que el sistema de tratamiento en estudio es eficiente en un medio cuyas temperaturas no son las óptimas para el desarrollo de procesos de degradación biológica de la materia orgánica, es decir, un medio cuyas temperaturas se encuentran por debajo de los 25°C, como ocurre en nuestra región.

Además, al conocer el nivel de eficiencia de cada una de las unidades de tratamiento, se puede analizar la factibilidad de implementación de este tipo de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en las diferentes poblaciones de nuestro departamento.

El proceso de investigación en esta segunda etapa, se dividió en tres fases de igual importancia para nuestro estudio, las cuáles fueron: operación y mantenimiento del sistema, realización de ensayos de laboratorio y recolección e interpretación de resultados.

Es de anotar que para llevar a cabo cada una de estas actividades fue necesaria una supervisión continua del funcionamiento del sistema, además se debió adquirir bastante práctica en el manejo de los equipos de laboratorio de la Facultad de Ingeniería.

Esta tesis pretende arrojar información que permita un desarrollo importante en el tratamiento de aguas residuales en nuestro medio, ya que es muy poco lo que se ha trabajado en este campo y las reglamentaciones que rigen la protección y el manejo adecuado del medio ambiente apenas comienzan a aplicarse en nuestro país y principalmente en nuestra región.

1. MARCO TEORICO

1.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales (AR), son consideradas residuos que, debido a la utilización que ha recibido el agua anteriormente, contienen un índice de contaminación suficientemente elevado como para no poder ser vertidas directamente al medio ambiente sin un tratamiento previo.

Las AR existen desde que el hombre utiliza el agua como medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad diaria. En los últimos siglos (especialmente a partir de 1850), la intención fundamental de los ingenieros era recolectar las AR y transportarla fuera de las ciudades para ser vertidas en una masa de agua, generalmente un río que las diluyera y las llevara lo mas lejos posible. Pronto se observo que el vertimiento indiscriminado ocasionaba el deterioro de la masa de agua que las recibía, hasta el punto en que la vida acuática desaparecía de su seno, tornándose las aguas residuales en un liquido mal oliente y de aspecto desagradable y afectando la salud de los pobladores. Se hizo necesario entonces la búsqueda de técnicas y procedimientos para purificar las AR a un nivel que la naturaleza acepte y a un costo moderado.

A continuación en la tabla 1 se presentan los principales constituyentes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.

TABLA 1 Principales constituyentes de interés en el tratamiento de aguas residuales

Constituyentes	Razones de interés
-----------------------	---------------------------

Sólidos suspendidos totales	Formación de depósitos de lodos y condiciones anaerobias.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Agotamiento del oxígeno en fuentes naturales y desarrollo de condiciones sépticas.
Constituyentes inorgánicos disueltos (p.ej. sólidos disueltos totales)	Constituyentes inorgánicos adicionados por el uso. Aplicaciones en el reciclaje y en la reutilización de aguas residuales.
Metales pesados	Constituyentes metálicos adicionados por el uso. Muchos metales se clasifican como contaminantes de prioridad.
Nutrientes	Crecimiento excesivo de la vida acuática indeseable, eutroficación, concentración de nitratos en agua para consumo.
Patógenos	Transmisión de enfermedades.
Polutantes orgánicos prioritarios.	Sospechosos de ser carcinógenos, mutagénicos, teratogénicos o de toxicidad aguda alta. Muchos polutantes prioritarios son resistentes a los métodos de tratamiento convencionales (conocidos como compuestos orgánicos refractarios).

1.1.1. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

Las técnicas de muestreo y de análisis usadas para caracterizar las aguas residuales van desde determinaciones químicas cuantitativas y precisas, hasta determinaciones biológicas y físicas cualitativas. Las técnicas de muestreo, los métodos de análisis, las unidades de medida para constituyentes químicos, y algunos conceptos químicos útiles son considerados a continuación.

1.1.1.1. Muestreo

Los programas de muestreo se emprenden por una serie de razones con el fin de obtener los siguientes propósitos:

- Datos operacionales de rutina sobre el desempeño general de la planta.
- Datos que pueden usarse para documentar el desempeño de un determinado proceso u operación
- Datos que pueden usarse para implementar programas nuevos propuestos
- Datos necesarios para reportar cumplimiento de las normas. Para alcanzar las metas del programa de muestreo, los datos recolectados deben ser:

a) *Representativos*: Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado.

b) *Reproductibles*: Los datos obtenidos deben poder ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.

c) *Sustentados*: La documentación debe estar disponible para validar el plan del muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.

d) *Útiles*: Los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo.

Dado que los datos del análisis de las muestras servirán finalmente como base para la implementación de programas e instalaciones de manejo de aguas residuales, las técnicas usadas en un programa de muestreo de agua residual deben servir para obtener muestras representativas. No existen procedimientos

universales para el muestreo; los programas de muestreo deben adaptarse para cada situación en particular. Para manejar problemas que se originan cuando los residuos varían considerablemente en su composición se necesitan procedimientos especiales.

Antes de emprender un programa de muestreo, deben realizarse un protocolo detallado del mismo en conjunto con un plan de garantía de la calidad (conocido anteriormente como garantía de la calidad/control de la calidad). Como mínimo, los siguientes puntos se deben especificar en el plan de garantía de la calidad.

- *Plan de muestreo:* Número de puntos de muestreo, número y clase de muestras, intervalo de tiempo entre la toma de muestras. (p. ej. muestras de tiempo real y/o tiempo retrasado).

- *Clase de tamaño de muestra.* Toma de muestra, muestras compuestas o muestras integradas, tamaño de muestra.

- *Rotulado y cuidado de la muestra.* Identificación de cada muestra con rótulos, sellamiento, registro en el libro de campo, registro de cuidado en el transporte, diligenciamiento de la orden de solicitud de análisis, entrega de la muestra en el laboratorio, recepción de la muestra, y orden del análisis de la muestra.

- *Métodos de muestreo:* Técnicas y equipos específicos usados en el muestreo (p. ej., muestreo manual o automático).

- *Almacenamiento y preservación de la muestra:* Clase de recipientes (p. ej., plásticos o de vidrio), métodos de preservación, tiempo máximo permitido para almacenamiento.

- *Constituyentes de la muestra:* Lista de parámetros a ser medidos.

- *Métodos analíticos.* Lista de los métodos y procedimientos a ser usados en el campo y en el laboratorio, y los límites de detección de los diferentes métodos individuales.

1.1.1.2. Unidades de medida para parámetros físicos y químicos

Los resultados de los análisis de muestras de agua residual son expresados en términos de unidades de medidas física y químicas. Las unidades mas comunes son presentadas en la tabla 2. Las medidas de parámetros químicos usualmente se expresan en términos de unidades físicas como mg/l o g/m³. La concentración de constituyentes traza se expresa como µg/l. La concertación también se puede expresar como ppm, que es una relación masa/masa.

Para sistemas diluidos, como los encontrados en aguas naturales y en aguas residuales en los que un litro de muestra pesa aproximadamente 1 Kg, las unidades mg/L o g/m³ son intercambiables con ppm.

TABLA 2. Unidades comúnmente usadas para expresar resultado analíticos.

Base	Aplicación	Unidades
Análisis físico:		

Densidad	$\frac{\text{Masa de solución}}{\text{Unidad de volumen}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Porcentaje en volumen	$\frac{\text{Volumen de soluto} \times 100}{\text{Volumen total de solución}}$	% en volumen
Porcentaje en peso	$\frac{\text{Masa de soluto} \times 100}{\text{Combinación masa de soluto} + \text{solvente}}$	% en masa
Relación de volumen	$\frac{\text{Mililitros}}{\text{Litros}}$	$\frac{\text{mL}}{\text{L}}$
Masa por unidad de volumen	$\frac{\text{Picogramas}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{pg}}{\text{L}}$
	$\frac{\text{Nanogramas}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{Ng}}{\text{L}}$
	$\frac{\text{Microgramos}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\mu\text{g}}{\text{L}}$
	$\frac{\text{Miligramos}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{L}}$
	$\frac{\text{Gramos}}{\text{Metro cúbico de solución}}$	$\frac{\text{G}}{\text{m}^3}$
Relación en masa	$\frac{\text{Miligramos}}{10^6 \text{ miligramos}}$	ppm
Análisis químico:		
Modalidad	$\frac{\text{Moles de soluto}}{1000 \text{ gramos de solvente}}$	$\frac{\text{Mol}}{\text{Kg}}$
Molaridad	$\frac{\text{Moles de soluto}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{Mol}}{\text{L}}$
Normalidad	$\frac{\text{Equivalentes de soluto}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{Equiv}}{\text{L}}$
	$\frac{\text{Miliequivalentes de soluto}}{\text{Litro de solución}}$	$\frac{\text{meq}}{\text{L}}$

Nota: $10^{12} \text{ pg} = 10^9 \text{ mg} = 10^6 \mu\text{g} = 10^3 \text{ mg} = 1 \text{ gm}$
 $\text{mg/L} = \text{g/m}^3$

1.1.2. Características físicas:

Las principales Características físicas de un agua residual, son su contenido de sólidos, turbiedad, color, olor, temperatura, densidad y conductividad.

1.1.2.1. Sólidos

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se encuentra en la tabla 3 y la interrelación entre estas fracciones se ilustra en la figura 1. como se muestra en la figura, una primera etapa de filtración separa los sólidos suspendidos totales (SST) de los sólidos totales (ST).

Se presume que los sólidos volátiles (SV) representan la materia orgánica, a pesar de que parte de la materia orgánica no se incinere y de que algunos compuestos inorgánicos se descompongan a altas temperaturas. De manera que tanto los ST como los SST poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles y en forma similar los sólidos disueltos totales (SDT) también están compuestos de sólidos fijos y sólidos volátiles. La prueba estandarizada para determinar los sólidos sedimentables consiste en colocar una muestra de agua residual en un cono Imhoff de 1L y anotar el volumen de sólidos en mililitros que sedimenta después

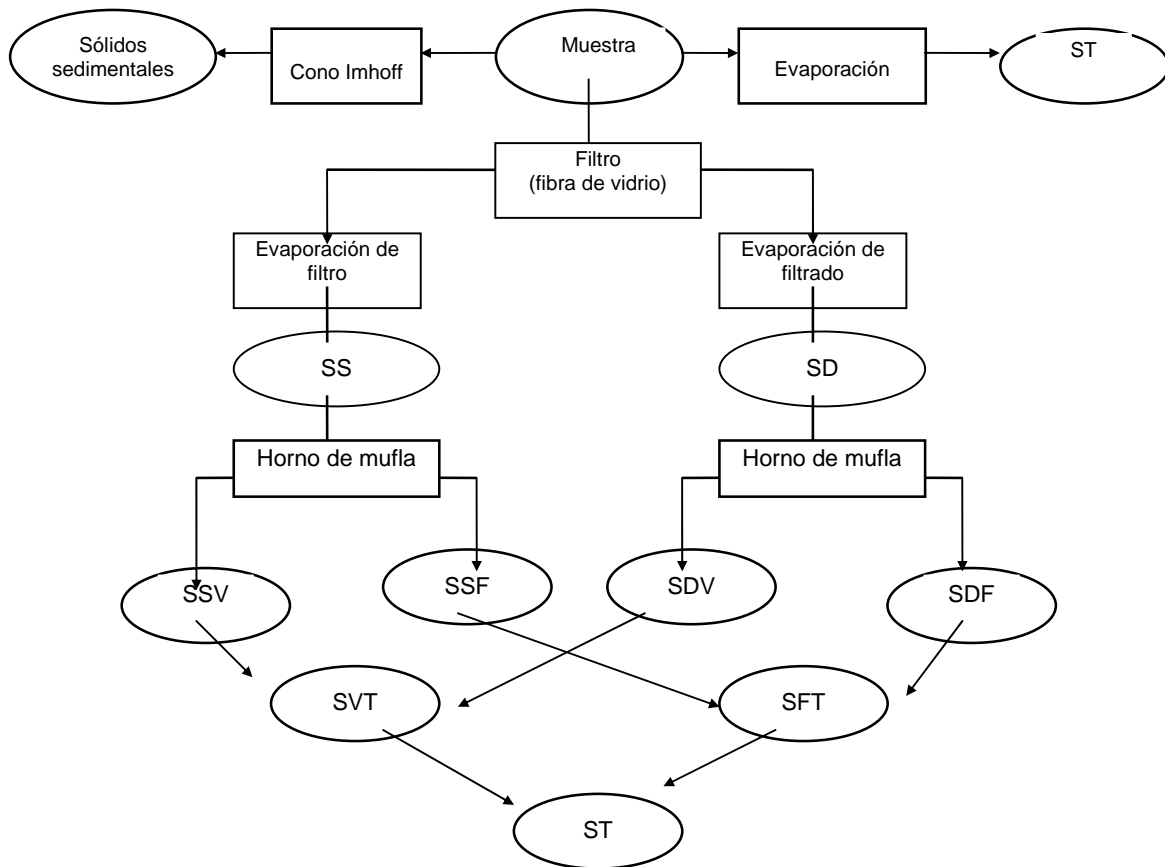
de un período de tiempo específico (1h). Generalmente, cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales municipales son sedimentables.

Tabla No. 3 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual *

Prueba	Descripción
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50°C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50°C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más usado para la determinación de SST es el filtro Whatman de la fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1.58 µm.
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Estos sólidos pueden ser volatizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcar SST (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (SVT-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0.001 a 1 µm.
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcar los SDT (500 ± 50°C)
Sólidos sedimentales.	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un período de tiempo específico.

* Adaptado de Standard Methods (1995).

Figura 1. Interrelación de los valores de las fracciones de sólidos en AR.



- ST = Sólidos totales
- SS = Sólidos suspendidos
- SSV = Sólidos suspendidos volátiles
- SSF = Sólidos suspendidos fijos
- SVT = Sólidos volátiles totales
- SD = Sólidos disueltos
- SDV = Sólidos disueltos volátiles
- SDF = Sólidos disueltos fijos
- SFT = Sólidos fijos totales

..... **Turbiedad**

La turbiedad, como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones (Standard Methods, 1995). Suspensiones de formacina se emplean como patrones primarios de referencia. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

El material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa. La mayor turbiedad está asociada con partículas de tamaño inferior a $3\ \mu\text{m}$ y especialmente con aquellas partículas de tamaño entre 0.1 y $1.0\ \mu\text{m}$. En general, no hay una relación definida entre la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos en aguas residuales sin tratamiento. Sin embargo, existe una correspondencia entre la turbiedad y los sólidos suspendidos, para efluentes de sedimentadores secundarios de procesos de lodos activados.

1.1.2.3. Color

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. el color causado por sólidos suspendidos se llama *color aparente* mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina *color verdadero*. el color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada. Dado que la medida depende del tamaño del poro del filtro, se debe especificar el tipo de filtro usado y el tamaño del poro. El color de una muestra de agua residual se determina comparando el color de la muestra y el color producido por soluciones de diferente concentración de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6). Una unidad de color corresponde al color generado por 1.0 mg/L de platino. Las fuentes de color en aguas residuales incluyen la infiltración y aportes de conexiones erradas en sistemas de recolección, descargas industriales y la descomposición de compuestos orgánicos. Dependiendo de la época del año, los aportes por infiltración y conexiones erradas en sistemas de recolección contendrán una concentración varada de sustancias húmicas (p. Ej., tánicos, ácidos húmicos y humatos). Provenientes de la descomposición de la lignina encontrada en las hojas y otros materiales orgánicos de las plantas, las sustancias húmicas generalmente imparten un color amarillo al agua. Las descargas industriales pueden contener tintes orgánicos, así como compuestos metálicos, los cuales imprimen una gran variedad de colores a las aguas residuales.

En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su carga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno). El oscurecimiento de las aguas residuales se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso (FeS). La formación de sulfuros ocurre cuando el ácido sulfhídrico, producido a partir de la reducción de sulfato bajo condiciones anaerobias, se combina con metales divalentes que pueden estar presentes en las aguas residuales, como el hierro.

1.1.2.4. Olor

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de u agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido). Otros compuestos como indol, esatol y mecaptanos, formados bajo condiciones anaerobias, pueden causar olores mucho

más ofensivos que el del sulfuro de hidrógeno. Debido al interés de la opinión pública, se exige un cuidado especial en el diseño de instalaciones de tratamiento de aguas residuales a fin de evitar condiciones que generan la aparición de malos olores.

Los olores pueden ser medidos mediante métodos sensoriales e instrumentales. La medición sensorial de olores empleando el sentido del olfato de los humanos puede generar información importante en niveles de detección muy bajos. Por ello, con frecuencia el método sensorial se usa para medir olores en plantas de tratamiento.

La concentración de compuestos olorosos específicos también puede ser medida por equipos instrumentales. Mediciones directas de sulfuro de hidrógeno pueden realizarse en campo con un medidor manual para concentraciones tan bajas como 1 parte por billón (ppb).

El umbral de olor de una muestra de agua natural o residual es determinado por dilución de la muestra con agua libre de olor. *El número umbral de olor*, (NUO) corresponde a la mayor dilución realizada con agua libre de olor, que produce un olor apenas perceptible. El tamaño de muestra recomendada para la medición de olor es de 200 mL. El valor numérico del NUO es calculado con la siguiente expresión:

$$\text{NUO} = \frac{A + B}{A}$$

Donde A = mL de muestra y B = mL de agua libre de olor.

1.1.2.5. Temperatura

La temperatura de agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 45 a 65°F (7 a 18°C) mientras que en regiones cálidas a variación será de 55 a 86°F (13 a 30°C).

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existan en un cuerpo de agua receptor. Las instalaciones industriales que usen fuentes de agua superficial para los sistemas de enfrentamiento tienen particular interés en la temperatura del agua captada. Además, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en la velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencia de incrementos en la temperatura de las aguas superficiales, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración del oxígeno disuelto durante los meses de verano.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 77 a 95°F (de 25 a 35°C). Los procesos de digestión aerobia y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 122°F (50°C). Cuando la temperatura se acerca a los 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 41°F (5°C), las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la temperatura es de 36°F (2°C), se alcanza incluso la inactivación de bacterias quimioheterotróficas que actúan sobre la materia orgánica carbonácea.

1.1.2.6. Densidad

La densidad del agua residual, P_w se define como su masa por unidad de volumen y se expresa como slug/pie³ en medidas del sistema inglés y como g/L o kg/m³ en medidas del sistema internacional (SI). La densidad es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no contiene cantidades significativas de desecho es prácticamente de igual valor a al del agua a una misma temperatura.

1.1.2.7. Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). En la actualidad, el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego es la CE; es así como la salinidad de determinada agua residual tratada que se desea usar para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) en unidades del sistema inglés y como milisiemens por metro (mS/m) en unidades del SI.

1.1.3. Características químicas inorgánicas

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados e inorgánicos y orgánicos. Los inorgánicos incluyen:

- Elementos individuales como calcio (Ca), cloruro (Cl), hierro (Fe), cromo (Cr) y zinc (Zn).

- Una amplia variedad de compuestos como nitratos (NO_3) sulfatos (SO_4).

Los constituyentes orgánicos de mayor interés en las aguas residuales se clasifican como agregados e individuales. Los constituyentes orgánicos agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada; de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de aguas residuales al igual que los constituyentes orgánicos específicos.

Los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes inorgánicos están amoníaco libre, nitrógeno orgánico (determinado como amoníaco por digestión de la muestra), nitritos, nitratos, fósforo orgánico y fósforo inorgánico. El nitrógeno y el fósforo son de gran importancia, ya que han sido identificados como nutrientes causantes principales del crecimiento indeseable de plantas acuáticas. Otras pruebas, como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización de aguas residuales tratadas y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento. Las pruebas para metales y para otros constituyentes sin usadas para estimar la capacidad de digestión de biosólidos y el compostaje de lodos en aplicaciones sobre el suelo. Debido a que la concentración de las especies químicas del nitrógeno y fósforo dependen de la concentración del ion hidrógeno (H^+) en solución, a continuación se considera en primer lugar un breve análisis acerca del pH.

1.1.3.1. Potencial de Hidrogeno (PH)

La expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log_{10} (\text{H}^+)$$

La concentración del ion hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un pH metro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH.

1.1.3.2. Nitrógeno

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Cantidades traza de otros elementos, como el hierro, también son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y el fósforo son en la mayoría de los casos los nutrientes más importantes. Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

1.1.3.3. Fósforo

El fósforo también es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural. Las aguas residuales municipales, por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como P. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo

orgánico. Los ortofosfatos están disponibles para el metabolismo biológico en función estricta del pH.

Los polisfosfatos incluyen aquellas moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en algunos casos átomos de hidrógeno combinados en moléculas complejas. Los polifosfatos sufren hidrólisis en soluciones acuosas y se convierten en ortofosfatos; sin embargo el proceso de hidrólisis es con frecuencia bastante lento. El fósforo enlazado a compuestos orgánicos carece de importancia en muchos residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante de residuos industriales y lodos de aguas residuales. analíticamente, los ortofosfatos se pueden determinar por métodos gravimétricos, volumétricos y físico-químicos. Los polifosfatos y el fósforo orgánico deben ser primero convertidos a ortofosfatos para poder ser analizados.

1.1.3.4. Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio. De todos ellos, el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio son los más comunes. Los boratos, silicatos, fosfatos y compuestos similares pueden contribuir también a la alcalinidad; sin embargo, rara vez son significativos, excepto en algunas aguas residuales agrícolas e

industriales. La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad adquirida de las aguas de abastecimiento, aguas subterráneas y los materiales adicionados durante los usos domésticos.

La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresando los resultados como carbonato de calcio, CaCO_3 .

1.1.3.5. Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con lo que ellas hacen contacto. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas y salobres. Otras fuentes potenciales de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas a las aguas superficiales. En las aguas residuales, los cloruros son añadidos como consecuencia del uso. Por ejemplo, las heces humanas aportan aproximadamente 6 g de cloruros por persona por día. En lugares donde la naturaleza del agua es elevada, los compuestos usados para su reducción constituyen una importante fuente de cloruros. Debido a que los métodos convencionales de tratamiento no eliminan cloruros en cantidades significantes,

concentraciones superiores a las normales pueden tomarse como un indicio de que la fuente de agua está siendo usada para el vertido de aguas residuales.

1.1.3.6. Azufre

El ion sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H_2S) al combinarse con el hidrógeno.

El sulfuro de hidrógeno liberado a la atmósfera en redes de alcantarillado que no circulan a presión, tiende a acumularse en la corona de las tuberías. El H_2S acumulado puede oxidarse biológicamente y convertirse en ácido sulfúrico, el cual es corrosivo para las tuberías del alcantarillado. Este efecto corrosivo se conoció como “efecto corona”, el cual puede amenazar seriamente la integridad estructural de las tuberías.

Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/L. Afortunadamente, estas concentraciones no son comunes. La presencia de H_2S en el gas generado como producto de la digestión anaerobia lo hace corrosivo

para las conducciones de gas, y si se usa como combustible en motores, los productos de la combustión pueden causar daños al motor, provocando graves corrosiones en el circuito de recuperación térmica de los gases de escape, en especial si se permite el enfriamiento de tales gases por debajo del punto de condensación.

1.1.4. Características químicas de compuestos orgánicos agregados

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40 a 60 por ciento), carbohidratos (25 a 50 por ciento), y grasas y aceites (8 a 12 por ciento). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otro tipo de aguas. Además de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, con estructuras que van desde las más simples hasta las extremadamente complejas. A través de los años, se han desarrollado diferentes análisis para determinar el contenido de materia orgánica en aguas residuales. En general, los análisis se pueden clasificar en aquellos usados para medir cantidades de materia orgánica agregada compuesta por constituyentes de similares Características y los que cuantifican los compuestos orgánicos en forma individual.

1.1.4.1 Caracterización de la materia orgánica agregada en aguas residuales

Los análisis de compuestos orgánicos agregados se hacen para caracterizar aguas residuales tratadas y no tratadas, para estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras, En la actualidad, los métodos de laboratorio comúnmente usados para medir cantidades de materia orgánica (en general mayores a 1 mg/L) en aguas residuales incluyen:

- La demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5)
- La demanda química de oxígeno (DQO)
- El carbono orgánico total (COT).

1.1.4.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células

empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular; este tercer proceso es llamado respiración endógena.

En la prueba estándar de DBO, una pequeña muestra de agua residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300 ml). La botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. Después de incubar la botella por cinco días a 20°C, la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de la concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada, el valor calculado de DBO se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y 20°C. cuando la muestra a analizar contiene bajas concentraciones de microorganismos, se adiciona un inóculo para poder realizar el ensayo de la DBO. En general, los organismos presentes en efluentes de instalaciones de sedimentación primaria son usados como inóculo en el ensayo de la DBO. Los organismos que componen el inóculo se pueden conseguir también comercialmente.

El período de incubación estándar es de cinco días a 20°C, pero se pueden usar tiempos mayores y otras temperaturas.

Limitaciones de la prueba de DBO

Aunque la DBO_5 es una prueba comúnmente usada, tiene varias deficiencias serias. Una de ellas es que la prueba no tiene validez estequiométrica. Es decir, el período arbitrario de cinco días no corresponde al momento en que se haya consumido todo el residuo.

Además, se desconoce el punto al que corresponde el valor de la DBO a cinco días dentro de la curva de demanda. Un período de incubación de cinco días se usa porque la prueba fue desarrollada en Inglaterra donde el tiempo máximo de transporte para muchos ríos desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano, es en promedio de 4.8 días. Otras limitaciones del ensayo incluyen la necesidad de aclimatar bacterias que sirvan como inóculo, el potencial aumentó en la demanda por efecto de nitrificación, y limitaciones generales sobre la precisión del ensayo. Por ejemplo, si se agota el oxígeno disuelto en las botellas, el ensayo no es válido. La prueba de la DBO goza de baja reproductibilidad, y valores menores a 2 mg/L o con más de dos cifras significativas son sospechosos.

Desde el punto de vista analítico, la DBO es un parámetro pobre porque, al igual que la prueba de SST, es un parámetro que agrupa un conjunto de constituyentes de las aguas residuales pero no da información individual acerca de ellos, Además, la distribución del tamaño de partículas encontradas en diferentes aguas residuales y sus contribuciones a la medida de la DBO son desconocidas. En vista de que la DBO es un parámetro no específico, el desarrollo de modelos sofisticados para describir las transformaciones que tienen lugar no es apropiado.

A pesar de sus limitaciones, el uso de la DBO como parámetro de regulación es aceptable porque la prueba representa el consumo potencial de oxígeno que las aguas residuales pueden demandar en las fuentes receptoras y el grado de tratamiento al que ha sido sometida determinada agua residual.

1.1.4.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

Aunque se podría esperar que el valor de la DBO carbonácea última fuera similar al de la DQO, éste sería un caso fortuito. algunas razones para explicar tal diferencia se enumeran a continuación:

- Muchas sustancias orgánicas las cuales son difíciles de oxidar biológicamente, tales como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente.
- Las sustancias inorgánicas que se oxidan con dicromato aumentan evidentemente el contenido orgánico de la muestra.
- Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO.
- Valores altos de DQO se pueden obtener por la presencia de sustancias inorgánicas con las cuales el dicromato puede reaccionar.

Desde el punto de vista operacional, una de las principales ventajas de la prueba de la DQO estriba en que se puede completar en dos horas y media (comparado con los cinco o más días empleados para la prueba de la DBO) para reducir aún más el tiempo se ha desarrollado una prueba rápida de DQO que tarda sólo 15 minutos.

1.1.4.1.3. Carbono orgánico total (COT)

La prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, el cual se mide con un analizador infrarrojo o por otros medios. El COT de determinada agua residual puede usarse como medida de su polución y en algunos casos ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. La ventaja que el COT tiene a su favor radica en que el ensayo sólo tarda de 5 a 10 minutos. Si se puede obtener una relación válida entre los resultados del COT y la DBO en agua residual, entonces se recomienda el uso del COT para control de los procesos.

Recientemente se ha desarrollado un analizador de COT que opera en línea junto con el programa de monitoreo, y con el cual es posible detectar concentraciones de COT en partes por mil millones (ppb). Dos de estos instrumentos están siendo

usados en la actualidad (1997) para detectar el COT residual en efluentes tratados provenientes de unidades de tratamiento de ósmosis inversa (OI) y microfiltración en Aqua 2000, San Diego. Los equipos para mediciones continuas de COT se pueden usar para monitorear el desempeño de unidades de OI a escala de planta, y también en proyectos de repurificación de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, en los cuales el tiempo de retención, esta agua puede ser tratada y utilizada para abastecimiento.

1.1.4.1.4. relaciones entre DBO, DQO y COT

Los valores de la relación DBO_5 / DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscilan entre 0.3 y 0.8. Si la relación DBO_5 / DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO_5 / DQO es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización. La relación DBO_5 / COT para aguas residuales no tratadas varía de 1.2 a 2.0. Al usar estas relaciones, se debe recordar que ellas cambiarán significativamente de acuerdo con el tratamiento que se haya realizado a los residuos.

1.1.4.1.5. Grasas y aceites

La expresión *grasa y aceites* es muy usada para referirse a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales. El término grasas, grasas animales y aceites (GGA) usado anteriormente en la literatura será reemplazado por el término *grasa y aceites*. El contenido de grasas y aceites en aguas residuales se determina por extracción de la muestra de residuo con triclorotrifluoretano (las grasas y aceites son solubles en el triclorotrifluoretano). Otras sustancias pueden ser extraídas por este método, como algunos derivados del petróleo, entre ellos kerosene, aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de firmes de carreteras. En términos químicos, las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares, pues básicamente son éteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol (glicerina). De estos triglicéridos, aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites, y los que pertenecen en estado sólido se llaman grasas.

Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales, La formación de natas sobre la superficie de tanques sépticos debe ser removida periódicamente; de no ser así, el espacio comprendido entre la superficie y la zona de lodos se ve reducido, provocando el arrastre de sólidos al segundo compartimiento o a los sistemas de vertimiento como campos de infiltración ocasionando una colmatación prematura. En sistemas de tratamiento con tanques sépticos que emplean filtros de arena para mejorar la calidad del efluente, la descarga de grasas y aceites es en

particular desagradable por su acumulación en la superficie del filtro; además, el material acumulado dentro del filtro limita la transferencia de oxígeno y puede causar al final la falla del filtro.

1.1.4.1.6. Tensoactivos

Los tensoactivos, o agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y uno fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aire - agua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en la superficie de los cuerpos receptores de los vertimientos de agua residual tratada. Durante el proceso de aireación del agua residual, los tensoactivos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de elementos tensoactivos se realiza por el análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno. Los tensoactivos también son llamados sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Antes de 1965, los tensoactivos presentes en detergentes sintéticos, llamados alquil benceno sulfonatos (ABS), ocasionaban un gran problema debido a su resistencia a la descomposición por medios biológicos. A partir de la legislación de 1965, los ABS han sido

reemplazados dentro de la composición de los detergentes por alquil sulfonatos lineales (ASL), los cuales son biodegradables.

1.1.5. Características biológicas

Las Características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.1.5.1. microorganismos presentes en aguas superficiales y aguas residuales

Los principales grupos de organismos presentes en aguas superficiales y aguas residuales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas y animales y virus.

TABLA 4. Descripción de microorganismos presentes en aguas naturales y residuales

Bacterias	Las bacterias son organismos procarióticos unicelulares. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, llamada <i>citoplasma</i> . La región citoplasmática contiene ácido ribonucleico (ARN), cuyo papel principal es la síntesis de proteínas. Dentro del citoplasma también se encuentra la región del núcleo que es rica en ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN contiene la información genética necesaria para la reproducción de todos los componentes celulares y puede considerarse como una heliografía de la célula. Su reproducción se realiza por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por gemación.
Hongos	Los hongos son eucarióticos multicelulares, fotosintéticos, y heterotróficos. Los hongos son aerobios estrictos y se reproducen en forma sexual y asexual, por fusión binaria, gemación o por formación de esporas. Los mohos u “hongos verdaderos” producen unidades microscópicas que al agruparse forman una masa filamentosa llamada

	<p>micelio. Las levaduras son hongos que no pueden formar un micelio, de ahí que sean unicelulares, Los hongos tienen la capacidad de crecer en condiciones de baja humedad y con deficiencias de nitrógeno; además, soportan ambientes con pH bajos. La capacidad de sobrevivir bajo limitaciones de nitrógeno y pH bajo, junto con la habilidad de degradar celulosa, hacen de los hongos un grupo muy importante a la hora de compostar lodos.</p>
<p>Protozoos</p>	<p>Los protozoos son móviles, de tamaño microscópico, con estructura eucariótica y generalmente unicelulares, La mayoría de los protozoos son aerobios heterótrofos, algunos anaerobios aerotolerantes y un grupo reducido de anaerobios. Por lo general, los protozoos son de tamaño mayor al de las bacterias y con frecuencia se usan como fuente de energía. Es por eso que los protozoos son usados para el pulimento de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, al alimentarse de bacterias y materia orgánica particulada.</p>
<p>Rotíferos</p>	<p>Los rotíferos son eucarióticos animales aerobios, heterótrofos y multicelulares. Su nombre se deriva del hecho que tienen dos juegos de cilios sobre la cabeza que usan para moverse y capturar comida. Los rotíferos son muy efectivos en el consumo de bacterias floculadas y dispersas, y algunas partículas de materia orgánica. Su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica bajo condiciones aerobias muy eficientes.</p>
<p>Algas</p>	<p>Las algas son eucarióticas unicelulares o multicelulares, autótrofas y fotosintéticas. Son importantes en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en los procesos de tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización, en donde su habilidad de producir oxígeno por fotosíntesis es vital para el ambiente ecológico del agua.</p>
<p>Virus</p>	<p>Los virus están compuestos de un ácido nucleico (ADN o ARN) ubicado en el centro y rodeado por una capa externa de proteína llamada capsid. Los virus son parásitos intracelulares obligados que se multiplican únicamente dentro de una célula huésped donde reorientan el sistema bioquímico de la célula para reproducirse a sí mismos. Los virus pueden también existir en estado extracelular, en el cual la partícula de virus (conocida como virión) es metabólicamente inerte. Los bacteriófagos son virus que infectan las bacterias huésped; no han sido implicados en infecciones de humanos.</p>

1.1.5.2. Organismos patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en aguas residuales son: bacterias, parásitos (protozoos y helmintos) y virus. Los organismos patógenos bacteriales excretados por el hombre causan por lo general enfermedades del tracto gastrointestinal, como fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarrea y cólera. En vista de que estos organismos son altamente infecciosos, se les acusa de ser responsables de un gran número de muertes al año en zonas con escasa cobertura sanitaria, en especial en el trópico. Estudios al respecto estiman que cerca de 4.500 millones de personas están o han sido infectadas por algún tipo de parásito (Madigan et al., 1997).

1.1.5.2.1. Bacterias

Muchas clases de bacterias inofensivas colonizan el tracto intestinal del hombre y son frecuentemente expulsadas en las heces. Los individuos infectados con algún tipo de enfermedad excretan en sus heces bacterias patógenas, contaminando así las aguas residuales domésticas con una gran variedad de organismos tanto patógenos como inofensivos. Uno de los principales grupos de bacterias patógenas presentes en aguas residuales es el género *Salmonella*, el cual

contiene una gran variedad de especies que pueden causar enfermedades en humanos y animales. La fiebre tifoidea, ocasionada por *Salmonella typhi*, es la enfermedad más grave que puede transmitir este grupo. La enfermedad más comúnmente asociada con el grupo *Salmonella*, llamada *salmonellosis*, se origina por el consumo de comida envenenada. El grupo *Shigella*, uno de los grupos bacteriales menos comunes, es el responsable de una enfermedad intestinal conocida como *disentería bacilar o shigellosis*. Zonas destinadas a natación recreativa han sido reportadas como focos de propagación de shigellosis y también zonas donde las aguas subterráneas usadas para consumo han sido contaminadas con aguas residuales (Crook, 1998).

Es frecuente el reporte de casos de gastroenteritis producida por causas desconocidas, aunque en general se atribuye a agentes bacteriales. Una fuente potencial para la propagación de esta enfermedad es la presencia de bacterias gramnegativas en el agua, a pesar de ser catalogadas como no patógenas. En este grupo se incluyen bacterias enteropatógenas como la *Escherichia coli* algunas especies de *Pseudomonas*, capaces de afectar a niños recién nacidos; se han señalado como culpables de epidemias de enfermedades gastrointestinales. La bacteria *Campylobacter jejuni* se ha identificado también como la causante de diarrea bacteriana en humanos. Aunque se ha establecido con certeza que estos organismos causan enfermedades en animales también han sido involucrados como agentes etiológicos en la transmisión de enfermedades humanas de origen hídrico (Crook, 1998).

1.1.5.2.2. Protozoos

Entre los organismos causantes de enfermedades, los protozoario *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* y *Giargia lamblia*son de gran interés debido a su impacto sobre individuos con deficiencias en su sistema inmunológico, como es el caso de niños pequeños, persona de edad avanzada, individuos con cáncer o aquellas personas víctimas del síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida). La infección es causada por la ingestión de agua contaminada con ooquistes y quistes. Es importante anotar que existen fuentes de origen diferente al hombre que pueden aportar a las aguas contaminadas organismos como el *Cryptosporidium parvum* y la *Giardia lamblia*.

La propagación de enfermedades causadas por protozoos patógenos ha sido importante; la epidemia más impactante de criptosporidiasis ocurrió en 1993 cuando 400.000 personas fueron reportadas enfermas en Milwaukee, otra epidemia de ciclosporiasis abarcó diez estados. Estos protozoos pueden ocasionar síntomas como diarrea severa, dolor estomacal, náuseas y vómito que pueden extenderse por largos períodos de tiempo. Tales organismos son de interés por su presencia en las aguas residuales y porque los sistemas convencionales de desinfección, que emplean cloro y radiación UV, no proveen su

efectiva inactivación o destrucción. Las formas más resistentes del *Cryptosporidium parvum* son los ooquistes y para la *Giardia lamblia* los quistes.

1.1.5.2.3. Helmintos.

Los más importantes parásitos helmínticos que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, como la lombriz estomacal *Ascaris lumbricoides*, la tenia solitaria *Taenia saginata* y *Taenia solium*, los gusanos intestinales *Trichuris trichuria*, la lombriz intestinal *Ancylostoma duodenale* y el *Necator americanus*, y la lombriz filiforme *strongyloides stercolaris*. La etapa infecciosa de algunos helmintos es el estado adulto o de larva y en otros la etapa infecciosa es el estado de huevo. Los nemátodos son organismos libres en el estado de larva que no presentan ningún riesgo de tipo patógeno para humanos. Los huevos y larvas, cuyo tamaño oscila entre 10 μm y 100 μm , resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización.

1.1.5.2.4. Virus

Más de 100 clases diferentes de virus entéricos capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad son excretados por el hombre. Los virus entéricos se reproducen en el tracto intestinal de personas infectadas y son posteriormente expulsados en las heces. Desde el punto de vista de la salud humana, los virus entéricos más importantes son enterovirus (polio, eco, coxsackie), virus norwalk, rotavirus, reovirus, calcivirus, adenovirus y virus de hepatitis A. Entre los virus que causan enfermedades diarreicas, se ha demostrado que los rotavirus y virus norwalk son los principales patógenos de origen hídrico. Los reovirus y los adenovirus, causantes de enfermedades respiratorias, gastroenteritis e infecciones en los ojos, se han logrado aislar a partir de muestras de agua residual, no existe evidencia alguna de transmisión por vía hídrica de virus de inmunodeficiencia humana (VIH), causante del síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida) (Crook, 1998; Madigan et al., 1997; rose y Gerba, 1991).

1.1.5.3. Empleo de organismos indicadores

En vista del gran número de organismos patógenos presentes en aguas residuales y poluidas es posible aislar e identificar sólo algunos de ellos, eso sí con gran dificultad; los organismos coliformes se emplean como organismos indicadores por su fácil identificación y presencia abundante. El tracto intestinal humano contiene grandes poblaciones de bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como bacterias coliformes. Además de otras clases de bacterias, cada persona evacua

de 100.000 a 400.000 millones de bacterias coliformes por día. Por esto, la presencia de bacterias coliformes es un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y la ausencia de bacterias coliformes indica que las aguas están libres de organismos transmisores de enfermedades.

Aunque pueden estar presentes organismos coliformes totales y coliformes fecales, no se ha demostrado su efectividad como organismos indicadores de la presencia de virus entéricos y protozoos. Además la aparición de nuevos organismos patógenos de origen diferente al humano (p. Eje. *Cryptosporidium parvum* y *giardia lamblia*) ha puesto en duda el uso de indicadores que establecen únicamente la ocurrencia de descargas de origen fecal. Los ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* no se inactivan con facilidad mediante la desinfección con cloro o radiación UV, como lo hacen los sustitutos bacteriales que se usan en la actualidad. En un reciente estudio se concluyó que las bacterias coliformes son un indicador de protozoos acuáticos. Así mismo se encontró que ha ocurrido epidemias de enfermedades de transmisión por vía hídrica en zonas abastecidas por sistemas de agua que cumplen con las normas de calidad de agua para consumo (Craun et al., 1997).

1.1.5.4. Conteo e identificación de bacterias

El conteo de grupos específicos de bacterias se realiza mediante uno de los cuatro métodos siguientes:

- Conteo directo
- Cultivo en placa
- Filtro de membrana
- Fermentación en tubos múltiples.

Otros métodos como las pruebas de presencia ausencia (P – A) se han desarrollado para estimar en forma cualitativa la calidad del agua. Colonias de bacterias se identifican con frecuencia por el método de conteo en placa de organismos heterotróficos (método HPC). Además, se han desarrollado un buen número de métodos fluorescentes y de coloración para identificar bacterias específicas.

1.1.5.4.1. Conteo directo

El conteo directo de microorganismos puede realizarse mediante microscopio y con ayuda de una cámara de conteo Petroff – Hauser. Las celdas de conteo están diseñadas para que cada cuadrado de la cámara corresponda a un volumen específico, ya que la profundidad es conocida. En vista de que es imposible diferenciar por esta técnica células vivas de células muertas, la medida del ensayo se reporta como conteo total. Otra técnica empleada para obtener conteos directos se realiza con ayuda de un contador electrónico de partículas, en el cual una muestra que contiene bacterias se pasa a través de un orificio, produciendo

un descenso en la conductividad eléctrica del fluido. El número de veces y el valor al cual es reducida la conductividad se correlacionan con el número de bacterias. Desafortunadamente, el contador eléctrico de partículas no puede diferenciar bacterias (entre vivas o muertas) y partículas inertes, por tanto ambas son contadas como partículas.

1.1.5.4.2. Cultivo en placa

El vertido en placa y el esparcido en placa son métodos utilizados para realizar siembra, identificación y conteo de bacterias. En el método de vertido en placa, la muestra de agua residual que va a ser analizada se somete a diluciones sucesivas, y una pequeña muestra de cada dilución se coloca en un caja para la siembra de bacterias. Aparte, el medio de cultivo se calienta hasta que se encuentre en estado líquido y pueda ser vertido en la caja para mezclarse con la muestra de agua residual diluida, para su posterior incubación bajo condiciones controladas. Las colonias que aparecen después de la incubación son contadas, asumiendo que cada colonia se formó a partir de una sola bacteria; el número total de bacterias se establece de acuerdo con la dilución apropiada. En el método de esparcido en placa, una pequeña cantidad de agua residual diluida se vierte sobre la superficie del medio de cultivo solidificado en la caja para la siembra de bacterias. Tanto el método de vertido como el de esparcido en placa son extremadamente sensibles porque pueden contarse células individuales.

1.1.5.4.3. Técnica de filtro de membrana

En la técnica de filtro de membrana, un volumen conocido de muestra se pasa a través de un filtro de membrana que tiene un tamaño de poro muy pequeño. Las bacterias son retenidas sobre el filtro, ya que son de mayor tamaño que los poros del filtro de membrana. El filtro de membrana que contiene las bacterias, se pone entonces en contacto con el agar que contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de las bacterias. Después de la incubación, las colonias de coliformes pueden ser contadas y se calcula la concentración de las mismas en la muestra original de agua. La técnica de filtro de membrana tienen la ventaja de ser más rápida que el método del NMP (descrito en el método de fermentación de tubos múltiples). Y además se tiene un conteo directo del número de bacterias coliformes. Ambos métodos están sujetos a limitaciones en su interpretación.

1.1.5.4.4. Fermentación en tubos múltiples

La técnica de fermentación en tubos múltiples se basa en el principio de dilución hasta la extinción. Las concentraciones de bacterias coliformes totales suelen expresarse como *número más probable por 100 ml* (NMP /100mL). La determinación del NMP se basa en la aplicación de la distribución de Poisson para valores extremos encontrados en el análisis del número de resultados positivos y negativos obtenidos en ensayos de diferentes fracciones de la muestra de

volúmenes iguales y en fracciones que formen series geométricas. Es conveniente enfatizar que el NMP no es una concentración absoluta de organismos presentes en la muestra, sino sólo una estimación estadística de la concentración. El procedimiento completo del método de fermentación en tubos múltiples involucra tres etapas identificadas como presunción, confirmación y terminación de la prueba. Se dispone de un procedimiento similar para el grupo coliformes fecales, así como para otros grupos bacteriales (Standard Methods, 1995).

El NMP puede determinarse empleando directamente la distribución de Poisson, las tablas para la determinación del NMP, derivadas de la distribución de Poisson, o la ecuación de Thomas.

1.2. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Pese a la crisis económica la región latinoamericana durante la mayor parte del decenio pasado, se ha seguido intensificando el uso de los recursos hídricos, donde las mayores demandas siguen siendo por el agua potable y para riego y generación de electricidad.

Característica notable de esta última parte del siglo XIX, en lo que se refiere al uso de los recursos hídricos, ha sido la aparición de fenómenos de contaminación como rasgos sobresalientes y alarmantes en muchas masas de agua. Entre los factores que explican este deterioro destacan el rápido crecimiento de la

población, sobre todo la urbana, el mejor abastecimiento de agua potable y servicios de alcantarillado, y la expansión de la industria y la tecnificación de la agricultura, que no ha sido acompañada de sistemas adecuados de tratamiento de desechos y control de la contaminación hídrica. Este aumento del uso de agua resulta en una alta contaminación en las zonas costeras y un alto impacto sobre los caudales de las principales cuencas hidrográficas.

El cuerpo receptor actúa transportando el contaminante (propiedad que confiere al problema un carácter social y obliga la existencia de regulaciones que garanticen el derecho de los afectados), introduciendo un retardo en su impacto, diluyendo la concentración de contaminantes y finalmente produciendo procesos de transformación físicos, químicos y biológicos, como la autopurificación, atenuación y bioacumulación, entre otros.

Existe gran preocupación por definir medidas para proteger las aguas interiores, tanto nacionales como transfronterizas, contra la contaminación provocada por actividades riesgosas, producto de aquellas de origen terrestre o de catástrofes relacionadas con fenómenos naturales externos (como inundaciones y sequías), debido a su estrecha relación con los daños económicos, sociales y culturales.

Existe una serie de relaciones complejas y específicas entre la actividad humana, la generación de desechos, la capacidad de absorción y la contaminación resultante en cualquier curso o masa de agua. También es importante la

capacidad de absorción y la contaminación resultante en cualquier curso o masa de agua. También es importante la contaminación no puntual que resulta de la infiltración, precipitación o escorrentía o controlada, que lava suelos agrícolas tratados con pesticidas. En la actualidad se importa y produce una gran variedad de pesticidas que son aplicados directamente en los campos agrícolas y forestales. Muchos de ellos son de largo efecto residual por la necesidad de evitar el ataque de plagas en un largo período. Parte importante de ellos se depositan en el suelo, y con el riego terminan en los cursos de agua.

Respecto a los abonos, su aplicación es directa en la tierra donde se produce el proceso de lixiviación, en que un pequeño porcentaje es absorbido por la planta pero la mayor parte infiltra en el terreno. En este caso la contaminación se produce finalmente en las aguas subterráneas y su efecto acumulativo se verá en el largo plazo.

Por otra parte, debido a que la gran mayoría de los productos silcoagrícolas son exportados, se requiere el uso de preservantes para aumentar su vida útil o resistir el ataque de algún factor natural, como los hongos originados por la humedad en la madera. En este campo es conocido el uso de sales en base a cobre, arsénico y otros.

1.2.1. Antecedentes sobre la Preocupación Internacional por la Contaminación Hídrica

La inquietud por el problema de la contaminación de las aguas adquirió relevancia a nivel mundial con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, realizada en Estocolmo, Suecia, en 1972, donde se definieron los principios de la declaración sobre el medio ambiente humano. El principio Neordm; 2 enuncia la importancia de los recursos naturales: “Los recursos naturales de la Tierra, incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna, especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga”.

En Mar de Plata, Argentina en 1977, se desarrolló la Conferencia Internacional sobre Agua y el Medio Ambiente, donde se definieron cuatro principios fundamentales:

- El agua dulce es un principio finito y vulnerable, esencial para sostener la vida y el desarrollo y el medio ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

En 1992 se realizó en Dublín, Irlanda, la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, la más importante desde Mar del Plata. En ella se hace un “llamado para que se dé un enfoque radicalmente nuevo a la gestión de los recursos de agua dulce, enfoque que sólo se puede conseguir con un compromiso político y una participación que abarque desde las altas esferas de los gobiernos hasta las comunidades más elementales. Este compromiso habrá de apoyarse en inversiones considerables e inmediatas, en campañas de sensibilización, modificaciones en el campo legislativo e institucional, desarrollo de tecnología y programas de creación de capacidades. Todo ello basado en un mayor reconocimiento de la independencia de todos los pueblos y del lugar que les corresponde en el mundo actual”.

El tema de las aguas marinas está presente en la región desde 1952. En ese año se creó la Comisión Permanente del Pacífico (CPPS) como respuesta de tres países soberanos decididos a defender sus mares territoriales. De ahí surgió la política de establecer las 200 millas como parte del mar territorial, que hoy es acogida y ratificada internacionalmente. En 1978, con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la CPPS organizó la primera reunión regional para definir la estrategia a seguir respecto al estado de las aguas marinas y su protección. En 1981, en Lima se firmó el Convenio y Plan de Acción para la

Protección del Medio Marino y Areas Costeras del Pacífico Sudeste, con participación de Panamá, Colombia, Ecuador y Chile. El Plan de Acción permitió adoptar acciones tendientes a desarrollar investigaciones coordinadas en la región para obtener un conocimiento adecuado del estado de las aguas marinas, sus problemas de contaminación y la protección de sus recursos vivos.

La expresión “contaminación del agua de mar” fue definida en una reunión de expertos en Roma, en 1970, convocada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La contaminación del agua de mar es la introducción directa o indirecta por el hombre de sustancias o energía en el ambiente marino, que resulta o pueda resultar en efectos deletéreos o peligrosos para la salud humana, daños para los recursos vivos y no vivos, impedimentos para el desarrollo de actividades marinas, incluyendo la pesca y otros usos legítimos del mar, además de la reducción de usos recreacionales.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro en 1992, resuelve en la Agenda 21 la aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce, y la protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos en los océanos y mares de todo tipo, incluidos los mares cerrados, semicerrados y zonas costeras. Todas estas reuniones convergen en un punto común: las aguas continentales son un recurso valioso, escaso y se deben proteger.

1.2.2. Prevención y control de la contaminación hídrica

Las actividades de prevención deben estar dirigidas a estudios y métodos de aplicación para el control de la contaminación en el medio acuático debido a las descargas de aguas servidas y de residuos industriales líquidos. Al respecto, debida consideración debe ser dada a los sistemas de tratamiento de las aguas servidas domésticas e industriales que permiten, a través de la separación del líquido de los constituyentes indeseables o la alteración de sus propiedades fisicoquímicas o biológicas, que no deterioren o alteren el medio acuático receptor. Existe una gran variedad de procesos que pueden ser usados para el tratamiento y su selección se basa en consideraciones de orden tecnológico y económico.

Los sistemas de tratamiento biológico más usados son los filtros percoladores, lagunas de estabilización y lodos activados, previo a la desinfección, que sin presencia de sustancias tóxicas permiten reducciones importantes de materia orgánica, sólidos y bacterias. Otra alternativa es el aprovechamiento del potencial autodepurador del mar, por medio de sistemas de disposición marina, emisarios submarinos y difusores proyectados, diseñados apropiadamente. Su objetivo es utilizar toda la capacidad natural de que dispone el medio acuático para asimilar los desechos crudos al océano. Estos sistemas pueden proporcionar un medio seguro y económico cuando los flotantes y sustancias tóxicas como pesticidas, metales pesados y otros, se eliminan antes de la descarga a través del control de la fuente y el sistema comprende medidas para una adecuada dilución inicial,

dispersión subsecuente y suficiente período de viaje de las aguas servidas como para cumplir con criterios estéticos, de salud pública y vida acuática.

En relación a los resultados industriales, los efectos a corto y largo plazo de la introducción en el medio acuático de sustancias tóxicas o residuos conservativos son difíciles de evaluar, dado el insuficiente conocimiento de los factores que regulan su destino final en las aguas, lo que indica la necesidad de incentivar aún más la investigación al respecto.

Esta falta de conocimiento provoca que, a pesar de la gran preocupación internacional por las descargas en zonas costeras a través de emisarios submarinos, su manejo sea difícil de plantear. Lo más efectivo para afrontar este problema a futuro es la recuperación de las materias primas y la reutilización de los desechos.

1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Uno de los aspectos a considerar a la hora de realizar un vertido es que no supere el poder de autodepuración del medio receptor para evitar efectos indeseables que dan lugar a una peor calidad. En la última década hay una política clara de exigencias y se ha avanzado mucho en el tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales.

Las plantas para el tratamiento de aguas urbanas (ARU) son relativamente simples y están bastante determinadas pero en el caso de aguas industriales (ARI) aún hay mucho que avanzar.

Los métodos de tratamiento pueden clasificarse en físicos, físico-químicos o biológicos.

Según el objetivo del tratamiento distinguimos entre:

- Procedimiento para la separación de partículas en suspensión (sedimentación, floculación...)
- Procedimientos para la eliminación de materia orgánica biodegradable /aerobio y anaerobio).
- Procedimiento para la eliminación de materia orgánica disuelta (absorción, adsorción, filtración con membranas, desorción con aire...).
- Procedimiento de separación de contaminantes inorgánicos en agua (precipitación química, adsorción, filtración, intercambio iónico...)

Según las aguas a tratar:

- Estación de tratamiento de aguas potables (ETAP)
- Estación depuradora de aguas residuales (EDAR)
- Estación de tratamientos de aguas industriales

En ARU (no exclusivamente domésticos) pueden añadirse ARI siempre que sean compatibles y no interfieran en los tratamientos típicos de las EDAR.

Los tratamientos de aguas residuales se distinguen entre poblaciones mediana – grandes o pequeñas.

1.3.1. Poblaciones mediana – grandes

1.3.1.1 Pretratamientos: Lo primero que se hace es eliminar sólidos, los más grandes se eliminan mediante tratamientos groseros.

- Desbaste y desarenado
- Homogeneización y almacenamiento
- Separación de aceites y grasas.

1.3.1.2. Tratamientos primarios:

- Físico
- Físico-químico

El objetivo del tratamiento primario es eliminar la materia en suspensión. Como mínimo el 60%. También se elimina algo de DBO, entre el 30 – 40% como

máximo. Si hay coloides en ocasiones hay que destruirlos mediante adición de coagulantes y floculantes (disminuyendo su potencial superficial).

1.3.1.3. Tratamientos secundarios

Tratamiento biológico. Su finalidad es eliminar la materia orgánica disuelta y coloidal. Se obtienen rendimientos elevados (80-90%). Entre ellos tenemos:

- Lodos activados (el mas utilizado actualmente)
- Lechos bacterianos
- Contactores biológicos rotativos (biodiscos)

1.3.1.4. Tratamientos terciarios

Los procedimientos más habituales de plantas mediana y grandes no van más allá de tratamientos secundarios. El tratamiento terciario se lleva a cabo cuando el agua adquiere reutilizarse, por ejemplo para regar campos de golf. El tratamiento terciario sirve para desinfectar el agua.

Si los requerimientos de calidad del agua donde se va a verter el agua residual no son muy exigentes se efectúa una oxidación de la materia orgánica refractaria. Si se el quieren eliminar sales se utiliza normalmente ósmosis inversa. Otro tratamiento terciario es la eliminación de nutrientes (N y P). Es un tratamiento

biológico que puede hacerse a la vez que el tratamiento secundario y que se denomina nitrificación – desnitrificación.

-----nitrificación-----

----desnitrificación----

N orgánico NH₄⁺ NO₃⁻

N₂

1.3.1.5. Tratamiento de fangos

Normalmente los sólidos que se obtienen después de la depuración de la EDAR se llevan al vertedero. Los fangos han de concentrarse ya que tienen mucho agua y estabilizarse para que no causen molestias pues habrá materia orgánica en ellos. Según salen los fangos de los decantadores (primario y secundario) se lleva a cabo un espesamiento por gravedad o flotación. Según el esquema, los sólidos del decantador primario van a gravedad y los del secundario a flotación.

Los fangos del decantador secundario son los que contienen más materia orgánica y su densidad es más parecida a la del agua por lo que se espesan mejor por flotación.

Otra opción es juntar los fangos de ambos decantadores y concentrarlos por gravedad. Para estabilizarlos (disminuir la cantidad de materia orgánica) se emplea un tratamiento biológico, que puede ser aerobio o anaerobio. Los

sistemas anaerobios consumen mucho aire y no se puede aprovechar nada. Si se utiliza un tratamiento anaerobio se obtiene biogás.

Otro tratamiento posterior a la estabilización es la deshidratación que se realiza añadiendo coagulantes o floculantes. Se obtiene así un semisólido con un 60-70% de agua.

1.3.2. Poblaciones pequeñas

Se recurre a tecnologías blandas de depuración y sistemas simples. Son más simples y menos costosas porque el gasto de todos los tratamientos anteriores sería demasiado. Suelen utilizarse sistemas de lagunaje sin aireación artificial. Se produce una degradación natural de la materia orgánica. Es necesario bastante espacio. También se utilizan filtros percoladores, humedales y filtros verdes (con el propio terreno).

1.4 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

1.4.1. Descripción del proceso.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en el fango o agua residual es transformada en los gases metano y bióxido de carbono. Este

proceso biológico natural es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados.

El gas producido puede ser recogido y utilizado como combustible. El fango final, estabilizado, que se extrae no es putrescible, y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo.

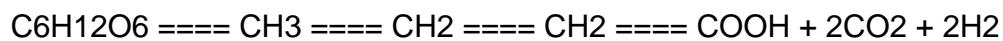
Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente, y cuyo proceso podemos dividir en tres etapas: hidrólisis y fermentación acetogénica y, finalmente, la metanogénica.

1.4.1.1. Hidrólisis

Durante esta fase se verifica la hidrólisis (licuefacción) y posteriormente fermentación de las sustancias orgánicas de elevado peso molecular, tales como lípidos, proteínas e hidratos de carbono, que se encuentran en suspensión o disueltas.

Estas sustancias quedan transformadas y reducidas a otros compuestos orgánicos de cadena molecular más corta, principalmente en ácidos grasos volátiles y gases CO₂ y H₂.

Una de las reacciones que se darían en este caso típico sería:



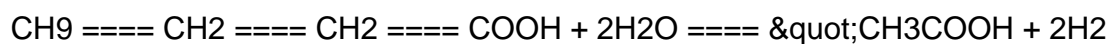
Glucosa \rightleftharpoons Acido butírico + Bióxido de carbono + Hidrógeno

Este metabolismo anaerobio lo realizan bacterias de crecimiento rápido (formadas de ácidos), que fermentan la glucosa para producir los mencionados ácidos. El pH de la operación suele ser inferior a 7.

1.4.1.2. Fase acetogénica

En esta etapa unas bacterias llamadas acetogénicas convierten las moléculas orgánicas de pequeño tamaño y los ácidos grasos volátiles en ácido acético e hidrógeno.

La reacción sería, siguiendo el ejemplo anterior:



Acido butírico + agua \rightleftharpoons Acido acético + hidrógeno

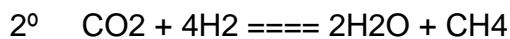
1.4.1.3. Fase metanogénica

En esta última etapa, las bacterias metanogénicas (anaerobias estrictas) son esenciales para este tipo de digestión, por ser los únicos microorganismos que pueden catabolizar anaerobiamente el ácido acético e hidrógeno para dar productos gaseosos en ausencia de energía lumínica y oxígeno.

Para un óptimo trabajo, el elemento acuoso circulante debe tener un pH entre 6,6 y 7,6. Continuando con el anterior ejemplo, se verificarían las reacciones finales siguientes:



Acido acético + bacterias acetoclastas \rightleftharpoons bióxido de carbono + metano



Bióxido de carbono + Hidrógeno \rightleftharpoons agua + metano

La temperatura es un factor muy importante para que se verifiquen éstas transformaciones metabólicas. Para mantener un sistema de tratamiento anaeróbico que estabilice correctamente el residuo orgánico, deben hallarse en estado de equilibrio dinámico los microorganismos formadores de ácidos y metano, es decir, las reacciones deben producirse continúa y sucesivamente, ya

que el funcionamiento anormal de una de ellas, dará lugar al malfuncionamiento global del proceso.

Muchos microorganismos metanogénicos son similares a los encontrados en el estómago de los animales rumiantes. Se considera que una de las reservas mundiales de gas natural tiene su origen en la actividad metabólica de estas bacterias.

1.4.2. Parámetros de operaciones y control en los procesos anaerobios

Para un buen control, seguimiento y optimización anaerobio es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

1.4.2.1. Parámetros de operación

- Fase de arranque
- Carga orgánica
- Velocidad de carga orgánica
- Toxicidad
- Temperatura
- Velocidad volumétrica de flujo
- Tiempo hidráulico de residencia

- Nutrientes
- Producción de fangos

1.4.2.2. Parámetros de control

- Concentración de ácidos volátiles
- Alcalinidad y pH
- Sólidos suspendidos, volátiles y totales
- Producción de metano y gas total

1.4.3. Digestión anaerobia en dos fases

En la digestión anaerobia de una fase se emplea únicamente un reactor, donde se efectúan simultáneamente: mezcla íntima del influente con todos los grupos de microorganismos, mediante bombeo, circulación o recirculación de fluidos; reacciones bioquímicas de la digestión y sus consecuencias de formación de distintos gases; espesamiento de fangos y formación del sobrenadante clarificado o efluente.

Al aplicar este proceso simple, a principios de los años setenta, a residuos sólidos suspendidos y aguas residuales con elevada carga orgánica de carbohidratos, lípidos y proteínas se observó frecuente inestabilidad global en la depuración,

debido al desequilibrio entre la síntesis de los ácidos grasos volátiles (AGV) y degradación posterior. Por esta causa se planteó el tratamiento de este tipo de influente en dos fases o etapas.

El proceso de dos fases produce dos grupos de reacciones en dos digestores instalados en serie. Esta depuración requiere, por tanto, la colaboración de dos tipos o grupos distintos de microorganismos:

- Hidrolíticos y formadores de AGV, en el primer reactor.
- Acetogénicos y metanogénicos, en el segundo.

El éxito de este tratamiento comienza con una adecuada separación de estos dos grupos de bacterias, bien por diálisis, inhibición selectiva o por ajustes de velocidad de dilución, actuando con ello sobre el control cinético del crecimiento de las bacterias de dichos grupos. El progresivo afianzamiento de la separación se conseguirá a lo largo del funcionamiento, debido a la propia selección bacteriana que se realizará en cada uno de los reactores, con distintos medios trabajando con el Tiempo Hidráulico de Residencia (THR) adecuado.

Las ventajas que aporta este proceso de dos fases, comparándole con el de una sola, podemos resumir en:

- El primer reactor actuará de amortiguador a la llegada de algún golpe de carga del Influyente aportando gran seguridad y estabilidad al sistema; también este reactor eliminará el oxígeno disuelto del influente, por lo que la eficacia en el segundo reactor será óptima.
- Permite conseguir un biogás de mayor riqueza en metano, lo que repercute en el balance económico.
- Puede conseguirse un aumento cinético de la hidrólisis por agitación en el primer reactor, y evitar la pérdida de microorganismos de esta primera etapa intercalando un decantador y bomba, para retornar éstos a su origen.

Resumiendo este sistema admite una mayor flexibilidad en variaciones de carga, pH y temperatura, a la vez que ofrece mayores facilidades en la actuación, seguimiento y control del proceso.

1.4.4. Industrias en las que se emplea la depuración anaerobia a sus aguas residuales

Los procesos anaerobios, inicialmente, hace unos diez años, encontraron su aplicación en tratamientos de aguas residuales, de la industria alimentaria y en los residuos agro-ganaderos. Actualmente se puede aplicar a la totalidad de aguas residuales cargadas con materia orgánica.

Por orden cronológico de aplicación, podemos clasificar la industria en tres sectores:

- Sector ganadero.
- Alimentaria.
- No alimentaria.

1.4.4.1. Sector ganadero

Dentro de este sector se aplica esta depuración, preferentemente en los residuos líquidos de las explotaciones de ganado vacuno y porcino. La fracción, llamémosla líquida (aprox.50 por 100) de estos residuos, formada por sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos o en suspensión, es especialmente apta para su digestión anaerobia, ya que en ella se encuentra el conjunto de bacterias necesarias para transformar prácticamente la totalidad de la materia orgánica que lleva en biogás y del cual el 65% es metano.

Con este tratamiento se consigue:

- Eliminar el poder contaminante del residuo en un 70%.
- Producir biogás suficiente (0,7 m³/kg de sólidos volátiles anulados), para autoabastecerse energéticamente la instalación y explotación.

- Los residuos finales pueden ser usados como fertilizantes por su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio.

1.4.4.2. Industria alimentaria

En esta rama, el tratamiento anaerobio es adecuado para vertidos industriales fácilmente fermentables, como los procedentes de las fábricas, conserveras de legumbres y cervecerías.

Recientemente, ya en los años 80, en planta piloto y alguna en plan industrial, se tratan aguas residuales de fábricas: lecheras, industria de la patata, zumos concentrados y alcohol. Los rendimientos de depuración en estos tratamientos son superiores al 90%, tanto en la reducción de la DQO como en la DBO5. La producción de biogás está entre 0,3 y 0,5 m³/kgDQO eliminada.

1.4.4.3. Industria no alimentaria

La tecnología anaerobia en este tipo de industria se encuentra en sus comienzos. Se ha iniciado estos tratamientos a escala industrial, con aguas residuales con

fuertes cargas orgánicas, procedentes de fabricaciones de productos derivados de la madera, tales como:

- Industria papelera
- Tenería
- Fabricación de tableros

El contenido orgánico de estas aguas, tanto soluble, coloidal y decantable, procede, principalmente, de los componentes naturales de la madera, extraídos por agua caliente o vapor a presión y por digestión o disolución realizadas por productos químicos.

En planta piloto industrial se están desarrollando experiencias positivas con las aguas residuales procedentes de la obtención de explosivos, clorofenoles, furfural, celulosa al sulfito, siderurgia y otras.

En piloto de laboratorios se hacen tratamientos de las aguas residuales de la industria farmacéutica, química alcalina, aromática, ácidos grasos y otros de tipo orgánico y algunos más.

Los resultados de reducción de la polución en las aguas de industrias no alimentarias varían del 40 al 90% en la DQO y superiores a éstos en la DBO5.

1.4.5. Resultados comparativos entre los procesos biológicos aerobios y anaerobios

Hasta fechas recientes, los tratamientos aerobios han sido los procesos industriales de depuración realizados a gran escala.

A partir de la década pasada se están imponiendo los procesos anaerobios, principalmente en depuradoras de aguas residuales cuya DBO5 supera los 1500 p.p.m, porque este tratamiento ofrece sobre el aerobio más resultados positivos que negativos.

1.4.5.1. Ventajas del tratamiento anaerobio

➤ Producción de energía

Por la acción de las bacterias metanogénicas, gran parte del contenido orgánico de las aguas se transforma en gas metano; teóricamente 1 Kg. de la DQO

eliminada produce 350 l. de metano. Este combustible posee un elevado poder energético utilizable.

La depuración aerobia, por el contrario, precisa grandes cantidades de aire (O₂), que deben ser suministradas por aireadores o compresores, con el consiguiente consumo energético.

➤ **Producción de fangos**

Por quedar convertida la mayor parte de la materia orgánica, en el proceso anaerobio, en biogás, el sólido restante queda bien estabilizado y utilizable previa deshidratación.

Los fangos producidos en el tratamiento aerobio son de 5 a 10 veces superiores en cantidad a los anaerobios, y debido a la gran producción de materia orgánica celular degradable que contienen (por verificarse en éstos una mayor síntesis celular), además de deshidratarlos deben incinerarse para evitar polución.

➤ **Dimensiones**

La superficie y volúmenes que se requieren para el sistema aerobio son considerablemente mayores que para el proceso anaerobio, para conseguir parecidos efectos depuradores, por lo que es menor la inversión en éste último proceso.

➤ **Proceso exterior**

Por verificarse en ambientes cerrados, la producción de malos olores es baja en el proceso anaerobio, comparado con los olores desagradables que se desprenden en el sistema aerobio, el cual se realiza siempre en espacios abiertos.

➤ **Estabilidad del proceso**

El proceso anaerobio presenta una mayor estabilidad y facilidad para el arranque, después de largas o cortas paradas, así como un menor aporte de nutrientes por ser menor su síntesis celular.

1.4.5.2. Inconvenientes del proceso anaerobio

➤ **Puesta en marcha**

Debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos, en el proceso anaerobio la puesta en marcha de este tratamiento es más lenta que en el aerobio.

➤ **Temperatura**

El tratamiento anaerobio requiere temperaturas de, al menos, 35EC, para que la actividad de las bacterias sea óptima. Este consumo de energía, cuando las aguas residuales no vengan calientes, puede ser autoabastecido por el biogás producido.

1.4.6. Conclusiones sobre los procesos anaerobios

Se puede afirmar que actualmente los procesos anaerobios para la depuración de vertidos líquidos se ha consolidado, ofreciendo estos tratamientos un medio eficaz en la lucha para la mejora del medio ambiente.

Esta nueva ingeniería se introduce en el campo de energías alternativas al aportar al proceso biogás con alto poder energético y residuos sólidos utilizables.

Consecuentemente, esta ingeniería requiere el empleo de personal técnico especializado, tanto en la elaboración de la maquinaria como en la explotación y control del proceso.

1.5. PROCESOS ANAEROBIOS

Los usos principales del tratamiento biológico anaerobio son el de remoción de materia orgánica de las aguas residuales y el de oxidación y estabilización de lodos orgánicos o biosólidos producidos en el tratamiento biológico. Desde 1850 Mouras inició el desarrollo del diseño de tanques para separar y retener sólidos. La primera observación de la producción de metano, al licuar sólidos de aguas residuales, la hizo Donald Cameron al construir el primer tanque séptico en Exeter (Inglaterra), en 1895. en 1904 Travis introdujo el primer tanque con cámaras independientes para sedimentación y digestión de lodos, en Hampton (Inglaterra); en este mismo año Karl Imhoff obtuvo la patente para el tanque que lleva su nombre. En la tabla 5 se incluyen los principales procesos anaerobios.

TABLA 5. Procesos Anaerobios de Tratamiento de Aguas Residuales y Biosólidos

TIPO	NOMBRE COMÚN	USO
Crecimiento suspendido	Digestión anaerobia: tasa estándar, tasa alta, una y dos etapas. Proceso anaerobio de contacto	Estabilización, remoción de DBOC, remoción de SSV. Remoción de DBOC

Híbrido	Lagunas anaerobias	Remoción de DBOC, remoción de SS
	Tanque séptico	Tratamiento primario, remoción de grasas, remoción de DBOC, remoción de sólidos suspendidos
	Proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, PAMLA, RAFA o UASB	Remoción de DBOC, remoción de SS
	Tanque Imhoff	Remoción de grasas, remoción de DBOC, remoción de SS y digestión anaerobia de dichos sólidos
Crecimiento adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBOC, estabilización
	Procesos de lecho fluidizado	Remoción de DBOC
	Procesos de lecho expandido	Remoción de DBOC

Los procesos de tratamiento anaerobio tienen aplicación principalmente en aguas residuales de concentración alta, con DBO mayor de 1.000 mg/L, donde los compuestos orgánicos y el CO₂ se usan como aceptadores finales de electrones, para que las bacterias metanogénicas produzcan metano, el cual tiene un valor calorífico de aproximadamente 36.500 kJ/m³. Muchos procesos anaerobios no requieren sedimentación primaria, pero es conveniente remover previamente la arena y el material inerte para evitar su acumulación en el lodo, lo cual desplaza la biomasa. Si la variación de carga o caudal es mayor que cuatro se recomienda proveer un tranque de igualamiento. En la actualidad, el proceso anaerobio se acepta para operación a temperaturas mayores de 10°C, pero preferiblemente a temperaturas mayores de 20°C y con un incremento del tiempo de retención por un factor de dos para cada disminución de 10°C en la temperatura de operación. Un reactor operando a 35°C con un residuo degradable anaerobiamente puede producir 1 m³ de CH₄/m³ de reactor.d. La necesidad de agregar alcalinidad es, a menudo, el costo de operación más alto del sistema anaerobio.

Para aguas residuales con contenido de sólidos predominantemente solubles, se considera aceptable suponer una eficiencia de tratamiento como la indicada en la Tabla 6.

TABLA 6 . Rendimiento típico de los Procesos Anaerobios

PARÁMETRO	VALOR
Remoción de DBO, %	80 – 90
Remoción de DQO, mg/L	1,5 x DBO removida
Producción de biogás	0,5 m ³ /kg de DQO removida
Producción de metano	0,35 m ³ /kg de DQO removida
Producción de lodo	0,05 – 0,10 kgSSV/kg DQO removida

La edad mínima de lodos requerida en un reactor anaerobio no depende grandemente de la naturaleza del agua residual, a menos que contenga contaminantes tóxicos. En aguas residuales con gran proporción de material orgánico particulado, la hidrólisis de dicho material insoluble puede constituir la etapa limitante del procesos y requerir edades de lodos de cuatro a diez días para el intervalo mesofílico.

Para fermentación anaerobia de residuos solubles, con acetato como el principal contaminante orgánico, se requieren edades de lodos de 2,5 a 5 días porque el crecimiento de las bacterias acetotróficas metanogénicas constituye la etapa limitante. En general, los procesos de crecimiento suspendido son ventajosos para el tratamiento de lodos o aguas con contenido alto de materia orgánica particulada

y los procesos de crecimiento adherido son más apropiados para aguas residuales con materia orgánica soluble.

En los procesos de crecimiento adherido los microorganismos crecen adheridos al medio, no se escapan del reactor con el efluente y se obtienen edades de lodos y concentraciones de microorganismos altas.

La eficiencia del proceso anaerobio es función de la edad de lodos, por ello se recomiendan los valores de la tabla 7.

TABLA 7. Edades de lodos para diseño

TEMPERATURA DE OPERACIÓN, °C	MÍNIMA, d	DISEÑO, d
18	11	28
24	8	20
29	6	14
35	4	10
41	4	10

1.6. NORMAS DE VERTIMIENTO EN COLOMBIA

El decreto 1594 de 1984 en el capítulo VI (de las normas de vertimiento) establece lo siguiente:

ARTÍCULO 72: todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
PH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40 °C	≤ 40 °C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción ≥ 80% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción ≥ 50% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO		
Para desechos domésticos	Remoción ≥ 30% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción ≥ 20% en carga	Remoción ≥ % en carga

PARAGRAFO

De acuerdo con las Características del cuerpo receptor y del vertimiento, la EMAR decidirá cual o cuales de las normas de control de vertimiento señaladas en este artículo podrán excluirse.

ARTICULO 73: Todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir por lo menos, con las siguientes normas:

REFERENCIA	VALOR
PH	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40E C
Acidos, bases o soluciones ácidas o básicas que pueden causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables.	Ausentes
Sólidos sedimentables	≤ 10 ml /lt
Sustancias solubles en hexano	≤ 100 ml /lt

REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
Sólidos suspendidos para desechos domésticos e industriales	Remoción ≥ 50% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Demanda Bioquímica de Oxígeno		
Para desechos domésticos	Remoción ≥ 30% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción ≥ 20% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Caudal máximo	1.5 veces el caudal promedio horario	

PARAGRAFO

De acuerdo con las Características del cuerpo receptor y del vertimiento, la EMAR decidirá cual o cuales de las normas de control de vertimiento anotadas, podrán excluirse.

1.7. FOSAS SÉPTICAS

1.7.1. Definición de Fosa Séptica.

Es un receptáculo estático, generalmente subterráneo, sellado, diseñado y construido para recibir la descarga de aguas negras de un alcantarillado con fines de saneamiento por medio de la separación de los sólidos de los líquidos, digestión de la materia orgánica y almacenamiento de los sólidos digeridos durante un período de retención con el fin de permitir a los líquidos clarificados parcialmente ser descargados para su eliminación final o conducidos a un sistema de postratamiento.

La fosa séptica es un proceso de tratamiento primario de aguas residuales, aplicable sobretodo a viviendas aisladas, comunidades o núcleos rurales que disponen de red de alcantarillado separativa. Se recomienda únicamente para:

- Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.

No está permitido que las aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.

Los efluentes de tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento. La fosa séptica engloba en un solo proceso:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario de las aguas residuales
- Tratamiento parcial de los fangos primarios producidos

Los tanques sépticos, como el presentado esquemáticamente en la figura 2 y en la de la figura 3, son tanques prefabricados que sirven como tanque combinado de sedimentación y desnatación, como digestor anaeróbico sin calentamiento y como tanque de almacenamiento de lodos. Un sistema que cuente con tanque séptico seguido de una instalación para disposición del efluente por método de

1.7.2. Descripción

Los tanques sépticos se usan principalmente en el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales; su uso se ha extendido incluso al tratamiento de residuos de establecimientos educativos, campamentos de verano, parques, zonas para acampar y moteles, modificando solo el tamaño de los tanques. Mas adelante se consideraran las diferentes clases de materiales de construcción, la funcionalidad en la operación, problemas de tipo operativo y algunos elementos adicionales de los tanques sépticos. Antes de desarrollar estos temas, se considera útil realizar una breve descripción de la evolución histórica de un tanque de sépticos.

1.7.3. Principios de funcionamiento de las fosas sépticas.

Dentro de una fosa séptica se llevan a cabo tres procesos fundamentales que permiten realizar un tratamiento primario* al agua afluyente, tales procesos se mencionan a continuación:

* Tratamiento Primario. Consiste en la eliminación de materia en suspensión siendo poco efectivo en la eliminación de materia orgánica aunque reduce parte de la DBO suspendida.

1.7.3.1. Eliminación de Sólidos

A medida que las aguas negras procedentes de las edificaciones entran en la fosa séptica, su velocidad de flujo se reduce de tal forma que los sólidos mayores se hunden al fondo o suben a la superficie. Estos sólidos se detienen en el depósito principal de la fosa séptica y el efluente ya clarificado es descargado a tratamientos posteriores.

1.7.3.2. Tratamiento biológico.

Los sólidos o líquidos que se encuentran en el depósito principal de la fosa séptica son sometidos a descomposición por procesos naturales y bacteriológicos. Las bacterias presentes son de la variedad llamada anaerobia que prosperan en la ausencia de oxígeno libre. Esta descomposición o tratamiento de aguas negras en condiciones anaerobias es llamada "Séptica", de aquí que se de este nombre a la fosa. El agua negra que ha sido sometida a tal tratamiento causa menos atascamientos posteriores que el agua negra no tratada que contenga la misma cantidad de sólidos en suspensión.

1.7.3.3. Tratamiento de Cieno y Natas.

Cieno es una acumulación de sólidos en el fondo de la fosa séptica, mientras que las natas son un conjunto parcialmente sumergido de sólidos flotantes que pueden

formarse en la superficie del líquido presente dentro del depósito principal. Cieno y natas en un menor grado, serán digeridos y compactadas a un menor volumen. Sin embargo, por eficiente que sea el proceso siempre permanecerá un residuo sólido de material inerte. Debe haber espacio en el interior de la fosa séptica para almacenar este residuo durante el intervalo entre limpiezas determinado en el diseño; de otra forma, el cieno y las natas podrían ser expulsados finalmente del depósito principal y podrían obstruir las tuberías o el campo de eliminación.

En general, la remoción de DBO en un tanque séptico puede ser del 30% al 50%, de grasas y aceites un 70% a 80%, de fósforo un 15% y de un 50% a 70% de sólidos suspendidos para aguas residuales domésticas típicas.

1.7.4. Funcionamiento y operación.

Los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de ¹espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo, corresponde al agua tratada y se puede llevar para disposición en campos de infiltración o ser sometida a una unidad de tratamiento si ésta existe. La

* Descomposición anaerobia. Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

* Descomposición facultativa. Descomposición de mat. Orgánica generada por bacterias facultativas, o sea, que pueden usar bien oxígeno molecular (disuelto), o bien oxígeno procedente de los materiales que le sirven de alimento.

materia orgánica retenida en el fondo del tanque se somete a un proceso de descomposición anaerobia* y facultativa*, transformándose en compuestos y gases estables como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico; aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que en últimas se acumulan. Es interesante anotar que los primeros tanques sépticos se conocieron como tanques de licuado, debido a que en ausencia de materiales extraños, todos los sólidos presentes en el agua cruda se transformaban en compuestos líquidos. Para limitar la acumulación de lodos en los tanques sépticos se recomienda el uso de papel higiénico biodegradable y la instalación de trampas para detener las hilachas.

Aunque en los tanques sépticos se forme sulfuro de hidrógeno, no es común la formación de olores, ya que el sulfuro de hidrógeno se combina con los metales presentes formando sulfuros metálicos insolubles que se acumulan en los sólidos

1.7.5. Problemas en la operación.

Históricamente, el problema más importante que se presenta en la operación del tanque séptico es el arrastre de sólidos, grasas y aceites. Este arrastre de sólidos

en el efluente del tanque séptico ocasiona la reducción prematura en la capacidad de asimilación de carga hidráulica en los campos de disposición de efluente por infiltración, dando origen a la formación de zonas húmedas en la vecindad de las zanjas de infiltración* y, en últimas, la acumulación del efluente en la superficie del suelo. El ingreso de aguas subterráneas al tanque séptico sin impermeabilización trae como resultado:

- Sobrecarga hidráulica de los sistemas de disposición en campos de infiltración, provocando la acumulación del efluente en la superficie del suelo
- Interrupción del proceso de digestión anaerobia que se desarrolla dentro del tanque séptico.
- Severa sobrecarga hidráulica en los procesos de tratamiento dispuestos aguas abajo, como es el caso de los filtros de lecho empacado intermitente y con recirculación. No está de más repetir que un tanque séptico debe poseer existencia estructural y ser impermeable, si se desea que funcione adecuadamente para proteger así el medio ambiente.

1.7.6. Localización.

Las fosas sépticas deben localizarse donde no puedan provocar contaminación de algún pozo de agua, manantial u otra fuente de abastecimiento de agua.

De acuerdo con las normas RAS 2000 en su capítulo E sobre el tratamiento de aguas residuales municipales, en el numeral E. 3. 4. 2 especifica las distancias mínimas que deben conservarse así:

- 1.5 metros distantes de construcciones, límites de terreno, sumideros y campos de infiltración.

- 3 metros distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.

- 15 metros distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

La distancia mínima especificada hacia construcciones se explica por cuanto pueden ocurrir daños estructurales de las edificaciones durante la construcción de la fosa séptica. Las filtraciones pueden llegar al sótano.

1.7.7. Materiales en construcción.

En general, en la construcción de los tanques sépticos se usan materiales como el concreto o la fibra de vidrio, aunque también se han empleado materiales como acero, madera de secuoya (*Sequoia pervirens*) y polietileno. La mayoría de las agencias reguladoras no permiten en la actualidad el uso de materiales como el

acero y la madera en la construcción de tanques sépticos. Los tanques de polietileno también se han usado últimamente a pesar de que su resistencia estructural es inferior a la de los tanques construidos en concreto o en fibra de vidrio; además, se han presentado problemas con este tipo de tanques, ya que el polietileno es un material que se deforma con el paso del tiempo. Los tanques construidos en fibra de vidrio son más costosos y se emplean en zonas donde las mezcladoras de concreto no tienen acceso. Independientemente del material de construcción, un tanque séptico debe poseer resistencia estructural y ser impermeable, es decir que no permita fugas de contenido del tanque si se desea que funcione de manera adecuada, en especial cuando existan etapas posteriores de tratamiento como filtros de lecho empacado intermitente y con circulación, o se utilizan alcantarillas a presión. La diferencia de precios entre un tanque estructuralmente resistente o impermeable y uno de bajo costo es mínima, ya que los costos involucrados en la reparación de este último excede incluso el valor estimado para un tanque nuevo.

1.7.8. Elementos adicionales de los tanques sépticos.

Para limitar la descarga de sólidos en el efluente de tanques sépticos se ha usado un diseño con dos compartimientos. Con base en mediciones realizadas, tanto en tanques de uno como de dos compartimientos, se ha comprobado que los beneficios atribuidos a los tanques de dos compartimientos, se deben más al diseño que a la subdivisión del tanque (Seabloom, 1982; Winneberger, 1984). Un

método más efectivo para reducir la descarga de sólidos sin tratamiento consiste en instalar un filtro para mejorar la calidad del efluente en tanques con un solo compartimiento (ver figura 5a) Durante la operación, el líquido fluye dentro del filtro a través de los orificios de entrada localizados en la parte central de la pared de la cámara de filtrado. Antes de pasar a la zona central de la cámara, el efluente debe atravesar un tamiz situado en el interior de la cámara. Debido a la gran superficie del tamiz, la colmatación del mismo no se produce rápidamente; de ser necesario, el tamiz se puede retirar para labores de limpieza (ver figura 5b).

En la figura 7 se aprecia el esquema de un tanque séptico con cámara de filtración, la cual evacua el filtrado por bombeo.

1.7.9. Configuración del tanque.

La mayoría de los tanques sépticos construidos en concreto son rectangulares, cuentan con un deflector interno que divide el tanque y con puntos de acceso que permiten la inspección y la limpieza. La primera cámara ocupa aproximadamente las dos terceras partes del volumen total del tanque. No obstante, el uso de tabiques divisores en tanques sépticos es más de carácter histórico que científico. Tanto Seabloom et al (1982) como Winnerberger (1984) encontraron, con base en mediciones realizadas en campo, que el desempeño de tanques sépticos con una única cámara es igual o incluso mejor que el de aquellos tanques con dos cámaras para el mismo volumen de líquido. La ubicación de tabiques divisores

limita el área superficial disponible para la acumulación de lodos y espuma. Una forma más racional para usar el tabique divisor consiste en ubicarlo longitudinalmente, esta configuración, además de mejorar la remoción de sólidos permite aumentar la integridad estructural del tanque.

1.7.10. Integridad estructural del tanque.

El desempeño que puede lograrse con un tanque séptico a largo plazo depende directamente de su integridad estructural. La integridad estructural de un tanque séptico construido en concreto depende del método de construcción, del tipo de refuerzo en acero y de la composición de la mezcla del concreto (Bounds, 1996). Para lograr una máxima integridad estructural, las paredes y el fondo del tanque deben ser fundidos monolíticamente, y la cubierta se debe fundir en el sitio, utilizando el refuerzo en acero que sobresale de los muros. En algunos casos se utiliza un sello hidráulico entre los muros y la cubierta. Se debe evitar colocar la cubierta sobre el tanque puesto que se pueden presentar separaciones cuando ocurren asentamientos diferenciales.

1.7.11. Prueba de permeabilidad.

Como se anotó anteriormente, los tanques impermeabilizados son necesarios para la protección tanto del medio ambiente como de las instalaciones de tratamiento o vertido, dispuestas a continuación del tanque séptico. La comprobación de impermeabilidad e integridad estructural se debe realizar para cada uno de los tanques llenándolos con agua antes y después de su instalación. Las pruebas hidrostáticas se realizan en el lugar de fabricación llenando el tanque con agua y aguardando 24 horas. Si no se presentan fugas de agua después de dicho tiempo, el tanque es aceptado. Debido a que parte del agua se absorbe en el concreto, es conveniente llenarlo de nuevo y esperar otras 24 horas; si se presentan pérdidas totales superiores a 1 galón de agua, el tanque es rechazado. Para evitar que la cubierta se separe del cuerpo del tanque durante las pruebas hidrostáticas, el nivel de agua se debe controlar. Es necesario que el procedimiento antes descrito se repita una vez el tanque es instalado (Bounds, 1996)

1.7.12. Tamaño del tanque.

Varias relaciones empíricas se han desarrollado para estimar el tamaño de los tanques sépticos. En varios códigos se recomienda como tamaño mínimo 750 gal (2.8m³) El autor, basado en su experiencia con tanques de diferentes tamaños, realiza las siguientes recomendaciones para que éstos alcancen un eficiente desempeño con respecto a la remoción de DBO, SST, grasas y aceitas, y reduzcan la frecuencia de bombeo de los contenidos del tanque al exterior.

- Una dos habitaciones 100 gal (3.78m³)
- Tres habitaciones 1500 gal (5.67m³)
- Cuatro habitaciones 2000 gal (7.56m³)
- Más de cuatro habitaciones Pedir asesoría de un ingeniero

Otra razón para usar tanques grandes estriba en la dificultad de ampliar el tamaño del tanque existente cuando la vivienda cambia de propietario o es ampliada.

1.7.13. Utilización de tanques sépticos de gran volumen.

A pesar de que los tanques sépticos son usados principalmente para residencias y demás instalaciones de comunidades aisladas, los tanques sépticos de gran tamaño han servido también como sistemas de tratamiento de residuos líquidos provenientes de grupos de hogares, establecimientos comerciales e incluso pequeñas comunidades. En general, los tanques sépticos de gran tamaño se diseñan como reactores de flujo de pistón. Una regla común de diseño establece que la capacidad volumétrica de estos tanques debe ser aproximadamente igual a 5 veces el caudal promedio. Las siguientes ecuaciones se pueden emplear para calcular la capacidad volumétrica requerida para un tanque séptico de gran tamaño, tales ecuaciones involucran la acumulación de lodo y espuma con base en un caudal promedio aportado de 50 gal/hb.día, y en un valor apropiado del factor pico (FP)

TABLA No 8. Relación entre el volumen del tanque Séptico y el intervalo de extracción de lodos

Intervalo entre extracción de lodo, años	Volumen del tanque, gal
3	$2.8 Q_{prom} \times FP$
4	$3.2 Q_{prom} \times FP$
5	$3.65 Q_{prom} \times FP$
6	$4.0 Q_{prom} \times FP$

Según estudios realizados por Bounds (1996), el valor calculado con las ecuaciones anteriores es igual al volumen mínimo de tanque séptico necesario para cumplir con la frecuencia indicada de extracción de lodos. El factor pico empleado en las ecuaciones anteriores se asemeja a un factor de seguridad. Si el factor pico empleado es de 1.5, el volumen del tanque varía de 3.3 a 6.8 veces el caudal promedio para un período de extracción de lodo que oscila entre 2 y 5 años, respectivamente. Estos resultados basados en la acumulación de lodo y espuma, coinciden favorablemente con los lineamientos de la regla común de diseño que establece el volumen del tanque como 5 veces el caudal promedio. Tales consideraciones no contemplan caudales pico extremos, como los que se presentan en colegios, iglesias y en algunos establecimientos recreacionales.

El volumen mínimo para un tanque séptico debe ser de 1.500 gal ($5.67m^3$). En la figura 7 se presenta el diagrama habitual de un tanque séptico de gran tamaño que presta servicios a una pequeña comunidad.

1.7.14. Mantenimiento del Tanque Séptico

1.7.14.1. Inspección de rutina.

La inspección rutinaria de tanques sépticos realizada una o dos veces al año contempla:

1.7.14.2. Extracción de lodo del tanque séptico.

Como se anotó antes, la acumulación progresiva de lodo y espuma ocasiona a largo plazo una reducción en la capacidad volumétrica efectiva del tanque.

Los lodos y espumas acumuladas deben ser removidas del depósito principal de la fosa séptica en intervalos de tiempo equivalentes al período de limpieza del proyecto.

1.7.15. Desarrollo histórico del tanque séptico.

El origen del tanque séptico moderno se remonta alrededor de 1860 con los primeros trabajos realizados en Francia por Mouras (Dunbar, 1908). El nombre de tanque séptico se le atribuye a Donald Cameron, quien lo llamó así por las condiciones y acciones sépticas (anaerobias) que se desarrollaron en el interior del tanque. Cameron solicitó y le fue concedida la patente británica No. 21, 142 en 1895, mientras que en Estados Unidos la patente fue entregada en 1899.

Después de registrada la patente se dio una gran controversia de carácter legal, acompañada del desarrollo de nuevos modelos de tanque séptico. Uno de los primeros modelos del sistema de tanque séptico fue desarrollado por empleados del U.S. Public Health Service, el cual se ilustra en la figura 9. A continuación se presenta una cita textual donde los creadores los describen (Lumsden et, 1915):

- Una caja hermética, preferiblemente de lámina de zinc, la cual se ajusta sobre la parte superior del barril recolector. Esta caja cuenta con una abertura para ubicar el asiento del usuario y, además, con una tapa de cierre automático.
- Un dispositivo para evitar salpicaduras, consistente en una pequeña tabla horizontal ubicada debajo del asiento, una pulgada por debajo del nivel de la tubería transversal. La tabla se mantiene en su lugar por medio de una varilla, la cual pasa por un agujero ubicado en el asiento, y sirve además para levantar o empujar la tabla. En lugar de este dispositivo se puede colocar una capa de trozos de material flotante.
- Una tubería de ventilación, similar a la usada en estufas que emplean gas o madera como combustible, que conecta el espacio bajo la silla con el aire exterior.

El tanque recolector de excretas debe llenarse con agua hasta que comience a gotear el efluente, así mismo se debe adicionar una o dos libras de estiércol al agua para dar inicio a la fermentación.

Se debe anotar que el uso de tanques herméticos y el tamizado del efluente son dos características muy importantes en la versión moderna del tanque séptico.

Por otro lado se puede mencionar algunas experiencias realizadas a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales con la implementación de sistemas sépticos como son:

- La Asociación Cubana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental evaluó la eficiencia del módulo tanque séptico – filtro anaerobio en el tratamiento de residuales líquidos urbanos. Propone la alternativa del empleo de filtros de grava de flujo ascendente para mejorar la calidad del efluente de tanques sépticos y comprobó en la práctica la eficiencia de tales sistemas de tratamiento, determinando las características fisicoquímicas de las aguas residuales crudas y tratadas utilizando indicadores muy importantes como DQO, DBO y SST utilizados para calcular la eficiencia de remoción en cada fase del tratamiento.
- El Instituto de Salud Pública e Higiene de la India, Sección de Ingeniería Sanitaria, en 1960 trabajó en el uso de tanques sépticos para el tratamiento de aguas cloacales cuando se carece de desagües o alcantarillado subterráneo y mediante una encuesta en la India demostró que los tanques sépticos funcionaban satisfactoriamente, aun si las aguas residuales eran muy concentradas. Sin embargo se determinó que la presencia de lombrices y huevos de áscaris en los influentes del tanque séptico representaban un riesgo potencial para la salud, por lo cual se surgieron técnicas higiénicas como la disposición subsuperficial de los efluentes del tanque o el uso de tuberías profundas para retirar lodo del tanque.

Es importante mencionar que el sistema de fosas sépticas ha tenido un gran desarrollo a nivel comercial, y ha sido aceptada como una nueva tecnología que permite recuperar las aguas residuales domésticas mediante un proceso especial y fácil. En el mercado se pueden adquirir unidades de tratamiento séptico prefabricado como son:

- **Sistema séptico ROTHAFOS.** El cual consta de una fosa séptica para todas las aguas, y está destinada a la recolección y licuación parcial de materiales contaminantes, contenidas en las aguas domésticas y a la retención de materiales sólidos y desechos flotantes.

- **Fosa séptica compacta ROTHEPUR.** Es una fosa séptica monobloque fabricada con polietileno de alta densidad por el método de extrusión soplado. Material imputrescible con dos compartimientos de $2/3$ y $1/3$ de volumen de capacidad de la fosa. Prefiltro incorporado en la segunda cámara con unos 40 a 50 kilogramos de piedras volcánicas; está provista de dos bocas con sus correspondientes tapas para la inspección visual del control de nivel.

En el ámbito regional se puede destacar el trabajo realizado en el año de 1993 por parte del Instituto Departamental de Salud de Nariño conjuntamente con la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO) referente al tratamiento de aguas residuales.

El proyecto consistió en el diseño y construcción de un sistema de depuración constituido por digestores biológicos como son las fosas sépticas acompañados en su función depuradora por filtros anaerobios de lecho granular. El agua residual que recibió este tratamiento era procedente del corregimiento de la Laguna haciendo énfasis en su casco urbano.

Dentro de este proyecto se hicieron continuos seguimientos de la calidad del agua tanto afluente como efluente del sistema respecto a los parámetros que se estudiaron, entre ellos sólidos suspendidos y DBO_5 tuvieron remociones entre un 60% y 70% según informaciones suministradas por parte de funcionarios del Instituto Departamental de salud.

2. PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO

Este trabajo de investigación se constituye en la segunda etapa del proyecto denominado **SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS DE LECHO GRANULAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS**, el cual en su primera etapa (FALG 1), consistió en el diseño, construcción, puesta en marcha y evaluación de las condiciones iniciales de dicho sistema.

Consideramos de importancia, hacer un recuento de las principales características de la planta experimental, las cuales se presentan a continuación para una mejor comprensión del funcionamiento general.

2.1. LOCALIZACION

La planta experimental piloto de nuestra investigación, se encuentra ubicada en predios del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), kilómetro 9 de la vía al oriente sobre el margen izquierdo del río Pasto.

2.2. CAPTACION

Se toma el agua proveniente de las cajillas de desagüe del Centro de Rehabilitación para el Menor, SANTO ANGEL, y luego se conduce a una cajilla final, provista de una rejilla para retención de sólidos y material grueso.

Finalmente el agua residual es transportada por una tubería tipo PVC de 2 " de diámetro, y 175 m de longitud, a la planta experimental piloto.

2.3. ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

2.3.1. Desbaste

Consiste en la separación del agua residual de sólidos de gran tamaño mediante una malla situada en la cajilla de recolección. Sus objetivos son:

- Proteger la planta experimental piloto de la llegada intempestiva que pueden provocar obstrucción en las diferentes unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrasadas por el agua bruta, que podrían complicar la eficiencia del tratamiento.
- Proteger la conducción de atascamientos por grandes sólidos

2.3.2. Tanque Séptico

En un proceso de tratamiento primario aplicable a viviendas aisladas, comunidades o núcleos rurales con una población no mayor a 100 habitantes en servicio domestico. Consiste en un deposito cerrado que cumple con un doble objetivo:

- Decantación primaria donde hay una reducción de los sólidos suspendidos y del material flotante.
- Digestión anaerobia y almacenamiento de fangos.

2.3.3. Filtro anaerobio de Soporte fijo

Es un proceso de crecimiento adherido para el tratamiento de residuos solubles. Esta constituido por un tanque relleno con un lecho de piedras para el soporte del crecimiento de la biopelícula. El agua residual es puesta en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio, circulando de abajo hacia arriba para estabilizar parcialmente la materia orgánica.

2.3.4. Filtro en Arena

Consiste en un tanque que contiene el agua a filtrar. En el fondo se ubica un lecho poroso de material filtrante, que es una capa de arena colocada sobre una capa de grava que a su vez se encuentra sobre un sistema de drenaje que

recolecta el agua filtrada. El agua al pasar a través de este lecho, mejora considerablemente su calidad, eliminando proporcionalmente la materia orgánica y reduciendo una gran cantidad de sólidos. Poco después de iniciarse el proceso de filtración, en la superficie del lecho se forma una película filtrante o Biopelícula, que consiste en un material orgánico e inorgánico retenido en una amplia variedad de microorganismos activos biológicamente que descomponen la materia orgánica.

2.4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

La planta está diseñada para tratar un caudal de 0.038 l/s.

El agua proveniente de las cajillas de desagüe del Centro de Rehabilitación SANTO ANGEL, llega a la unidad de pretratamiento que consiste en una cajilla provista de una malla de 1/4 " dispuesta para la retención de los residuos de gran tamaño.

El agua pretratada llega a la unidad de tratamiento primario (FOSA SEPTICA), a través de una tubería PVC de 2" de diámetro. El cuerpo principal del tanque Séptico es un depósito por el que pasa el agua residual con el objetivo de someterla a una decantación. A su vez el fango decantado se almacena en el mismo depósito siendo sometido a una digestión anaerobia.

El efluente del tratamiento primario se distribuye a dos unidades por medio de vertederos, una de tratamiento aerobio de lecho bacteriano y la segunda unidad es el filtro de lecho granular fijo, que alimenta al filtro en arena.

La conexión de las unidades descritas anteriormente originan dos líneas de tratamiento: (figura 10)

- *Línea de tratamiento anaerobio-aerobio:* fosa séptica y lecho bacteriano.
- *Línea de tratamiento anaerobio:* fosa séptica, filtro anaerobio y filtro en arena.

3. FOSA SÉPTICA MEJORADA

3.1. GENERALIDADES

La fosa séptica mejorada es un proceso de tratamiento primario, aplicable a viviendas aisladas, comunidades o núcleos rurales con una población no superior a 100 habitantes en servicio doméstico. Consiste en un depósito cerrado que cumple con un doble objetivo:

- Decantación primaria donde hay una reducción de sólidos suspendidos y de material flotante.
- Digestión anaerobia y almacenamiento de fangos.

3.2. DATOS PRELIMINARES

3.2.1. Dimensión del tanque.

El diseño de la fosa séptica mejorada, se realizó teniendo en cuenta las antiguas instalaciones existentes en los predios del Sena.

Para un depósito de capacidad hasta 5.2 m³ las dimensiones fueron:

Longitud L = 2.35 mts

Ancho $W = 1.3$ mts

Altura $H = 1.7$ mts.

3.3. CARACTERÍSTICAS

Una característica en cierta medida desfavorable de las fosas sépticas convencionales es que engloban a un mal encantador junto a un digestor deficiente, por cuanto la digestión de los fangos decantados, producen gases que dificultan la sedimentación de los mismos en el depósito principal. Se trata por tanto dos fenómenos incompatibles que deben separarse.

Considerando en la etapa de diseño (FALG 1) se optó por dividir el compartimiento principal en tres zonas; una superior, otra inferior y una zona de evacuación de gases como se indica en la figura 11. El agua residual a tratar atraviesa longitudinalmente el compartimiento superior que cumple la función de zona de decantación; caen al compartimiento inferior que sirve de zona de almacenamiento y digestión de fangos a través de una abertura situada en el fondo del compartimiento superior y que es la única zona de comunicación entre los dos compartimientos.

La separación entre el compartimiento superior o zona de decantación y compartimiento de almacenamiento y digestión de fangos se realiza por medio de

una lámina metálica inclinada a 35° y ubicada entre la entrada y la salida del agua residual en toda la extensión del depósito principal.

Aledaño al compartimiento superior se encuentra la zona de evacuación de gases que al mismo tiempo cumple la misma función de almacenamiento de natas.

Por las variaciones anteriormente mencionadas, que se hicieron a la unidad en la etapa FALG 1, a la fosa séptica se la llamó FOSA SEPTICA MEJORADA.

3.4. COMPONENTES DE LA FOSA SÉPTICA MEJORADA

3.4.1. Cámara de llegada y quietamiento.

Está constituida por una cajilla de ladrillo en soga, revestido en su totalidad por un mortero de impermeabilización.

Las dimensiones internas de la cajilla son:

Ancho	0.5mts
Largo	0.3 mts
Profundidad	0.35mts

La tubería que conduce el agua desde la captación está ubicada a una altura de 0.15 mts a partir del fondo de la cámara (ver figuras 12 y 13)

3.4.2. Tubo de entrada.

Consiste en una Tee sanitaria de PVC de 3" de diámetro, ubicada su cota batea a 1,83 mts del fondo del depósito principal de la fosa séptica y a 0.15 mts del fondo de la cámara de entrada.

La Tee de entrada está acoplada a una tubería sanitaria en PVC de 3" de diámetro la cual penetra 0.15 mts cuando menos bajo el nivel del líquido en el depósito principal.

3.4.3. Compartimiento principal.

Está constituido en muro doble de ladrillo y recubierto en su parte interna por una capa de mortero de repello, una capa de esmalte en cemento y una última capa de mortero especial para impermeabilización con el fin de prevenir filtraciones.

La superficie externa está recubierta por un pañete de mortero impermeabilizado.

El fondo del tanque está recubierto por una capa de mortero impermeable que provee el desnivel necesario para la evacuación del cieno a través de un desagüe de 6" de diámetro en tubería sanitaria de PVC. Ver figuras 11, 12 y 13

3.4.3.1. Lámina inclinada. Constituida por una lámina de acero galvanizado de 1.20 mts de ancho por 2.40mts de largo inclinada 35° respecto a la horizontal, empotrada en sus dos extremos a los muros de la fosa séptica atraviesa longitudinalmente el depósito principal esta lámina además divide el depósito principal en las diferentes zonas. Ver figuras 11, 12 y 13

3.4.3.2. Zona de decantación. Comprende la parte superior sobre la lámina en el depósito principal. A esta zona llega el agua residual y se realiza la sedimentación de los sólidos suspendidos enviándolos a la parte inferior. Ver figuras 11 y 13

3.4.3.3. Zona de digestión y almacenamiento de lodos. Está ubicada en la parte inferior del tanque bajo la lámina inclinada. A esta zona llegan los sedimentos a través de una abertura situada en el fondo del compartimiento superior. Está provista de un dintel metálico inclinado a 25 grados respecto a la horizontal que atraviesa el tanque longitudinalmente el cual tiene la función de impedir la resuspensión de los sólidos hacia la parte superior. Ver figuras 11 y 13.

3.4.3.4. Zona de gases. Se encuentra ubicada aledaña al compartimiento superior a todo lo largo del tanque con ancho de 0.35mts. esta zona se consigue

por medio de un dobléz longitudinal de la lámina metálica que forma una superficie vertical de 0.2mts de alto en toda la longitud del depósito. Ver figuras 11 y 13.

3.4.4 Tubo de salida.

Formado por una Tee de ventilación sanitaria en PVC de 2" de diámetro ubicada a 1.70mts a partir del fondo del tanque con una diferencia de 0.12mts entre la cota batea de la Tee de entrada y la cota batea de la Tee de salida.

Internamente se acopla a un tubo sanitario de 2" de diámetro que penetra bajo el nivel del líquido 0.30mts con el fin de impedir la salida de natas y sólidos flotantes. Externamente se encuentra acoplado a la Tee un codo de 90° en PVC de 2" de diámetro el cual orienta el flujo hacia abajo en la cámara de distribución. Ver figuras 11, 12 y 13.

3.4.5. Cámara de salida y distribución.

Esta estructura tiene la función de recibir el agua residual efluente del depósito principal una vez ya tratada y distribuir equitativamente el caudal hacia las unidades de filtro granular de flujo ascendente y el filtro percolador de lecho bacteriano por medio de vertederos rectangulares contruidos en lámina metálica

de acero galvanizado, las dimensiones de la cámara y vertedero se indican en las figuras 11, 12 y 13.

3.4.6. Cubierta.

Constituida por una losa maciza de 0.08mts de espesor que cubre la totalidad del depósito principal, elaborada en concreto reforzado.

En esta se ubican dos accesos para inspección de sección cuadrada de 0.40mts por 0.40mts y tres orificios de 6" de diámetro para ventilación y salida de gases a los cuales se encuentran acoplados conos de ventilación elaborados en lámina metálica de acero galvanizado como se indica en la figura 14.

4. FUNCIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA - SEGUNDA ETAPA

Como ya se ha mencionado en este trabajo, en la primera fase de esta investigación se llevó a cabo la puesta en marcha y la evaluación de las condiciones iniciales del sistema.

El propósito de la segunda etapa de investigación de esta línea de tratamiento es estudiar el proceso de maduración del sistema para determinar las eficiencias que pueden alcanzar las diferentes unidades de tratamiento.

Por tal razón, las actividades desarrolladas en esta fase correspondieron a la operación y mantenimiento; realización de laboratorios y análisis de resultados.

4.1. MANTENIMIENTO DE LA FOSA SÉPTICA MEJORADA

4.1.1. Medidas Preventivas.

El hecho de trabajar con aguas residuales implica un constante riesgo de adquirir cualquier tipo de infección ya sea de la piel o intestinal a causa de los gérmenes patógenos y todo tipo de microorganismos presentes en este tipo de aguas.

Para prevenir este riesgo se deben tomar todas las medidas sanitarias de seguridad con el propósito de impedir en lo posible entrar en contacto directo con este tipo de aguas.

Por lo anterior, durante las labores de mantenimiento especialmente, se utilizaron implementos de protección corporal para manipular las herramientas de limpieza, estos elementos de protección son:

- Guantes de caucho para protección de manos
- Blusas para proteger la parte superior del cuerpo
- Tapabocas para prevenir salpicaduras en el rostro
- Botas plásticas para mantener protegidas las extremidades inferiores

Puesto que las labores de mantenimiento se realizaron de manera permanente, estos elementos de protección se debieron utilizar a diario.

4.1.2. Limpieza de la captación.

Se realiza dos veces por semana. utilizando una manguera plástica se sondea la tubería de 6" que une las cajillas de desagüe de los cuartos de baño para remover los posibles sólidos que pueden interrumpir el flujo de agua residual hacia la tubería que conduce las aguas residuales a la caja de recolección.

La tubería entre las cajillas de desagüe y la caja de recolección se limpia diariamente ya que fácilmente se obstruye por cuanto la totalidad de los sólidos presentes en el agua residual pasan a través de ella antes de ser retenidos por las rejillas. Para su mantenimiento se sondea en la dirección del flujo con manguera plástica.

En la caja de recolección se efectuó mantenimiento tres veces por semana, teniendo que retirar las rejillas de su sitio para eliminar los sólidos retenidos en ellas y lavarlas con agua potable. Las paredes de la caja se lavan con agua a presión restregando fuertemente para remover partículas adheridas a ellas. El fondo de la caja se limpia con cepillo y recogedor para remover las partículas sólidas de tamaño considerable que eventualmente hubieran podido atravesar las rejillas.

4.1.3. Limpieza de la tubería de conducción.

Esta presentó bastante dificultad para su mantenimiento ya que se debe contar con una manguera de gran longitud para realizar un sondeo y poder remover los eventuales taponamientos que se presentaron. En caso de no obtener resultados de esta manera se recurrió al llenado con agua potable de la caja de recolección creando una cabeza de presión suficiente para permitir la salida del elemento que provoca la obstrucción.

4.1.4. Limpieza de la cámara de quietamiento y llegada.

Este mantenimiento se realizó diariamente, para ello se remueven los sólidos que decantan en el fondo de la estructura con la ayuda de un colador plástico, al mismo tiempo se restriega las paredes de la cámara y la tubería de entrada utilizando un cepillo, el cual remueve cualquier partícula que se pudiera adherirse a la superficie.

4.1.5. Limpieza del compartimiento principal.

El mantenimiento del depósito principal se realizó tres veces por semana y antes de cualquier operación en el interior del tanque, los compartimientos de inspección deben mantenerse abiertos durante un tiempo suficiente no inferior a 15 minutos para permitir la salida de gases tóxicos o explosivos que pudieran estar retenidos en el interior. En las tareas de limpieza se presta atención a lo siguiente:

- Eliminar grasas, natas y sólidos flotantes presentes en la superficie del agua, para lo cual se utiliza un colador acoplado a un mango largo el cual se desplaza a través de los compartimientos de inspección con sumo cuidado para no provocar turbulencias y por tanto resuspensión de sólidos.

- Raspar la superficie de la lámina inclinada de decantación para remover los sólidos que se hayan adherido a ella y puedan descomponerse. Esto se logra con la utilización de un cepillo plástico de mango largo que se maniobra con sumo cuidado a través de los compartimientos de inspección para no provocar resuspensión de estos sólidos ni salpicaduras a quien realiza esta operación.

Ya que el período de limpieza del compartimiento principal de la fosa séptica mejorada, (1 año), se cumplió en esta etapa, fue necesario el vaciado de la unidad y evacuación de una capa de lodos acumulados de aproximadamente 20cm.

El vaciado de la unidad se llevó a cabo retirando el tapón de la correspondiente tubería de desagüe.

4.1.6. Limpieza de la cámara de distribución.

Esta zona requiere la extracción de algunos sólidos flotantes tales como hojas de árboles aledaños a la Fosa Séptica, además se deben mantener libres de impurezas el vertedero metálico, el fondo y paredes de la cámara para prevenir el taponamiento de las tuberías que conducen el agua al filtro anaerobio y al lecho bacteriano.

4.2. LABORATORIOS REALIZADOS EN LA FASE II

En esta fase de la línea de tratamiento FALG 2, se realizaron 20 muestreos, realizados semanalmente, estos muestreos se hicieron en 6 lugares correspondientes a la entrada a la Fosa Séptica Mejorada (muestra1), Salida de la Fosa Séptica Mejorada (muestra 2) , Salida Filtro Anaerobio de lecho granular (muestra 3), salida Filtro Aerobio (muestra 4), salida del Filtro Anaerobio en Arena (muestra 5) y salida Sedimentador Filtro Aerobio respectivamente

Los ensayos realizados fueron:

- DQO
- DBO₅
- Alcalinidad
- Dureza
- pH
- Temperatura
- Nitritos
- Nitratos
- Coliformes Totales
- Sólidos Suspendidos

- Oxígeno Disuelto

4.2.1. Toma de muestras

Para obtener resultados confiables en los ensayos de laboratorio se necesita cumplir con ciertas normas y recomendaciones para la toma de muestras como son:

4.2.1.1. Tipos de muestras.

4.2.1.1.1. Muestra simple.

Solo representa la composición del agua para un tiempo y lugar específico. Este tipo de muestras se usan entre otras para:

- Determinar las características de descargas instantáneas.
- Estudiar variaciones y extremos en un flujo de desechos en determinado periodo.
- Determinar si la composición de la corriente para hacer el muestreo es razonablemente constante

4.2.1.1.2. Muestra compuesta.

Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos.

4.2.1.1.3. Muestra integrada.

Consiste en el análisis de muestras instantáneas tomadas en diferentes puntos simultáneamente o tan cerca como sea posible. La integración debe hacerse de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Para nuestro caso tomamos muestras compuestas debido a la variación del caudal y a la contaminación de las aguas.

4.2.1.2. Recipientes para las muestras.

El tipo de recipiente usado para tomar la muestra es de vital importancia porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producirse una adsorción sobre estas. Los recipientes por lo general son de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico.

En nuestro trabajo se utilizaron básicamente dos tipos de recipientes:

4.2.1.2.1. Para análisis fisicoquímico.

Se utilizaron recipientes plásticos, con tapón y tapa rosca de 1/2 galón de capacidad debidamente rotulado.

El equipo para la toma de muestras se lava inmediatamente después de haberse desocupado con suficiente agua limpia y jabón y al recoger las muestras se lavan por lo menos tres veces con una cantidad pequeña del agua a muestrear.

4.2.1.2.2. Para análisis bacteriológicos.

Se utilizaron recipientes plásticos, previamente esterilizados, de 100 ml de capacidad. Estos deben estar sellados y únicamente deben abrirse en el momento del muestreo siendo marcados después de la toma.

4.2.2. Descripción de Ensayos Realizados

4.2.2.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

a) **Equipo:**

- Reactor COD
- Gradilla
- Calorímetro Hatch DR 700
- Pipetas
- Probetas

b) **Reactivos:**

- COD de bajo rango 0 – 150 mg/l DQO
- COD de alto rango 0 – 1500 mg/l DQO
- Agua desmineralizada

c) **Procedimiento:**

- Homogeneizar la muestra durante 2 minutos.

- Precalentar el reactor COD hasta 150°C.

- Preparar una muestra patrón o blanco agregando 2 ml de agua destilada a la cápsula que contiene el reactivo para la demanda química de oxígeno ya sea de alto o bajo rango como se estime conveniente.

- Pipetear 2 ml del agua residual y mezclar con el reactivo durante 1 minuto.

- Calentar la muestra preparada durante 2 horas. Al cabo del tiempo apagar el reactor y dejar enfriar los tubos durante 20 minutos hasta alcanzar 120°C o menos.

- Instalar el módulo de software correspondiente en el módulo Hatch DR 700:
Para bajo rango 0 – 150 mg/l DQO módulo 420 programa 42.06
Para alto rango 0 – 1500 mg/l DQO y 0 – 15000 mg/l DQO módulo 610 programa 61.08.

- Ajustar la intensidad lumínica del colorímetro DR 700.

- Colocar el blanco dentro del compartimiento para celdas del colorímetro y calibrar a ceros presionando la tecla ZERO.

- Introducir uno a uno los tubos con las muestras de agua residual preparadas anteriormente y hacerla lectura correspondiente presionando READ en el aparato. El valor que aparece en pantalla se expresa en mg/l de DQO.

4.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅)

a) Equipo:

- Frascos para DBO

- Frasco de Winkler

b) Reactivos:

- NaN_3 Yoduro alcalino
- Agua destilada.

c) Procedimiento:

- Airear hasta la saturación el agua de dilución.
- Diluir la muestra en la proporción más adecuada.
- Usar de esa dilución, mínimo 2 frascos para DBO completamente llenos. Tapar con cuidado sin dejar burbuja y dejar en reposo por 15 minutos.
- Destapar con cuidado sin crear turbulencia uno de ellos y determinar inmediatamente el oxígeno disuelto por el método de Winkler. El oxígeno disuelto así medido, es el oxígeno disuelto inicial día cero.
- Dejar el segundo frasco o varios de ellos, en incubación durante cinco días en la oscuridad.

- Después de dicho tiempo, destápelo con mucho cuidado y determine el oxígeno disuelto por el método de Winkler. El valor hallado es el correspondiente al oxígeno disuelto en el día quinto.
- Calcular con estos datos y el respectivo factor de dilución la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días DBO_5 .

$$DBO_5 \text{ (mgO}_2\text{/lt)} = (OD_1 - OD_5) * \left(\frac{V_{L.S.1}}{V_{L.S.2}} \right) * Fdil$$

donde:

OD_i = Oxígeno disuelto inicial

OD₅ = Oxígeno disuelto a los cinco días

V_{i.s.1} = Volumen del líquido de siembra agregado como inóculo = 0.1 V_{i.s.2}

V_{i.s.2} = Volumen del líquido de siembra usado en el ensayo propio por dilución de dicho líquido (agua negra doméstica sedimentada).

Fdil = Factor de dilución usado en el ensayo

Fdil = Volumen frasco (ml)/ Volumen muestra original (ml) cuando las diluciones se hacen directamente en los frascos para DBO (volúmenes de 25m a 300 ml)

Fdil = 1/ % de dilución/100 cuando se usa porcentaje de dilución (los cuales son convenientes cuando se realiza gran número de determinaciones de una misma muestra).

4.2.2.3. Nitratos

a) Equipo:

- Celdas de 10 ml
- Beakers
- Colorímetro Hatch DR 700
- Pipetas
- Módulo de 500 nm.

b) Reactivos:

- Almohadillas con Nitra Ver5. uno por cada ensayo

c) Procedimiento:

- Instalar el módulo 510 en el Colorímetro DR 700. escoger programa 50.05
- Llenar la celda de 10 ml con agua residual y adicionar el contenido de la almohadilla con Nitra Ver 5.
- Agitar la celda durante 1 minuto y dejarla reposar durante 5 minutos más.
- Calibrar a ceros el colorímetro DR 700 utilizando un blanco con agua desmineralizada.

- Luego de los 5 minutos colocar las muestras preparadas en el colorímetro y realizar la lectura usando READ. El resultado mostrado en pantalla se expresa en mg/l de Nitrato como Nitrógeno, para convertir el valor a unidades de mg/l de nitratos NO_3 se multiplica por 4.4.

4.2.2.4. Nitritos

a) Equipo:

- Celdas de 10 ml.
- Módulo de 500 nm.
- Colorímetro Hatch DR 700
- Pipetas

b) Reactivos:

- Almohadillas con Nitri Ver 3.

c) Procedimiento:

- Instalar el módulo 50-01 en el colorímetro, ajustar la intensidad lumínica del DR 700 y escoger el programa número 50.08.1.
- Llenar la celda de 10 ml con agua residual y agregar el contenido de la almohadilla con Nitri Ver 3, agitar por 1 minuto.

- Dejar reposar la muestra preparada durante 10 minutos.

- Calibrar a ceros el DR 700 utilizando una celda de 10 ml con agua destilada.

- Colocar la muestra preparada en el colorímetro para realizar la lectura correspondiente presionando la tecla READ. El resultado se expresa en mg/l de nitritos como nitrógeno ($\text{NO}_2 - \text{N}$). Para convertir los resultados a mg/l de NO_2 se multiplica por 3.3.

4.2.2.5. Dureza Total

a) Equipo:

- Erlenmeyer.
- Cilindro graduado de 100 ml.
- Agitador
- Pipetas
- Titulador digital

b) Reactivos:

- Solución amortiguadora Hardness 1.
- Almohadilla de indicador en polvo Mamber 2 Hardness.

- Agua desmineralizada.
- Cartucho de Titulación EDTA según cuadro 1.

c) Procedimiento:

- Seleccionar un volumen para las muestras y un cartucho EDTA para titulación que corresponda con la concentración de dureza esperada del cuadro 1.
- Insertar el tubo de suministro limpio en el cartucho titulador. Instalar el cartucho en el cuerpo del titulador según lo especificado en el manual.
- Sostener el titulador digital con la punta del cartucho hacia arriba, hacer girar la perilla de suministro para sacar el aire y unas gotas del titulador. Volver a ajustar el contador a cero y limpiar la punta del cartucho.
- Utilizar un cilindro graduado o una pipeta para medir la muestra del volumen encontrado en el cuadro 1. Pasar la muestra al Erlenmeyer y agregar agua desionizada hasta alcanzar la marca de los 100 ml si es necesario
- Añadir 1 ml de solución amortiguadora para dureza Hardness 1 y agitar suavemente para mezclar.
- Añadir el contenido de una almohadilla de reactivo en polvo Mamber 2 y agitar para mezclar.

- Sumergir la punta del tubo de suministro en la muestra y usarla para agitar el líquido mientras se titula con EDTA pasando del color rojo a un azul puro. Anotar el número de dígitos que se usa.

- Para calcular la concentración final se utiliza la siguiente formula:
 Dígitos requeridos * dígito multiplicador cuadro 1 = mg/l de dureza como Ca . CO₃.

Tabla 9. Especificaciones de Reactivos para Dureza Total

RANGO (MG/L COMO CaCO ₃)	VOLUMEN DE LA MUESTRA (ML)	CARTUCHO (M EDTA)	NO. DE CAT.	DÍGITO MULTIPLICADOR
10 a 40	100	0,08	14364-01	0,1
40 a 160	25	0,08	14364-01	0,4
100 a 400	100	0,8	14959-01	1
200 a 800	50	0,8	14959-01	2
500 a 2000	20	0,8	14959-01	5
1000 a 4000	10	0,8	14959-01	10

4.2.2.6. Alcalinidad

a) Equipo:

- Titulador digital
- Erlenmeyer
- Agitador
- Pipetas
- Cilindros graduados de 100 ml

b) Reactivos:

- Almohadillas de reactivo en polvo Verde de Bromocresol – rojo de metilo.
- Almohadilla de reactivo en polvo Fenofaleina.
- Cartucho de titulación con ácido sulfúrico.
- Agua desmineralizada.

c) Procedimiento:

- Seleccionar un volumen de la muestra y el cartucho para titulación de ácido sulfúrico que corresponden a la concentración esperada de alcalinidad en mg/l de CaCO_3 del cuadro 2.

- Insertar un tubo de suministro limpio en el cartucho para titulación.

- Sostener el titulador digital con la punta hacia arriba y hacer girar la perilla de suministro para expulsar el aire del tubo hasta que aparezca una gota del titulador. Reajustar el contador a ceros y secar la punta del tubo.

- Usar un cilindro graduado para medir el volumen de la muestra siguiendo el cuadro 2. transferir la muestra al Erlenmeyer y completar con agua desmineralizada hasta la marca de 100 ml si es necesario.

- Agregar el contenido de una almohadilla indicadora de Fenofaleina y agitar para mezclar.

- Si el color se torna rosado titular hasta alcanzar el punto de ausencia de color. Introducir la punta del tubo de suministro en la solución y revuelva mientras titula con ácido sulfúrico. Anotar la cantidad requerida.

- Calcular:

- Alcalinidad parcial = dígitos requeridos * multiplicador digital del cuadro 2. En mg/l como CaCO_3 de alcalinidad parcial.

- Para alcalinidad total agregar el contenido de una almohadilla de Verde de Bromocresol – rojo de metilo al Erlenmeyer agitando para mezclar.

- Continuar con la titulación con ácido sulfúrico hasta un color azul verdoso claro, a un violeta gris claro o un rosado claro según requiera la composición de la muestra. Ver cuadro 3. Anotar el total de dígito requeridos.

- Calcular:

- Alcalinidad total = dígitos requeridos totales * multiplicador digital cuadro 2. En mg/l como CaCo₃ de alcalinidad total.

Tabla 10. Especificaciones Reactivos para Alcalinidad

Rango (mg/l como CaCo ₃)	Volumen de la Muestra (ml)	Cartucho NH ₂ SO ₄	No. de Cat.	Dígito Multiplicador
10 a 40	100	0,16	14388-01	0,1
40 a 160	25	0,16	14388-01	0,4
100 a 400	100	1,6	14389-01	1
200 a 800	50	1,6	14389-01	2
500 a 2000	20	1,6	14389-01	5
1000 a 4000	10	1,6	14389-01	10

4.2.2.7. Sólidos Suspendidos

a) Equipo:

- Beaker 600 ml
- Celdas de vidrio de 25 ml
- Colorímetro Hatch DR 700

- Pipetas 25 ml
- Módulo de 810 nm.

b) Procedimiento:

- Homogeneizar la muestra durante 2 minutos.
- Vaciar la muestra en un beaker de 600 ml.
- Pipetear 25 ml de la muestra licuada a las celdas de vidrio.
- Instalar el módulo 81-01 en el DR 700 y ajustar la intensidad lumínica.
- Escoger el programa 81.04.1
- Preparar un blanco de 25 ml con agua destilada y calibrar el colorímetro a ceros.
- Colocar la muestra de agua residual preparada en el compartimiento para celdas del colorímetro y hacer la lectura presionando READ. El resultado que se muestra en pantalla se expresa en mg/l de sólidos residuales no filtrables.

4.2.2.8. PH

a) Equipo:

- Peachímetro o potenciómetro
- Beaker de 250 ml
- Frasco dosificador para agua destilada

b) Procedimiento:

- Enjuagar el electrodo con agua destilada y secarlo con un paño limpio.

- Llenar la muestra en el beaker.

- Introducir el electrodo dentro de la muestra, accionar el aparato y esperar a que la lectura se estabilice.

- Leer el valor del pH indicado en la pantalla del peachímetro.

4.2.2.9. Temperatura

a) Equipo:

- Termómetro

b) Procedimiento:

- Introducir el termómetro dentro de la fuente de agua durante 5 minutos.
- Realizar la lectura en grados centígrados en la columna del termómetro.

4.2.2.10. Oxígeno Disuelto

a) Equipo:

- Oxímetro Digital Handylab Oxi 1/set
- Agua destilada

b) Procedimiento:

- Ajustar el Oxímetro según las instrucciones del fabricante.
- Lavar con agua destilada el electrodo y secarlo con un paño suave
- Introducir el electrodo en la fuente de agua, accionar el aparato y esperar hasta que la lectura se estabilice.
- Registrar la lectura hecha en pantalla ya sea en mg/l de oxígeno disuelto o en porcentaje de saturación.

4.2.2.11. Bacteriológico N.M.P. de Coliformes Totales

a) **Equipo:**

- Autoclave
- Balanza
- Tubos de ensayo con bujía Durham
- Pipetas
- Mechero
- Agua destilada

b) **Reactivos:**

- Agar nutritivo.
- Caldo lactosado verde Bilis brillante.

c) **Procedimiento:**

Para la realización de los análisis bacteriológicos se utiliza el Método de los Tubos Múltiples, efectuándose dos exámenes, el presuntivo y el confirmativo.

Prueba presuntiva NMPCT

- Disolver la muestra de agua tratada con agua destilada en diluciones de 100 ml, 10 ml y 1 ml.

- Llenar los tubos de ensayo que contienen una bujía Durham con el medio de cultivo.

- Sembrar 3 tubos por cada serie de dilución escogida con agar nutritivo.

- Colocar la muestra en la incubadora a 35°C durante un tiempo aproximado de 24 horas

- Cuando el resultado es positivo, al descomponerse el medio por la acción bacteriana y como fruto de su metabolismo, se forma una burbuja que se deposita en la bujía. En este caso se somete a la prueba confirmativa

Prueba confirmativa NMPCF

- Llenar los tubos de ensayo que contienen la bujía Durham con el caldo lactosado verde bilis brillante.

- Con un aplicador bacteriológico, transferir una muestra de cada uno de los tubos positivos de la prueba presuntiva, a los tubos con caldo lactosado verde bilis brillante.

- Colocar la muestra en la incubadora a 35° C durante un tiempo aproximado de 24 horas.

- Cuando el resultado es positivo, se forma una burbuja que se deposita en la bujía.

- Resultados: los resultados del NMPCF deben ser calculados a partir de la tabla del NMP, con base en el número de tubos positivos en cada difusión a partir de la prueba confirmativa.

4.3. PRESENTACION DE RESULTADOS

4.3.1. Resultados Fosa Séptica Mejorada

A continuación se presenta la información de los diferentes parámetros obtenidos en laboratorio de la entrada y salida de la Fosa Séptica Mejorada, además se presenta el porcentaje de remoción o variación de cada uno de los parámetros.

4.3.2. ANALISIS DE RESULTADOS FOSA SEPTICA MEJORADA

- **DQO:** La Fosa Séptica Mejorada presento porcentajes de remoción para DQO con valores: Máximo de 83%, Mínimo de 15% y Medio de 57.34%, durante todo el periodo en estudio. Cabe aclarar que en la semana 16, se produjo el lavado del compartimento principal de la Fosa Séptica Mejorada y remoción de lodos decantados, puesto que el periodo de limpieza de la misma, determinado en su diseño, ya se cumplió. Una vez realizado el lavado, el porcentaje promedio de remoción en DQO ascendió de un 50% (antes del lavado), a un 83%, considerado como un porcentaje de remoción alto para este tipo de tratamiento primario.

- **DBO5:** en cuanto a remoción de DBO5, en la Fosa Séptica Mejorada, se tuvieron los siguientes resultados durante el periodo en estudio: Remoción máxima 74.5%, Remoción mínima 17.95% y Remoción media 48.18%. Antes y después del lavado de la unidad los resultados promedios fueron: Antes del lavado 47.67% y después del lavado 49.40%.

- **SOLIDOS SUSPENDIDOS:** La función principal de la Fosa Séptica Mejorada es la remoción de Sólidos Suspendidos, obteniéndose los siguientes resultados a lo largo del periodo de análisis: Remoción máxima 78.77%; Remoción mínima 25.81% y remoción media 66.55%. Antes y después del lavado de la

unidad, los resultados fueron: antes del lavado, remoción media: 64.37% y después del lavado, remoción media; 69.19%. Según los últimos resultados podemos concluir que después del lavado de la unidad, su eficiencia en cuanto a remoción de Sólidos Suspendidos aumento de manera considerable, puesto que aumenta su volumen útil y la resuspensión de lodos decantados es mínima.

- **NITRITOS Y NITRATOS:** El valor medio de nitritos a la entrada de la Fosa Séptica Mejorada fue de 0.156 mg/l de NO₂ y a la salida de 0.115 mg/l de NO₂. Para nitratos, los valores medios fueron, a la entrada 27.1 mg/l de NO₃ y a la salida 19.33 mg/l de NO₃. Según estos valores concluimos que se produce el fenómeno de Desnitrificación, debido a las condiciones anaerobias en que trabaja la unidad, y además la concentración de oxígeno disuelto en inferior a 1 mg/l de O₂ impidiéndose el proceso de Nitrificación.

- **ALCALINIDAD:** Los valores medios de alcalinidad tanto a la entrada como a la salida de la Fosa Séptica Mejorada son 158.39 mg/l de CaCO₃ y 143.92 mg/l de CaCO₃ respectivamente. Según estos valores la alcalinidad del agua residual se encuentra en un rango medio y la disminución que se presenta de la entrada a la salida de la unidad no es significativa. La alcalinidad del agua residual es importante, ya que ayuda a regular los cambios de Ph causados por la adición de sustancias acidas en ella.

- **DUREZA:** Los valores medios de Dureza, tanto a la entrada como a la salida de la Fosa Séptica Mejorada son 133.88 mg/l de CaCO₃ y 121.36 mg/l de CaCO₃ respectivamente. De acuerdo con estos resultados, la dureza del agua residual tratada, corresponde a una Dureza media.

- **TEMPERATURA:** El valor medio de Temperatura de estas aguas residuales tratadas, esta alrededor de los 17 °C, temperatura no optima para los procesos biológicos anaerobios de degradación de la materia orgánica, la cual oscila entre 30 y 35 °C.

- **PH:** Los valores medios de Ph tanto a la entrada como a la salida de la Fosa Séptica Mejorada son 7.69 y 7.59 respectivamente. La variación de este valor de la entrada a la salida de la unidad no es significativa, manteniéndose un Ph estable, debido en gran parte a la alcalinidad del agua, la cual evita variaciones bruscas de este parámetro antes posibles ingresos de diferentes ácidos en ella.

- **OXIGENO DISUELTO:** Debido a las condiciones anaerobias en que trabaja la Fosa Séptica Mejorada, la concentración de Oxigeno Disuelto esta por debajo de 1 mg/l de O₂, siendo los valores medios a la entrada y a la salida de la unidad: 0.36 y 0.15 mg/l de O₂ respectivamente.

4.3.4. ANALISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA ANAEROBIO

➤ DQO

La remoción total del sistema anaerobio en cuanto a DQO es del 83%. De este porcentaje, el 20% corresponde a la fosa séptica; el 35% al filtro anaerobio y el 28% al filtro en arena. Estos valores nos indican un comportamiento óptimo del sistema en conjunto, en cuanto a remoción de materia orgánica. Además se verifica el importante papel que desempeña el filtro anaerobio como tratamiento secundario y el filtro en arena como tratamiento terciario, complementando el trabajo del filtro anaerobio e incrementando su eficiencia.

➤ DBO₅

La remoción de materia orgánica biodegradable que presenta el sistema es del 80%. Este valor llena las expectativas que se tienen en torno a la línea de tratamiento anaerobio. Por lo tanto, se puede decir que la eficiencia alcanzada por el sistema con relación a este parámetro es bastante satisfactoria. Ahora bien, de esta eficiencia, el 22% corresponde a la fosa séptica; el 34% al filtro anaerobio y el 24% al filtro en arena. Estos resultados permiten confirmar al igual que en el caso de la DQO, el adecuado funcionamiento de los tratamientos secundario y terciario

en cuanto a remoción de materia orgánica biodegradable, que es el principal objetivo de este tipo de tratamientos. Además se puede apreciar que el filtro anaerobio y el filtro en arena trabajando en conjunto alcanzan una eficiencia del 70% sobre la remoción total del sistema, con respecto a la eliminación de materia orgánica biodegradable.

➤ **SOLIDOS SUSPENDIDOS**

El sistema presenta una remoción total de sólidos suspendidos del 89% cumpliendo la fosa séptica de una manera excelente con su papel de tratamiento primario al encargarse del 67% de la remoción de sólidos suspendidos. Las eficiencias de las otras unidades de tratamiento con respecto a este parámetro son del 8% en el filtro anaerobio y del 14% en el filtro en arena, que son adecuadas puesto que la eliminación de sólidos suspendidos no es la función principal de los tratamientos secundario y terciario.

➤ **NITRITOS Y NITRATOS**

Los nitritos se disminuyeron durante el proceso; presentando valores medios de 0.16 mg/lit NO₂ – N a la entrada del sistema y 0.05 mg/lit NO₂ - N a la salida del mismo. Los nitratos se comportaron de la misma manera con valores medio de 23.14 mg/lit NO₃ – N y 12.46 mg/lit NO₃ – N, a la entrada y salida del sistema

respectivamente. Con estos datos podemos observar que se presentó el proceso de desnitrificación. En este caso, se habla de desnitrificación, debido a las condiciones anaerobias en que trabaja el sistema de tratamiento, siendo la concentración de oxígeno disuelto inferior a 1mg/lt.

➤ **ALCALINIDAD**

El sistema anaerobio presentó una alcalinidad promedio de 157.89mg/lt CaCO_3 a la entrada y 134.95 mg/lt CaCO_3 a la salida, los valores de este parámetro se encuentran dentro del rango de aguas residuales domésticas. La disminución de los valores de alcalinidad que se presentan en la entrada respecto a la salida del sistema, nos indican que este parámetro actúa como amortiguador ante disminuciones de pH causadas por la llegada de sustancias ácidas en el agua.

➤ **DUREZA**

Según los valores obtenidos de este parámetro (39.2 – 212.8), podemos clasificar el agua residual que se está tratando, como agua medianamente dura, lo que nos indica que es fácilmente tratable.

➤ **TEMPERATURA**

Las temperaturas de las aguas residuales que se presentaron en el sistema estuvieron en un rango de 12.6°C a 20.3°C. Estos valores no son óptimos para el buen desempeño de los procesos biológicos anaerobios de degradación de la materia orgánica, puesto que requieren temperaturas entre los 25°C y 35°C.

➤ **PH**

El pH del sistema tiene valores que oscilan entre 6.93 – 8.12, cumpliendo con el rango de pH para las aguas residuales domésticas el cual se encuentra entre 6.5 – 8.5. En general, durante el periodo de estudio, el pH del agua se mantuvo estable, debido en gran parte a la alcalinidad, la cual evita variaciones bruscas de este parámetro, ante el posible ingreso de sustancias ácidas.

➤ **OXIGENO DISUELTO**

Los valores obtenidos de oxígeno disuelto fueron de 0.38 mg/lit a la entrada del sistema y 0.17mg/lit a la salida del mismo, con estos datos podemos afirmar que el proceso está trabajando en las condiciones anaerobias requeridas.

➤ **COLIFORMES TOTALES**

Se obtuvo una remoción media de 90.28%, lo que significa que se está realizando una buena remoción en cuanto a este parámetro aunque nuestro sistema no tiene como objetivo la eliminación bacteriológica.

5. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES ESPECIFICAS

- Teniendo en cuenta que las condiciones de temperatura en que trabajo la Fosa Séptica Mejorada, y en general todo el sistema de tratamiento, no fueron optimas, los resultados en cuanto a remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos fueron buenos.
- La Fosa Séptica Mejorada demostró ser un muy buen decantador, con una remoción de Sólidos Suspendidos que supera las eficiencias alcanzadas por un decantador primario convencional (60 - 65 %) y por las demás unidades que funcionan en este tratamiento anaerobio, con un valor promedio superior al 66% en remoción de este parámetro. Además remueve considerablemente materia orgánica, tarea ligada al proceso de sedimentación, generando eficiencias promedio en eliminación de DBO5 de 48.18% y eliminación de DQO de 57.34%; superando ampliamente a los decantadores primarios convencionales, que alcanzan eficiencias entre 30% y 35% y teniendo en cuenta que la eliminación de Materia Orgánica no es una función específica de esta unidad de tratamiento primario.

- El lavado del compartimiento principal de la Fosa Séptica Mejorada, es de vital importancia realizarlo cada año, según especificaciones del diseño, o si las condiciones de limpieza lo ameritan, de manera correcta y oportuna, debido a que de él depende, en gran parte, la eficiencia de la unidad tanto para remoción de Sólidos suspendidos como para remoción de DQO Y DBO5. Las eficiencias en la eliminación de estos parámetros, como nos podemos dar cuenta en los resultados específicos, ascienden una vez el deposito principal de la Fosa Séptica Mejorada ha sido lavado, y una de las razones principales para que esto ocurra, es la remoción de lodo decantado de la zona de sedimentación del Tanque Séptico, aumentando así su volumen útil y rendimiento del proceso de tratamiento, además, se evita de manera considerable la resuspensión de Sólidos decantados y materia orgánica, impidiendo su salida en el caudal efluente.

- No se presento remoción alguna de coliformes fecales ni de Coliformes totales, durante el proceso de estudio de la Fosa Séptica Mejorada. Podemos concluir entonces, que la Fosa Séptica Mejorada no brinda buenos resultados en cuanto a remoción bacteriológica. Además la unida no tiene como función principal la eliminación de este parámetro.

- Ante eventos de entrada de aguas residuales con caudales picos, concentraciones extremas de materia orgánica y sólidos Suspendidos, la Fosa Séptica Mejorada tuvo un buen comportamiento, observándose que la eficiencia de la unidad se mantiene estable ante tales situaciones.
- Es de vital importancia un continuo proceso de operación y mantenimiento de la unidad, consistente en el retiro oportuno de natas y sólidos flotantes presentes en la superficie del líquido, en el depósito principal de la Fosa Séptica Mejorada, por cuanto estos pueden ocasionar obstrucciones en la tubería de salida y ocasionalmente disminuyen la eficiencia de esta unidad.

5.2. CONCLUSIONES GENERALES

- Las eficiencias alcanzadas por el sistema de tratamiento anaerobio en cuanto a la eliminación de materia orgánica y sólidos suspendidos son óptimas, ya que cumplen con los requerimientos del decreto 1594 de 1984, el cual estipula que todo vertimiento a un cuerpo de agua, para un usuario nuevo debe cumplir con una remoción de sólidos suspendidos y de DBO_5 mayor o igual al 80% en carga. Los resultados obtenidos cumplen con esta normatividad presentando el sistema una remoción de sólidos suspendidos del 89% y de DBO_5 del 80%, además de una remoción de DQO del 83%. Se concluye que se ha alcanzado satisfactoriamente el objetivo propuesto en esta investigación consistente en

verificar el adecuado funcionamiento del sistema anaerobio, aun en condiciones de temperatura que no favorecen el proceso, como en el caso de nuestro medio. Hay que destacar además el excelente desempeño de la fosa séptica mejorada como tratamiento primario, habiendo realizado esta la mayor parte de la eliminación de partículas sólidas y el importante papel que cumplieron el filtro anaerobio y el filtro en arena en la remoción de materia orgánica. Con respecto a este último aspecto, es importante concluir que la labor que ha desempeñado el filtro en arena como tratamiento complementario al filtro anaerobio es fundamental, ya que aumento su eficiencia y apporto en buen grado en la eliminación de materia orgánica. Por lo tanto, se puede recomendar la adopción del filtro en arena, aun como sustituto de un decantador secundario, la cual es una opción mas usual.

- Para obtener resultados óptimos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas es indispensable llevar a cabo una adecuada operación y mantenimiento de las unidades del sistema anaerobio.

- El PH del agua tuvo variaciones muy pequeñas oscilando cerca del punto neutro; presentándose variaciones menores de 2 unidades de PH, con lo que se puede afirmar que el PH fue siempre constante.

- Es importante hacer una caracterización previa del agua residual a analizar, ya que con esto se puede establecer los rangos adecuados de trabajo; evitándose de este modo una serie de inconvenientes.

- La presencia de nitritos o nitratos en una corriente de agua es un indicativo de que tanto ha avanzado la descomposición de la materia nitrogenada.

- Con la realización de esta investigación se confirma que este sistema anaerobio si tiene un buen desempeño en la depuración de aguas residuales de pequeñas comunidades, siendo económico y eficiente.

6. RECOMENDACIONES

6.1. RECOMENDACIONES ESPECIFICAS

- Realizar un correcto y oportuno mantenimiento de la cámara de recolección de aguas residuales, así como de sus rejillas dispuestas para la separación de grandes sólidos, los cuales pueden provocar graves obstrucciones en la tubería de conducción, además, de impedir la continuidad en le abastecimiento del agua residual a tratar en la planta, lo que ocasionaría suspenciones o excesos de flujo, afectando los diferentes procesos del sistema de tratamiento.

- Verificar permanentemente el correcto funcionamiento de la cámara de aquietamiento de las aguas residuales, compartimiento principal y cámara de distribución de la Fosa Séptica Mejorada, con el fin de realizar el mantenimiento preventivo cada vez que sea necesario. El proceso de operación y limpieza de la unidad consiste en el retiro oportuno de natas y sólidos flotantes presentes en la superficie del liquido, en el deposito principal del tanque séptico.

- Considerar en una etapa posterior, la construcción de eras de secado para la disposición del cieno que se deposita en el fondo de la fosa séptica mejorada,

con el propósito de complementar el sistema de tratamiento propuesto en esta investigación.

Además se podrían estudiar diferentes alternativas para el aprovechamiento del biogás que se produce en esta unidad.

6.2. RECOMENDACIONES GENERALES

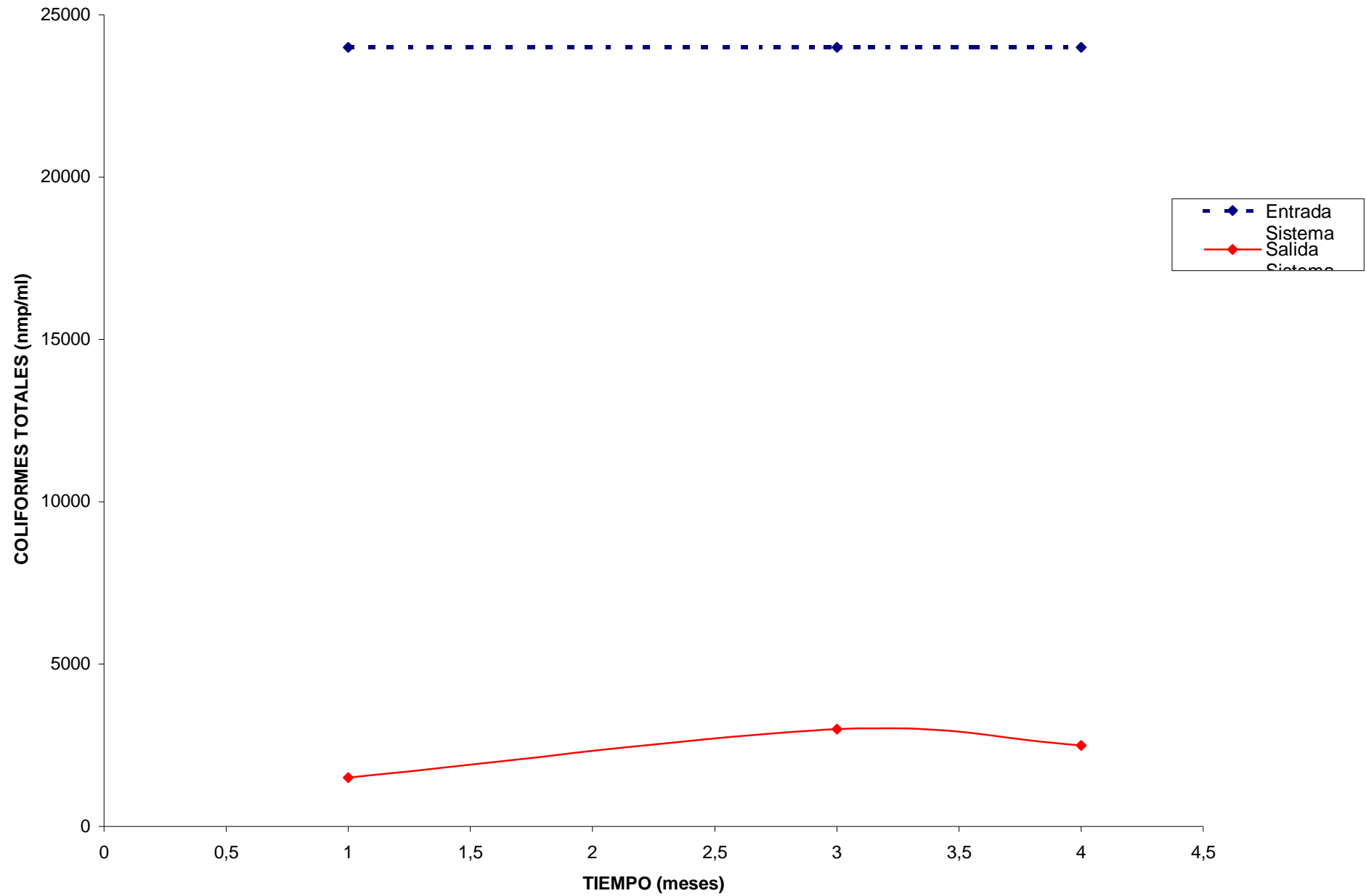
- Los ensayos de DQO se deben trabajar en bajo rango, con excepción de la muestra de la fosa séptica que se trabaja en alto rango. Esto debido a que si se trabaja en alto rango los resultados obtenidos no son representativos.

- Realizar un correcto y oportuno mantenimiento de la cajilla de recolección de aguas residuales, así como de las rejillas dispuestas en esta, ya que si se llenan de material pueden provocar grandes obstrucciones en la tubería de conducción.

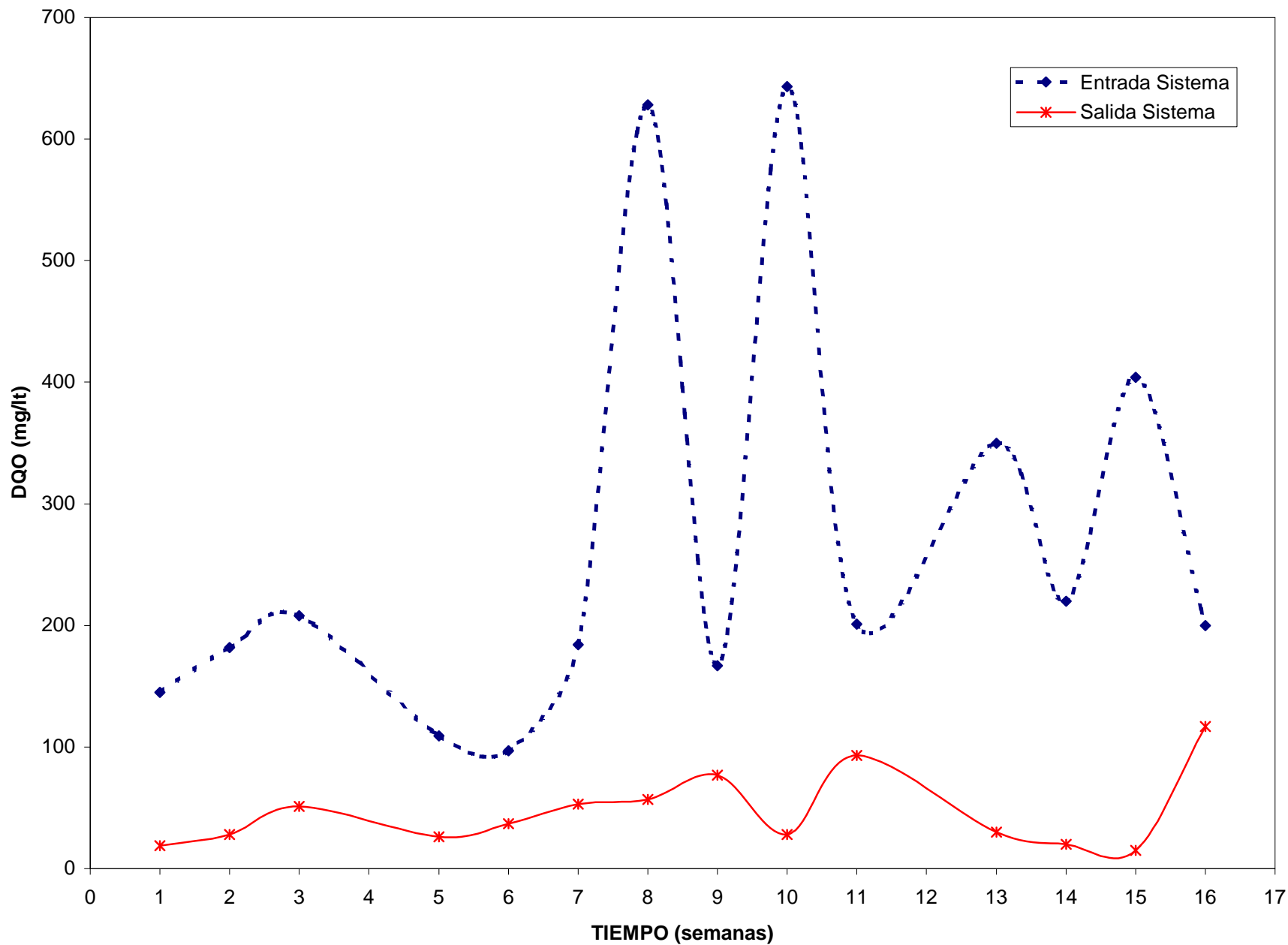
- Cuando se realice la limpieza en el Instituto SANTO ANGEL se debe desconectar la tubería de llegada al sistema, con el fin de evitar la entrada de agua potable, la cual puede afectar considerablemente el funcionamiento adecuado del sistema.

- Se debe analizar la posibilidad de realizar muestreos integrados, con lo cual se puede obtener una mejor caracterización de las aguas residuales que se están tratando.
- Es indispensable la utilización de trazadores en todas las unidades de tratamiento del sistema, con el fin de determinar el tiempo real de retención, tiempo necesario a dejar entre la toma de muestras a la entrada y salida de cada unidad.

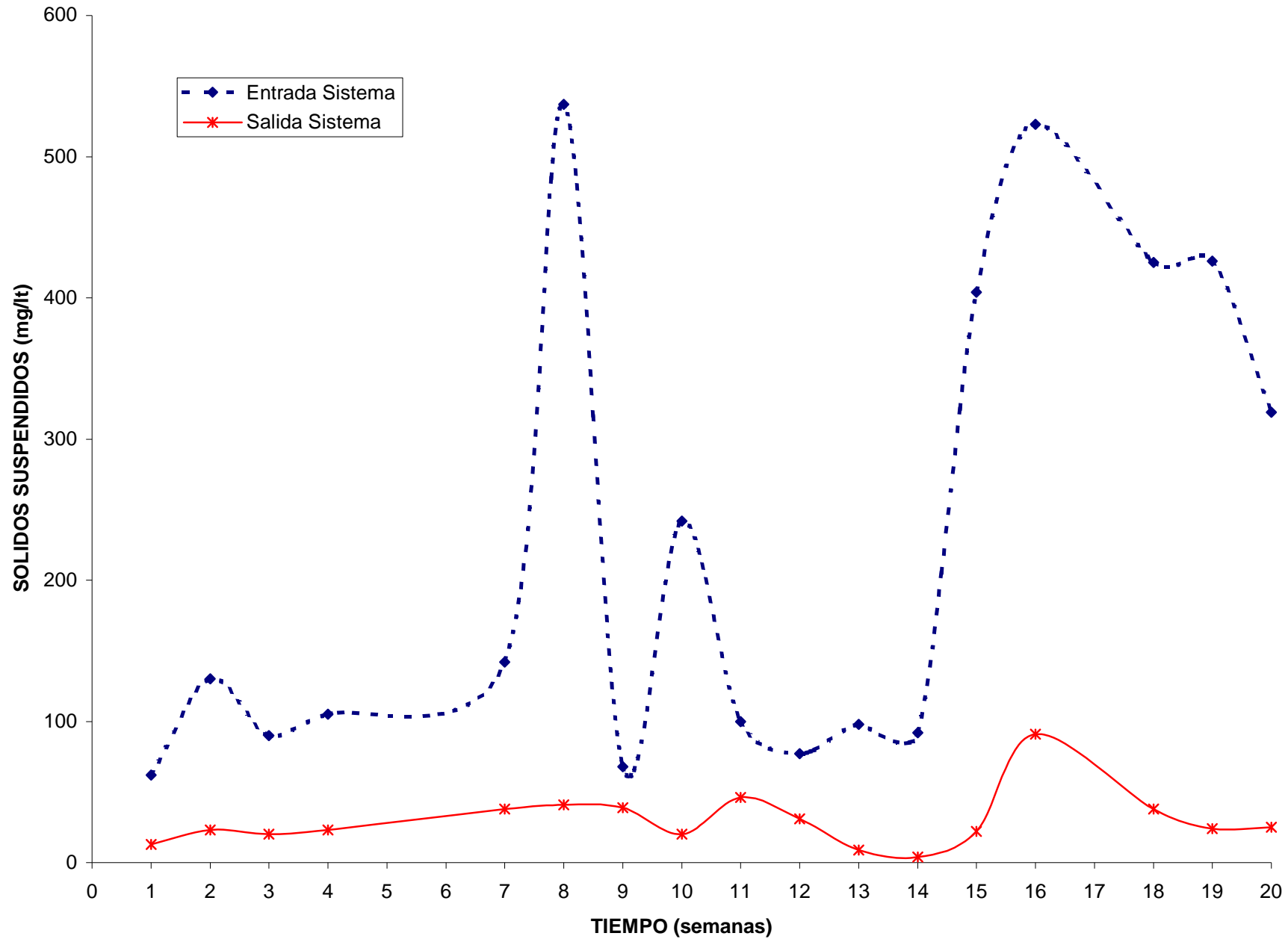
Gráfica 23. VARIACION DE COLIFORMES TOTALES. SISTEMA ANAEROBIO



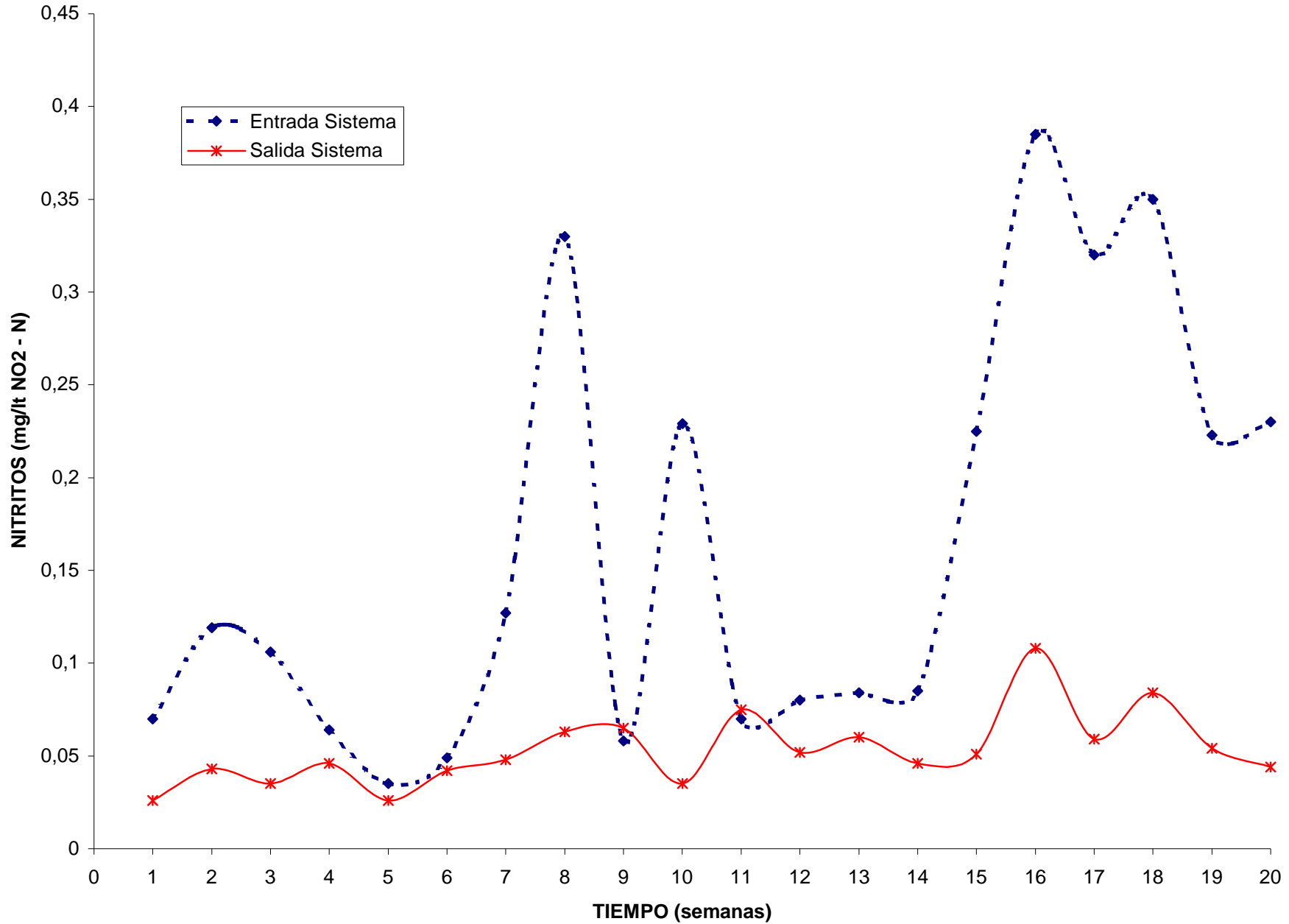
Gráfica13. VARIACION DE DQO. SISTEMA ANAEROBIO



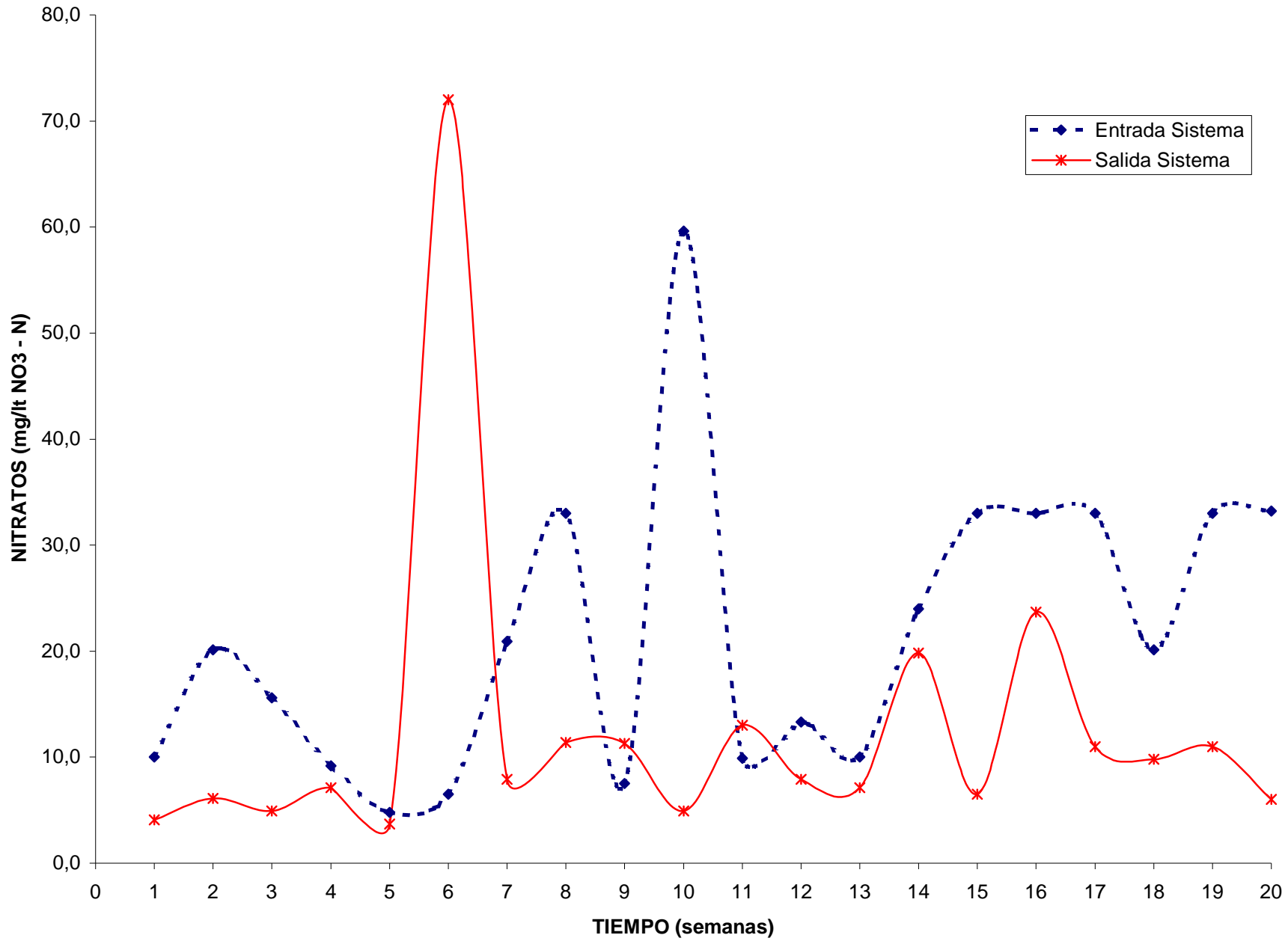
Gráfica 15. VARIACION SOLIDOS SUSPENDIDOS. SISTEMA ANAEROBIO



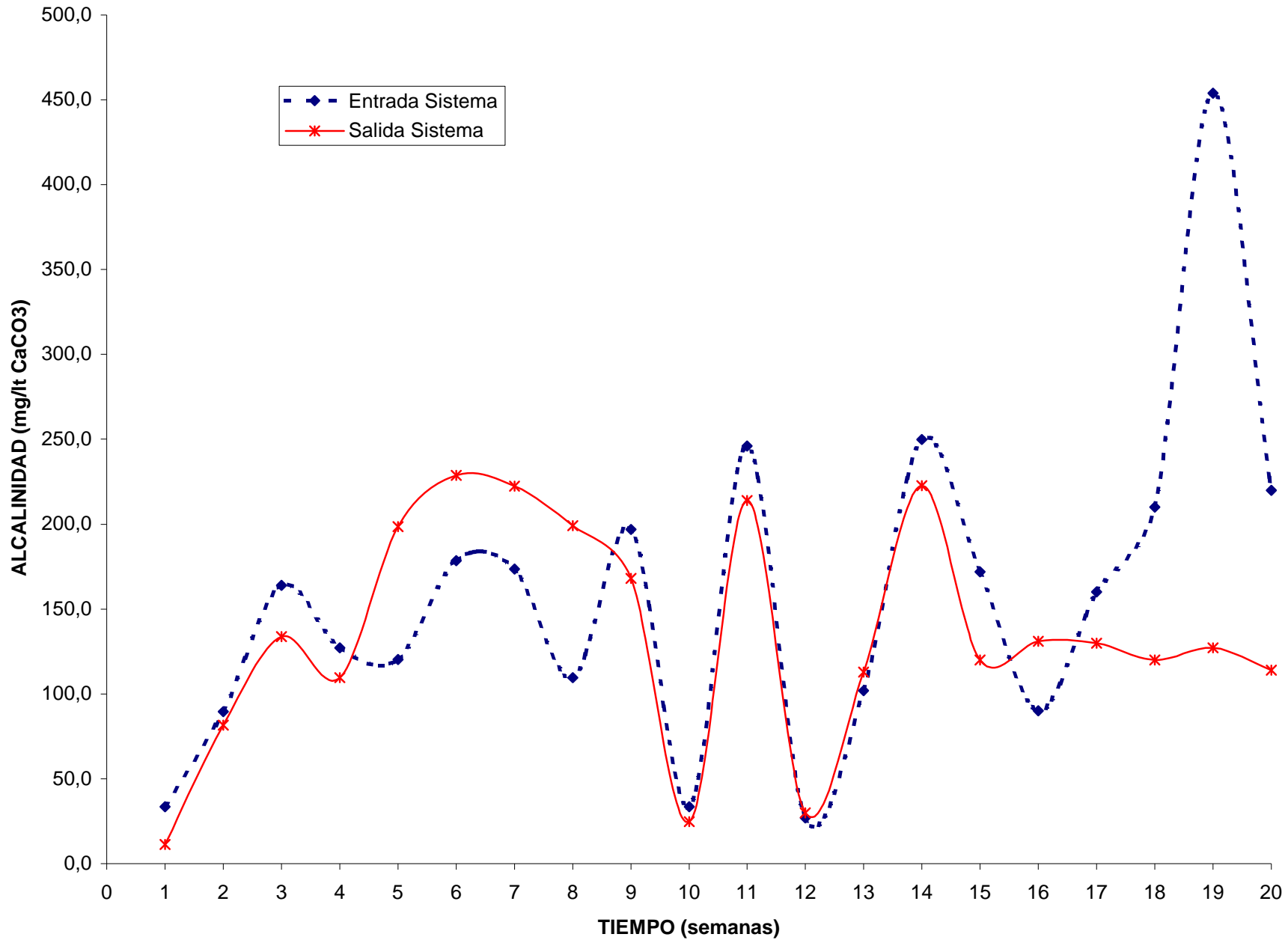
Gráfica 16. VARIACION DE NITRITOS. SISTEMA ANAEROBIO



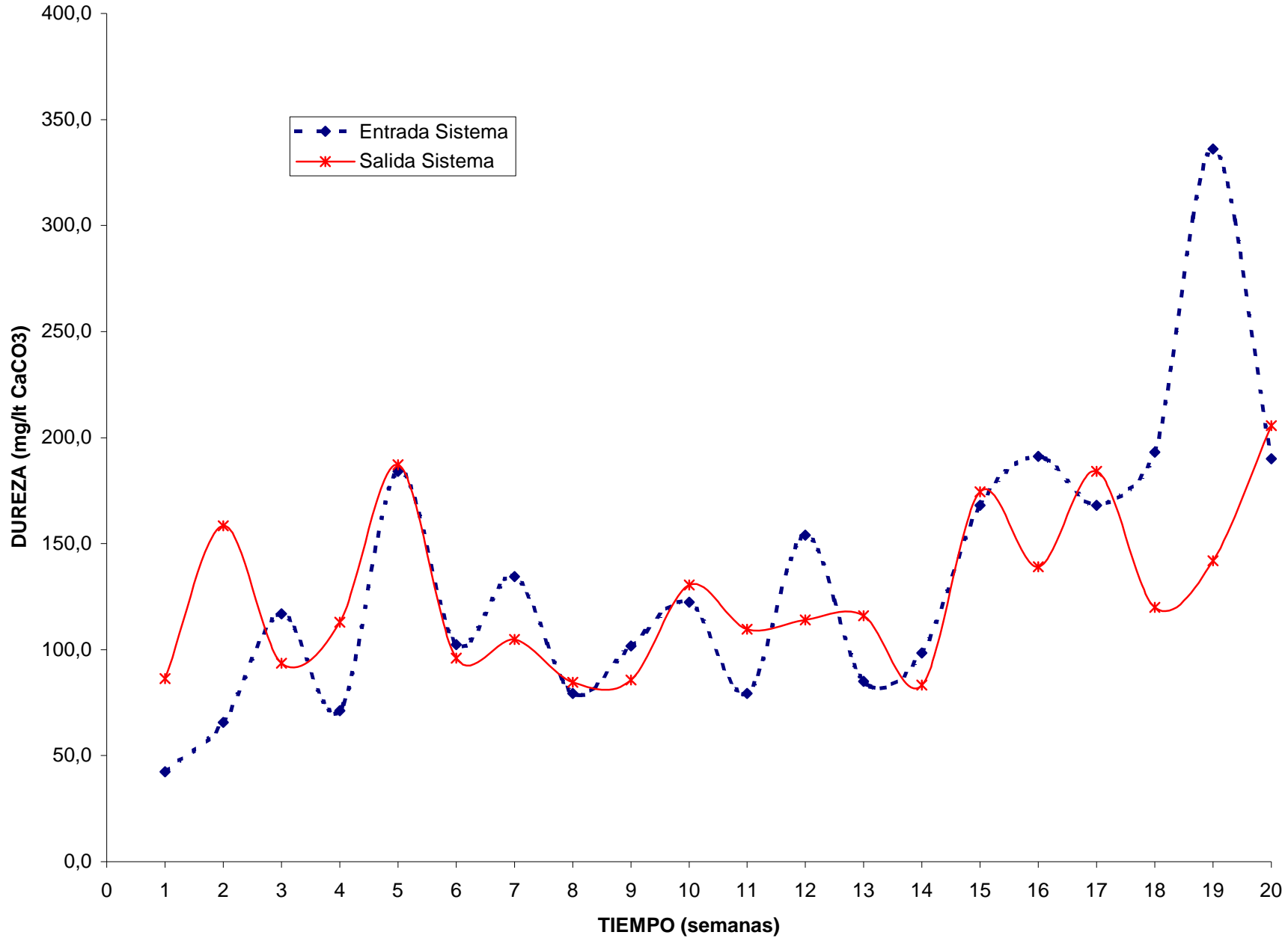
Gráfica 17. VARIACION DE NITRATOS. SISTEMA ANAEROBIO



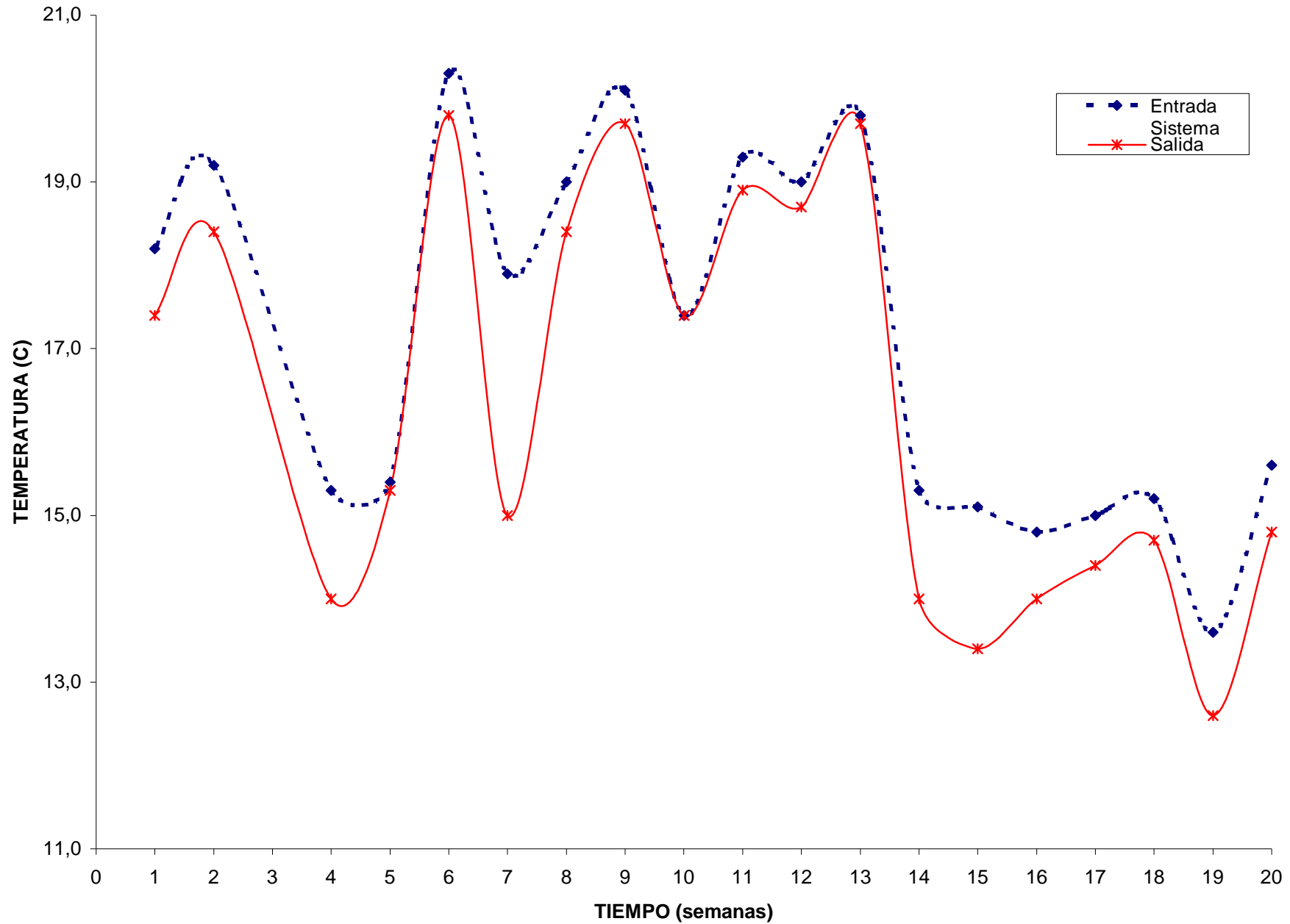
Gráfica 18. VARIACION DE ALCALINIDAD. SISTEMA ANAEROBIO



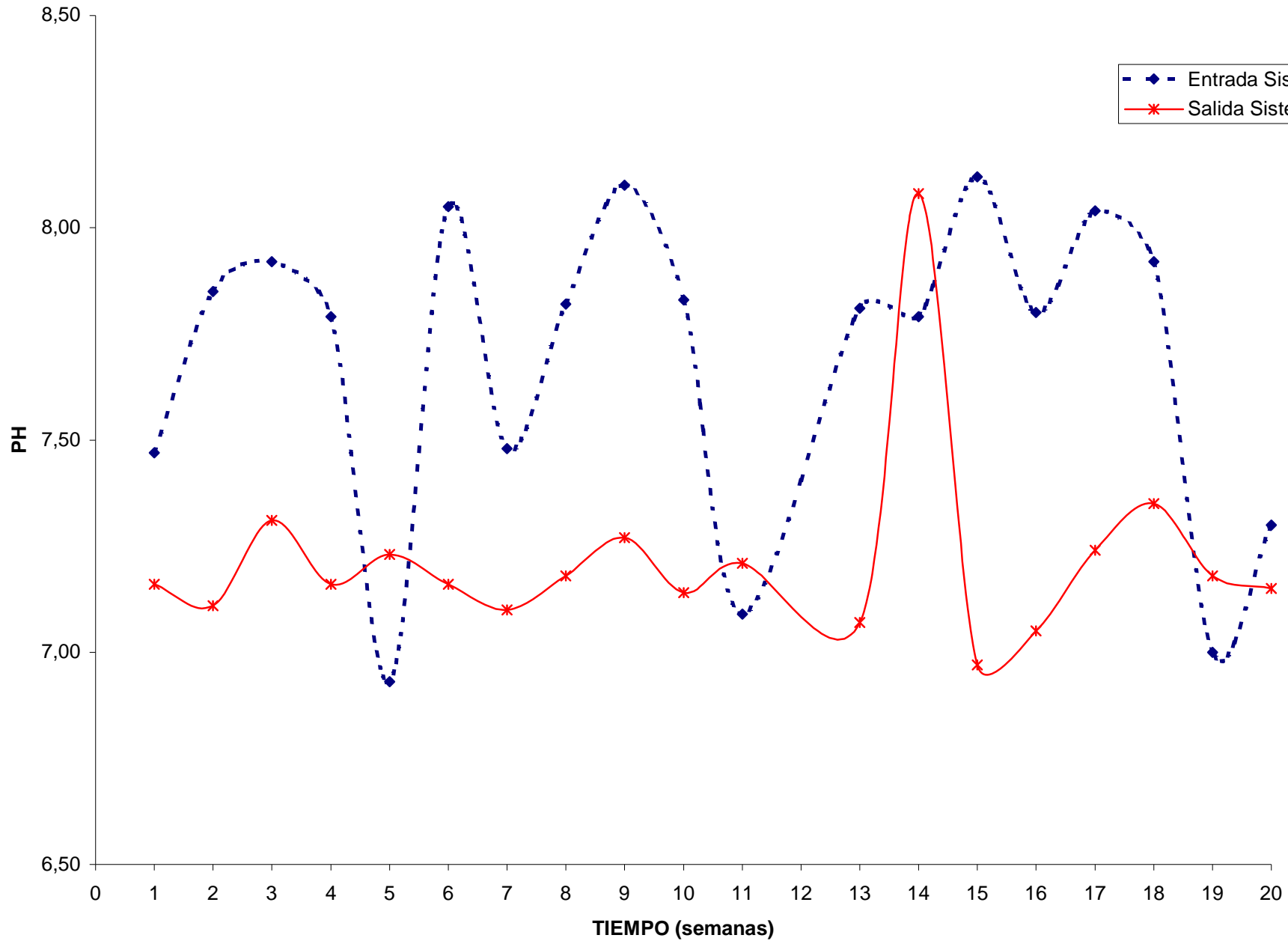
Gráfica 19. VARIACION DE DUREZA. SISTEMA ANAEROBIO



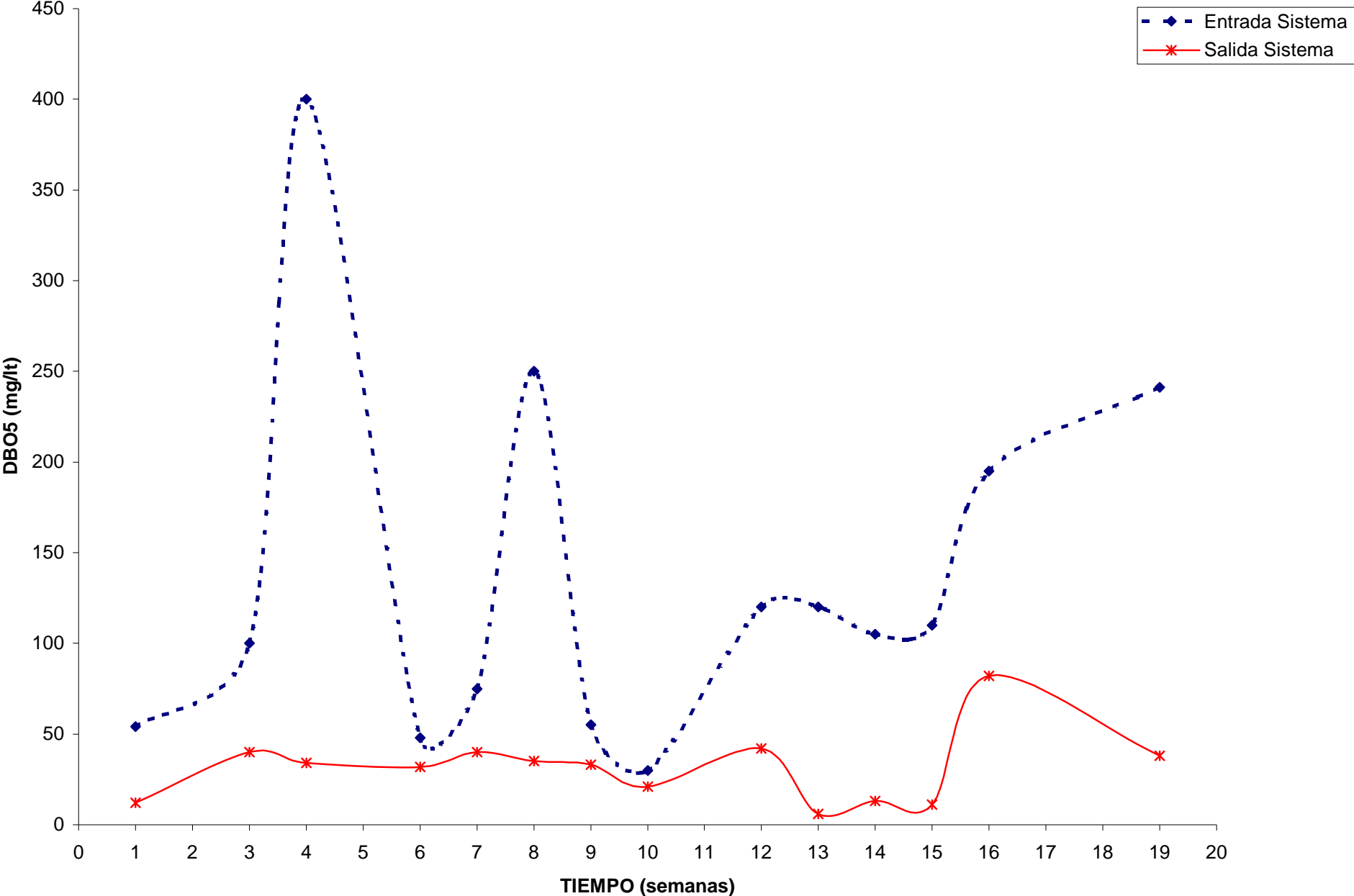
Gráfica 20. VARIACION DE TEMPERATURA. SISTEMA ANAEROBIO



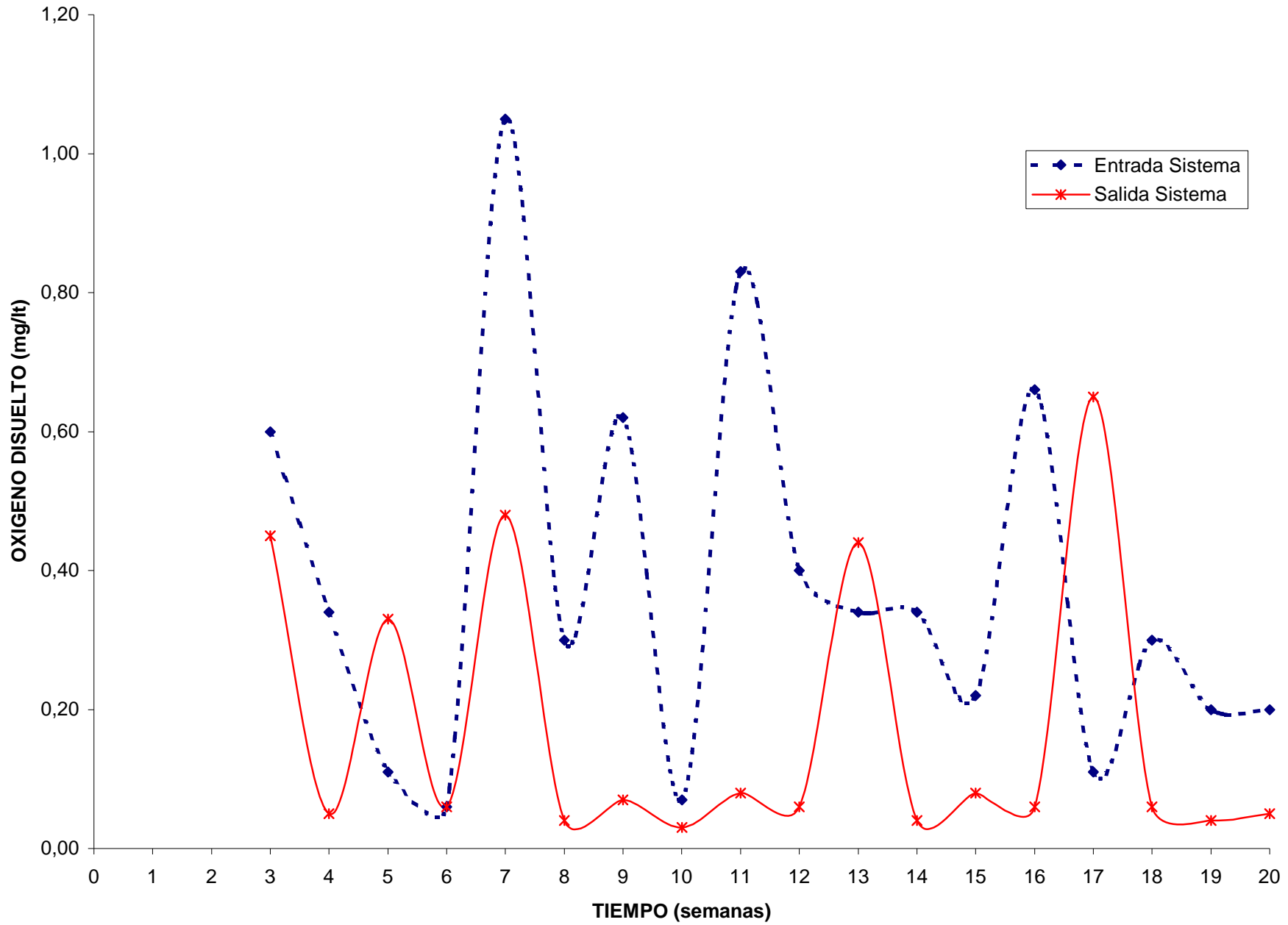
Gráfica 21. VARIACION DEL PH. SISTEMA ANAEROBIO



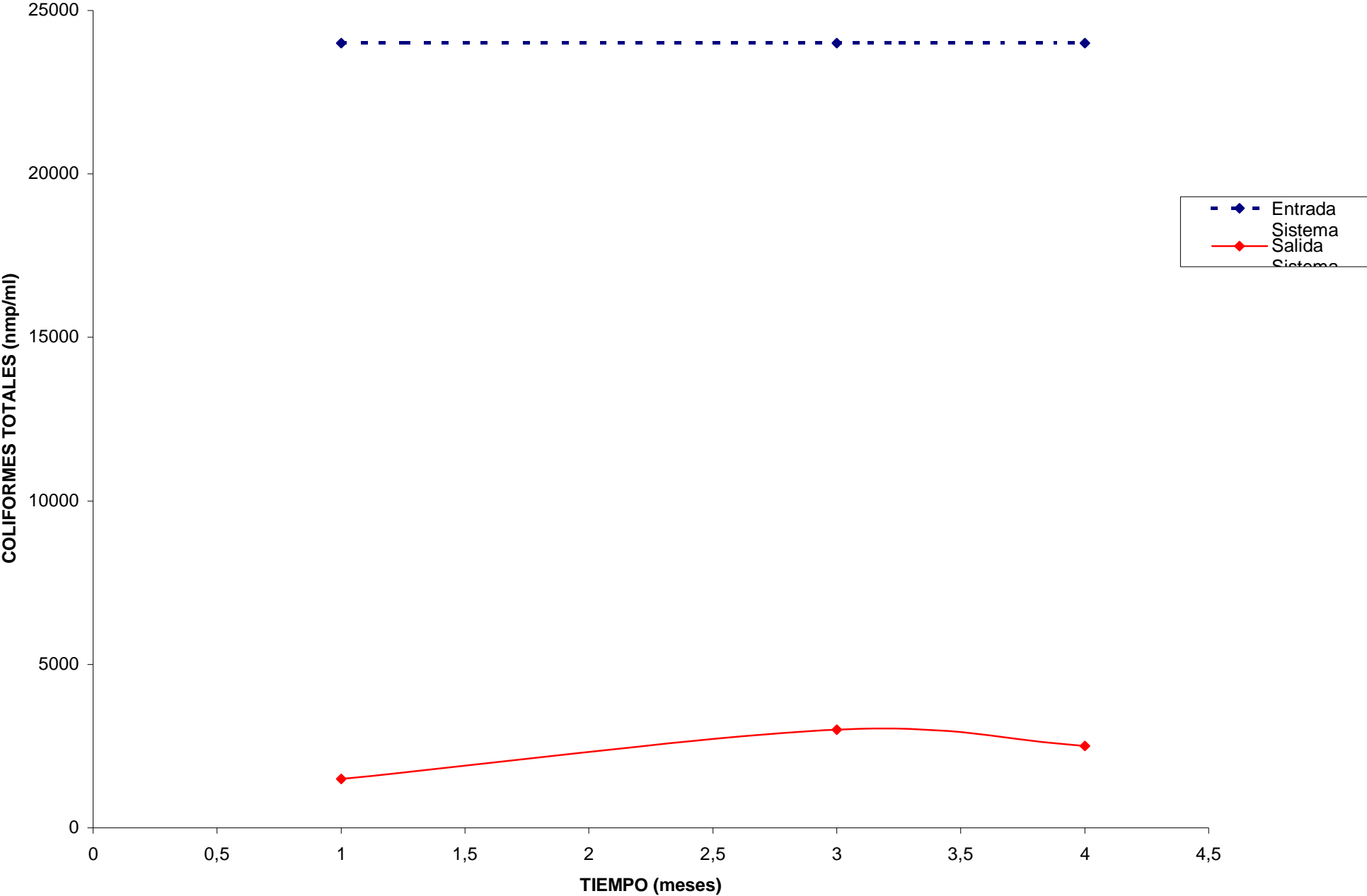
Gráfica 14. VARIACION DE DBO5. SISTEMA ANAEROBIO



Gráfica 22. VARIACION DE OXIGENO DISUELTO. SISTEMA ANAEROBIO



Gráfica 23. VARIACION DE COLIFORMES TOTALES. SISTEMA ANAEROBIO



4.3.3. RESULTADOS DEL SISTEMA ANAEROBIO

TABLA 21 RESULTADOS DQO (mg/lit)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema	Porcentaje de remoción
1	145	77	138	19	126	86,90
2	182	154	82	28	154	84,62
3	208	97	67	51	157	75,48
5	109	75	34	26	83	76,15
6	97	135	98	37	60	61,86
7	184	153	158	53	131	71,20
8	628	165	154	57	571	90,92
9	167	163	138	77	90	53,89
10	643	225	71	28	615	95,65
11	201	163	149	93	108	53,73
13	350	200	80	30	320	91,43
14	220	130	50	20	200	90,91
15	404	122	102	15	389	96,29
16	200	164	164	117	83	41,50

Valor Máx	643	225	164	117	615	96,29
Valor mín	97	75	34	15	60	41,5
Desv. Estandar	176,45	42,66	43,56	30,58	183,10	17,69
Media	267,00	212,00	120,00	46,50	220,50	83
% Remoción cada unidad		20%	35%	28%		83%

**TABLA 22. RESULTADOS
DBO5(mg/lit)**

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema	Porcentaje de remoción
1	54	28	2	12	42	77,78
3	100	80	60	40	60	60,00
4	400	102	90	34	366	91,50
6	48	68	38	32	16	33,33
7	75	70	76	40	35	46,67
8	250	105	72	35	215	86,00
9	55	115	70	33	22	40,00
10	30	55	21	21	9	30,00
12	120	70	37	42	78	65,00
13	120	80	26	6	114	95,00
14	105	60	36	13	92	87,62
15	110	76	82	11	99	90,00
16	195	160	150	82	113	57,95
19	241,2	155	78	38	203,2	84,25

Valor Máx	400	160	150	82	366	95
Valor mín	30	28	2	6	9	30
Desv. Estandar	102,53	36,87	37,15	19,16	98,40	23,02
Media	182,4	142	80	35	105	80
% Remoción Cada unidad		22%	34%	24%		80%

TABLA 23. RESULTADOS SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/lit)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema	Porcentaje de remoción
1	62	17	36	13	49	79,03
2	130	96	70	23	107	82,31
3	90	55	32	20	70	77,78
4	105	109	78	23	82	78,10
7	142	170	86	38	104	73,24
8	537	114	90	41	496	92,36
9	68	98	71	39	29	42,65
10	242	80	31	20	222	91,74
11	100	104	73	46	54	54,00
12	77	74	40	31	46	59,74
13	98	32	15	9	89	90,82
14	92	35	12	4	88	95,65
15	404	122	102	22	382	94,55
16	523	169	167	91	432	82,60
18	425	133	86	38	387	91,06
19	426	105	55	24	402	94,37
20	319	102	60	25	294	92,16

Valor Máx	537	170	167	91	496	95,65
Valor mín	62	17	12	4	29	42,65
Desv. Estandar	172,99	43,29	37,68	19,58	163,94	15,58
Media	263,64	87,23	64,94	29,82	196,06	89
% Remoción						

Cada unidad		67%	8%	14%		89%
-------------	--	-----	----	-----	--	-----

TABLA 24. RESULTADOS NITRITOS (mg/lt NO2 - N)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	0,07	0,03	0,026	0,026	0,044
2	0,119	0,094	0,077	0,043	0,076
3	0,106	0,071	0,055	0,035	0,071
4	0,064	0,113	0,09	0,046	0,018
5	0,035	0,03	0,025	0,026	0,009
6	0,049	0,142	0,123	0,042	0,007
7	0,127	0,148	0,091	0,048	0,079
8	0,33	0,114	0,099	0,063	0,267
9	0,058	0,113	0,094	0,065	-0,007
10	0,229	0,095	0,052	0,035	0,194
11	0,07	0,124	0,096	0,075	-0,005
12	0,08	0,08	0,051	0,052	0,028
13	0,084	0,09	0,039	0,06	0,024
14	0,085	0,064	0,026	0,046	0,039
15	0,225	0,122	0,098	0,051	0,174
16	0,385	0,186	0,178	0,108	0,277
17	0,32	0,165	0,13	0,059	0,261
18	0,35	0,176	0,124	0,084	0,266
19	0,223	0,112	0,078	0,054	0,169
20	0,23	0,096	0,07	0,044	0,186
Valor mín	0,035	0,03	0,025	0,026	-0,007
Desv. Estandar	0,11	0,04	0,04	0,02	0,10
Media	0,16	0,11	0,08	0,05	0,11

**TABLA 25. RESULTADOS NITRATOS (mg/lt
NO3 - N)**

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	10,0	3,9	4,2	4,1	5,9
2	20,1	15,6	13,9	6,1	14,0
3	15,6	9,7	7,3	4,9	10,7
4	9,2	24,0	19,8	7,1	2,1
5	4,8	4,3	3,6	3,7	1,1
6	6,5	32,4	29,0	72,0	-65,5
7	20,9	32,8	18,8	7,9	13,0
8	33,0	23,7	20,3	11,4	21,6
9	7,5	19,9	17,3	11,3	-3,8
10	59,6	19,5	8,3	4,9	54,7
11	9,9	24,7	19,2	13,0	-3,1
12	13,3	15,7	7,3	7,9	5,4
13	10,0	18,4	15,6	7,1	2,9
14	24,0	20,3	11,6	19,8	4,2
15	33,0	27,5	19,2	6,5	26,5
16	33,0	33,0	33,0	23,7	9,3
17	33,0	33,0	26,5	11,0	22,0
18	20,1	15,6	13,2	9,8	10,3
19	33,0	22,6	14,3	11,0	22,0
20	33,2	22,7	12,7	6,0	27,2
Valor Máx	59,6	33,0	33,0	72,0	54,7
Valor mín	4,8	3,9	3,6	3,7	-65,5

Desv. Estandar	13,8	8,7	7,9	14,9	22,1
Media	23,1	21,0	15,8	12,5	9,0

TABLA 26. RESULTADOS ALCALINIDAD (mg/lit CaCO₃)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	33,6	10,8	8,4	11,2	22,4
2	89,6	218,4	134,4	81,6	8,0
3	164,0	124,0	159,2	133,6	30,4
4	127,2	113,6	131,2	109,6	17,6
5	120,4	159,2	180,0	198,4	-78,0
6	178,4	189,6	160,0	228,8	-50,4
7	173,6	221,6	203,2	222,4	-48,8
8	109,6	170,4	90,0	199,2	-89,6
9	196,8	171,2	180,0	168,0	28,8
10	33,6	33,6	28,0	24,8	8,8
11	246,0	240,0	198,0	214,0	32,0
12	27,0	25,0	26,0	30,0	-3,0
13	102,0	188,0	114,6	112,8	-10,8
14	250,0	130,6	118,8	222,6	27,4
15	172,0	116,0	138,0	120,0	52,0
16	90,0	125,0	130,0	131,0	-41,0
17	160,0	116,0	115,0	130,0	30,0
18	210,0	206,0	194,0	120,0	90,0
19	454,0	112,0	125,0	127,0	327,0
20	220,0	128,0	129,0	114,0	106,0
Valor Máx	454,0	240,0	203,2	228,8	327,0
Valor mín	27,0	10,8	8,4	11,2	-89,6

Desv. Estandar	96,8	64,4	55,8	66,1	87,3
Media	157,9	140,0	128,1	135,0	22,9

TABLA 27. RESULTADOS DUREZA (mg/lit CaCO₃)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	42,4	39,2	79,2	86,4	-36,8
2	65,6	87,2	86,4	158,4	-20,8
3	116,8	107,2	100,8	93,6	16,0
4	71,2	75,2	81,6	112,8	-10,4
5	184,0	169,6	178,4	187,2	5,6
6	102,4	91,2	152,0	96,0	-49,6
7	134,4	118,4	102,4	104,8	32,0
8	79,2	80,0	72,8	84,6	6,4
9	101,6	98,4	96,0	85,6	5,6
10	122,4	103,2	79,2	130,4	43,2
11	79,2	89,6	108,0	109,6	-28,8
12	154,0	120,0	138,0	114,0	16,0
13	85,0	70,0	81,6	116,0	3,4
14	98,4	86,4	112,8	83,2	-14,4
15	168,0	160,8	184,8	174,4	-16,8
16	191,0	132,0	131,0	139,0	60,0
17	168,0	155,2	166,4	184,0	1,6
18	193,0	132,8	134,6	120,0	58,4
19	336,0	202,0	150,0	142,0	186,0
20	190,0	182,4	212,8	205,6	-22,8
Valor Máx	336,0	202,0	212,8	205,6	186,0
Valor mín	42,4	39,2	79,2	83,2	-49,6

Desv. Estandar	66,9	41,9	41,0	37,8	50,6
Media	134,1	115,0	122,4	126,4	11,7

TABLA 28. RESULTADOS TEMPERATURA (C)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	18,2	16,9	15,9	17,4	0,8
2	19,2	18,3	18,5	18,4	0,8
4	15,3	14,7	14,5	14,0	1,3
5	15,4	15,8	15,2	15,3	0,1
6	20,3	19,4	19,5	19,8	0,5
7	17,9	15,3	15,6	15,0	2,9
8	19,0	18,8	18,5	18,4	0,6
9	20,1	20,2	19,9	19,7	0,4
10	17,4	17,1	17,6	17,4	0,0
11	19,3	19,1	18,9	18,9	0,4
12	19,0	18,9	18,8	18,7	0,3
13	19,8	18,7	18,1	19,7	0,1
14	15,3	14,7	14,5	14,0	1,3
15	15,1	14,1	13,9	13,4	1,7
16	14,8	14,9	14,6	14,0	0,8
17	15,0	14,9	14,6	14,4	0,6
18	15,2	15,1	14,8	14,7	0,5
19	13,6	13,8	13,2	12,6	1,0
20	15,6	15,7	15,5	14,8	0,8
Valor Máx	20,3	20,2	19,9	19,8	2,9
Valor mín	13,6	13,8	13,2	12,6	0,0

Desv. Estandar	2,2	2,1	2,1	2,5	0,7
Media	17,1	16,7	16,4	16,3	0,8

TABLA 29. RESULTADOS PH

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema
1	7,47	7,26	7,20	7,16	0,31
2	7,85	7,86	7,49	7,11	0,74
3	7,92	7,80	7,49	7,31	0,61
4	7,79	8,08	7,50	7,16	0,63
5	6,93	7,37	7,19	7,23	-0,30
6	8,05	7,59	7,20	7,16	0,89
7	7,48	7,36	7,07	7,10	0,38
8	7,82	7,92	7,68	7,18	0,64
9	8,10	7,88	7,30	7,27	0,83
10	7,83	7,25	7,04	7,14	0,69
11	7,09	7,76	7,28	7,21	-0,12
13	7,81	7,47	7,20	7,07	0,74
14	7,79	7,50	7,16	8,08	-0,29
15	8,12	7,20	7,06	6,97	1,15
16	7,80	7,50	7,10	7,05	0,75
17	8,04	8,05	7,72	7,24	0,80
18	7,92	7,80	7,43	7,35	0,57
19	7,00	7,88	7,29	7,18	-0,18
20	7,30	7,26	7,29	7,15	0,15
Valor Max	8,12	8,08	7,72	8,08	0,89

Valor mín	6,93	7,20	7,04	6,97	-0,30
Desv. Estandar	0,37	0,29	0,20	0,23	0,43
Media	7,69	7,62	7,30	7,22	0,47

TABLA 30. RESULTADOS OXIGENO DISUELTO (mg/lt)

semana	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total Sistema
3	0,60	0,80	0,85	0,45	0,15
4	0,34	0,08	0,03	0,05	0,29
5	0,11	0,30	1,42	0,33	-0,22
6	0,06	0,04	0,03	0,06	0,00
7	1,05	0,41	0,91	0,48	0,57
8	0,30	0,03	0,04	0,04	0,26
9	0,62	0,11	0,05	0,07	0,55
10	0,07	0,02	0,04	0,03	0,04
11	0,83	0,05	0,02	0,08	0,75
12	0,40	0,31	0,12	0,06	0,34
13	0,34	0,48	0,91	0,44	-0,10
14	0,34	0,06	0,03	0,04	0,30
15	0,22	0,03	0,05	0,08	0,14
16	0,66	0,02	0,71	0,06	0,60
17	0,11	0,03	0,03	0,65	-0,54
18	0,30	0,15	0,08	0,06	0,24
19	0,20	0,06	0,03	0,04	0,16

20	0,20	0,15	0,08	0,05	0,15
Valor Máx	1,05	0,80	1,42	0,65	0,75
Valor mín	0,06	0,02	0,02	0,03	-0,54
Desv. Estandar	0,28	0,21	0,44	0,20	0,31
Media	0,38	0,17	0,30	0,17	0,20

**TABLA 31. RESULTADOS COLIFORMES TOTALES(NMP Coliformes
totales/ml)**

mes	EFS	SFS	SFA	SFArena	Diferencia total sistema	Porcentaje de Remoción
1	24000	24000	11000	1500	22500	93,75
3	24000	24000	15000	3000	21000	87,5
4	24000	24000	20000	2500	21500	89,58
Valor Máx	24000	24000	20000	3000	22500	93,75
Valor mín	24000	24000	11000	1500	21000	87,5
Desv. Estandar	0,00	0,00	4509,25	763,76	763,76	3,18
Media	24000	24000	15333	2333	21667	90,28

TABLA 11				
UNIDAD DE TRATAMIENTO	FOSA SEPTICA MEJORADA			
PARAMETRO:	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, DQO			
Unidad:	mg/l			
1	145,00	77,00	68,00	47%
2	182,00	154,00	28,00	15%
3	208,00	97,00	111,00	53%
5	109,00	75,00	34,00	31%
7	184,00	153,00	31,00	17%
8	628,00	165,00	463,00	74%
10	643,00	225,00	418,00	65%
11	201,00	163,00	38,00	19%
13	350,00	200,00	150,00	43%
14	220,00	130,00	90,00	41%
15	404,00	122,00	282,00	70%
16	200,00	164,00	36,00	18%
19	957,00	165,00	792,00	83%

Valor máximo	957,00	225,00	792,00	76,5%
Valor mínimo	109,00	75,00	28,00	31,2%
Media	340,85	145,38	195,46	57,3%
Desviación Estandar	253,49	44,38		23,5%

NOTA: Las semanas 4, 6, 9, 12, 17, 20 se descartan por presentar valores de remocion negativos o no representativos.

Gráfica 1. VARIACION DE DQO

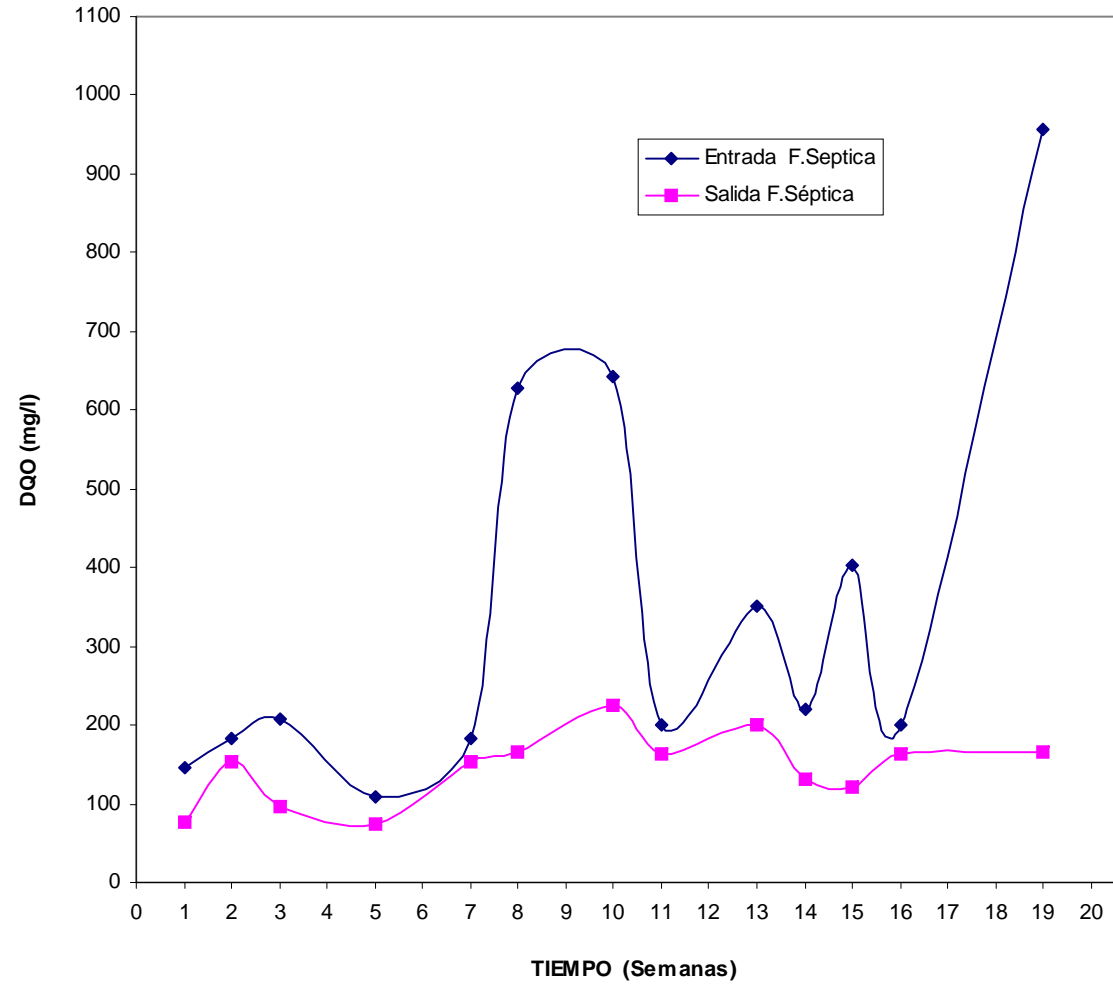


	TABLA 12			
	UNIDAD DE TRATAMIENTO	FOSA SEPTICA MEJORADA		
PARAMETRO:	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DBO5			
Unidad:	mg/l			
1	54,00	28,00	26,00	48,15
3	100,00	80,00	20,00	20,00
4	400,00	102,00	298,00	74,50
8	250,00	105,00	145,00	58,00
12	120,00	70,00	50,00	41,67
13	120,00	80,00	40,00	33,33
14	105,00	60,00	45,00	42,86
15	110,00	76,00	34,00	30,91
16	195,00	160,00	35,00	17,95
17	420,00	180,00	240,00	57,14
19	241,20	155,00	86,20	35,74
Valor máximo	420,00	180,00	298,00	57,14
Valor mínimo	54,00	28,00	20,00	48,15
Media	192,29	99,64	92,65	48,18
Desviación Estandar	123,78	47,02		16,97

NOTA: Las semanas 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 18, 20 se descartan por presentar valores de remocion negativos o no representativos.

Gráfica 2. VARIACION DE DBO5

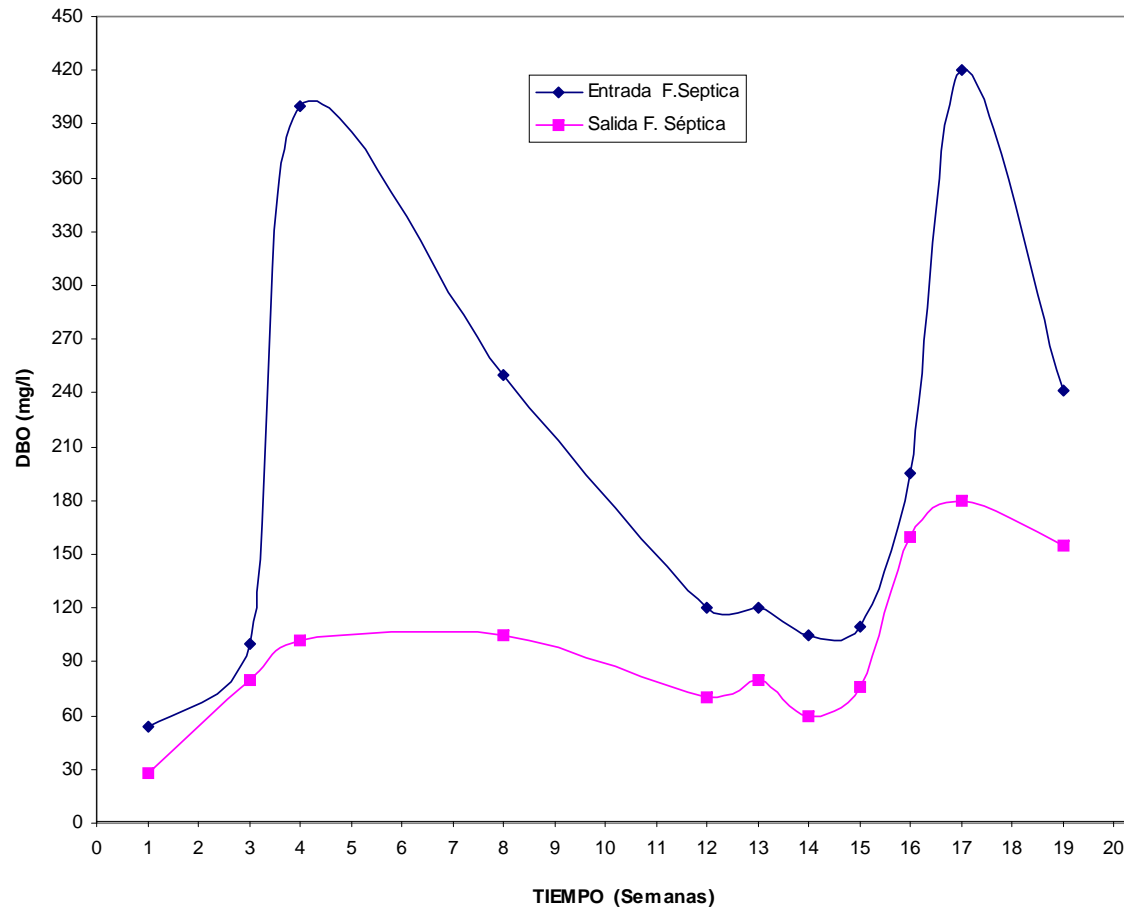


TABLA 13				
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA		
PARAMETRO:	SOLIDOS SUSPENDIDOS			
Unidad:	mg/l			
1	62,00	17,00	45,00	72,58
2	130,00	96,00	34,00	26,15
3	90,00	55,00	35,00	38,89
5	31,00	23,00	8,00	25,81
8	537,00	114,00	423,00	78,77
10	242,00	80,00	162,00	66,94
13	98,00	32,00	66,00	67,35
14	92,00	35,00	57,00	61,96
15	252,00	112,00	140,00	55,56
16	523,00	169,00	354,00	67,69
17	600,00	184,00	416,00	69,33
18	425,00	133,00	292,00	68,71
19	426,00	105,00	321,00	75,35
20	250,00	102,00	148,00	59,20
Valor máximo	600,00	184,00	423,00	69,33
Valor mínimo	31,00	17,00	8,00	45,16
Media	268,43	89,79	178,64	66,55
Desviación Estandar	197,62	52,57		17,22
NOTA: Las semanas 4, 6, 7, 9, 11, 12 se descartan por presentar valores de remocion negativos o no representativos.				

Gráfica 3. VARIACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

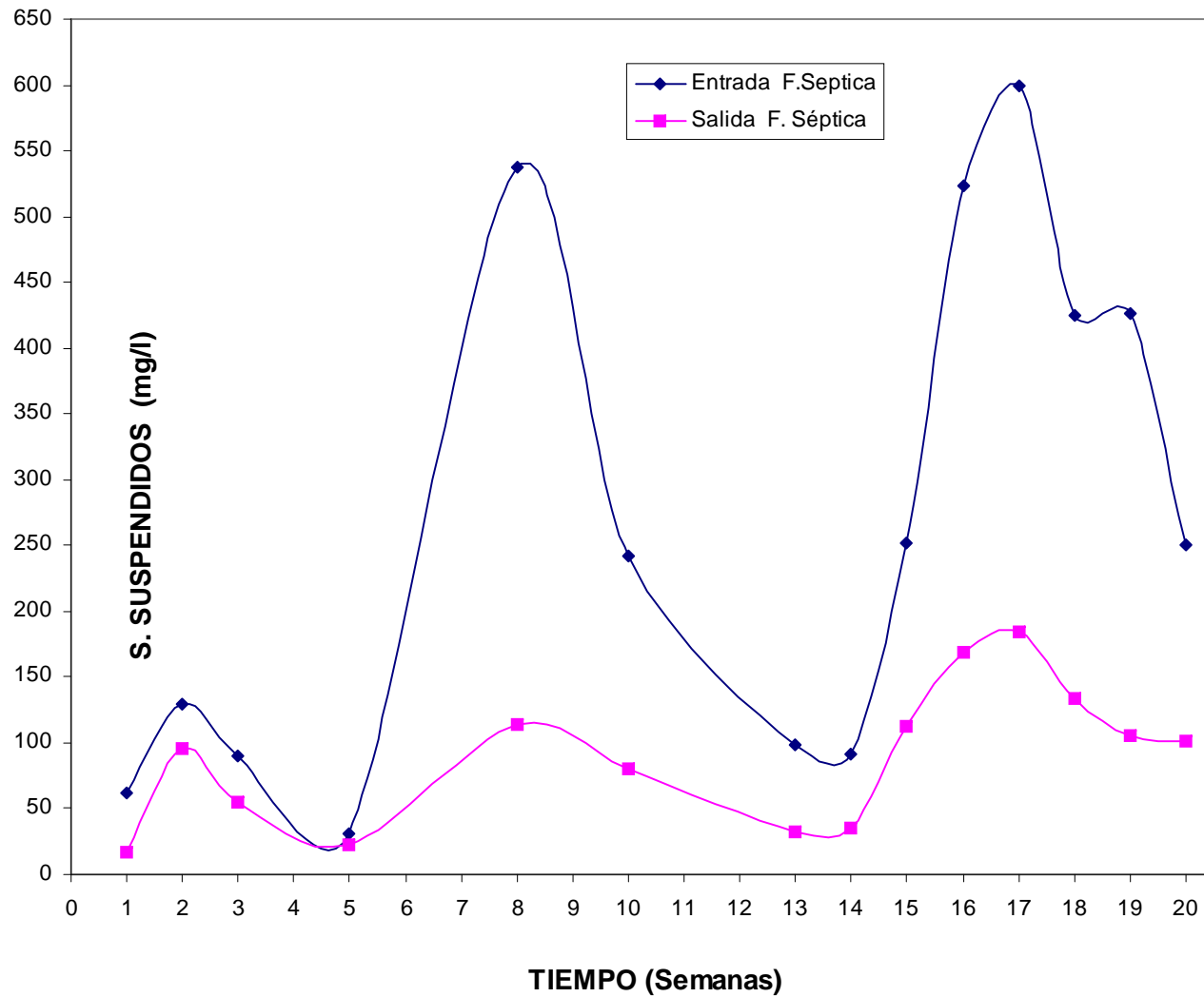


	TABLA 14		
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		NITRITOS	
Unidad		m/l de NO2	
1	0,070	0,030	0,040
2	0,119	0,094	0,025
3	0,106	0,071	0,035
4	0,064	0,113	-0,049
5	0,035	0,030	0,005
6	0,049	0,142	-0,093
7	0,127	0,148	-0,021
8	0,330	0,114	0,216
9	0,058	0,113	-0,055
10	0,229	0,095	0,134
11	0,070	0,124	-0,054
12	0,080	0,080	0,000
13	0,084	0,039	0,045
14	0,085	0,026	0,059
15	0,225	0,122	0,103
16	0,385	0,178	0,207
17	0,200	0,165	0,035
18	0,350	0,176	0,174
19	0,223	0,112	0,111
20	0,230	0,096	0,134

Valor máximo	0,385	0,178	0,216
Valor mínimo	0,035	0,026	-0,093
Media	0,156	0,103	0,053
Desviación Estandar	0,108	0,047	0,089

Gráfica 4. VARIACION DE NITRITOS

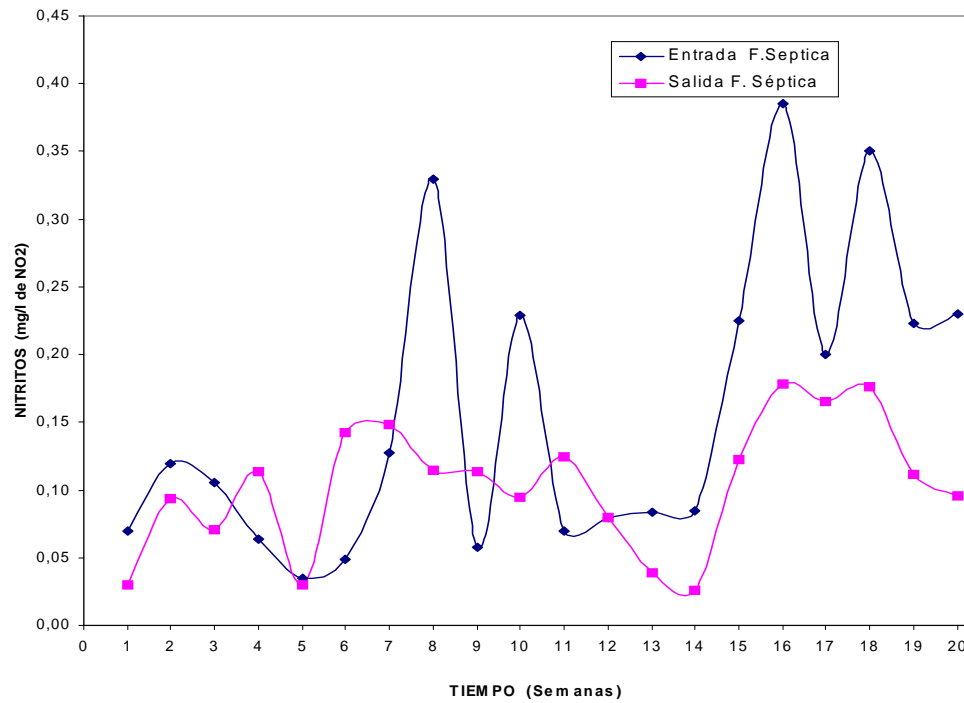
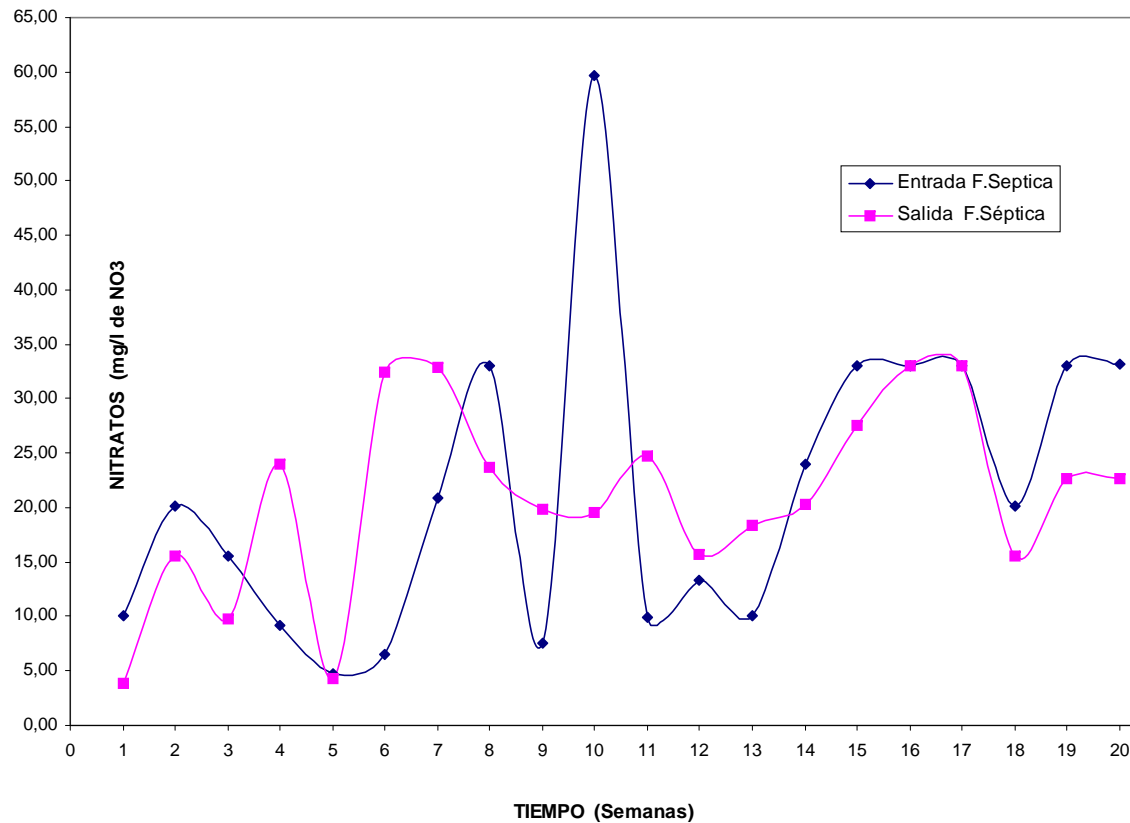


TABLA 15			
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		NITRATOS	
Unidad		m/l de NO3	
1	10,00	3,90	6,10
2	20,10	15,60	4,50
3	15,60	9,70	5,90
4	9,20	24,00	-14,80
5	4,80	4,30	0,50
6	6,50	32,40	-25,90
7	20,90	32,80	-11,90
8	33,00	23,70	9,30
9	7,50	19,90	-12,40
10	59,60	19,50	40,10
11	9,90	24,70	-14,80
12	13,30	15,70	-2,40
13	10,00	18,40	-8,40
14	24,00	20,30	3,70
15	33,00	27,50	5,50
16	33,00	33,00	0,00
17	33,00	33,00	0,00
18	20,10	15,60	4,50
19	33,00	22,60	10,40

20	33,20	22,70	10,50
Valor máximo	59,60	33,00	40,10
Valor mínimo	4,80	3,90	-25,90
Media	21,49	20,97	0,52
Desviación Estandar	13,79	8,68	13,66

Gráfica 5. VARIACION DE NITRATOS



UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		ALCALINIDAD	
Unidad		m/l de CaCO3	
1	33,60	10,80	22,80
2	89,60	218,40	-128,80
3	164,00	124,00	40,00
4	127,20	137,60	-10,40
5	130,40	159,20	-28,80
6	178,40	189,60	-11,20
7	173,60	222,60	-49,00
8	109,60	170,40	-60,80
9	196,80	171,20	25,60
10	33,60	18,40	15,20
11	246,00	240,00	6,00
12	27,00	25,00	188,00
13	102,00	188,00	-86,00
14	250,00	130,60	119,40
15	172,00	116,00	56,00
16	90,00	125,00	-35,00
17	160,00	116,00	44,00
18	210,00	206,00	4,00
19	454,00	112,00	342,00

20	220,00	128,00	92,00
Valor mínimo	27,00	10,80	-128,80
Media	158,39	140,44	27,25
Desviación Estandar	96,620	65,579	102,772

Gráfica 6. VARIACION DE ALCALINIDAD

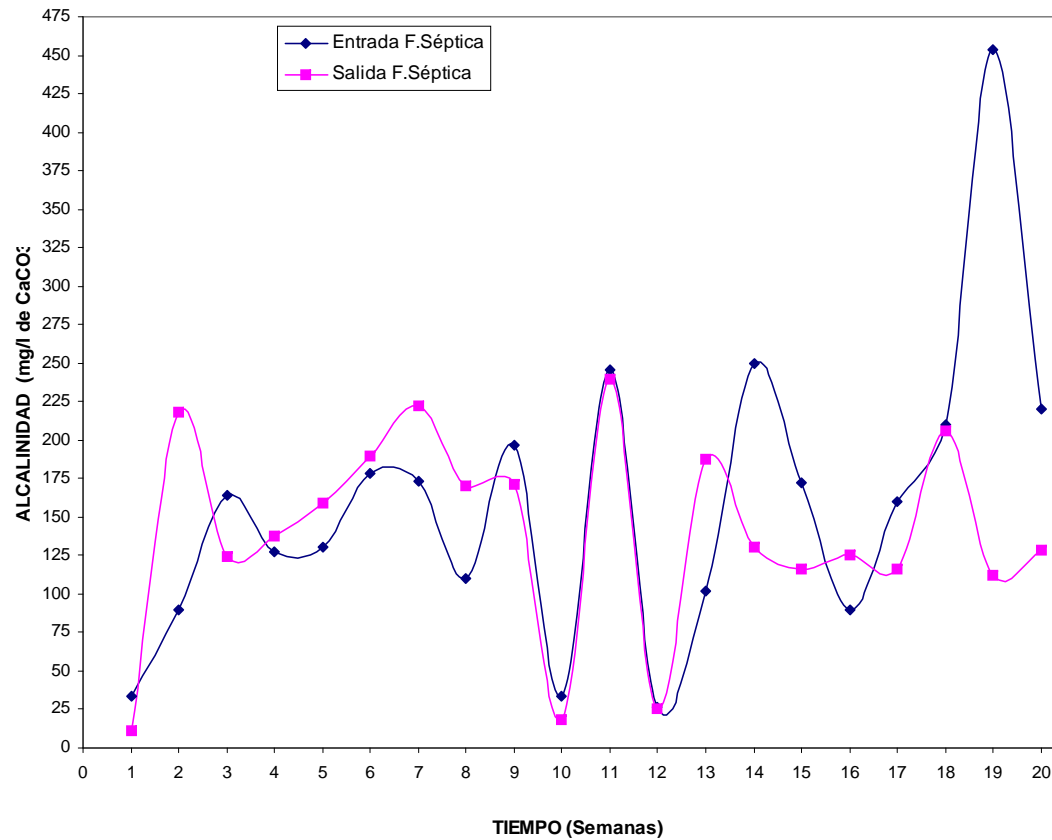


TABLA 17			
UNIDAD DE FUNCIONAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		DUREZA	
Unidad		m/l de CaCO3	
1	42,400	39,200	3,200
2	65,600	87,200	-21,600
3	110,800	107,200	3,600
4	71,200	75,200	-4,000
5	184,000	169,600	14,400
6	102,400	91,200	11,200
7	134,400	118,400	16,000
8	79,200	80,000	-0,800
9	101,600	98,400	3,200
10	122,400	103,200	19,200
11	79,200	89,600	-10,400
12	154,000	120,000	34,000
13	86,000	70,000	16,000
14	98,400	86,400	12,000
15	168,000	160,800	7,200
16	191,000	130,000	61,000

17	168,000	155,200	12,800
18	193,000	132,800	60,200
19	336,000	202,000	134,000
20	190,000	182,400	7,600
Valor máximo	336,000	202,000	134,000
Valor mínimo	42,400	39,200	-21,600
Media	133,880	114,940	18,940
Desviación Estandar	66,962	41,828	33,669

Gráfica 7. VARIACION DE DUREZA

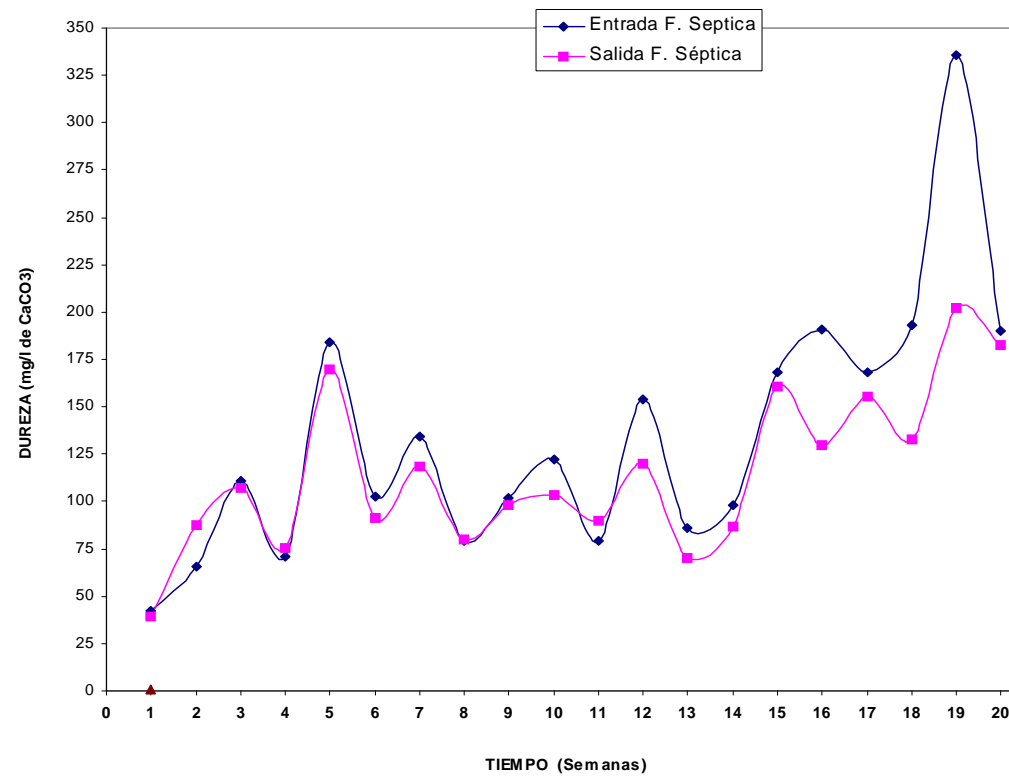


TABLA 18			
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		TEMPERATURA	
Unidad		°C	
1	18,20	16,90	1,30
2	19,20	18,30	0,90
3	16,20	16,00	0,20
4	15,30	14,70	0,60
5	15,40	15,80	-0,40
6	20,30	19,40	0,90
7	17,90	15,30	2,60
8	19,00	18,80	0,20
9	20,10	20,20	-0,10
10	17,40	17,10	0,30
11	19,30	19,10	0,20
12	19,00	18,90	0,10
13	19,80	18,70	1,10
14	15,40	14,70	0,70
15	15,10	14,10	1,00

16	14,80	14,90	-0,10
17	15,00	14,90	0,10
18	15,20	15,10	0,10
19	13,60	13,80	-0,20
20	15,60	15,70	-0,10
Valor máximo	20,30	20,20	2,60
Valor mínimo	13,60	13,80	-0,40
Media	17,09	16,62	0,47
Desviación Estandar	2,13	2,02	0,70

Gráfica 8. VARIACION DE TEMPERATURA

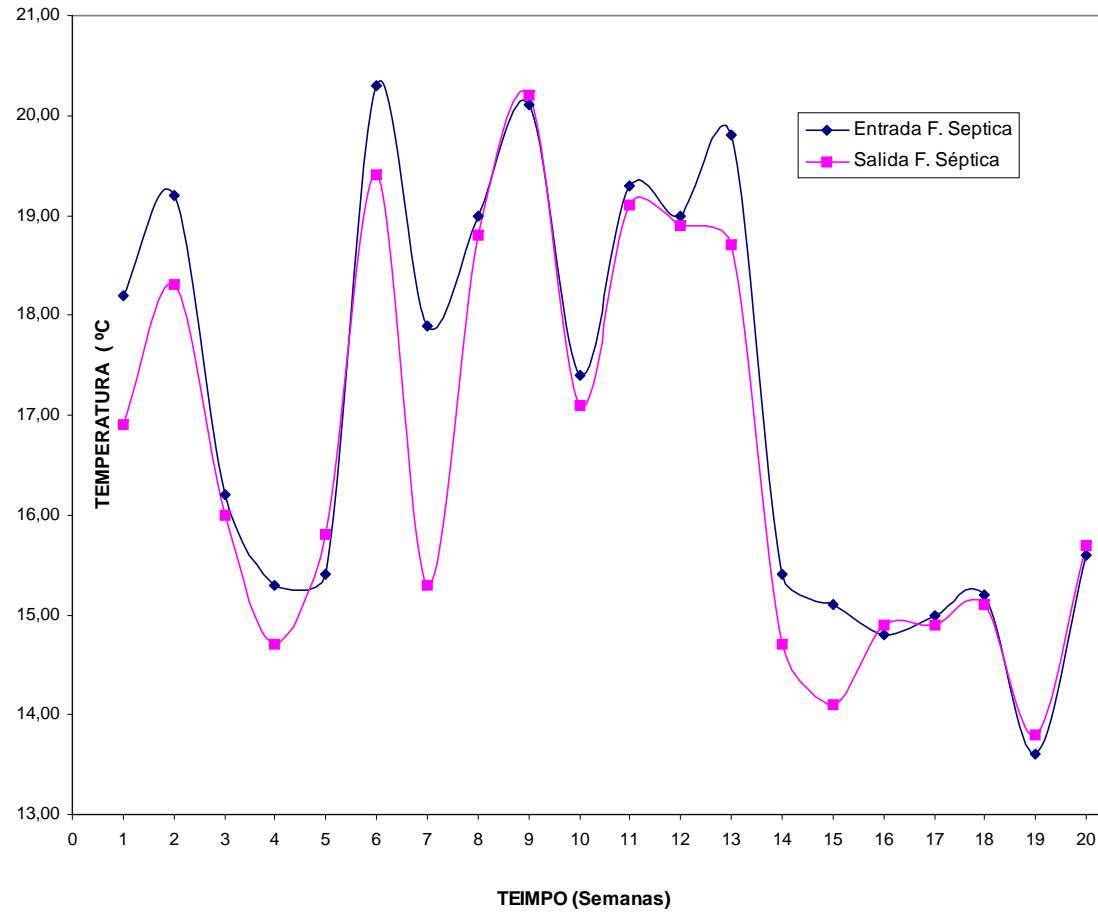


TABLA 19			
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		PH	
Unidad			
1	7,47	7,26	0,21
2	7,85	7,86	-0,01
3	7,92	7,80	0,12
4	7,79	8,08	-0,29
5	6,93	7,37	-0,44
6	8,05	7,59	0,46
7	7,48	7,36	0,12
8	7,82	7,92	-0,10
9	8,10	7,88	0,22
10	7,83	7,25	0,58
11	7,09	7,76	-0,67
13	7,81	7,47	0,34
14	7,79	7,37	0,42
15	8,12	7,20	0,92
16	7,80	7,50	0,30
17	8,04	8,05	-0,01
18	7,92	7,80	0,12
19	7,00	7,88	-0,88
20	7,30	7,26	0,04
Valor máximo	8,12	8,08	0,92
Valor mínimo	6,93	7,20	-0,88
Media	7,69	7,61	0,08

Desviación Estandar	0,37	0,29	0,43
NOTA: El valor de ph de la semana 12 se descarta por no ser representativo.			

Gráfica 9. VARIACION DE PH

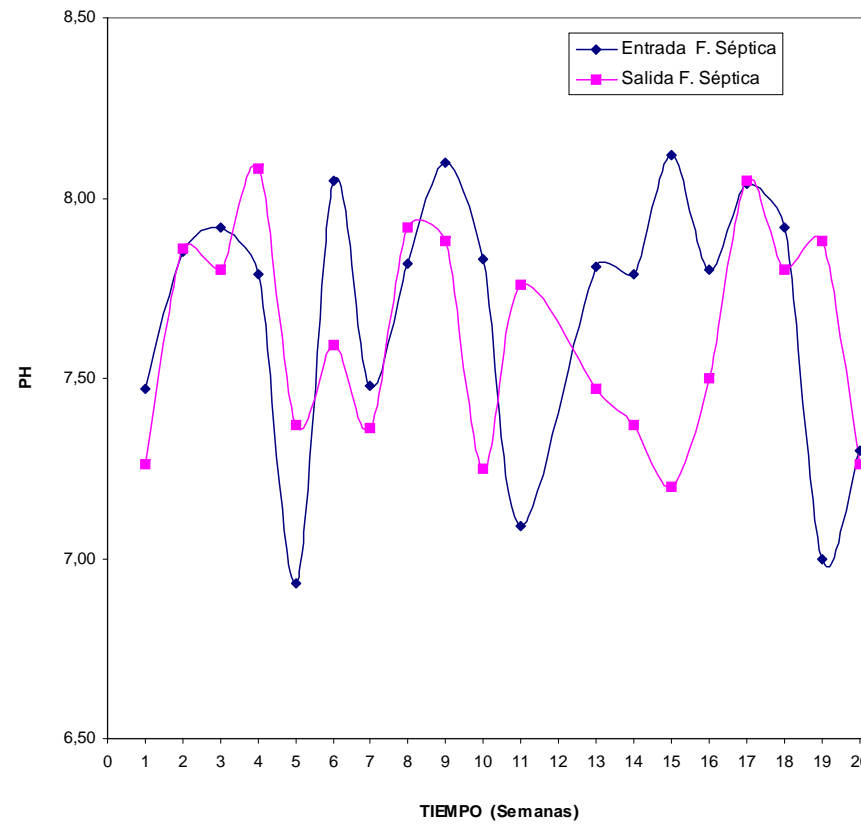
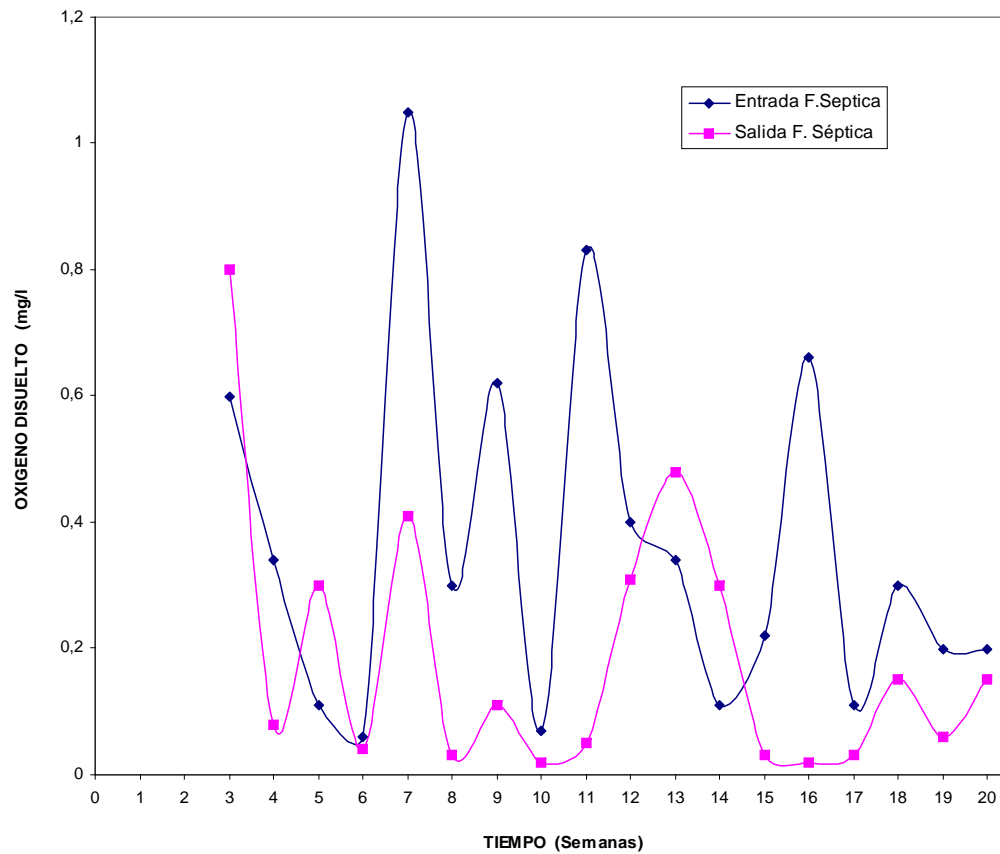


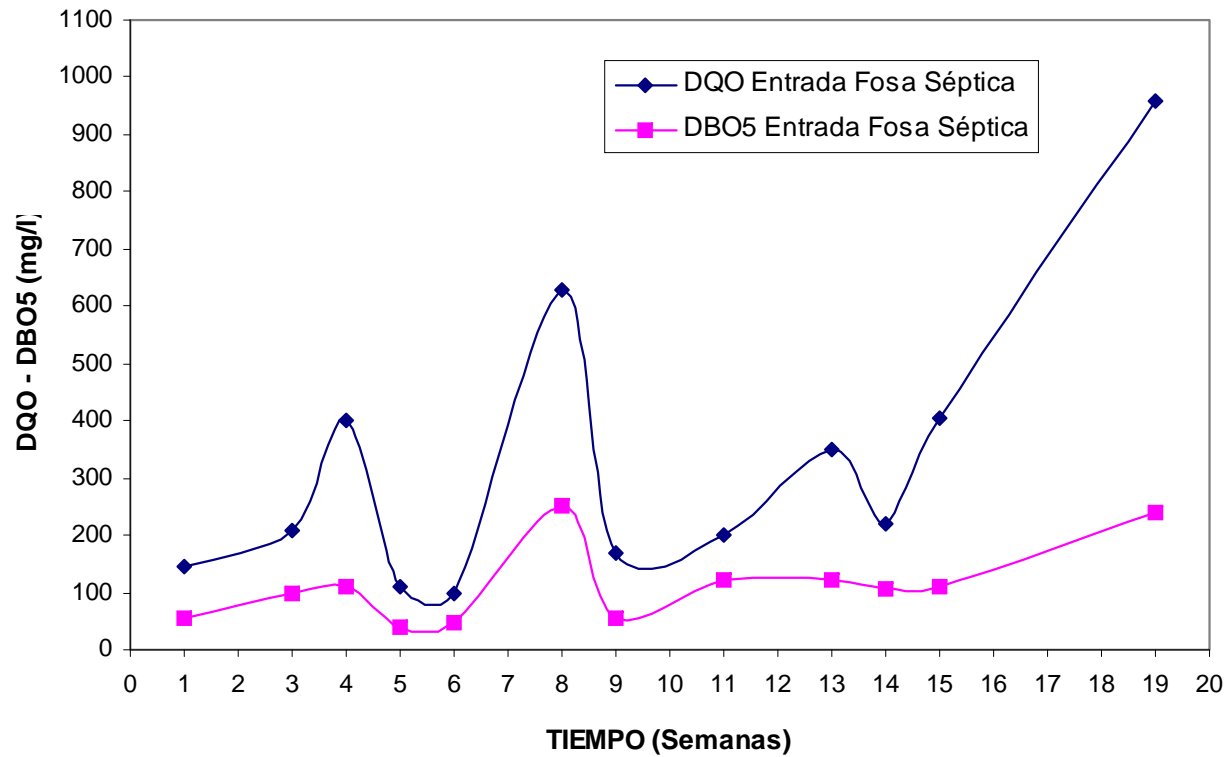
	TABLA 20		
UNIDAD DE TRATAMIENTO		FOSA SEPTICA MEJORADA	
PARAMETRO		OXIGENO DISUELTO	
Unidad		m/l de O2	
1			
2			
3	0,60	0,80	-0,20
4	0,34	0,08	0,26
5	0,11	0,30	-0,19
6	0,06	0,04	0,02
7	1,05	0,41	0,64
8	0,30	0,03	0,27
9	0,62	0,11	0,51
10	0,07	0,02	0,05
11	0,83	0,05	0,78
12	0,40	0,31	0,09
13	0,34	0,48	-0,14
14	0,11	0,30	-0,19
15	0,22	0,03	0,19
16	0,66	0,02	0,64
17	0,11	0,03	0,08
18	0,30	0,15	0,15
19	0,20	0,06	0,14
20	0,20	0,15	0,05

Valor máximo	1,05	0,80	0,78
Valor mínimo	0,06	0,02	-0,20
Media	0,36	0,19	0,18
Desviación Estandar	0,28	0,21	0,30

Gráfica 10. VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO



Gráfica 11. RELACION DQO - DBO5 ENTRADA



Gráfica 22. RELACION DQO - DBO5 SALIDA

