

**EVALUACION FISICO - QUIMICA DEL SISTEMA DE FILTRO AEROBIO DE  
LECHO GRANULAR - BACTERIANO F.A.L.G. IV**

**JENNY ALEXANDRA ARCOS OBANDO**

**NILSEN ARTURO MENDOZA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION  
SAN JUAN DE PASTO**

**2004**

**EVALUACION FISICO - QUIMICA DEL SISTEMA DE FILTRO AEROBIO DE  
LECHO GRANULAR – BACTERIANO F.A.L.G. IV**

**JENNY ALEXANDRA ARCOS OBANDO**

**NILSEN ARTURO MENDOZA MARTINEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**ROBERTO E. SALAZAR CANO**

**Ingeniero Civil**

**Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION**

**SAN JUAN DE PASTO**

**2004**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el presente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de su autor”.

Artículo 1º. Del acuerdo No, 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de La Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

San Juan de Pasto, 13 de Mayo de 2004

## **AGRADECIMIENTOS**

Los Autores Expresan sus agradecimientos a:

Roberto Efraín Salazar Cano, Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su orientación y apoyo.

Roberto García, Laboratorista del área de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, por su colaboración.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado:

A mis padres Benjamín Arcos y Gladis Obando quienes me brindaron su confianza y apoyo incondicional, y que además han estado presentes en los buenos y malos momentos a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Edwin, Alejandra y Byron que de una u otra manera estuvieron conmigo apoyándome y sobre todo siendo mis amigos.

A mi hijo Daniel Felipe por quien tengo que luchar de ahora en adelante.

A mi novio y amigo que me ha brindado su apoyo y cariño en estos últimos momentos.

**Jenny Alexandra Arcos**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado:

A mis padres Arturo Mendoza y Mary luz Martínez quienes me enseñaron a luchar por las metas propuestas y me brindaron su confianza y apoyo incondicional, para poder alcanzarlas y que además han estado presentes en los buenos y malos momentos a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Martha, Wilmer, Keiti, Magali, Jhon, Jairo , Jhon Eduar y Janie que de una u otra manera estuvieron conmigo apoyándome y sobre todo siendo mis amigos.

A mis tíos que siempre me apoyaron y creyeron en mi.

A mi novia y mejor amiga que siempre me brindo su apoyo , cariño y comprensión en los momentos mas difíciles.

**Nilsen Arturo Mendoza**

## CONTENIDO

	<b>pag.</b>
INTRODUCCIÓN	22
1 MARCO TEORICO	23
1.1 ANTECEDENTES	23
1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	24
1.2.1 Sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales	25
1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS DE AGUAS RESIDUALES	25
1.4 PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO	26
1.4.1 Localización	26
1.4.2 Partes del sistema	28
1.4.2.1 Recolección de aguas residuales	28
1.4.2.2 Desbaste	28
1.4.2.3 Tanque Séptico	28
1.4.2.4 Filtro Aerobio de lecho Bacteriano	30
1.5 FACTORES NEGATIVOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	34
1.5.1 Cloro	34
1.5.1 Temperatura	34
1.5.2 Carga Orgánica	36
1.6 ANALISIS FISICO-QUIMICO AGUAS RESIDUALES PLANTA PILOTO	36
1.6.1 Muestreo de aguas residuales	36
1.6.1.1 Muestreo	36
1.6.1.2 Plan de muestreo	36
1.6.1.3 Tamaño de la muestra	36
1.6.1.4 Cuidado de la muestra	37
1.6.1.5 Método de muestreo	37
1.6.1.6 Constituyentes de la muestra	37
1.6.2 Laboratorios realizados en la fase IV de la investigación	37
1.6.2.1 Demanda Química de Oxígeno DQO mg/lit	38
1.6.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno OXITOP DBO5 mg/lit	39
1.6.2.3 Sólidos Suspendidos mg/lit	39
1.6.2.4 Alcalinidad mg/lit de CaCO <sub>3</sub>	39
1.6.2.5 Oxígeno Disuelto mg/lit	39
1.6.2.6 pH. Potencial Hidrógeno	39
1.6.2.7 Temperatura °C	39
1.6.2.8 Cloro Residual mg/lit	39



1.6.2.9	Nitratos NO <sub>3</sub> -N mg/lit	39
1.6.2.10	Nitritos NO <sub>2</sub> -N mg/lit	39
1.6.2.11	Dureza mg/lit de CaCO <sub>3</sub>	40
1.6.2.12	Sólidos Totales mg/lit	40
1.6.2.13	Sólidos Volátiles mg/lit	40
1.6.2.14	UFC Coliformes Totales/100ml	40
2	ANALISIS DE RESULTADOS	41
2.1	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS SEGÚN LOS PUNTOS DE MUESTREO	41
2.2	CONTROL DE EFICIENCIA CON LOS PARÁMETROS DE REMOCION PROYECTO F.A.L.G. IV Vs F.A.L.G III.	43
2.3	ANALISIS COMPARATIVO DE LOS PARAMETROS: DQO, DBO5 Y SS.	47
3	CONCLUSIONES	54
3.1	CONCLUSIONES GENERALES DEL SISTEMA	54
3.2	CONCLUSIONES ESPECIFICAS FILTRO AEROBIO + DECANTADOR	54
	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFIA	57
	ANEXOS	58

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Esquema de Localización de la Planta Piloto.	27
<b>Figura 2.</b> Esquema General del Sistema.	29
<b>Figura 3.</b> Esquema del Filtro Aerobio.	35

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo 1.</b> Variación Demanda Bioquímica de Oxígeno, fase IV.	59
<b>Anexo 2.</b> Variación Demanda Química de Oxígeno, fase IV.	60
<b>Anexo 3.</b> Variación Sólidos Suspendidos, fase IV.	61
<b>Anexo 4.</b> Alcalinidad, fase IV.	62
<b>Anexo 5.</b> Dureza, fase IV.	63
<b>Anexo 6.</b> Nitritos, fase IV.	64
<b>Anexo 7.</b> Nitratos, fase IV.	65
<b>Anexo 8.</b> Temperatura, fase IV.	66
<b>Anexo 9.</b> Potencial de Hidrógeno, fase IV.	67
<b>Anexo 10.</b> Oxígeno disuelto, fase IV.	68
<b>Anexo 11.</b> Coliformes Totales, fase IV.	69
<b>Anexo 12.</b> Sólidos Volátiles, fase IV.	70
<b>Anexo 13.</b> Sólidos Totales, fase IV.	71
<b>Anexo 14.</b> Cloro Residual, fase IV.	72
<b>Anexo 15.</b> Relación DBO/DQO Entrada Fosa Séptica, fase IV.	73
<b>Anexo 16.</b> Relación DBO/DQO Entrada Filtro Aerobio, fase IV.	74
<b>Anexo 17.</b> Relación DBO/DQO Salida Decantador Aerobio, fase IV.	75
<b>Anexo 18.</b> Variación Demanda Química de Oxígeno, fase IV.	76
<b>Anexo 19.</b> Variación Demanda Bioquímica de Oxígeno, fase IV.	77
<b>Anexo 20.</b> Variación Sólidos Suspendidos, fase IV.	78

<b>Anexo 21.</b> Variación Sólidos Volátiles, fase IV.	79
<b>Anexo 22.</b> Variación Sólidos Totales, fase IV.	80
<b>Anexo 23.</b> Variación Alcalinidad, fase IV.	81
<b>Anexo 24.</b> Variación Dureza, fase IV.	82
<b>Anexo 25.</b> Variación Oxígeno disuelto, fase IV.	83
<b>Anexo 26.</b> Variación Potencial de Hidrógeno, fase IV.	84
<b>Anexo 27.</b> Variación Temperatura, fase IV.	85
<b>Anexo 28.</b> Variación Cloro Residual, fase IV.	86
<b>Anexo 29.</b> Variación Nitritos, fase IV.	87
<b>Anexo 30.</b> Variación Nitratos, fase IV.	88
<b>Anexo 31.</b> Comparación de Variación DQO, fase III y IV.	89
<b>Anexo 32.</b> Comparación de Remoción DQO, fase III y IV.	90
<b>Anexo 33.</b> Comparación de Variación DBO, fase III y IV.	91
<b>Anexo 34.</b> Comparación de Remoción DQO, fase III y IV.	92
<b>Anexo 35.</b> Comparación de Variación SS, fase III y IV.	93
<b>Anexo 36.</b> Comparación de Remoción SS, fase III y IV.	94
<b>Anexo 37.</b> Comparación de Variación DQO Vs T <sup>0</sup> , fase III y IV, Entrada Fosa Septica.	95
<b>Anexo 38.</b> Comparación de Variación DQO Vs T <sup>0</sup> , fase III y IV, Salida Decantador Secundario.	96
<b>Anexo 39.</b> Comparación de Variación DBO Vs T <sup>0</sup> , fase III y IV, Entrada Fosa Septica.	97
<b>Anexo 40.</b> Comparación de Variación DBO Vs T <sup>0</sup> , fase III y IV, Salida Decantador Secundario.	98

<b>Anexo 41.</b> Comparación de Variación DQO Vs Cloro, fase III y IV, Entrada Fosa Septica.	99
<b>Anexo 42.</b> Comparación de Variación DQO Vs Cloro, fase III y IV, Salida Decantador Secundario.	100
<b>Anexo 43.</b> Comparación de Variación DBO Vs Cloro, fase III y IV, Entrada Fosa Septica.	101
<b>Anexo 44.</b> Comparación de Variación DQO Vs Cloro, fase III y IV, Salida Decantador Secundario.	102
<b>Anexo 45.</b> Comparación de Variación DQO Vs DBO, fase III y IV, Entrada Fosa Septica.	103
<b>Anexo 46.</b> Comparación de Variación DQO Vs DBO, fase III y IV, Entrada Filtro Aerobio.	104
<b>Anexo 47.</b> Comparación de Variación DQO Vs DBO, fase III y IV, Salida Decantador Secundario.	105

## RESUMEN

Este trabajo investigativo, denominado **Evaluación Físico-Química del Sistema Aerobio de Lecho Granular Bacteriano F.A.L.G IV**, para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas, después de haber concluido las etapas de arranque, maduración y mejoramiento del sistema en las tres fases iniciales, tiene como finalidad en esta etapa (fase IV), realizar una evaluación de la eficiencia del sistema, en condiciones ambientales normales, 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 los factores negativos para dicho tratamiento, tales como la temperatura ( $0^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  Ciclófilo) y el cloro residual en el agua, producto de las labores de limpieza realizadas por el servidor, antes de la captación, los cuales inhiben los procesos de oxidación de la materia orgánica por los microorganismos heterótrofos aerobios.

El sistema se compone básicamente de una captación, que consiste en la desviación de las aguas residuales provenientes de las instalaciones del Santo ángel, desde una cajilla hacia una etapa de desbaste, donde se hace pasar el agua a través de unas mallas para retener los materiales mas gruesos, el agua sigue su camino por medio de una manguera de diámetro 2" hasta la fosa séptica mejorada que se encarga de eliminar gran cantidad de materia orgánica por medio de la sedimentación. El agua pre-tratada es llevada al Filtro Aerobio de Lecho Granular a través de una manguera de diámetro 1", este posee una biopelícula de bacterias aerobias fijada a un lecho de grava que se encarga de digerir y sintetizar la materia orgánica y demás componentes en suspensión de el agua residual y finalmente un sedimentador secundario cuya función es la de atrapar aquella biopelícula que pierde la capacidad de adhesión al lecho granular.

La investigación consiste en el estudio de una serie de parámetros físico – químicos realizados mediante laboratorios a lo largo de las cuatro etapas del proyecto, en esta cuarta etapa se trabajó por un periodo de 20 semanas en las cuales se evaluó la eficiencia de las diferentes unidades de tratamiento en cuanto a la remoción de cargas contaminantes, obteniéndose resultados que fueron analizados y comparados con las etapas anteriores, los cuales nos permitieron demostrar que el sistema de Filtro Aerobio de Lecho Granular Bacteriano es apto para ser implementado en nuestra región, en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## ABSTRACT

This work investigative, denominated Physical-chemical Evaluation of the Aerobic System of Bacterial Granular Channel F.A.L.G IV, for the Treatment of Residual Waters Tame, after having concluded the outburst stages, maturation and improvement of the system in the three initial phases, he/she has as purpose in this stage (phase IV), to carry out an evaluation of the efficiency of the system, under normal environmental conditions, with the purpose of verifying that the system of treatment of residual waters that he/she is studying has an acceptable behavior in our means, keeping in mind the negative factors for this treatment, such as the temperature ( $0^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  Cíclófilo) and the residual chlorine in the water, product of the works of cleaning carried out by the servant, before the reception, which inhibit the processes of oxidation of the organic matter for the microorganisms aerobic heterótrofos.

The system is composed basically of a reception that consists on the deviation of the residual waters coming from the Sacred angel's facilities, from a cajilla toward a stage of it roughdresses, where it is made pass the water through some meshes to retain the materials but thick, the water follows its road by means of a diameter hose 2" until the improved septic grave that he/she takes charge of eliminating great quantity of organic matter by means of the sedimentation. The pre-treated water is taken to the Aerobic Filter of Granular Channel through a diameter hose 1", this it possesses a biopelícula of aerobic bacterias fixed to a gravel channel that he/she takes charge of to digest and to synthesize the matter organic and other components in suspension of the residual water and finally a secondary sedimentador whose function is the one of catching that biopelícula that loses the capacity of adhesion to the granular channel.

The investigation consists on the study of a series of parameters physique - chemists carried out by means of laboratories along the four stages of the project, in this fourth stage one worked for a period of 20 weeks in which the efficiency of the different treatment units was evaluated as for the removal of loads pollutants, obtaining you results that they were analyzed and compared with the previous stages, which allowed us to demonstrate that the system of Aerobic Filter of Bacterial Granular Channel is capable to be implemented in our region, in the treatment of domestic residual waters.

## GLOSARIO

**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).

**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 DOMESTICA:** agua de origen domestico y que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

**ANÁLISIS:** examen de agua residual o lodos, efectuado en laboratorio.

**BACTERIA AEROBIA:** bacteria que vive y se produce tan solo en un ambiente que contenga oxígeno disuelto utilizable para su respiración, como oxígeno atmosférico u oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno combinado químicamente, como las moléculas de agua, H<sub>2</sub>O, no puede ser usado por las bacterias para su respiración.

**BIODEGRADACIÓN:** transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

**BIOMASA:** cantidad de materia viva (generalmente en peso) ligada a una cierta comunidad.

**BIOPELÍCULA:** película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

**CARGA ORGÁNICA:** producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio.

**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.

**CONDICIÓN AEROBIA:** condición en la cual hay presencia de aire u oxígeno libre.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (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 OXIGENO (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 bicromato de potasio.

**DEMANDA DE CLORO:** diferencia entre la cantidad de cloro añadida a las aguas residuales y la que queda después de un determinado tiempo de contacto. Esta varía de acuerdo a la temperatura, la dosis, el tiempo, la naturaleza y la cantidad de impurezas en el agua.

**DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES:** purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

**DESNITRIFICACIÓN:** tipo de proceso biológico que transforma nitritos y nitratos a Nitrógeno gaseoso.

**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.

**EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO:** relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento, y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje:  
$$\% \text{ Eficiencia} = ((\text{Valor de entrada} - \text{Valor de salida}) / \text{Valor de entrada}) * 100$$

**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.

**ENDÓGENA:** fase biológica en la que se mantiene un bajo nivel de respiración, oxidándose los materiales, previamente almacenados por la célula.

**FILTRO BIOLÓGICO:** sinónimo de "filtro percolador", "lecho bacteriano de contacto" o "biofiltro".

**FILTRO AEROBIO DE LECHO BACTERIANO:** 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.

**INOCULACIÓN:** introducción de un cultivo biológico en un sistema.

**LECHO BACTERIANO:** 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 aireación en el tratamiento con lodos activados.

**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.

**MATERIA ORGÁNICA:** materia procedente de animales o vegetales. Puede ser consumida en general por bacterias y otros organismos pequeños

**MEDIO FILTRANTE:** material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

**MUESTRA COMPUESTA:** combinación de alícuotas 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.

**NITRIFICACIÓN:** tipo de proceso biológico que transforma el nitrógeno amoniacal y orgánico a nitratos y nitritos.

**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.

**POTENCIAL DE HIDROGENO (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.

**SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA:** proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS (S.S):** constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

**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 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 PRIMARIO:** remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

## INTRODUCCION

El Filtro Aerobio de Lecho Granular Bacteriano es una tecnología aplicada en nuestro medio, que requiere de un trabajo continuo de investigación, la cual se ha realizado durante cuatro fases, que han tenido como propósito desarrollar y mejorar a lo largo del proyecto un sistema de tratamiento de aguas residuales.

El proceso de investigación que se realizó durante estas tres primeras fases; F.A.L.G. I, diseño y construcción, F.A.L.G. II ajuste de parámetros e iniciación de ensayos, F.A.L.G. III experimentación mejoramiento y ajuste del sistema. Necesitó de una nueva fase, F.A.L.G. IV, etapa en la que se realizó el trabajo de grado: **EVALUACION DEL SISTEMA DE FILTRO AEROBIO DE LECHO GRANULAR – BACTERIANO.**

Esta nueva fase es netamente de investigación, enfocada en evaluar la eficiencia del sistema, teniendo en cuenta los factores desfavorables tales como las temperaturas muy bajas, poco óptimas para la biodegradación de la materia orgánica; es decir que estas se encuentran por debajo de los 25°C, el cloro libre presente en el agua en forma de residuo de tratamientos de potabilización anteriores o de productos de limpieza; el cual se encarga de destruir algunas de las bacterias que hacen parte de la biopelícula del filtro aerobio de lecho bacteriano debido a su acción germicida y las sobrecargas de materia orgánica.

El proceso de investigación en esta Cuarta etapa, se dividió en tres tareas de suma importancia para nuestro estudio, las cuales fueron: operación y mantenimiento del sistema, ensayos de laboratorio y análisis de resultados.

La evaluación del sistema consistió en un análisis comparativo de los datos paramétricos obtenidos en las etapas anteriores del proyecto, teniendo en cuenta que los análisis realizados están basados en los porcentajes de remoción mínimos especificados en las normas de saneamiento ambiental.

Los resultados obtenidos en este trabajo servirán como fundamento para continuar la línea de investigación en el tratamiento de aguas residuales, para nuestra región y promover futuros proyectos relacionados con este tema.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 ANTECEDENTES

La enciclopedia Encarta dice:

A distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua y procedentes de viviendas e industrias se los conoce como depuración. A raíz de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, la depuración cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado del vertimiento de los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas en el aire, los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 desarrolló un sistema de eliminación de desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición, con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Enciclopedia Encarta. CD-ROM. Madrid: Microsoft, 2002.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.<sup>2</sup>

En la actualidad existen grandes plantas depuradoras con diversos tipos de tratamientos avanzados, entre los cuales tenemos los procesos físico-químicos y biológicos. En el momento nos enfocamos en los sistemas de tratamiento de los residuos biológicos, que consisten en cultivos microbianos forjados por el hombre y concebidos para transformar grandes cantidades de material carbonáceo en productos inofensivos. Los procesos biológicos se distinguen a su vez en procesos aerobios y procesos anaerobios, dependiendo si requieren para su operación de la utilización del aire.

Tradicionalmente el tratamiento biológico de aguas residuales se ha efectuado empleando procesos y sistemas aerobios, tales como lodos activados, lagunas aireadas y filtros percoladores. Sistemas que se caracterizan por la acción de bacterias y otros organismos que requieren de aire para su existencia, razón por la cual uno de los factores más importantes en estos sistemas es la energía requerida para suministrar las cantidades necesarias de aire.<sup>3</sup>

## 1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los procesos empleados en las plantas depuradoras municipales suelen clasificarse como parte del tratamiento primario, secundario o terciario. Las aguas residuales contienen residuos procedentes de las ciudades y fábricas. Es necesario tratarlos antes de enterrarlos o devolverlos a los sistemas hídricos locales. En una depuradora, los residuos atraviesan una serie de cedazos, cámaras y procesos químicos para reducir su volumen y toxicidad. Las tres fases del tratamiento son la primaria, la secundaria y la terciaria. En la primaria, se

---

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> OROZCO, Alvaro. Manual sobre digestión anaerobia, elementos de diseño. Bogota: McGraw Hill, 1990. p 4

elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia inorgánica. En la secundaria se trata de reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. La terciaria es necesaria cuando el agua va a ser reutilizada; elimina un 99% de los sólidos y además se emplean varios procesos químicos para garantizar que el agua esté tan libre de impurezas como sea posible.

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

Opciones típicas de almacenamiento y tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños.

**1.2.1 Sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales.** La necesidad de implementar plantas de tratamiento pequeñas prima sobre las plantas de tratamiento grandes, debido a sus costos y al enfoque del tratamiento según el tipo de agua, (domésticas) y su caudal, (< 3785 m<sup>3</sup>/día), lo que impulsa a implementar sistemas nuevos y mejorados en nuestro medio, estos sistemas pequeños y/o descentralizados tienen magnífica aplicación en casos como:

- Residencias individuales
- Conjuntos residenciales
- Instalaciones públicas
- Establecimientos comerciales
- Parques industriales
- Sistemas comunitarios

El Proyecto F.A.L.G. 4 se ubica dentro del siguientes caso:

**Instalaciones públicas.** Tales como escuelas, prisiones campamentos, zonas recreacionales, etc; con frecuencia son aisladas de los sistemas centralizados de manejo de aguas residuales, estos generalmente emiten efluentes del tipo agua residual doméstica. Aunque se ha usado una gran variedad de sistemas locales, los sistemas más comunes constan de un tanque séptico para el tratamiento parcial de aguas residuales y almacenamiento prolongado de los sólidos retenidos; el tratamiento y vertimiento final del efluente se realiza en campos de filtración superficial, estos sistemas alternos de tratamiento incluyen sistemas de tratamiento aerobio y filtros de lecho empacado, con flujo intermitente y recirculación.

### **1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS DE AGUAS RESIDUALES**

Los procesos biológicos tienen como objetivo estabilizar la materia orgánica coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan y que se encuentran

en las aguas residuales domésticas y en las de los tanques sépticos, otros objetivos son la remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, así como rastros de compuestos orgánicos.

Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales se clasifican en dos grupos:

Anaerobios

Aerobios

**Proceso Anaerobio.** Los procesos biológicos anaerobios son aquellos que utilizan los organismos heterótrofos anaerobios y que por tanto no necesitan de oxígeno molecular para su desarrollo ; en este proceso la materia orgánica biodegradable es asimilada por los microorganismos bajo condiciones específicas (ausencia de oxígeno), empleando parte de esta materia orgánica en la síntesis de nuevas células, sufriendo el resto un proceso de oxidación hasta los productos finales. Los productos finales de la degradación son gases, principalmente metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H<sub>2</sub>).<sup>4</sup>

**Proceso Aerobio.** Los procesos biológicos aerobios son aquellos que utilizan a los organismos heterótrofos aerobios para oxidar la materia orgánica; es decir que necesitan de oxígeno molecular para su desarrollo.

El tratamiento aerobio, es un proceso biológico que tiene por objeto la oxidación y eliminación de las sustancias disueltas y coloidales, transformándolas, por la acción de los microorganismos (bacterias, protozoos,...) en sustancias sedimentables que pueden ser separadas del agua mediante decantación. La oxidación de la materia orgánica es un fenómeno complejo que genera la energía necesaria para la vida de los microorganismos, y sus manifestaciones (reproducción, crecimiento, movimiento,...).

## 1.4 PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO

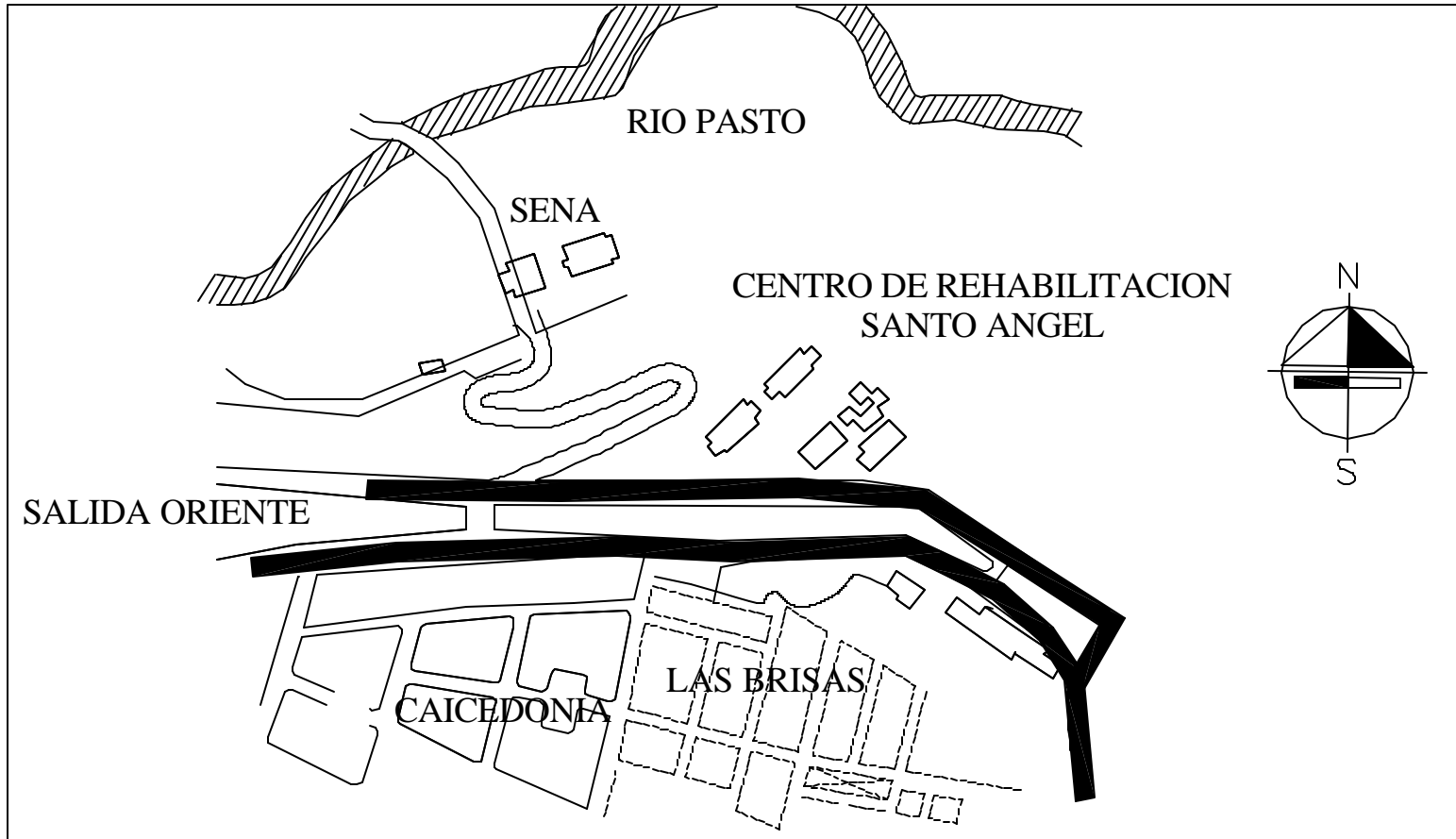
**1.4.1 Localización.** El proyecto de investigación "Evaluación del sistema de Filtro Aerobio de Lecho Granular Bacteriano para el tratamiento de aguas residuales domésticas "F.A.L.G. IV" se encuentra localizado en predios del Centro de Rehabilitación para el Menor Santo Ángel, a cargo de los padres Somascos y en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, sector del barrio La Estrella, salida a oriente de la ciudad de Pasto. La capacidad del Instituto es variable debido a que tanto el ingreso como el egreso de menores no son constantes durante todo el año. (Ver Figura 1).

---

<sup>4</sup> Ibid., p 5



Figura 1. Esquema de localización de la Planta Piloto



## 1.4.2 Partes del sistema.(Ver Figura 2).

**1.4.2.1 Recolección de aguas residuales.** Alcantarillado de diámetro pequeño compuesto por cuatro (4) cajillas de recolección, las cuales reciben el agua residual de sanitarios, duchas y pasillos de las instalaciones del Centro de Rehabilitación para el Menor Santo Ángel

**1.4.2.2 Desbaste.** Es el proceso mediante el cual se realiza la separación del agua residual a tratar de los sólidos de gran tamaño tales como piedras, ramas, plásticos, trapos, etc., mediante una malla situada en la cajilla de recolección.

Sus objetivos son:

- Proteger a la planta experimental piloto de la llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar la obstrucción en las diferentes unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían destruir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos.
- Proteger la tubería de conducción de atascamientos probables debido a la presencia de grandes sólidos.

**1.4.2.3 Tanque Séptico.** Salazar menciona que: “es un proceso de tratamiento primario aplicable a viviendas aisladas, comunidades o núcleos rurales con una población no mayor a 100 habitantes en servicio domestico o 300 habitantes en servicio escolar y que disponen de red de alcantarillado separativa. Debe llevar un sistema de post-tratamiento”.<sup>5</sup>

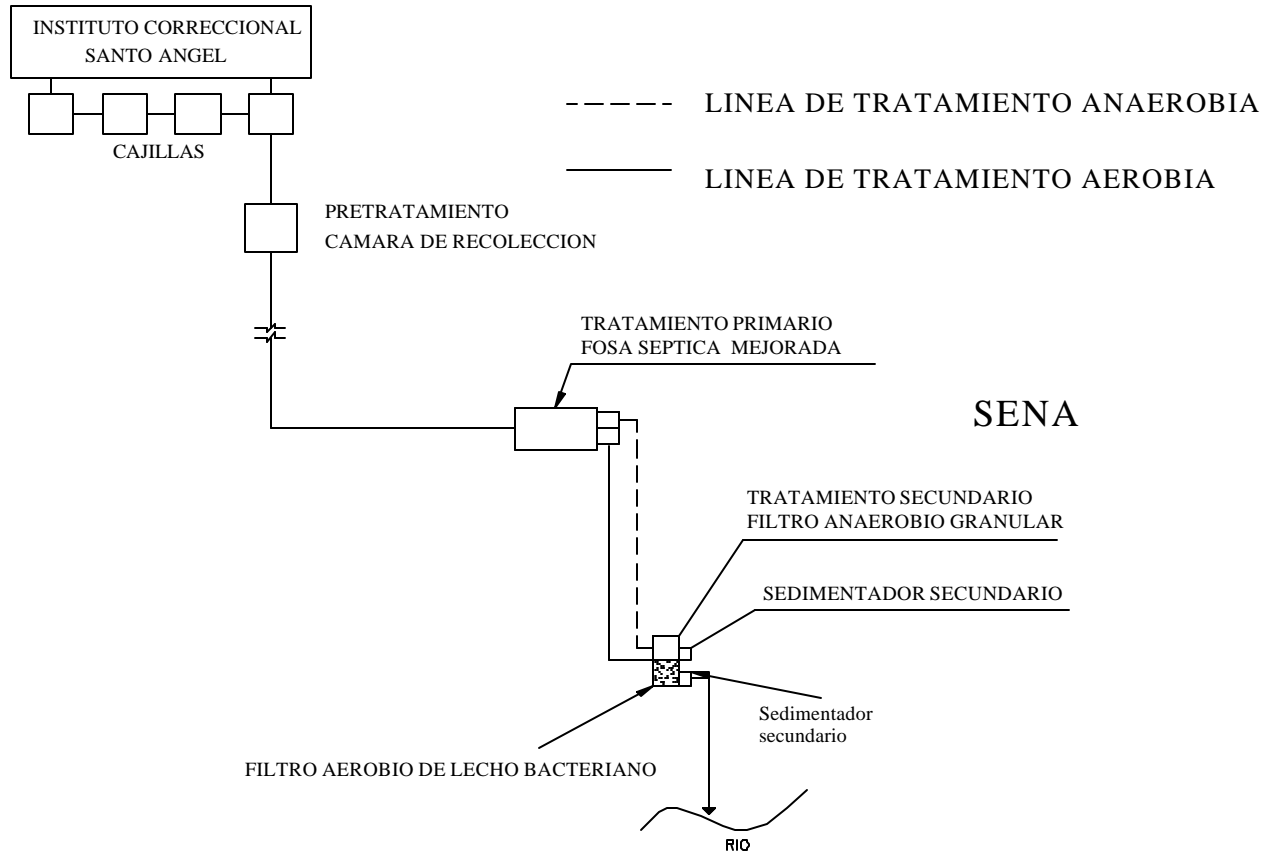
Según las Normas RAS 2000, los Tanques Sépticos se recomiendan solamente para:

- 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 los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.
- No está permitido que les entre aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.

---

<sup>5</sup> SALAZAR CANO, Roberto. Teoría y diseño de los tratamientos de aguas residuales. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2002. p 121

Figura 2: Esquema general del sistema.



- 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.<sup>6</sup>

El tanque Séptico consiste en un depósito cerrado que cumple con un doble objetivo:

- Realizar una decantación primaria donde hay una reducción de los sólidos suspendidos y del material flotante.
- Llevar a cabo una digestión anaerobia y el almacenamiento de fangos resultantes de la degradación de la materia orgánica.

#### 1.4.2.4 Filtro Aerobio de lecho Bacteriano

**Generalidades.** Estos filtros son en esencia columnas, de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua.

“Las aguas son distribuidas por igual sobre la superficie del lecho, siendo filtradas para posteriormente ser recogidas en un desagüe. Una película de crecimiento microbiano (Biopelícula) se desarrolla en la superficie del lecho de soporte a expensas de la materia orgánica procedente del flujo continuo de las aguas residuales.”<sup>7</sup>

“A medida que va aumentando el espesor de la biopelícula, los microorganismos situados cerca de la superficie del medio de soporte, padecen del suministro de materia orgánica y entran en su fase endógena perdiendo la capacidad de adhesión al medio, produciéndose el desprendimiento de la biopelícula, el arrastre con el agua, y el inicio del crecimiento de una nueva.”<sup>8</sup>

Una biopelícula en equilibrio tiene de 0,2 a 2,0 mm de espesor y libera constantemente biomasa que requiere la deposición del efluente en tanques de sedimentación secundarios. La población microbiana adherida no se elimina fácilmente, incluso aunque se la someta a compuestos tóxicos y, por tanto, estos filtros son relativamente resistentes al choque. Los residuos más contaminados requieren un flujo más lento, pudiendo incrementarse la capacidad del sistema si

<sup>6</sup> COLOMBIA, Ministerio de desarrollo económico. Dirección de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Sección II, Título E Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: MINDESARROLLO, 2000. p 74

<sup>7</sup> METCALF y EDDY, Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Madrid: McGraw Hill. 1995. p 488

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p 489

se disponen dos filtros en serie (filtración doble alternante), o bien mediante el reciclaje efectivo, mezclando una parte del efluente con las aguas residuales en reposo que llegan.

Los filtros de goteo contienen una mayor diversidad de organismos que las plantas de sedimento activado y los niveles tróficos abarcan desde bacterias a vermes y larvas de insectos. Las bacterias predominan en la biopelícula, constituyendo el 70-80 % de la biomasa de la misma; los protozoos, hongos y metazoos forman el resto, distribuidos en partes más o menos equivalentes. Muchas de las bacterias de la película producen exopolisacáridos que son considerados como los formadores de la matriz adhesiva de la misma. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la DBO5.

En las partes más profundas del filtro están presentes las bacterias nitrificantes. Los hongos que allí se encuentran también son responsables de la estabilización de las aguas residuales, pero su contribución es generalmente importante sólo bajo condiciones de pH bajo o con ciertos desechos industriales. En ciertos momentos su crecimiento puede llegar a ser tan rápido que el filtro se tapa y la ventilación se restringe.

Las algas pueden crecer únicamente en las partes superiores del filtro, donde la luz solar está disponible. En general, las algas no toman parte en la degradación de los desechos, pero durante las horas de luz solar añaden oxígeno al agua que está filtrándose. Desde el punto de vista operativo, las algas constituyen un problema, ya que pueden obstruir la superficie del filtro, produciéndose malos olores.<sup>9</sup>

## Ventajas

- No necesita de equipos para suministro de oxígeno.
- Baja producción de lodos.
- Menor área superficial de construcción, considerando la alta producción de biomasa generada en la gran área superficial del medio filtrante.
- Menor tamaño en los sedimentadores comparativamente con los lodos activados.
- No se requiere de personal altamente calificado

---

<sup>9</sup> Ibid., p 492

## Desventajas

- Estructura alta que obliga a bombear las aguas residuales desde el sedimentador en caso de utilizar recirculación. (En este trabajo de grado no se utiliza recirculación)
- Area superficial relativamente grande.
- Pueden existir problemas de olor, especialmente en las temporadas cálidas.
- Presencia de larvas o moscas, que desarrolladas en exceso puedan obstaculizar el proceso de clarificación.<sup>10</sup>

**Aireación de los tratamientos aerobios.** El principio de aireación en los filtros aerobios de lecho bacteriano consiste en hacer caer el agua residual proveniente de un tratamiento primario, en forma de lluvia sobre el lecho bacteriano y por corrientes de convección. Su funcionamiento es el siguiente: Se efectúa una aireación por tiro natural, esta aireación tiene por objeto brindarle a la biomasa del lecho el oxígeno suficiente para mantener la microflora en un medio aerobio. Explicación más simple de la transferencia de oxígeno en estos tratamientos es la dada por la teoría de la doble película la cual es la presencia de dos capas una líquida y otra gaseosa, es la interfase gas - líquido la que proporciona la mayor parte de resistencia al paso de las moléculas de gas.

Aireación por corrientes de convección: gracias a la diferencia de temperatura existente entre el agua residual y el medio ambiente, el cambio de temperatura del aire en el interior del filtro, establece una corriente de densidad que renueva el aire en el mismo.<sup>11</sup>

**Biopelícula.** “Una de las variables fundamentales para el tratamiento de aguas residuales en reactores de soporte fijo, es la pequeña capa biológica, que crece adherida al soporte, responsable del proceso de depuración y denominada biopelícula”.<sup>12</sup>

Se puede decir que la biopelícula es una matriz conformada por células microbianas y sustancias poliméricas extracelulares (E.P.S) segregadas por aquellas, que se unen en una superficie soporte.

En las zonas oxigenadas de la biopelícula se desarrollan células microbianas aerobias que utilizan el oxígeno como receptor de electrones, y en las zonas sin oxígeno de la biopelícula se desarrollan microorganismos anaerobios.

---

<sup>10</sup> SALAZAR CANO, op. cit. p 132

<sup>11</sup> Ibid, p 176

<sup>12</sup> RHEINHEIMER, Gerhard. Microbiología de las aguas. Zaragoza: Acribia. 1987. pag

**Características de la biopelícula.** La eliminación de contaminantes en forma de carbono y nutrientes en un medio heterogéneo (biopelícula), es el resultado de la interacción entre la tasa de transporte y la tasa intrínseca de reacción. La superficie disponible para la colonización y el desarrollo de la biopelícula es característica fija del proceso a emplear, por lo cual la masa de biopelícula en el mismo resulta una función del espesor y densidad de la película biológica. Una biopelícula no es una sustancia rígida. La matriz EPS, se comporta como un gel. Las propiedades geológicas influyen en la transferencia de masa en la interfase biopelícula - agua. Las propiedades viscosas de la biopelícula contribuyen al aumento de la resistencia friccional del fluido. Dentro de las características de la biopelícula se pueden considerar:

- Composición
- Espesor

### **Filtro Aerobio de Lecho Bacteriano de la Planta Experimental Piloto**

**Características del lecho bacteriano.** El lecho de soporte del filtro aerobio esta conformado por grava de gran superficie específica con tamaños entre 6 y 11cm, es el medio donde se encuentra adherida la biopelícula, este es soportado por una losa en concreto reforzado, que además tiene la función de permitir el paso del agua residual ya tratada a través de unas perforaciones, hasta una cámara de drenaje, permitiendo el paso de aire del exterior al interior del Lecho.

El agua proveniente de la fosa séptica mejorada entra al filtro por medio de una tubería que distribuye uniformemente el caudal sobre una lamina perforada, con el objetivo de lograr una distribución del flujo en forma de lluvia, posteriormente atraviesa el lecho bacteriano en forma descendente, finalmente se recoge en un falso fondo que además tiene la función de permitir la aireación a través de unas ventanas que se encuentran en la parte inferior del filtro.

**Componentes del Lecho Bacteriano.** El filtro aerobio es un tanque con una altura de 2.4 m. Los componentes de este filtro son los siguientes:

- Tubería PVC de diámetro 1/2", con perforaciones cada 5 cm., para entrada del agua al filtro. Esta tubería fue mejorada, debido a que se observo que el flujo no se distribuía uniformemente.
- Lamina metálica perforada, calibre 18, de 0.7 m X 0.7 m, separada 5 cm. de la tubería.
- Lecho de grava de 1.8 m de altura.
- Losa en concreto reforzado, perforado de 0.7m X 0.7m X 0.1 m de altura.
- Falso fondo. Aquí se presentan unas ventanas de aireación para asegurar el mejor funcionamiento del filtro.

- Tapa plástica superior, con marco en madera, para evitar entrada de agua lluvia a la unidad.  
(Ver figura 3).

**Mantenimiento y limpieza del Lecho Bacteriano.** Después de verificar que todas las tuberías estén funcionando correctamente antes de la entrada al filtro, así como también verificar que el caudal se distribuya uniformemente en toda la superficie del filtro, podemos realizar el mantenimiento de la unidad. Para hacer un buen mantenimiento, se debe hacer una limpieza dos veces por semana, la cual incluye las siguientes actividades:

- Revisión del surtidor de caudal, que se encuentra en la parte superior del filtro, verificando la correcta salida intermitente del agua por todas las aberturas de la flauta. En caso de no cumplir lo anterior se debe limpiar con un cepillo todas las salidas de la flauta y verificar el nivel de las flautas para asegurar su buen funcionamiento.
- Limpieza de la lámina perforada, restregando con un cepillo toda su superficie, con el fin de asegurar una buena distribución sobre el lecho.
- Limpieza de las paredes del filtro, mediante un cepillo ya que en estas se presentan insectos (moscas), provocados por las condiciones de baja carga a la cual opera el filtro.
- Verificación de las ventanas de ventilación, para que las condiciones de aireación se cumplan, retirando cualquier material que obstruya esta función.
- Verificación de la cámara de recolección, observando posibles fugas presentes en la periferia del filtro, por posibles taponamientos en la salida al sedimentador secundario. La solución a este problema es el sondeo desde la salida hacia el interior de la cámara de recolección.(Ver Figura 3).

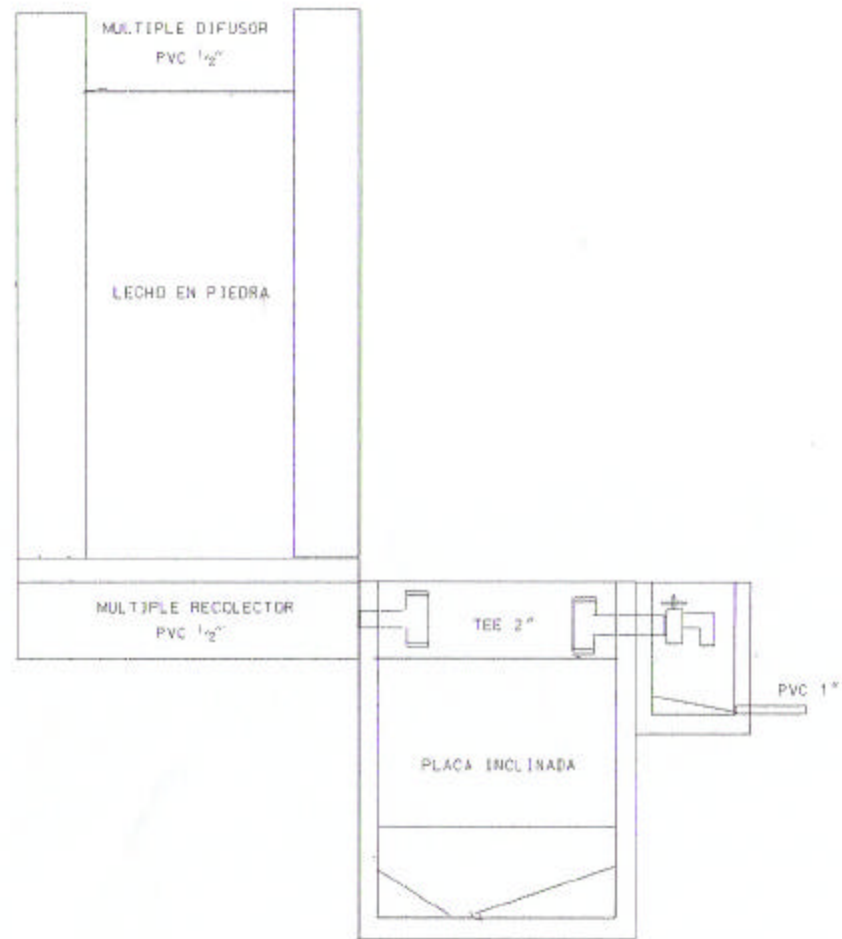
## 1.5 FACTORES NEGATIVOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

**1.5.1 Cloro.** Presencia de cloro residual producto de procesos de limpieza y desinfección de las unidades sanitarias y lavado de pisos en las instalaciones del SANTO ANGEL, además del residuo de potabilización del agua; Se pensaría que su presencia es un gran inconveniente, ya que ataca a los microorganismos encargados de la digestión de la materia orgánica, disminuyendo la eficiencia de remoción,(Ver Anexo 41, 42, 43 y 44).

**1.5.2 Temperatura.** 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. Además el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría, como en nuestro caso (Pasto). La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 77 a 95°F ( de 25 a 35°C) Termofilo. Los procesos de



Figura 3. Esquema filtro aerobio



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,(Ver anexo 37, 38, 39 y 40). Cuando la temperatura es de 36°F (2°C), se alcanza incluso la inactivación de bacterias quimioheterotróficas que actúan sobre la materia orgánica carbonácea.<sup>13</sup>

**1.5.3 Carga Orgánica.** La carga orgánica es el producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el sitio; expresado en kilogramo por día (kg/d).<sup>14</sup> Este es un factor negativo ya que el incremento poblacional es directamente proporcional al aumento de la carga orgánica en el efluente, lo cual genera fallas en el sistema al sobre pasar los parámetros de diseño. En nuestra investigación este fue un factor determinante debido a que el instituto de rehabilitación SANTO ANGEL no lleva un control adecuado del numero de habitantes y esto hace que los datos de población sean muy variables,(Ver Anexo 45, 46 y 47).

## **1.6 ANALISIS FISICO-QUIMICO AGUAS RESIDUALES PLANTA PILOTO**

### **1.6.1 Muestreo de aguas residuales**

**1.6.1.1 Muestreo.** La toma de muestra para el análisis físico- químico de las aguas residuales provenientes del instituto de rehabilitación SANTO ANGEL proyecto F.A.L.G. IV se realizo siguiendo estos puntos:

**1.6.1.2 Plan de muestreo.** Estos muestreos se hicieron en 2 lugares correspondientes a la entrada al Filtro Aerobio de lecho Bacteriano y Salida del Sedimentador Secundario del sistema Aerobio, En este trabajo de grado se realizaron muestreos de tipo compuesto durante 20 semanas; “las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.”<sup>15</sup>

**1.6.1.3 Tamaño de la muestra.** Las muestras de tipo compuestas se tomaron en recipientes plásticos con capacidad un litro, y su llenado se realizo en dos secciones la primera en la mañana y la segunda en la tarde a diferentes horas, con un intervalo de tiempo entre secciones de 4 a 6 horas. Con el fin de analizar el comportamiento del sistema en diferentes periodos de tiempo en relación con los hábitos de la población del instituto de rehabilitación SANTO ANGEL.

---

<sup>13</sup> CRITES y TCHOBANOGLOUS, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 1997. California: Mc Graw Hill. p 46

<sup>14</sup> SALAZAR CANO, op cit. p 128

<sup>15</sup> Ibid, p112

**1.6.1.4 Cuidado de la muestra.** Cada uno de los recipientes debidamente sellado después de cada toma, y rotulado con el nombre y número correspondientes al punto de muestro; con especial cuidado de no exponer las muestras al sol, ni realizar muestreos en condiciones climáticas desfavorables (precipitaciones), que pudieran alterar las muestras, de igual manera tratamos de que no sufrieran movimientos bruscos al transportarlas.

**1.6.1.5 Método de muestreo.** El método de muestreo realizado en la F.L.A.G. IV fue de tipo manual, teniendo en cuenta la debida protección del personal (guantes, tapa bocas, etc.) para evitar problemas de salud debido a la contaminación.

**1.6.1.6 Constituyentes de la muestra.** “Los parámetros a determinar en las muestras fueron los siguientes: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Sólidos Volátiles, Temperatura, Potencial Hidrogeno, Alcalinidad, Dureza, Oxígeno Disuelto, Cloro Residual, Nitritos, Nitratos.”<sup>16</sup>

**1.6.2 Laboratorios realizados en la fase iv de la investigación.** Para este trabajo de investigación se determinó caracterizar los parámetros mínimos que se deben analizar en las aguas residuales domesticas según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) para niveles de complejidad bajo y además los parámetros que pudieran afectar el funcionamiento del sistema. (Ver Tabla 1)

Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño.

En esta fase de la investigación se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio Según Hach<sup>17</sup>

- DBO5 mg/lit.
- DQO mg/lit.
- Sólidos Suspendidos mg/lit.
- Alcalinidad mg/lit CaCo3.
- Oxígeno Disuelto mg/lit.
- pH.
- Temperatura °C.
- Cloro Residual mg/lit.

---

<sup>16</sup> CRITES y TCHOBANOGLOUS, op. cit. p 27

<sup>17</sup> HACH. Manual de análisis de agua. 1889. p 36

- Nitratos NO<sub>2</sub>-N mg/lit.
- Nitritos NO<sub>3</sub>-N mg/lit.
- Dureza mg/lit CaCo<sub>3</sub>.
- Sólidos Totales mg/lit.
- Sólidos Volátiles mg/lit.
- UFC Coliformes Totales/100ml.

**Tabla 1. Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad.**

<b>Parámetro</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Medio alto</b>	<b>Alto</b>
Oxígeno disuelto	X	X	X	X
DBO <sub>5</sub>				
<i>Soluble</i>	X	X	X	X
<i>Total</i>	X	X	X	X
SS				
SST	X	X	X	X
SSV	X	X	X	X
DQO				
<i>Soluble</i>	X	X	X	X
<i>Total</i>	X	X	X	X
NITRÓGENO				
<i>Total</i>	X	X		
<i>Orgánico</i>				X
<i>Soluble</i>				X
<i>Particulado</i>				
<i>Amoniacal</i>				X
<i>Soluble</i>				X
<i>Particulada</i>				X
<i>Nitritos</i>				X
<i>Nitratos</i>				
FOSFORO TOTAL				
<i>Soluble</i>	X	X	X	X
<i>Particulado</i>	X	X	X	X
CLORUROS			X	X
ALCALINIDAD				X
ACEITES Y GRASAS			X	X
COLIFORMES				
<i>Fecales</i>			X	X
<i>Totales</i>			X	X
PH	X	X	X	X
ACIDEZ	X	X	X	X
DETERGENTES			X	X

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000)

**1.6.2.1 Demanda Química de Oxígeno DQO mg/lit.** La determinación de la DQO se realizó por el método de digestión de reacción, método 8000 aprobado por la United States Environmental Protection Agency

(USEPA) para bajo rango (LR de 0 a 150 mg/lit) y por el método 8000 aprobado por la USEPA para alto rango (HR de 0 a 1500 mg/lit y de 0 a 15000 mg/lit).

**1.6.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno OXITOP DBO5 mg/lit.** La determinación de la DBO5 se realizó aplicando el método respirométrico con la utilización del equipo OXITOP 156.

**1.6.2.3 Sólidos Suspendidos mg/lit.** La determinación de los Sólidos Suspendidos se realizó por medio del método fotométrico 8066 en un rango de 0 a 750 mg/lit, con la utilización del equipo HACH DR-700.

**1.6.2.4 Alcalinidad mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.** La determinación de la Alcalinidad se realizó con la aplicación del método 8203, método de fenofaleína, usando ácido sulfúrico en un rango de 10 a 400 mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.

Lectura del titulador \* Factor de tablas = Alcalinidad mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.

**1.6.2.5 Oxígeno Disuelto mg/lit.** En este trabajo de investigación se realizó el ensayo por medio del Oxímetro Digital, el cual mide la cantidad de oxígeno disuelto por medio de la conductividad del agua residual, el resultado se presenta en mg/lit de oxígeno disuelto.

**1.6.2.6 pH. Potencial Hidrógeno.** En este trabajo de investigación, se realizó el ensayo de pH por método potenciométrico, por medio de un electrodo que mide la diferencia del potencial eléctrico a través de una membrana de vidrio sensible a los iones H<sup>+</sup> presentes en el agua.

**1.6.2.7 Temperatura °C.** La temperatura se mide directamente en el sitio de toma de las muestras con un termómetro de mercurio en el cual se lee directamente el valor de la temperatura<sup>18</sup>.

**1.6.2.8 Cloro Residual mg/lit.** Para la determinación del cloro residual se utilizó el equipo HACH DR-700 en donde se toma la lectura después de haber fijado el cloro residual con el indicador DPD.

**1.6.2.9 Nitratos NO<sub>3</sub>-N mg/lit.** La determinación de los Nitratos se realizó por el método 8039 a través de la reducción de Cadmio en un rango de 0 a 30 mg/lit de NO<sub>3</sub>-N y utilizando el equipo HACH DR-700.

**1.6.2.10 Nitritos NO<sub>2</sub>-N mg/lit.** La determinación de los Nitritos se realizó por el método 8507, por el método de Diazotización en un rango de 0 a 350 mg/lit de NO<sub>2</sub>-N aprobado por la USEPA y utilizando el equipo HACH

---

<sup>18</sup> Ibid, p 38

DR-700.

**1.6.2.11 Dureza mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.** La determinación de la Dureza se realizó aplicando el método 8213, utilizando el titulador digital EDTA, en un rango de 10 a 400 mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.

Lectura del titulador \* Factor de tablas = Dureza mg/lit de CaCO<sub>3</sub>.

**1.6.2.12 Sólidos Totales mg/lit.** Se somete el agua residual a un proceso de evaporación a 105 °C, el residuo que se obtiene se define como los Sólidos Totales en mg/lit, los cuales incluyen la materia flotante, materia en suspensión, materia en dispersión coloidal y materia en disolución.

**1.6.2.13 Sólidos Volátiles mg/lit.** Una muestra de agua residual es sometida a calcinación a 500 ± 50 °C, la fracción orgánica se oxida y es expulsada como gas, a esta fracción se denomina sólidos volátiles en mg/lit.<sup>19</sup>

**1.6.2.14 UFC Coliformes Totales/100ml.** Consiste en la realización de ensayos de filtración, mediante la utilización del filtro de membrana. Se hace pasar por el filtro mediante succión el agua destilada estéril inoculada con 1 ml de cultivo bacteriano, después se introduce 1 ml de filtrado en el tubo de caldo nutritivo y a continuación se coloca este filtro en la superficie de un medio nutritivo, los dos cultivos se incuban a 37°C durante 24 horas, después de este período se procede al recuento de colonias el cual indica el número de microorganismos viables (Coliformes) presentes en el fluido.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Ibid., p 40

<sup>20</sup> WISTREICH, George A. Prácticas de laboratorio en microbiología. 1978. p 103

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2.1 VARIACION DE LOS PARÁMETROS SEGÚN PUNTOS DE MUESTREO

Para comenzar con el análisis de resultados de la fase F.A.L.G IV en la línea aerobia, optamos por mostrar la variación de los datos obtenidos para cada parámetro en los diferentes puntos de muestreo; con el fin de verificar que el sistema trabaja en forma adecuada en cada una de sus unidades.

Los anexos 18 y 19 nos muestran la variación de los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO5) respectivamente, a la entrada de la Fosa Séptica, entrada del Filtro Anaerobio y en la Salida del Decantador Secundario, encontrando los valores más altos de dichos parámetros a la entrada del sistema y bs valores mínimos a la salida de este; con lo cual se puede verificar la eficiencia del sistema en cada una de sus unidades, apoyado en los porcentajes de remoción, ( Ver anexo 1 y 2).

Los anexos 20, 21 y 22 representan la variación de los parámetros Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Volátiles (SV) y Sólidos Totales (ST) respectivamente, las gráficas de estos tres parámetros guardan una marcada similitud ya que varían en forma proporcional en sus picos y depresiones; en estos parámetros encontramos que existe una diferencia considerable de eliminación de sólidos a medida que el agua residual entra en las diferentes unidades del sistema. (Ver Anexos 3, 12 y 13).

El anexo 23 muestra la variación de la Alcalinidad en el sistema, indicando que a medida que atraviesa las diferentes unidades de la línea aerobia, la Alcalinidad del agua residual se reduce. Básicamente la Alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para neutralizar la acidez. Podemos decir que el agua residual tiene una concentración débil de alcalinidad debido a la presencia de compuestos alcalinos débiles como lo son los carbonatos y bicarbonatos principalmente iones de  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  (ver Anexo 4).

El anexo 24 presenta la variación de Dureza en la línea aerobia, indicando que a medida que atraviesa sus diferentes unidades, la Dureza del agua residual aumenta. el agua residual analizada se puede clasificar como blanda ya que se encuentra por debajo de 100 mg/lit de  $\text{CaCO}_3$  en su valor medio, (Ver Anexo 5).

En el anexo 25 podemos apreciar la variación de oxígeno disuelto en el sistema, donde los valores promedios de Oxígeno Disuelto durante la fase IV de investigación, indican que hay un mínimo consumo de oxígeno en la Fosa Séptica, pero en el trayecto del Filtro Aerobio al Decantador Secundario hay un incremento notable de oxígeno, lo cual nos permite deducir que El Filtro Aerobio de Lecho

Granular Bacteriano trabaja en buena forma debido a la exigencia de oxígeno requerido por las bacterias en el proceso de descomposición de la materia orgánica, ( Ver Anexo 10).

Como se puede observar en el anexo 26 la variación del potencial de hidrógeno se hace notoria entre la entrada a la fosa y la salida del decantador secundario en este último se reduce de forma considerable este parámetro; aunque los valores promedio de pH que se presentan en el sistema, son altos, lo que indica que el agua residual que se esta tratando se aleja de la posibilidad de presentar acidificación, probablemente debido a la presencia de sustancias como el carbonato de calcio que reacciona con el  $\text{CO}_2$ , que a su vez es producto de la oxidación biológica de la materia orgánica, formando de esta forma bicarbonatos solubles que mantienen el pH en un rango alto, (Ver Anexo 9).

El anexo 27, nos indica una variación mínima de temperatura en el sistema. Los valores promedio de temperatura que se muestran para la fase IV de investigación son bajos lo cual no es propicio para el desarrollo de los tratamientos biológicos aerobios y las características de sedimentación de los sólidos biológicos, los que se realizan en óptimas condiciones en un rango que oscila entre 25 a 45 °C, (Ver Anexo 8).

Los valores de la variación de cloro en el la Línea Aerobia fase IV se encuentran en el anexo 28, como se identifica claramente estos valores son altos a la entrada de la fosa séptica; aunque se reduce al paso por las unidades del sistema lo cual indica que el Cloro Residual esta actuando dentro de la Fosa Séptica y en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario, este parámetro es nocivo ya que el cloro es un desinfectante químico utilizado para eliminar (inhibe el crecimiento) organismos patógenos, en nuestro caso las altas concentraciones de cloro residual afectan el rendimiento del Filtro Aerobio, (Ver Anexo 14).

El anexo 29, muestra la variación de nitritos en la Línea Aerobia fase IV, donde podemos apreciar el incremento de los nitritos en decantador secundario; sin embargo, como se puede observar su valor es bajo y en aguas residuales no excede de 1mg/lt. pero se debe tomar en cuenta que los nitritos son altamente tóxicos para las especies acuáticas. El efecto del cloro residual por la utilización de detergentes y desinfectantes permite la oxidación de los nitritos a nitratos, (Ver Anexo 6 y 14).

En el anexo 30, podemos observar la variación de nitratos durante la fase IV de la investigación, notamos que se presenta una disminución de nitratos dentro del decantador secundario, lo cual puede estar asociado con la transformación del Nitrógeno. La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/lt, (Ver Anexo 7).



Los valores de Coliformes en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran en el Anexo 11. En cuanto a los Coliformes totales los cuales son indicadores de contaminación fecal, se puede decir que debido a la presencia de cloro, durante la investigación estos varían considerablemente.

## **2.2 CONTROL DE EFICIENCIA CON LOS PARÁMETROS DE REMOCIÓN PROYECTO F.A.L.G. IV Vs F.A.L.G III**

El análisis de resultados del proyecto F.A.L.G IV Línea Aerobia se efectuó determinando la eficiencia de las unidades, tomando los valores medios a la entrada y salida de cada una de las unidades del sistema por medio de la siguiente formula:

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\text{Valor de Entrada} - \text{Valor de Salida}}{\text{Valor de Entrada}}$$

Estos valores son comparados con las normas de vertimiento de aguas residuales Decreto 1594 de 1984 Artículos 72 y 73, (Ver tabla 2).

Los Anexos 1 y 2 nos muestran los valores de los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO5) respectivamente; a la entrada de la Fosa Séptica, entrada del Filtro Anaerobio y en la Salida del Decantador Secundario, con la cual se puede verificar la eficiencia del sistema en cada una de sus unidades, apoyado en los porcentajes de remoción.

La relación de los parámetros DQO y DBO5 sirven para tipificar el agua residual que se esta tratando, (Ver Anexo 15, 16 y 17).

Según Salazar: “para aguas domesticas brutas típicas, el cociente DBO5/DQO se halla en el intervalo 0.4 – 0.8”.<sup>21</sup>

Con la relación anterior se entiende además que la DBO5 no puede sobrepasar a la DQO, en caso contrario se presume que existieron errores en la realización del análisis. Para este caso se tiene que los cocientes de la DBO5 y la DQO a la entrada de la Fosa Séptica, entrada Filtro Anaerobio y Salida Decantador Secundario son: 0.41, 0.51 y 0.43 respectivamente. Como la relación anterior es mayor a 0.4 se tiene que el agua residual tratada es biodegradable y que se puede tratar mediante Lechos Bacterianos.

---

<sup>21</sup> SALAZAR CANO, Roberto Teoria y diseño de los tratamientos de aguas residuales. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2002. 18 p

## Tabla 2. Normas de Vertimiento de Aguas Residuales 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	$\leq 40$ °C	$\leq 40$ °C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción $\geq 80\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción $\geq 50\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO		
Para desechos domésticos	Remoción $\geq 30\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga
Para desechos industriales	Remoción $\geq 20\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ 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
Ácidos, 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
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>		
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.

En el anexo 31, se aprecia la variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las fases III y IV a lo largo de la Línea Aerobia, notándose claramente que en la fase IV la carga orgánica que entro al sistema fue mayor a la tratada en la fase III, exceptuando las semanas que representan los picos mas pronunciados de esta fase; sin embargo la reducción de este parámetro en la fase IV presento una tendencia constante a lo largo del proyecto y con mayor eficiencia que la fase anterior en el decantador secundario. Aunque la reducción de la DQO en la fosa séptica fue menor que en la fase III, (Ver Anexo 2).

En el anexo 32, se muestra el comportamiento de la Línea Aerobia en cuanto al porcentaje de remoción de DQO en las fases III y IV, en donde se puede observar que el sistema en al fase IV ha presentado un incremento considerable y constante en el porcentaje de remoción con respecto a la fase anterior.

Además se puede observar que en la fase IV la eficiencia en cuanto a remoción de DQO en el Filtro Aerobio + el Decantador Secundario se redujo con relación a la fase III. Entonces como el porcentaje de remoción de DQO en la Línea Aerobia a aumentado y este porcentaje en el Filtro Aerobio + el Decantador Secundario a sido mínimo, el aumento de la eficiencia de la Línea Aerobia se explica con el aumento en el porcentaje de remoción de DQO en la Fosa Séptica durante la fase IV, (Ver Anexo 2).

En el anexo 32, se observa que el porcentaje de remoción de DQO en la fase IV ha aumentado con respecto a la fase III en la Fosa Séptica, lo que a contribuido al mejoramiento en la eficiencia de la Línea Aerobia pese al decrecimiento de la eficiencia en el Filtro Aerobio + Decantador Secundario, (Ver Anexo 2).

También, se muestra el porcentaje de remoción de DQO en la Línea Aerobia en la fase IV notándose que la tendencia es la de disminuir su eficiencia en remoción de DQO a lo largo del tiempo, por el contrario se observa que los porcentajes de remoción de DQO en el Filtro Aerobio + Decantador Secundario varían significativamente a lo largo de la fase IV presentándose altibajos en la remoción, aunque la tendencia se inclina al aumento de su eficiencia en el tiempo, (Ver Anexo 2).

En el anexo 33, se representa la variación de la DBO5 en la Línea Aerobia durante la fase IV, en donde se observa variaciones representativas en algunos de los puntos, lo cual indica que la carga orgánica es muy variable a la entrada de la Fosa Séptica, pero la DBO5 a la Salida del Decantador Secundario permanece constante lo que indica que la Línea Aerobia es capaz de mantener un efluente constante pese a las variaciones intempestivas de carga orgánica, esto se demuestra en el anexo 34 en donde las variaciones del porcentaje de remoción de DBO5 son oscilantes, y al final de la fase muestra una tendencia creciente lo que indica una mejora en la eficiencia para el sistema Aerobio en cuanto a la remoción de DBO5 se refiere, (Ver Anexo 1).

En el anexo 33, se muestra además la variación de DBO5 en el sistema en las fases III y IV en donde se observa claramente el incremento a la entrada de carga orgánica en la fase IV, razón por la cual la eficiencia en el sistema ha presentado un leve aumento en relación a la fase III. la variación de DBO5 en las fases III y IV a la entrada del Filtro Aerobio + Decantador Secundario, en donde se nota una significativa reducción de la carga orgánica que ingresa al Filtro Aerobio, razón por la cual la eficiencia en la remoción de DBO5 se ve notablemente afectada como lo demuestra el anexo 34 en donde se representa la curva del porcentaje de remoción de DBO5 en las fases III y IV, indicando una tendencia al decrecimiento y que solo al final de la fase IV presenta un leve incremento, con lo que se espera que los porcentajes de remoción aumenten con el tiempo, (Ver Anexo 1).

En el anexo 35, se observa la variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Aerobia de la fase IV, en esta se distingue que la variación de Sólidos Suspendidos no es constante a la entrada en al Fosa Séptica presentándose contrastes muy marcados en algunas semanas aunque el efluente en el Decantador Secundario trata de mantener un comportamiento constante pese a las variaciones bruscas de Sólidos Suspendidos, lo anterior nos permite comprender aun mejor el comportamiento en el anexo 36, en donde se presentan los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Aerobia fase IV y en la que se muestran las diferencias marcadas en los porcentajes de remoción debido a las variaciones bruscas de Sólidos Suspendidos. (Ver Anexo 3)

La variación de Sólidos Suspendidos en el sistema Aerobio para las fases III y IV representada en el anexo 35 indica que la variación de Sólidos Suspendidos es menor en promedio en la fase III con respecto a la fase IV; no obstante en el decantador secundario se produce lo contrario, mostrando una leve reducción de la carga orgánica esto expresa mayor eficiencia en el sistema fase IV, (Ver Anexo 3).

En el anexo 36, se observa una comparación de los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos en el sistema para las fases III y IV, en donde se aprecia que la fase IV posee porcentajes de remoción más altos con respecto a la fase III, de lo que se puede decir que la eficiencia en la remoción de los Sólidos Suspendidos ha aumentado levemente en la ultima fase, (Ver Anexo 3).

### **2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS: DQO, DBO5 Y SS**

Una vez terminado el trabajo de campo de la fase IV de la presente investigación se presenta un análisis de los resultados obtenidos en la caracterización de cada uno de los parámetros analizados en las diferentes unidades que conforman la Línea Aerobia comparándolos además con las normas de vertimiento de aguas residuales (Decreto 1594 de 1984), como se muestra a continuación.

**Tabla 3. demanda química de oxígeno (DQO) fase IV**

<b>Unidad</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Decreto 1594 de 1984</b>	<b>Usuario Nuevo</b>	<b>Usuario Existente</b>
Fosa Séptica	87%	15%	69%			
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	90%	30%	65%			
Línea Aerobia	98%	75%	90%	80%	30%	

(Ver Anexo 2)

**Tabla 4. demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) fase IV**

<b>Unidad</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Decreto 1594 de 1984</b>	<b>Usuario Nuevo</b>	<b>Usuario Existente</b>
Fosa Séptica	88%	42%	58%			
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	94%	0%	57%			
Línea Aerobia	97%	73%	83%	80%	30%	

(Ver Anexo 1)

**Tabla 5. sólidos suspendidos (SS) fase IV**

<b>Unidad</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Decreto 1594 de 1984</b>	<b>Usuario Nuevo</b>	<b>Usuario Existente</b>
Fosa Séptica	88%	2.0%	49%			
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	98%	55%	81%			
Línea Aerobia	99%	78%	90%	80%	50%	

(Ver Anexo 3)

De acuerdo a los datos de las tablas anteriores podemos observar que existen porcentajes de remoción aceptables y acordes con los requerimientos de las normas para el vertimiento de aguas residuales (Decreto 1594 de 1984) en los tres parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos (SS) (Ver Anexo 2).

En las siguientes tablas se presenta la comparación de los valores promedio de los porcentajes de remoción en cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos (SS) en las fases III y IV del proyecto de investigación.

**Tabla 6. demanda química de oxígeno (DQO) comparación fases III y IV**

<b>Unidad</b>	<b>Fase III</b>	<b>Fase IV</b>	<b>Diferencia</b>
Fosa Séptica	46.%	69%	23%
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	62%	65%	3%
Línea Aerobia	79%	90%	11%

(Ver Anexo 2)

**Tabla 7. demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) comparación fases III y IV**

<b>Unidad</b>	<b>Fase III</b>	<b>Fase IV</b>	<b>Diferencia</b>
Fosa Séptica	33%	58%	25%
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	72%	57%	-15%
Línea Aerobia	81%	83%	2%

(Ver Anexo 1)

**Tabla 8. sólidos suspendidos (SS) comparación fases III y IV**

<b>Unidad</b>	<b>Fase III</b>	<b>Fase IV</b>	<b>Diferencia</b>
Fosa Séptica	56%	49%	-7%
Filtro Aerobio + Decantador Secundario	89%	81%	-8%
Línea Aerobia	69%	90%	21%

(Ver Anexo 3)

Analizando las tablas anteriores se puede observar que existe un incremento en el porcentaje de remoción de estos parámetros en el Sistema, en cuanto a la remoción en las otras unidades los parámetros DBO y SS disminuyeron su rendimiento en el Filtro Aerobio + Decantador Secundario, mientras que en la Fosa Séptica solo sufrió reducción la remoción de SS, en contraste con lo que sucede con los porcentajes de remoción de la fase III.

En las siguientes tablas se presentan las variaciones en cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos (SS) en las fases III y IV de esta investigación.

**Tabla 9. variación de la demanda química de oxígeno (DQO) fases III y IV**

Unidad	Fase III			Fase IV			Diferencia Promedios
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	
Entrada Fosa Séptica	957	97	354.33	1497	247	574.44	220.11
Entrada Filtro Aerobio	255	75	144.53	462	58	163.0	18.47
Salida Decantador Secundario	155	55	99.00	129	6	50.56	-48.44

(Ver Anexo 1 )

**Tabla 10. variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) fases III y IV**

Unidad	Fase III			Fase IV			Diferencia Promedios
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	
Entrada Fosa Séptica	250	48	129.02	520	60	215.0	85.98
Entrada Filtro Aerobio	160	60	94.45	230	20	91.33	-3.12
Salida Decantador Secundario	76	5	36.30	70	2	34.83	1.47

(Ver Anexo 2 )



**Tabla 11. variación de sólidos suspendidos (SS) fases III y IV**

Unidad	Fase III			Fase IV			Diferencia Promedios
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	
Entrada Fosa Séptica	600	31	239.82	1014	40	257.89	18.07
Entrada Filtro Aerobio	184	17	90.47	391	36	109.11	18.64
Salida Decantador Secundario	120	21	58.00	72	1	20.58	-37.42

(Ver Anexo 3 )

Con respecto a las tablas anteriores se puede observar que la carga orgánica que ingresa a las diferentes unidades de la Línea Aerobia durante la fase IV difiere en gran medida de la cantidad de carga orgánica que ingresa a la Línea Aerobia durante la fase III, lo que nos indica que durante la fase IV la Línea Aerobia trabajo con una agua residual mucho mas polucionada, pero esto no afecto los procesos de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, ya que la eficiencia del sistema en la fase IV mejoro considerablemente.

**Tabla 12. valores promedio de los parámetros analizados en la fase IV**

PARÁMETRO	Entrada Fosa Séptica	Entrada Filtro Anaerobio	Salida Decantador Secundario
Alcalinidad	89.00	71.80	49.64
Oxigeno Disuelto	1.21	1.23	6.59
PH	8.70	8.53	7.96
Temperatura	16.18	15.46	15.26
Cloro Residual	0.80	0.63	0.36
Nitratos	24.93	19.09	10.34
Nitritos	0.18	0.09	0.34
Dureza	82.97	85.74	86.48
Sólidos Totales	609.22	432.17	348.50
Sólidos Volátiles	288.61	179.94	106.78
Coliformes	814800.00		22150.00

(Ver Anexo 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14)

Los ensayos de los parámetros de Alcalinidad, Dureza, Temperatura, Ph y Nitratos se realizaron según lo propuesto en este trabajo de grado, durante las 20 semanas. El sistema no cumple la función de remover ninguno de estos parámetros y tampoco sufren una variación considerable, por esta razón nos limitamos a referenciarlos en los anexos con las respectivas tablas a manera de información general (Ver Anexos 4,5,7,8 y 9).

Para este trabajo de investigación se determinó el porcentaje de confiabilidad, porcentaje de error y el coeficiente de variación, variables estadísticas que nos permiten establecer la validez de los resultados obtenidos en la caracterización de los distintos parámetros evaluados. Los resultados obtenidos se evaluaron tomando la media aritmética y la desviación estándar para los porcentajes de remoción en la Línea Aerobia, estos resultados se presentan a continuación:

Para DQO, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 2.64% y un coeficiente de variación de 6.67%.

Para DBO5, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 3.96% y un coeficiente de variación de 10.8%.

Para Sólidos Suspendidos, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 3.08% y un coeficiente de variación de 7.78%.

A partir de los datos anteriores se deduce que los resultados obtenidos en la caracterización de los parámetros, para los cuales se realizó el análisis, presentan un alto grado de confiabilidad con un margen de error mínimo, además de una homogeneidad aceptable. Estos resultados se obtuvieron a partir de la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$n = \left( \frac{Z^* \sigma}{E} \right)^2 \quad CV = \frac{\sigma}{X} * 100$$

dónde:

n: es el tamaño muestral

Z: coeficiente tomado de tabla, el cual depende del porcentaje de confiabilidad, que para este caso es de 1.96, trabajando con el 95% de confiabilidad.

ó: desviación estándar

E: porcentaje de error admisible

X: media aritmética.

El cálculo se realizó por medio de tanteos, en donde se buscaba el error admisible con el cual el tamaño muestral calculado se aproximara al tamaño muestral real, que para este caso corresponde al número de semanas durante las cuales se

realizó el análisis. Los datos de desviación estándar y media aritmética se tomaron de los Anexos 1, 2 y 3, para DQO, DBO5 y Sólidos Suspendedos respectivamente.

### **3. CONCLUSIONES**

#### **3.1 CONCLUSIONES GENERALES DEL SISTEMA**

Después de realizar el análisis de las aguas residuales domésticas provenientes del centro de rehabilitación Santo Ángel y de su tratamiento en las instalaciones del SENA, durante el proyecto de investigación F.A.L.G IV podemos concluir lo siguiente:

A pesar de que el sistema no trabaja en condiciones de Temperatura y Carga Orgánica adecuadas, los porcentajes de remoción de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos, están por encima a los estipulados en el decreto 1594 de 1984, por esta razón podemos afirmar que el Filtro Aerobio de Lecho Granular Bacteriano es una buena opción para ser implementado en nuestra región, como tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas.

Los porcentajes de remoción del Sistema Aerobio con respecto a DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos están por el orden de 90%, 83% y 90% respectivamente en la fase IV, los cuales cumplen con el Decreto 1594 de 1984 de las Normas de Vertimiento de Aguas Residuales, cabe destacar que el sistema se encuentra trabajando al límite, pero a pesar de todos los factores adversos se produjo un aumento considerable en los porcentajes de remoción durante la fase IV de esta investigación.

Haciendo una comparación de la línea Anaerobia, con la línea Aerobia podemos observar que el rendimiento del sistema Aerobio, es mayor que el del sistema Anaerobio, trabajando bajo las mismas condiciones de carga orgánica y temperatura, por lo que se concluye que los sistemas aerobios son más eficientes bajo estas mismas condiciones. El porcentaje de remoción promedio en la línea Anaerobia fue de 84.60 % en DQO, 74.64 % en DBO5 y 74.14% en SS, en la línea Aerobia fueron de 90 % en DQO, 83 % en DBO5 y de 90 % en SS.

#### **3.2 CONCLUSIONES ESPECIFICAS FILTRO AEROBIO + DECANTADOR SECUNDARIO**

Una vez terminada la fase IV y comparando el sistema con la fase III, el Filtro Aerobio + Decantador Secundario en conjunto presentan remociones de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos de 65%, 57% y 81% respectivamente en la fase IV, y de 62%, 72% y 89% respectivamente en la fase III, se nota que hay una leve

disminución en la eficiencia de remoción en los parámetros DBO5 y SS, mientras que la DQO presentó un leve incremento, lo cual pudo ser producto de factores negativos como son: las bajas temperaturas estimadas en 15.46 °C a la entrada del Filtro Aerobio y de 15.26°C a la salida del Decantador Secundario, las cuales se convierten en un factor limitante para el buen funcionamiento del sistema situación que se advierte en los Filtros Aerobios, la baja carga orgánica, que es otro factor limitante pues reduce la eficiencia debido a las características del agua del afluente y además las altas concentraciones de cloro, el cual es un desinfectante que reduce los microorganismos encargados de la digestión de la materia orgánica afectando el buen funcionamiento del sistema, pero sin llegar a convertirse en un factor limitante.

El oxígeno disuelto es un factor positivo para el sistema aerobio, ya que se nota que existe un aumento considerable de este parámetro en la línea aerobia, razón por la cual produce el incremento en los porcentajes de remoción de carga orgánica debido a la acción bacteriana en el filtro aerobio + decantador secundario.

La Alcalinidad del agua residual que se está tratando mantiene el pH alto, del orden de 8.53 a la entrada del Filtro Aerobio y de 7.96 a la salida del Decantador Secundario, estos valores se encuentran dentro del intervalo adecuado de pH para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos (entre pH 5 y 9), ya que la Alcalinidad sirve como regulador del pH debido a la presencia de carbonatos que pueden reaccionar con el CO<sub>2</sub>, producto de la oxidación biológica de la materia orgánica formando así bicarbonatos.

La relación de DBO5/DQO, es igual a 0.43 a la entrada del Filtro Aerobio, lo cual indica que de la carga orgánica que ingresa al Filtro Aerobio el 57% lo constituye la materia orgánica biodegradable, esto conlleva a que mejore la eficiencia de remoción del mismo.

#### **4. RECOMENDACIONES**

Debido a que el sistema de filtro aerobio de lecho granular bacteriano presenta eficiencias en remoción aceptables y cumple con las Normas de Vertimiento de Aguas Residuales, se debe pensar en el, como una buena alternativa a implementar en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante procesos biológicos, aun en regiones con climas desfavorables.

Hacer una limpieza en las flautas del filtro aerobio debido a que la biopelícula crece dentro de estas, generando que su diámetro se disminuya e incluso se bloqueen los orificios del mismo.

Se deben evitar las caídas de agua en las unidades del sistema, específicamente en la salida de los vertederos de la Fosa Séptica y en la salida del Filtro Aerobio, para evitar que haya dilución del agua residual.

Cuando se realice la limpieza en el instituto SANTO ÁNGEL se debe desconectar la tubería de llegada a la Fosa Séptica, con el fin de evitar la entrada de agua potable, la cual puede afectar considerablemente el funcionamiento adecuado del sistema.

Se debe realizar un control adecuado y permanente en las instalaciones sanitarias del Instituto SANTO ÁNGEL, debido a que constantemente se presentan fugas en las unidades sanitarias causadas por el deterioro y maltrato de estos aparatos provocando con ello el ingreso de agua no poluida y con baja carga orgánica.

La toma de muestras a la entrada de la Fosa Séptica se debe realizar directamente de la tubería que conduce el agua residual y no en la cámara de llegada a la misma, ya que de esta forma se estarían tomando muestras de agua residual que ya han sufrido una decantación dentro de la cámara de llegada.

## BIBLIOGRAFÍA

Enciclopedia Encarta. CD – ROM. Madrid: Microsoft, 2002.

CRITES Y TCHOBANOGLIOUS, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 1977. 520 p.

OROZCO, Álvaro. Manual sobre digestión anaerobia, elementos de diseño. Bogotá: McGraw Hill, 1990. 428 p.

SALAZAR CANO, Roberto. Teoría y diseño de los tratamientos de las aguas residuales. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2002. 362 p.

COLOMBIA, Ministerio de Desarrollo económico. Dirección de agua potable y saneamiento básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000, Sección II, Título E Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: MINDESARROLLO, 2000. 144 p.

METCALF y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Madrid: McGraw Hill. 1995. 747 p.

JOHNSON, Richard A. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. México: Prentice-Hall, 1997. 630 p.

RHEINHEIMER, Gerhard. Microbiología de las Aguas. Zaragoza: Acribia S.A., 1987. 299 p.

HACH. Manual de Análisis de Agua. 1989. 196 p.

WISTREICH, George A. Prácticas de laboratorio en microbiología. México: Limusa, 1978. 103 p.

# **ANEXOS**



**Anexo 1. demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aerobio fase IV**

<b>PARAMETRO:</b>	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DBO
<b>Unidad:</b>	mg/l

SEMANA	Entrada Séptica	F.	Entrada Aerobio	F.	Salida Decantador	Diferencia Fos+Dec	Diferencia Fil+Dec	% Remoc. de la Fosa	% Remoc. Fil+Dec.	% Remoc. del Sistema
1	70		33		2	68	31	53%	94%	97%
2	250		125		35	215	90	50%	72%	86%
4	230		75		10	220	65	67%	87%	96%
6	60		33		16	44	17	45%	52%	73%
7	160		20		13	147	7	88%	35%	92%
8	150		30		30	120	0	80%	0%	80%
9	190		110		30	160	80	42%	73%	84%
10	310		120		50	260	70	61%	58%	84%
11	170		120		120	50	0	29%	0%	29%
12	280		130		70	210	60	54%	46%	75%
13	110		50		30	80	20	55%	40%	73%
16	250		140		64	186	76	44%	54%	74%
17	520		230		68	452	162	56%	70%	87%
Valor máx	520		230		120	400	162	56%	48%	77%
Valor mín	10		20		2	8	0	-100%	90%	80%
Media	211,54		93,54		41,38	170,15	52,15	56%	56%	80%
Desv/ Estandar	120,68		60,41		32,54	88,14	46,17	50%	46%	73%

Las semanas 2, 5, 11, 14, 15, 18, 19 y 20, son descartadas, por ser valores no representativos

## Anexo 2. demanda química de oxígeno (DQO), aerobio fase IV

PARAMETRO: DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, DQO								
Unidad: mg/l								
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fos+Dec	Diferencia Fil+Dec	% Remoc. Fosa Sept	% Remoc. Fil+Dec	% Remoc. del Sistema
1	314	58	6	308	52	82%	90%	98%
2	515	167	25	490	142	68%	85%	95%
2	423	227	45	378	182	46%	80%	89%
4	663	213	29	634	184	68%	86%	96%
5	508	66	40	468	26	87%	39%	92%
6	247	62	36	211	26	75%	42%	85%
7	370	162	26	344	136	56%	84%	93%
8	508	68	27	481	41	87%	60%	95%
9	384	67	47	337	20	83%	30%	88%
10	597	126	38	559	88	79%	70%	94%
11	155	105	165	-10	-60	32%	-57%	-6%
11	265	225	67	198	158	15%	70%	75%
12	580	165	55	525	110	72%	67%	91%
13	170	30	84	86	-54	82%	-180%	51%
14	71	77	35	36	42	-8%	55%	51%
15	1034	155	32	1002	123	85%	79%	97%
16	607	201	129	478	72	67%	36%	79%
17	1497	462	118	1379	344	69%	74%	92%
18	679	184	89	590	95	73%	52%	87%
19	235	240	>165			-2%		
20	211	142	68	143	74	33%	52%	68%
Valor máx	1497	462	165	1332	344	69%	64%	89%
Valor mín	71	30	6	65	-60	58%	80%	92%
Media	477,76	152,48	58,05	419,71	94,43	68%	62%	88%
Desv/ Estandar	324,87	96,06	40,55	284,32	90,56	70%	58%	88%

Las semanas 11, 13, 14, 19 y 20 son descartadas, por ser valores no representativos

### Anexo 3. sólidos suspendidos (SS), aerobio fase IV

PARAMETRO:		SOLIDOS SUSPENDIDOS, SS						
Unidad:		mg/l						
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fos+Dec	Diferencia Fil+Dec	% Remoc. Fosa Sep.	% Remoc. Fil+ Dec	% Remoc. del Sistema
1	184	58	1	183	57	68%	98%	99%
2	194	112	11	183	101	42%	90%	94%
2	169	106	10	159	96	37%	91%	94%
4	233	79	16	217	63	66%	80%	93%
5	40	36	8	32	28	10%	78%	80%
6	90	38	6	84	32	58%	84%	93%
7	123	37	12	111	25	70%	68%	90%
8	426	50	7	419	43	88%	86%	98%
9	137	39	8	129	31	72%	79%	94%
10	386	131	20	366	111	66%	85%	95%
11	103	138	24	79	114	-34%	83%	77%
11	144	141	20	124	121	2%	86%	86%
12	129	113	11	118	102	12%	90%	91%
13	99	71	10	89	61	28%	86%	90%
14	111	59	23	88	36	47%	61%	79%
15	507	101	9	498	92	80%	91%	98%
16	368	159	72	296	87	57%	55%	80%
17	1014	391	68	946	323	61%	83%	93%
18	363	245	39	324	206	33%	84%	89%
19	187	145	109	78	36	22%	25%	42%
20	183	107	40	143	67	42%	63%	78%
Valor máx	1014	391	109	905	323	61%	72%	89%
Valor mín	40	36	1	39	25	10%	97%	98%
Media	247,14	112,19	24,95	222,19	87,24	55%	78%	90%
Desv/ Estandar	216,42	82,29	27,18	189,24	69,29	62%	67%	87%

Las semanas 11 y 19 son descartadas, por ser valores no representativos

#### Anexo 4. alcalinidad, aerobio fase IV

<b>PARAMETRO:</b>	ALCALINIDAD
<b>Unidad:</b>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>

SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa Sep.	Diferencia Fil+Dec	Diferencia del Sistema
1	135,2	101,2	50,4	34	50,8	84,8
2	257,6	103,6	40,8	154	62,8	216,8
2	79,2	56,8	41,2	22,4	15,6	38
4	172,8	132,4	100,4	40,4	32	72,4
5	21,6	32,8	23,6	-11,2	9,2	-2
6	49,6	64	60,4	-14,4	3,6	-10,8
7	41,6	26,8	37,2	14,8	-10,4	4,4
8	69,2	63,6	31,6	5,6	32	37,6
9	36,6	33,6	30,4	3	3,2	6,2
10	148	80,8	90,4	67,2	-9,6	57,6
11	58	85,2	38,8	-27,2	46,4	19,2
11	54,4	44	42	10,4	2	12,4
12	82,4	50	39,6	32,4	10,4	42,8
13	56,4	45,6		10,8	45,6	56,4
14	57,6	60,4	50,4	-2,8	10	7,2
15	92,8	119,2	79,2	-26,4	40	13,6
16	100,4	59,2	45,6	41,2	13,6	54,8
17	153,2	114,8	38,4	38,4	76,4	114,8
18	79,2	73,6	29,2	5,6	44,4	50
19	85,6	88,4	72	-2,8	16,4	13,6
20	37,6		51,2	37,6	-51,2	-13,6

Valor máx	257,6	132,4	100,4	125,2	76,4	157,2
Valor mín	21,6	26,8	23,6	-5,2	-51,2	-2
Media	89,00	71,80	49,64	17,2	22,16	39,36
Desv/ Estandar	56,53	30,58	20,83	25,95	28,90	35,69

**Anexo 5. dureza, aerobio fase IV**

<b>PARAMETRO:</b>		<b>DUREZA</b>					
<b>Unidad:</b>		<b>mg/l de CaCO3</b>					
<b>SEMANA</b>	<b>Entrada Séptica</b>	<b>F.</b>	<b>Entrada Filtro</b>	<b>Salida Decantador</b>	<b>Diferencia Fosa</b>	<b>Diferencia Fil+Dec</b>	<b>Diferencia Del Sistema</b>
1	68,4		84,8	7,68	-16,4	77,12	60,72
2	80		100,8	125,2	-20,8	-24,4	-45,2
2	115,6		87,2	149,6	28,4	-62,4	-34
4	93,6		100,4	107,6	-6,8	-7,2	-14
5	74,4		86,8	74,4	-12,4	12,4	0
6	74,4		76,4	75,2	-2	1,2	-0,8
7	66		71,2	68,4	-5,2	2,8	-2,4
8	101,6		76	80,4	25,6	-4,4	21,2
9	56		62,8	68,8	-6,8	-6	-12,8
10	145,2		88	100,8	57,2	-12,8	44,4
11	62		95,2	116,4	-33,2	-21,2	-54,4
11	75,2		97,2	123,6	-22	-26,4	-48,4
12	78		104,8	142,4	-26,8	-37,6	-64,4
13	78,8		78	74,8	0,8	3,2	4
14	64,4		65,2	66,8	-0,8	-1,6	-2,4
15	106		84,4	87,6	21,6	-3,2	18,4
16	59,6		86,4	116,8	-26,8	-30,4	-57,2
17	93,2		88,8	102,4	4,4	-13,6	-9,2
18	77,6		90,8	11,2	-13,2	79,6	66,4
19	88,4		89,6	87,2	-1,2	2,4	1,2
20	84			28,8	84	-28,8	55,2
Valor máx	145,2		104,8	149,6	84	79,6	-4,4
Valor mín	56		62,8	7,68	-33,2	-62,4	48,32
Media	82,97		85,74	86,48	-2,77	-0,74	-3,51
Desv/ Estandar	21,10		11,44	38,33	28,65	32,59	-17,23

### Anexo 6. nitritos, aerobio fase IV

PARAMETRO: Unidad:		NITRITOS mg/l de NO <sub>2</sub>				
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada filtro	Salida F. Aerobio	Diferencia Fosa Sep.	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema
1	0,139	0,035	0,374	0,104	-0,339	-0,235
2	0,27	0,115	0,385	0,155	-0,27	-0,115
2	0,192	0,092	0,38	0,1	-0,288	-0,188
4	0,201	0,085	0,385	0,116	-0,3	-0,184
5	0,078	0,039	0,385	0,039	-0,346	-0,307
6	0,137	0,037	0,385	0,1	-0,348	-0,248
7	0,151	0,057	0,348	0,094	-0,291	-0,197
8	0,215	0,045	0,326	0,17	-0,281	-0,111
9	0,161	0,041	0,309	0,12	-0,268	-0,148
10	0,385	0,081	0,385	0,304	-0,304	0
11	0,162	0,127	0,385	0,035	-0,258	-0,223
11	0,189	0,125	0,385	0,064	-0,26	-0,196
12	0,134	0,114	0,385	0,02	-0,271	-0,251
13	0,051	0,065	0,385	-0,014	-0,32	-0,334
14	0,086	0,15	0,226	-0,064	-0,076	-0,14
15	0,344	0,097	0,385	0,247	-0,288	-0,041
16	0,243	0,138	0,328	0,105	-0,19	-0,085
17	0,336	0,214	>,385	0,122		
18	0,305	0,207	0,181	0,098	0,026	0,124
19	0,15	0,133	0,285	0,017	-0,152	-0,135
20	0,081		0,198	0,081	-0,198	-0,117
Valor máx	0,385	0,214	0,385	0,304	0,026	0
Valor mín	0,051	0,035	0,181	-0,064	-0,348	-0,13
Media	0,19	0,10	0,34	0,09	-0,24	-0,15
Desv/ Estandar	0,09	0,05	0,07	0,08	0,09	0,026

La semana 17 es descartada, por ser un valor no representativo

### Anexo 7. nitratos, aerobio fase IV

PARAMETRO:		NITRATOS					
Unidad:		mg/l de NO2					
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa Sep.	Diferencia Fil+ Dec	Diferencia Del Sistema	% Remoc. del Sistema
1	14,5	4,7	5,1	9,8	-0,4	9,4	65%
2	33	26,2	11,3	6,8	14,9	21,7	66%
2	25,1	20,1	5,4	5	14,7	19,7	78%
4	33	15,8	13	17,2	2,8	20	61%
5	6,4	6,6	11,2	-0,2	-4,6	-4,8	-75%
6	15,1	57	39	-41,9	18	-23,9	-158%
7	24	7,1	5,6	16,9	1,5	18,4	77%
8	33	6,6	5,8	26,4	0,8	27,2	82%
9	31,6	7,6	6,3	24	1,3	25,3	80%
10	33	16,5	12,9	16,5	3,6	20,1	61%
11	27,3	13,9	8,6	13,4	5,3	18,7	68%
11	20,6	30,8	7,8	-10,2	23	12,8	62%
12	23,3	29,5	5,7	-6,2	23,8	17,6	76%
13	55	11,4	6	43,6	5,4	49	89%
14	5,4	8,3	4,6	-2,9	3,7	0,8	15%
15	33	23,8	6,9	9,2	16,9	26,1	79%
16	33	31,6	14,3	1,4	17,3	18,7	57%
17	>33	>33	17,1				
18	33	>33	7,7			25,3	77%
19	18,2	26,2	20	-8	6,2	-1,8	-10%
20	9,1		6,9	9,1	-6,9	2,2	24%
Valor máx	55	57	39	43,6	23,8	16	29%
Valor mín	5,4	4,7	4,6	-41,9	-6,9	0,8	15%
Media	25,33	19,09	10,53	6,24	8,56	14,80	58%
Desv/ Estandar	11,82	13,24	7,80	17,68	9,14	4,03	34%

Las semanas 17 y 18 se descartan, por ser valores no representativos

### Anexo 8. temperatura, aerobio fase IV

PARAMETRO:		TEMPERATURA				
Unidad:		°C				
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa Sep.	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema
1	15,4	14,6	13,6	0,8	1	1,8
2	17,6	17,5	17,4	0,1	0,1	0,2
4	15,8	16	16,6	-0,2	-0,6	-0,8
5	18	15	15	3	0	3
6	18	16,5	16,3	1,5	0,2	1,7
7	15	14	14	1	0	1
9	16	15,5	15,5	0,5	0	0,5
10	16,8	15,9	15,8	0,9	0,1	1
11	17	15	14	2	1	3
11	17	15	15	2	0	2
12	17	15,8	15,7	1,2	0,1	1,3
13	15	15,5	15	-0,5	0,5	0
14	17	17	17	0	0	0
15	16,9	16,4	16,6	0,5	-0,2	0,3
16	16	14,3	13,8	1,7	0,5	2,2
17	13,5	13,5	13,5	0	0	0
18	15,1	15	14,3	0,1	0,7	0,8
19	15,9	15,3	15,4	0,6	-0,1	0,5
Valor máx	18	17,5	17,4	3	1	0,6
Valor mín	13,5	13,5	13,5	-0,5	-0,6	0
Media	16,28	15,43	15,25	0,84	0,18	1,03
Desv/ Estandar	1,19	1,03	1,22	0,92	0,41	-0,03

Las semanas 2, 5, 8 y 20 se descartan, porque en estas semanas no se hizo esta medición



**Anexo 9. potencial de hidrógeno (PH), aerobio fase IV**

PARAMETRO: PH						
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa Sep.	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema
1	9,13	8,68	7,84	0,45	0,84	1,29
2	9,1	8,54	7,65	0,56	0,89	1,45
2	7,91	8,65	7,89	-0,74	0,76	0,02
4	8,62	8,38	7,83	0,24	0,55	0,79
5	7,72	8,09	7,64	-0,37	0,45	0,08
6	8,11	8,06	7,69	0,05	0,37	0,42
7	8,55	8,1	7,5	0,45	0,6	1,05
8	8,29	8,04	7,95	0,25	0,09	0,34
9	8,33	8,34	7,84	-0,01	0,5	0,49
10	9,02	8,68	7,82	0,34	0,86	1,2
11	8,72	8,6	8,16	0,12	0,44	0,56
11	8,62	8,56	8,22	0,06	0,34	0,4
12	9,36	8,77	8,23	0,59	0,54	1,13
13	8,57	8,72	8,14	-0,15	0,58	0,43
14	7,91	8,43	8,35	-0,52	0,08	-0,44
15	9,16	8,63	7,87	0,53	0,76	1,29
16	8,91	8,57	7,93	0,34	0,64	0,98
17	9,45	8,95	8,14	0,5	0,81	1,31
18	9,32	9,14	8,68	0,18	0,46	0,64
19	7,83	8,27	8,34	-0,44	-0,07	-0,51
20	8,36	8,61	8,23	-0,25	0,38	0,13
Valor máx	9,45	9,14	8,68	0,59	0,89	0,77
Valor mín	7,72	8,04	7,5	-0,74	-0,07	0,22
Media	8,62	8,51	8,00	0,10	0,52	0,621428571
Desv/ Estandar	0,54	0,29	0,29	0,39	0,26	0,246745203

Las semanas 14 y 19 se descartan por ser valores, no representativos

**Anexo 10. oxígeno disuelto, aerobio fase IV**

PARAMETRO: UNIDAD: OXIGENO DISUELTO mg/l						
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema
1	0,5	0,1	2,8	0,4	-2,7	-2,3
2						
2						
4	0,1		1,83	0,1	-1,83	-1,73
5						
6	4,4	5,3	37,9	-0,9	-32,6	-33,5
7						
8						
9						
10	0,5	0,44	1,49	0,06	-1,05	-0,99
11						
11						
12	0,29	0,08	2,46	0,21	-2,38	-2,17
13						
14						
15						
16	0,64	0,65	2,3	-0,01	-1,65	-1,66
17						
18	1,34	1,11	1,34	0,23	-0,23	
19	1,94	0,94	2,62	1	-1,68	-0,68
20						
Valor máx	4,4	5,3	37,9	1	-0,23	-33,5
Valor mín	0,1	0,08	1,34	-0,9	-32,6	-1,24
Media	1,21	1,23	6,59	-0,02	-5,36	-5,38
Desv/ Estandar	1,42	1,84	12,66	0,53	10,97	-11,24

Son descartadas las semanas 2,5,7,8,9,11, 13,14, 15 y 17 por no tener registro de estas semanas

**Anexo 11. coliformes totales, aerobio fase IV**

<b>PARAMETRO:</b> <b>UNIDAD:</b>	<b>COLIFORMES</b> nmp/ml	
<b>SEMANA</b>	<b>Fosa Séptica</b>	<b>Filtro Aerobio</b>
1	1000000	
2		
2		
4		86000
5	1000000	
6		
7		
8		280
9	460000	
10		
11		
11		
12		1200
13		
14	14000	
15		
16		1120
17		
18		
19	1600000	
20		

Valor máx	1600000	86000
Valor mín	14000	280
Media	814800,00	22150,00
Desv/ Estandar	602557,22	42568,70

## Anexo 12. sólidos volátiles, aerobio fase IV

<b>PARAMETRO: Unidad:</b>	SOLIDOS VOLATILES mg/l
---------------------------	---------------------------

SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema	% Remoc. Fil+Dec	% Remoc. Fosa+Dec	% Remoc. del Sistema
1	155	100	83	17	72	17%	46%	46%
2	310	191	114	77	196	40%	63%	63%
2	316	263	113	150	203	57%	64%	64%
4	359	259	98	161	261	62%	73%	73%
5	96	104	74	30	22	29%	23%	23%
6	137	111	75	36	62	32%	45%	45%
7	89	75	51	24	38	32%	43%	43%
8	323	114	75	39	248	34%	77%	77%
9	146	77	86	-9	60	-12%	41%	41%
10	333	117	157	-40	176	-34%	53%	53%
11	238	146	117	29	121	20%	51%	51%
12	263	222	209	13	54	6%	21%	21%
14	131	88	43	45	88	51%	67%	67%
15	245	145	97	48	148	33%	60%	60%
16	388	233	108	125	280	54%	72%	72%
17	500	296	134	162	366	55%	73%	73%
18	495	296	158	138	337	47%	68%	68%
19	445	212	98	114	347	54%	78%	78%
20	322	294	106	188	216	64%	67%	67%

Valor máx	500	296	209	188	291	29%	58%	58%
Valor mín	89	75	43	-40	46	43%	52%	52%
Media	278,47	175,95	105,05	70,89	173,42	40%	62%	62%
Desv/ Estandar	128,71	80,34	39,44	66,55	89,27	51%	69%	69%

Las semanas 5, 11 y 13 son descartados, por no tener registro y por ser datos no representativos

### Anexo 13. sólidos totales, aerobio fase IV

<b>PARAMETRO: Unidad:</b>	<b>SOLIDOS TOTALES</b> mg/l
---------------------------	--------------------------------

SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema	% Remoc. Fil+Dec	% Remoc. Fos +Dec	% Remoc. del Sistema
1	370	266	273	-7	97	-3%	26%	26%
2	752	485	381	104	371	21%	49%	49%
2	514	429	365	64	149	15%	29%	29%
4	653	440	344	96	309	22%	47%	47%
5	262	245	238	7	24	3%	9%	9%
6	309	277	257	20	52	7%	17%	17%
7	267	257	232	25	35	10%	13%	13%
8	580	290	256	34	324	12%	56%	56%
9	347	271	288	-17	59	-6%	17%	17%
10	662	424	415	9	247	2%	37%	37%
11	546	463	328	135	218	29%	40%	40%
12	831	553	507	46	324	8%	39%	39%
14	252	242	221	21	31	9%	12%	12%
15	832	340	210	130	622	38%	75%	75%
16	832	527	457	70	375	13%	45%	45%
17	1015	741	539	202	476	27%	47%	47%
18	1015	741	557	184	458	25%	45%	45%
19	632	484	346	138	286	29%	45%	45%
20	557	549	297	252	260	46%	47%	47%

Valor máx	1015	741	557	252	458	25%	45%	45%
Valor mín	252	242	210	-17	42	13%	17%	17%
Media	590,95	422,32	342,68	79,63	248,26	19%	42%	42%
Desv/ Estandar	246,65	156,52	108,62	76,77	138,03	31%	56%	56%

Las semanas 5,11 y 13 son descartadas por ser valores no representativos

**Anexo 14. cloro residual, aerobio fase IV**

PARAMETRO: Unidad: CLORO mg/l						
SEMANA	Entrada Séptica	F. Entrada Filtro	Salida Decantador	Diferencia Fosa Sep	Diferencia Fil+Dec	Diferencia Del Sistema
1						
2						
2						
4	0,91	0,72	0,1	0,19	0,62	0,81
5	0,47	0,27	0,29	0,2	-0,02	0,18
6	0,86	0,31	0,24	0,55	0,07	0,62
7			0,22	0	-0,22	-0,22
8	0,3	0,4	0,18	-0,1	0,22	0,12
9						
10						
11	0,72	0,74	0,29	-0,02	0,45	0,43
11						
12						
13						
14						
15						
16	1,47	1,18	0,71	0,29	0,47	0,76
17						
18						
19	0,89	0,78	0,73	0,11	0,05	0,16
20						
Valor máx	1,47	1,18	0,73	0,55	0,62	0,74
Valor mín	0,3	0,27	0,1	-0,1	-0,22	0,2
Media	0,80	0,63	0,35	0,17	0,28	0,46
Desv/ Estandar	0,37	0,32	0,24	0,21	0,29	0,13

Las semanas 1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18 y 20 son descartadas por ser datos no representativos

**Anexo 15. relación DBO/DQO entrada fosa séptica**

<b>SEMANA</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO/DQO</b>
1	70	314	0,22
2	250	515	0,49
4	230	663	0,35
6	60	247	0,24
7	160	370	0,43
8	150	508	0,30
9	190	384	0,49
10	310	597	0,52
11	170	265	0,64
12	280	580	0,48
16	250	607	0,41
17	520	1497	0,35
<b>PROM:</b>	220,00	545,58	0,41

Los valores que se encuentran en esta tabla son los más representativos.

**Anexo 16. relación DBO/DQO entrada filtro aerobio**

<b>SEMANA</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO/DQO</b>
1	33	58	0,57
2	125	167	0,75
4	75	213	0,35
5	21	66	0,32
6	33	62	0,53
7	20	162	0,12
8	30	68	0,44
10	120	126	0,95
11	120	225	0,53
12	130	165	0,79
14	20	77	0,26
16	140	201	0,70
17	230	462	0,50
19	95	240	0,40
20	70	142	0,49
<b>PROM:</b>	84,13	162,27	0,51

Los valores que se encuentran en esta tabla son los mas representativos

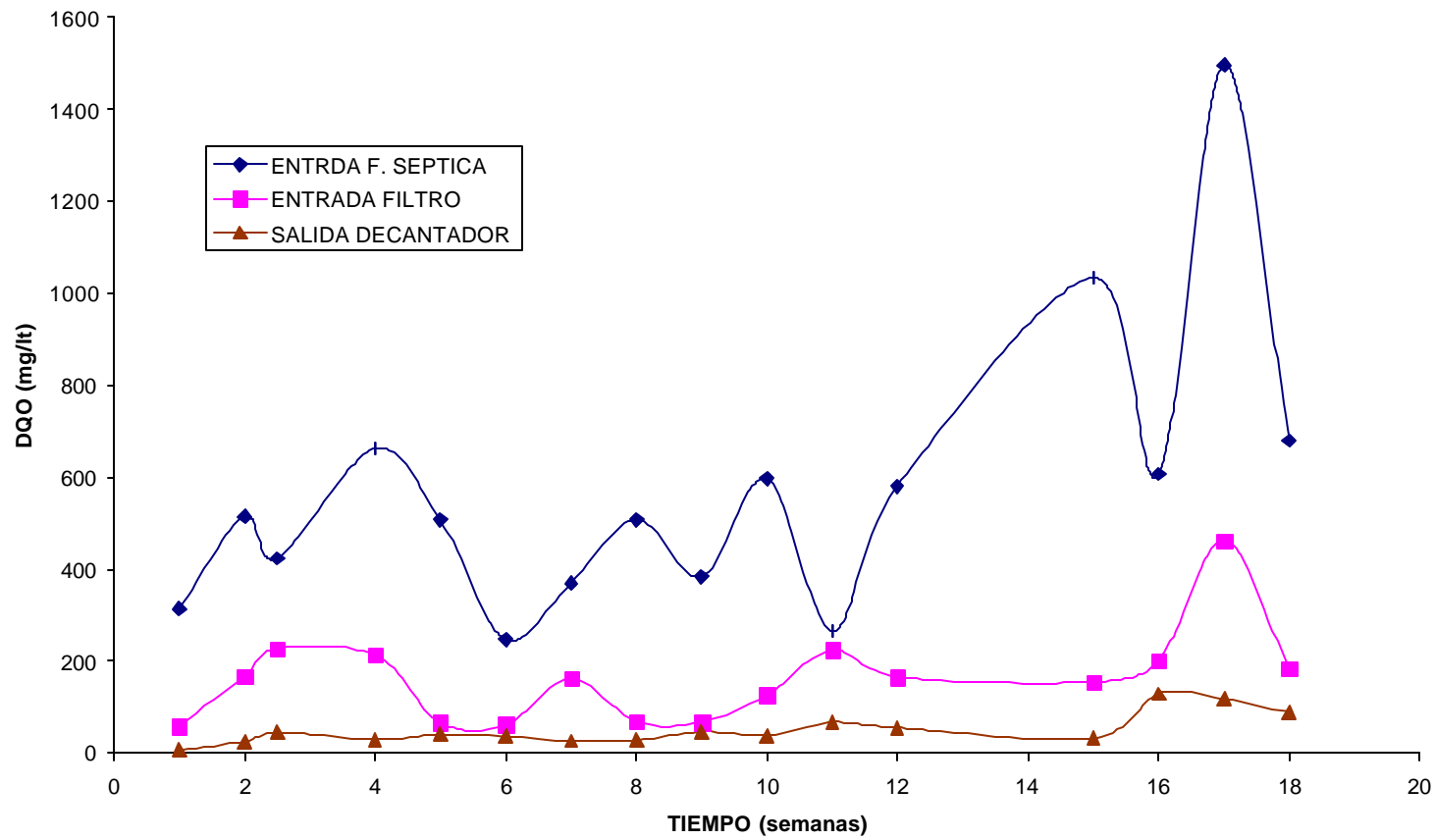


**Anexo 17. relación DBO/DQO sálida decantador aerobio**

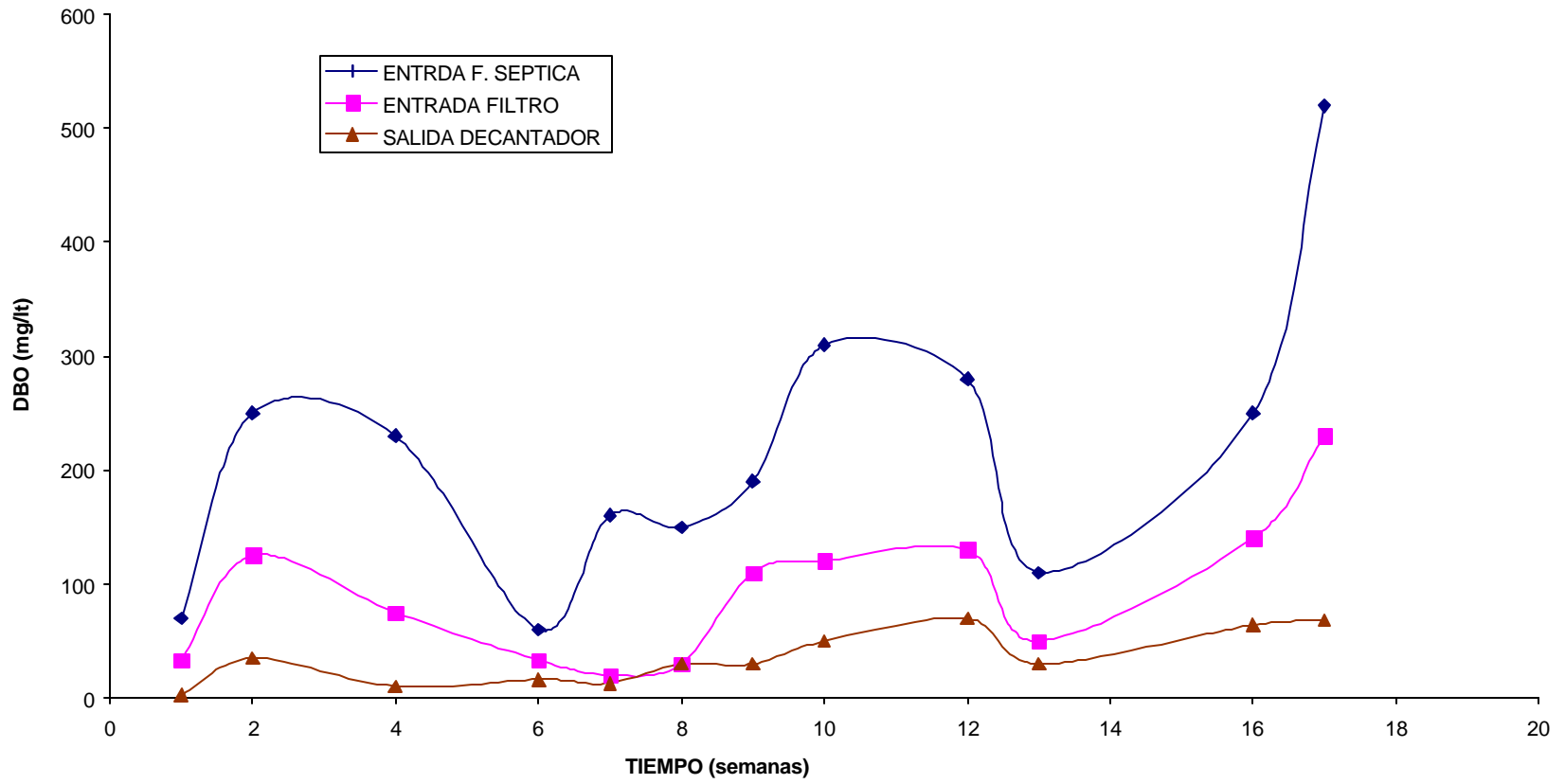
<b>SEMANA</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO/DQO</b>
1	2	6	0,33
4	10	29	0,34
5	7	40	0,18
6	16	36	0,44
7	13	26	0,50
9	30	47	0,64
13	30	84	0,36
14	10	35	0,29
16	64	129	0,50
17	68	118	0,58
20	36	68	0,53
<b>PROM:</b>	26,00	56,18	0,43

Los valores que se encuentran en esta tabla son los mas representativos

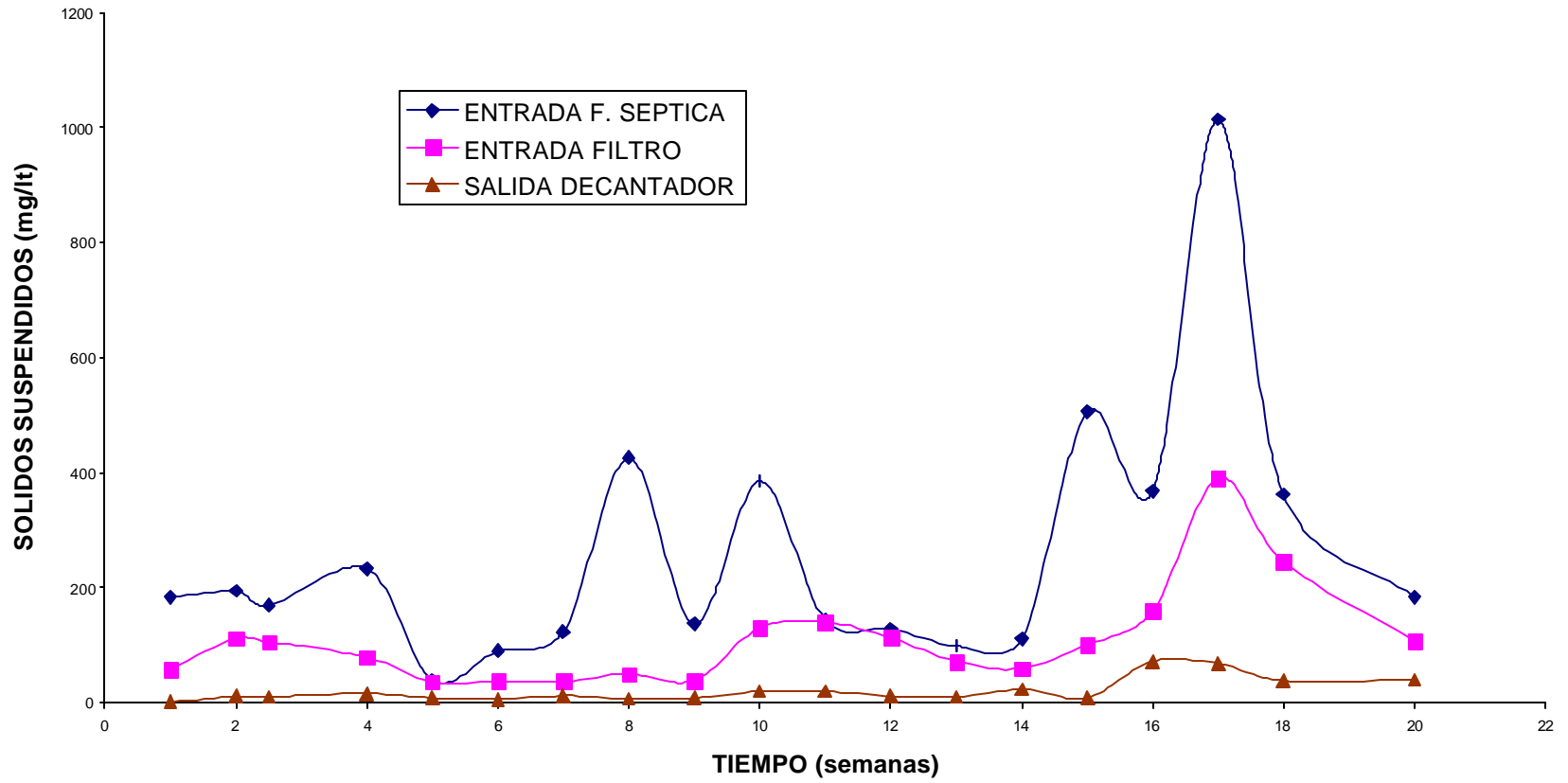
### Anexo 18. variación DQO, aerobio fase IV



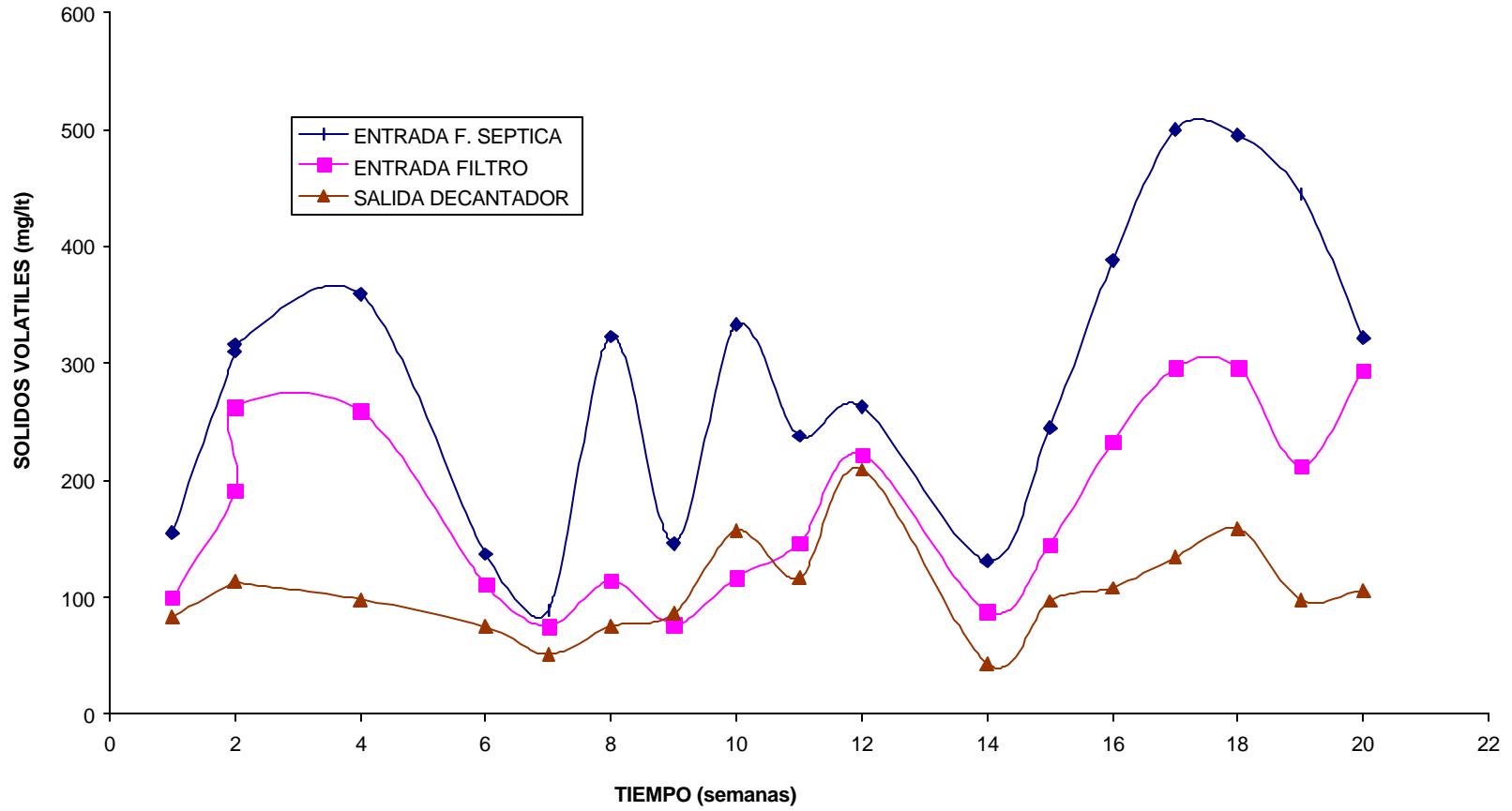
### Anexo 19. variación DBO, aerobio fase IV



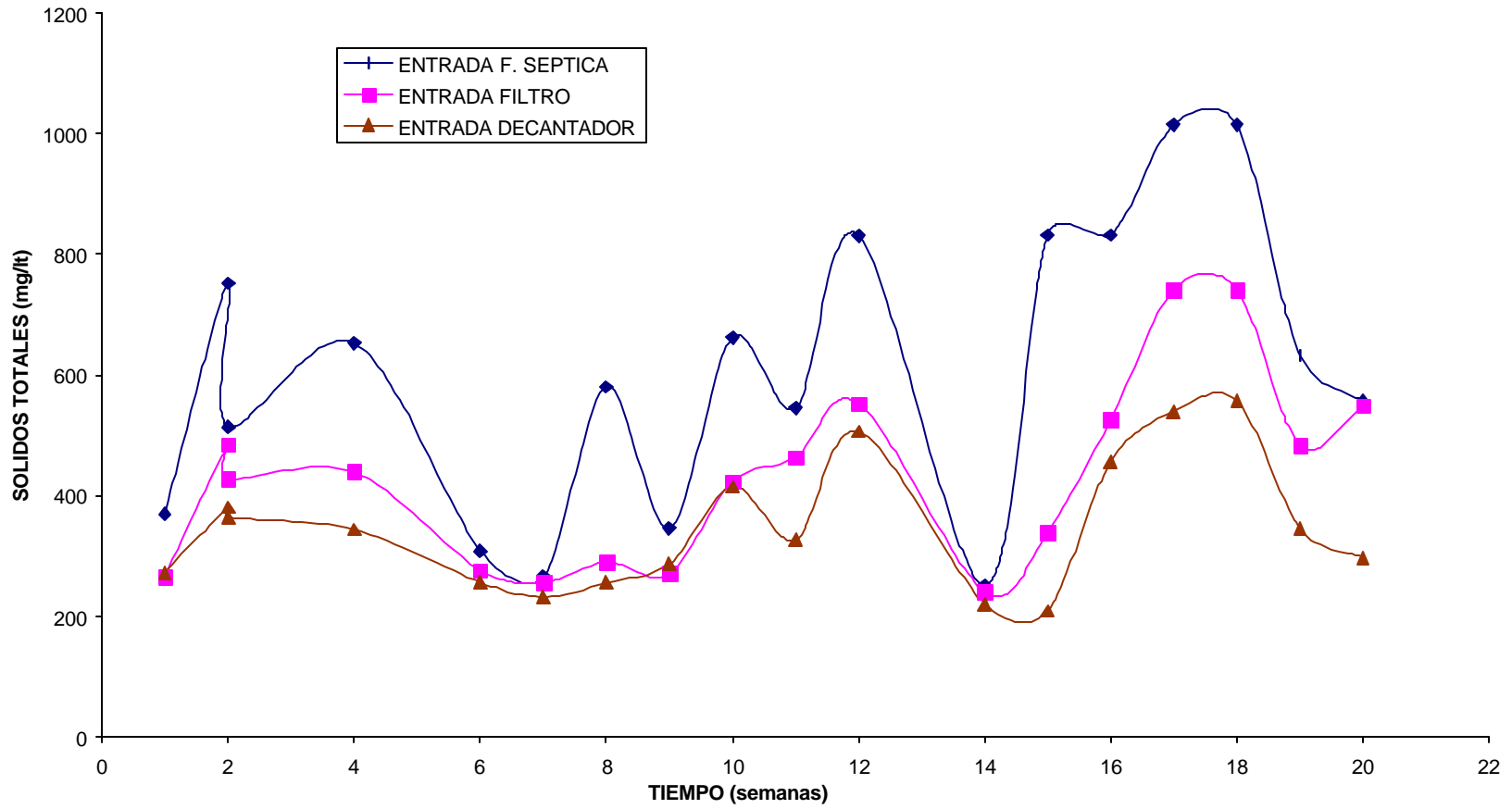
Anexo 20. variación sólidos suspendidos, aerobio fase IV



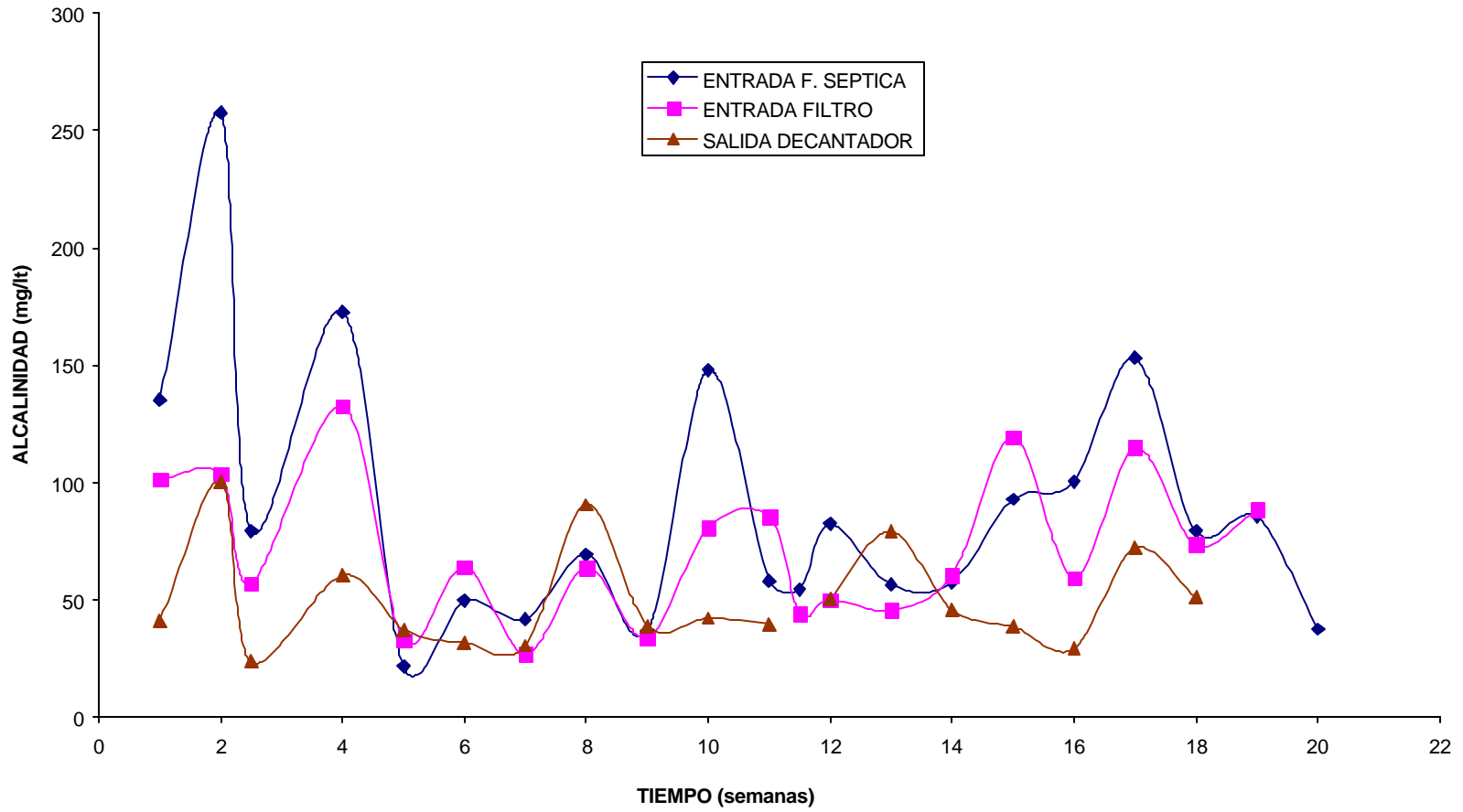
**Anexo 21. variación sólidos volátiles, aerobio fase IV**



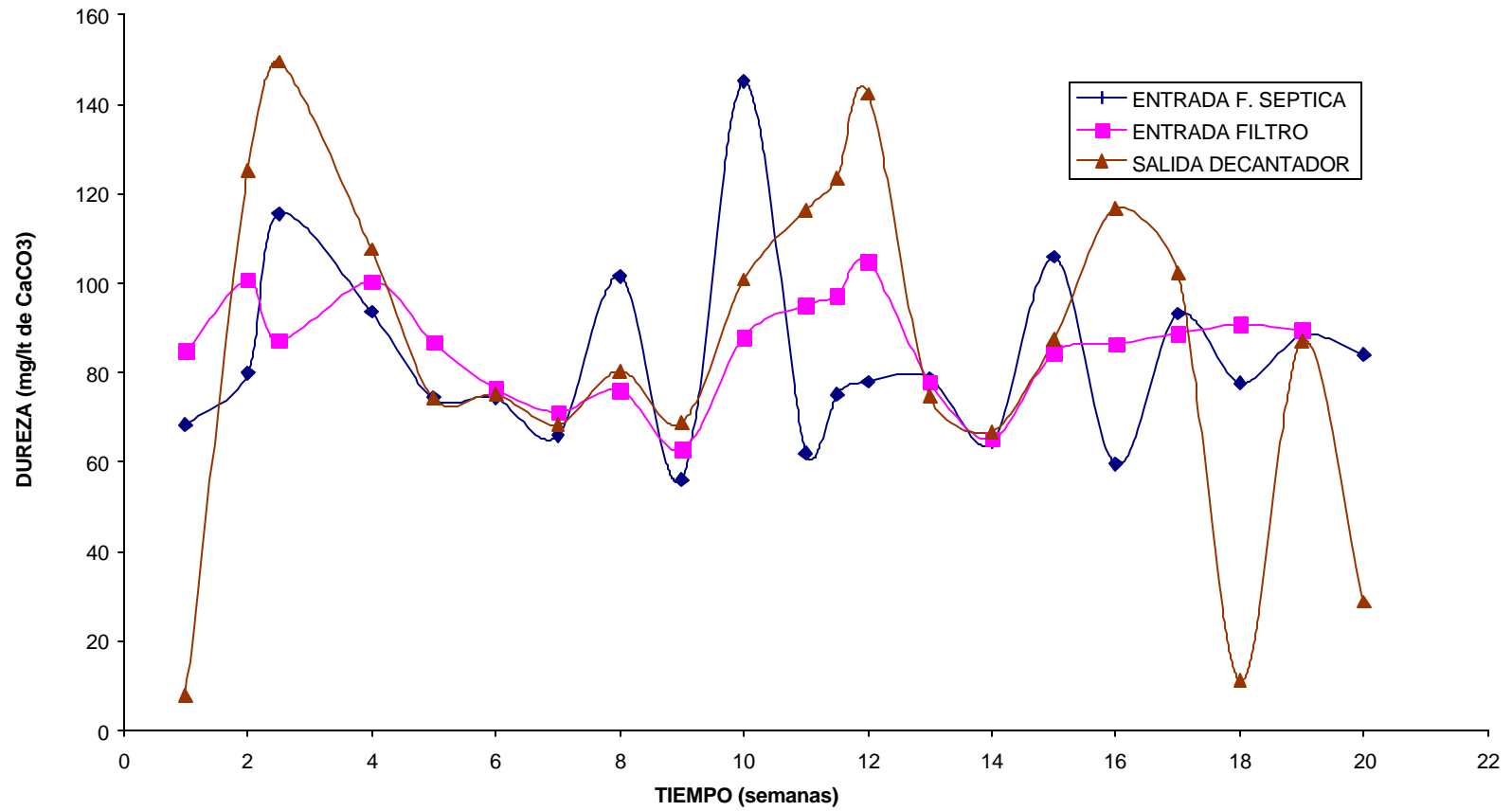
Anexo 22. variación sólidos totales, aerobio fase IV



Anexo 23. variación alcalinidad, aerobio fase IV

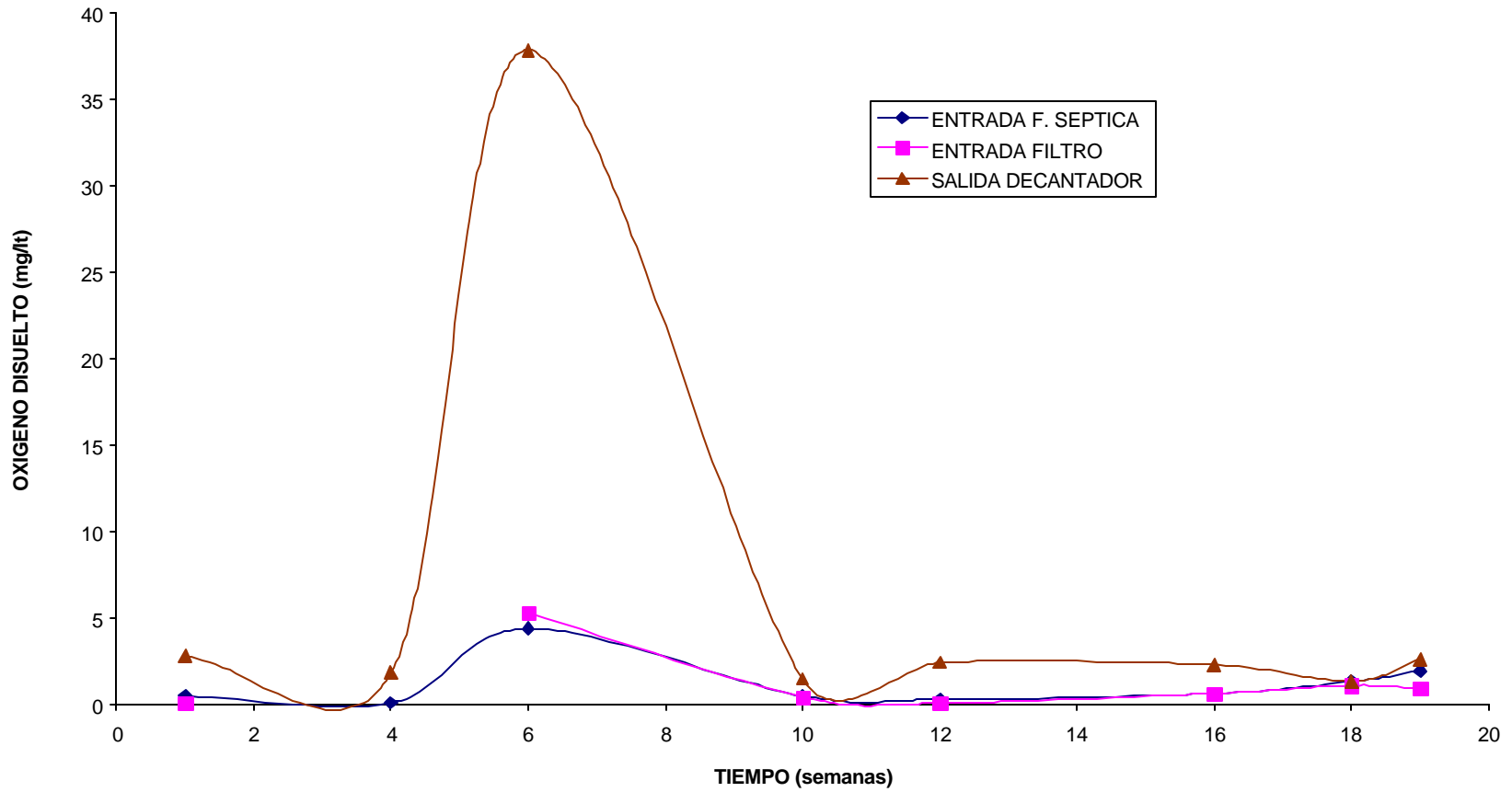


### Anexo 24. variación dureza, aerobio fase IV

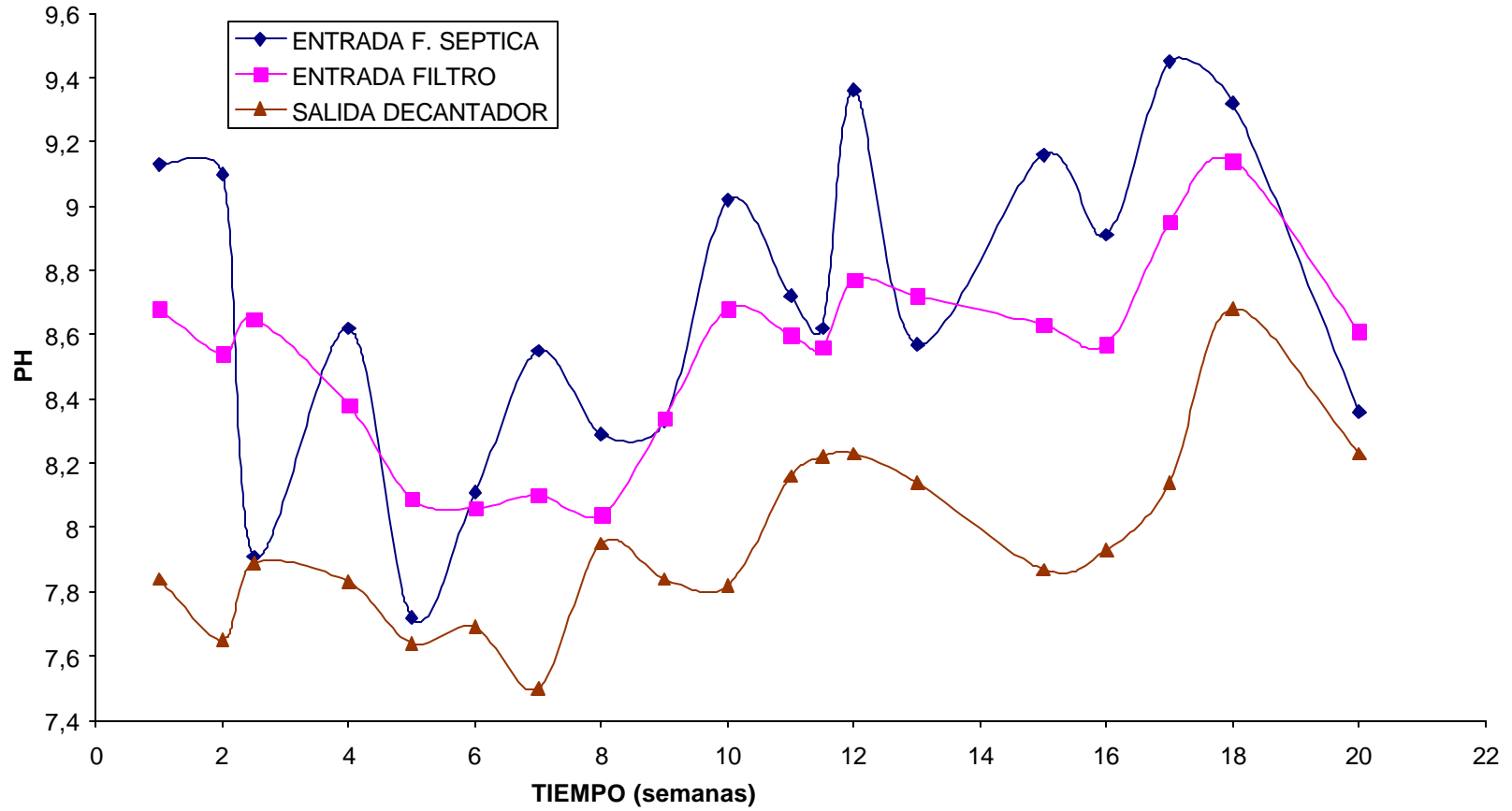




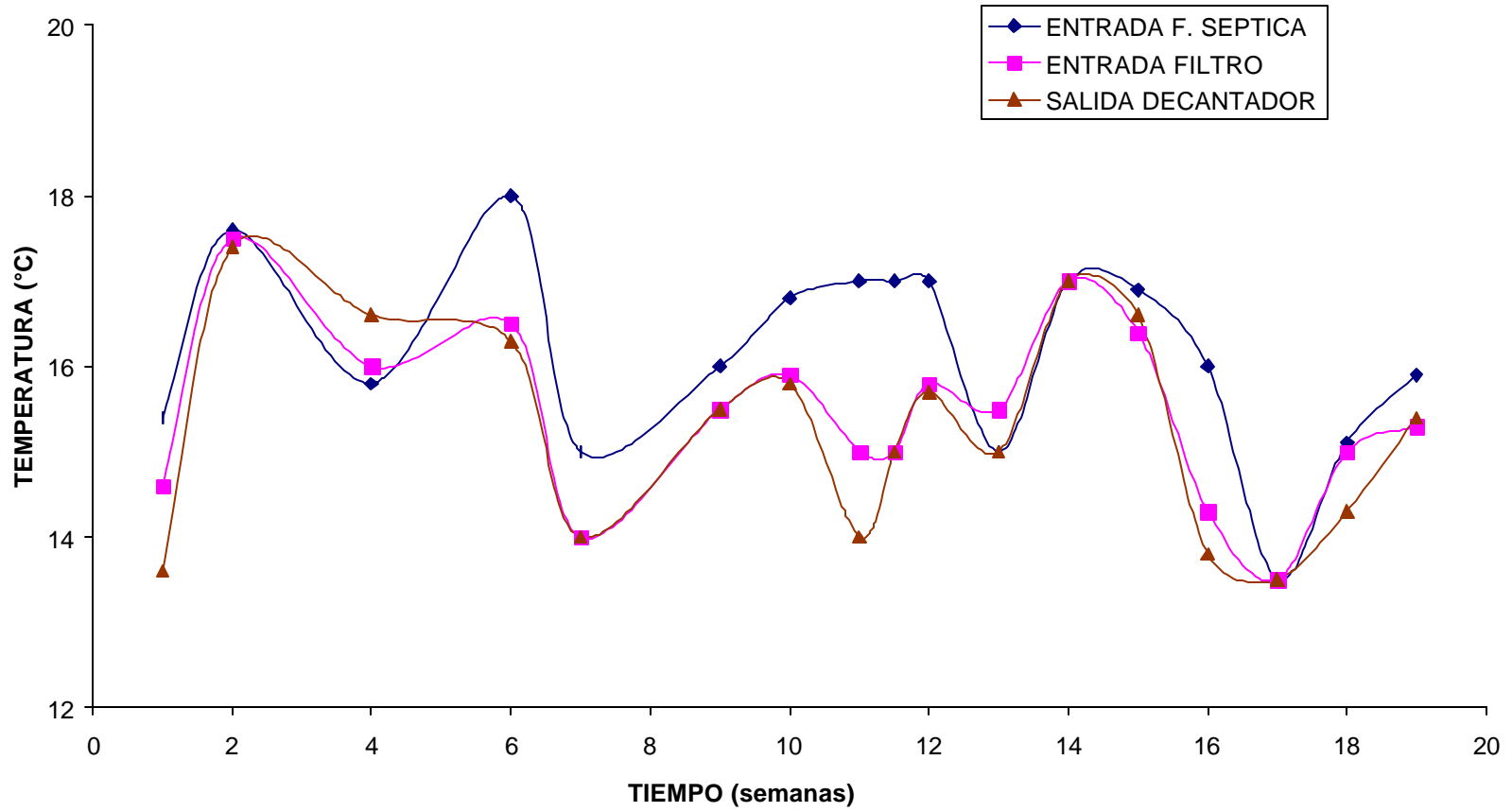
**Anexo 25. variación óxigeno disuelto, aerobio fase IV**



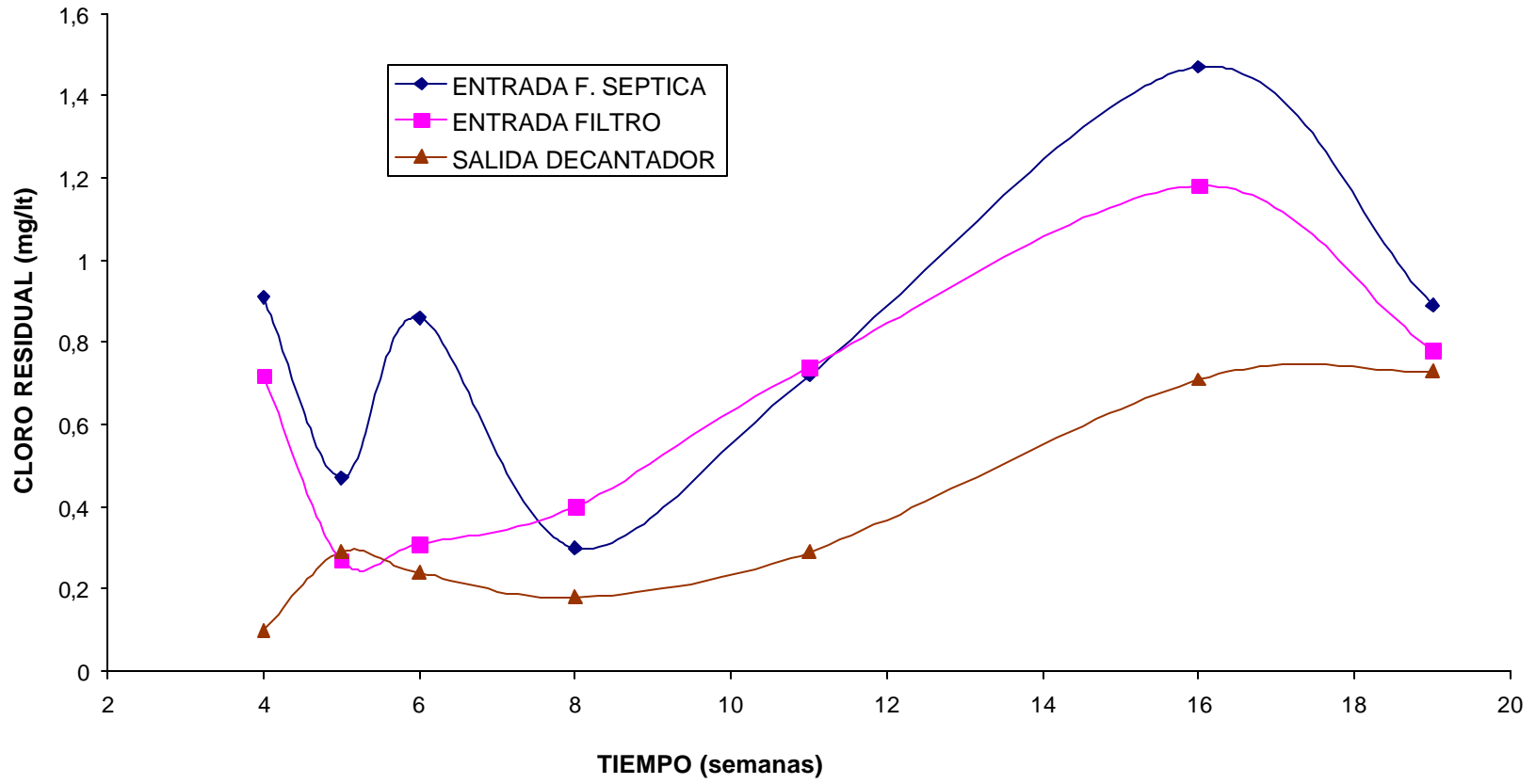
Anexo 26. potencial de hidrogeno, aerobio fase IV



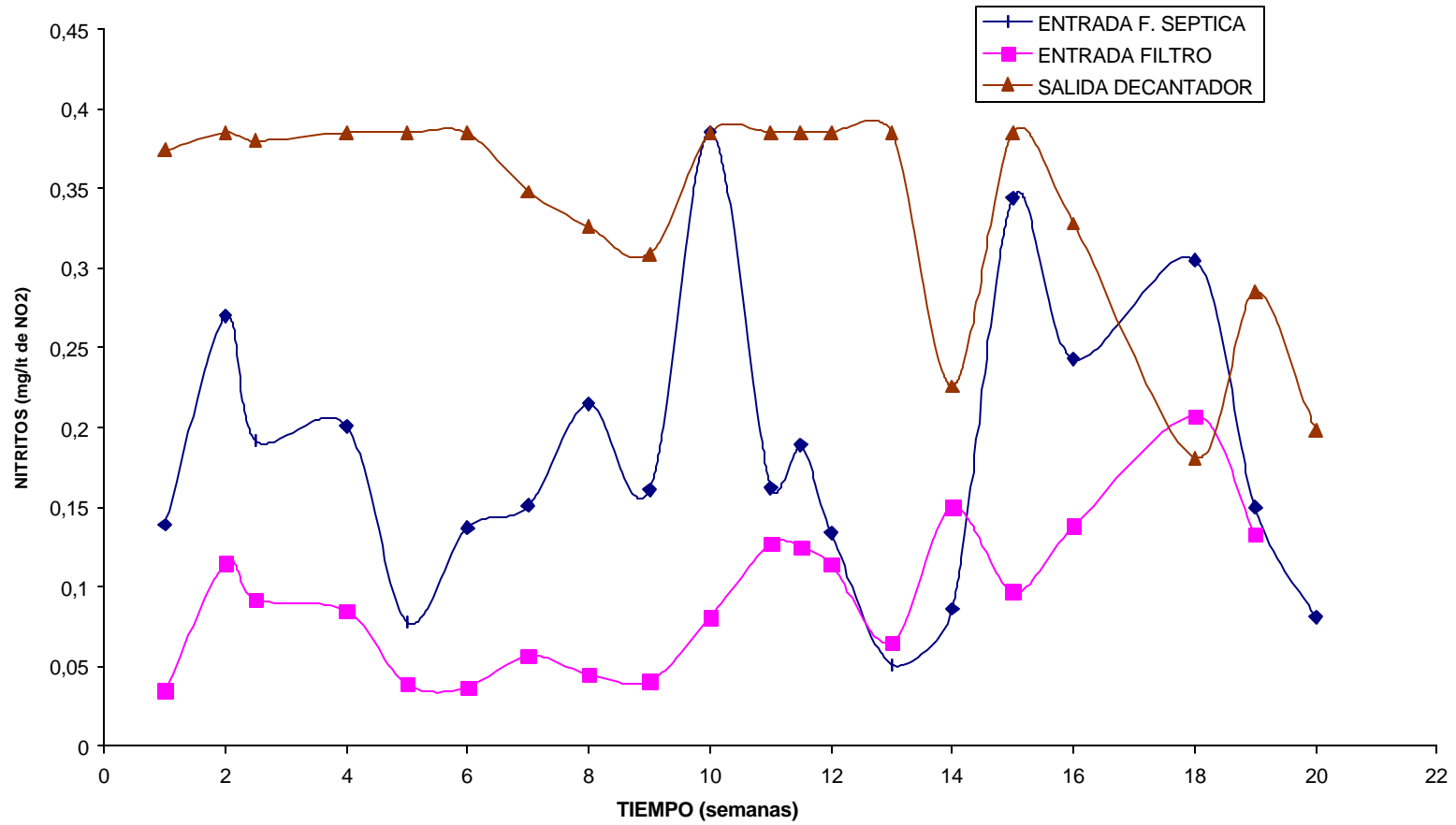
Anexo 27. variación temperatura, aerobio fase IV



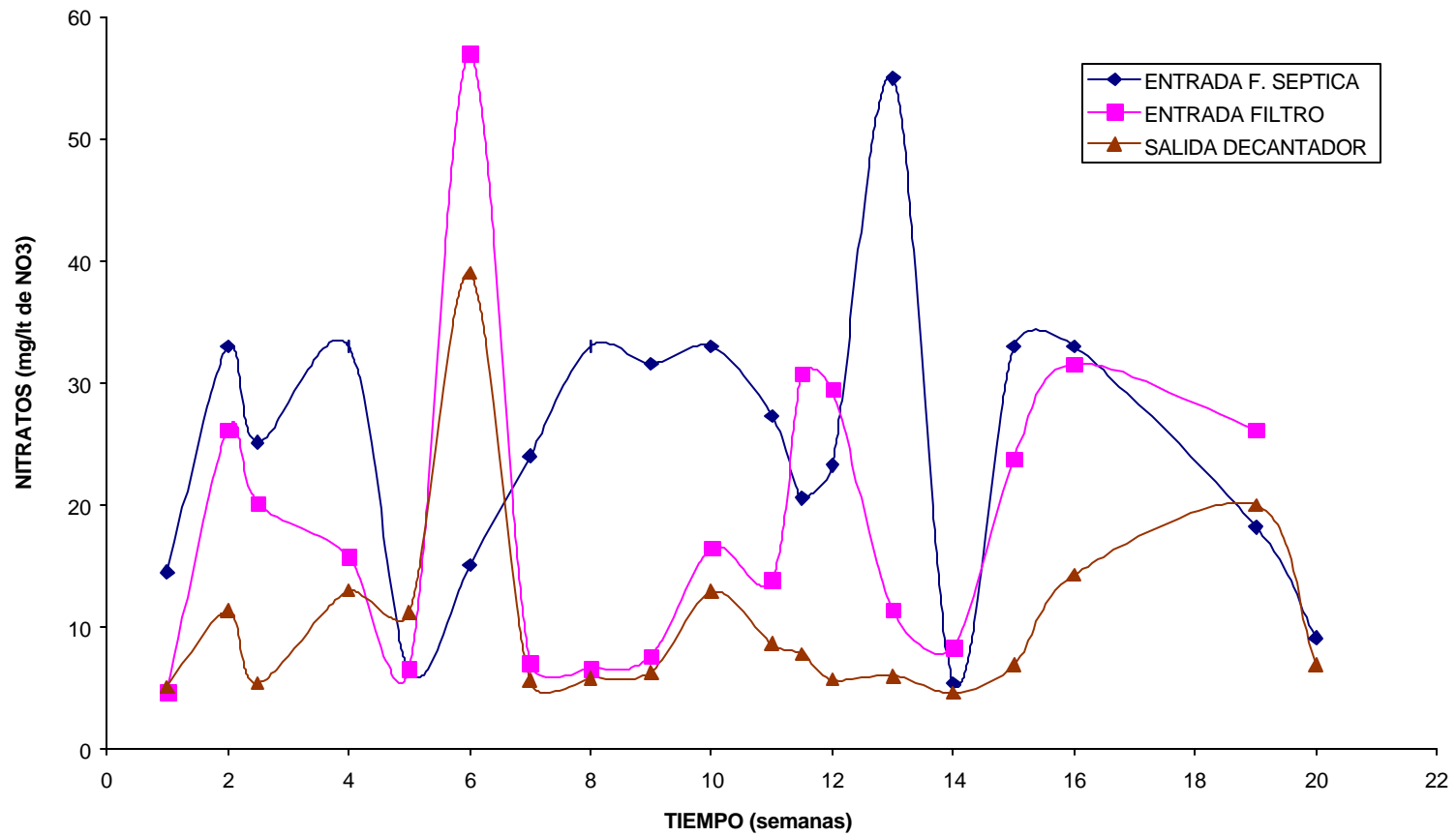
Anexo 28. variación cloro residual, aerobio fase IV



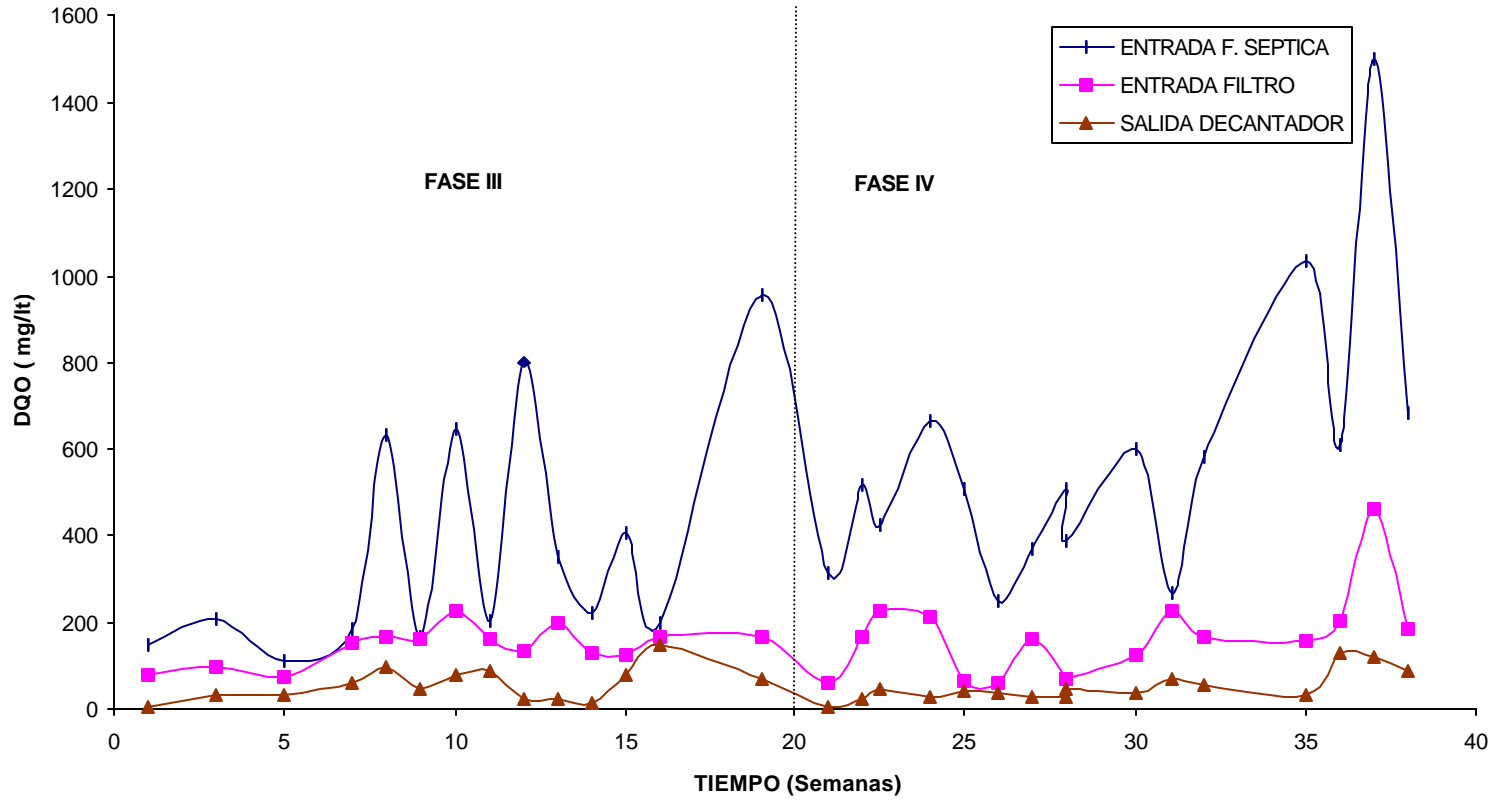
**Anexo 29. variación nitritos, aerobio fase IV**



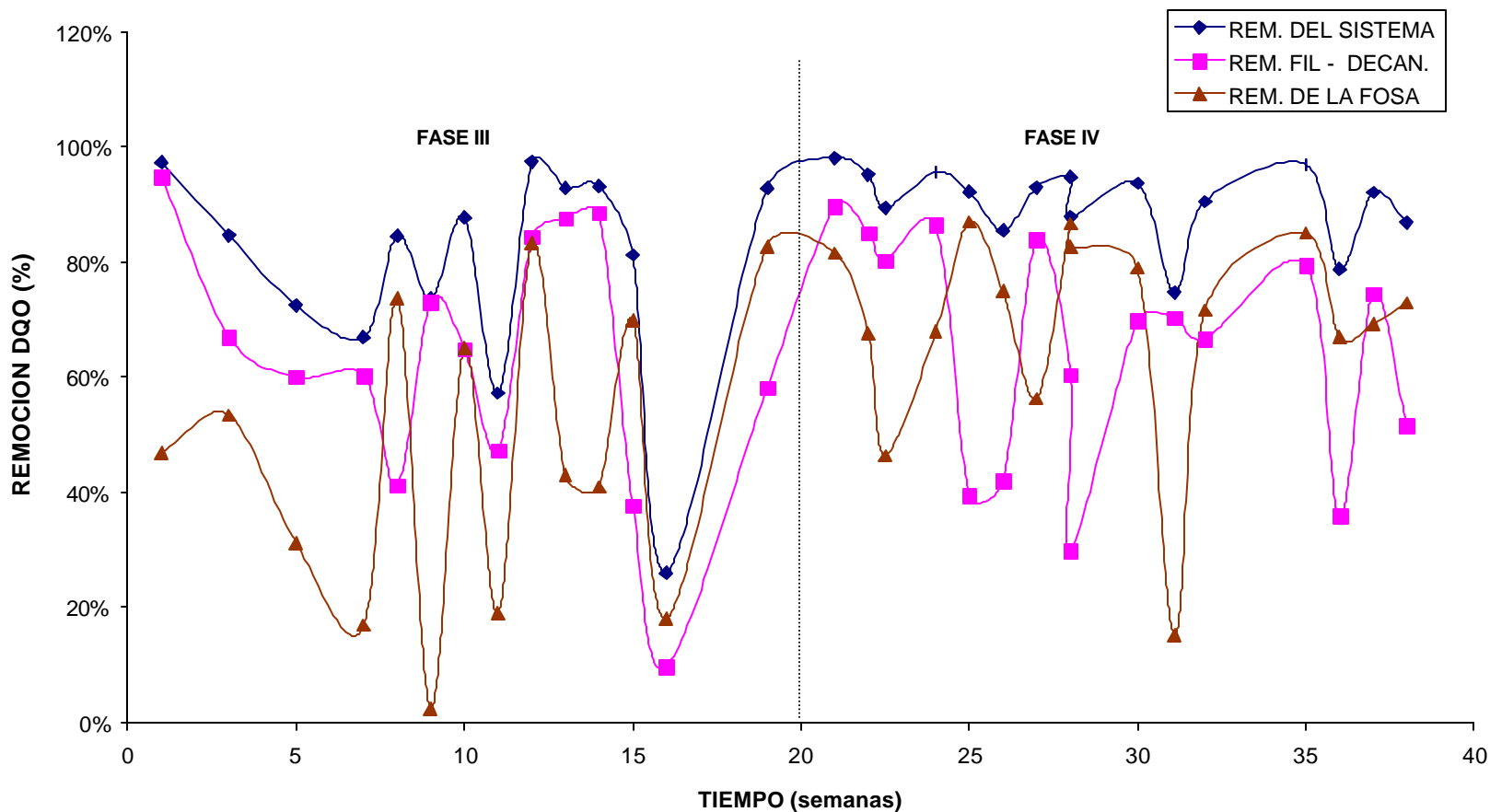
### Anexo 30. variación nitratos, aerobio fase IV



### Anexo 31. variación DQO, aerobio fases III Y IV

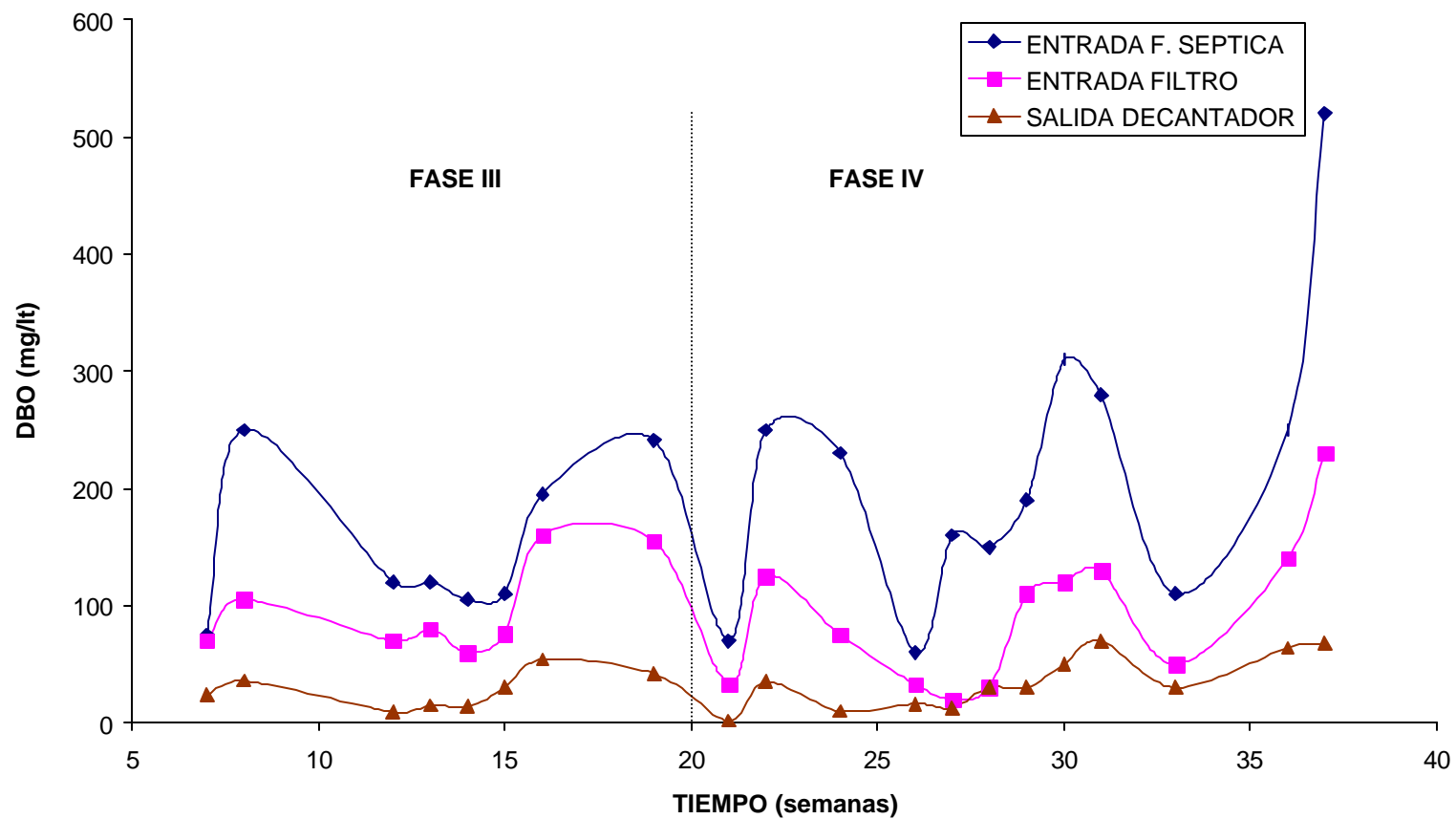


**Anexo 32. % remoción DQO, aerobio fases III Y IV**

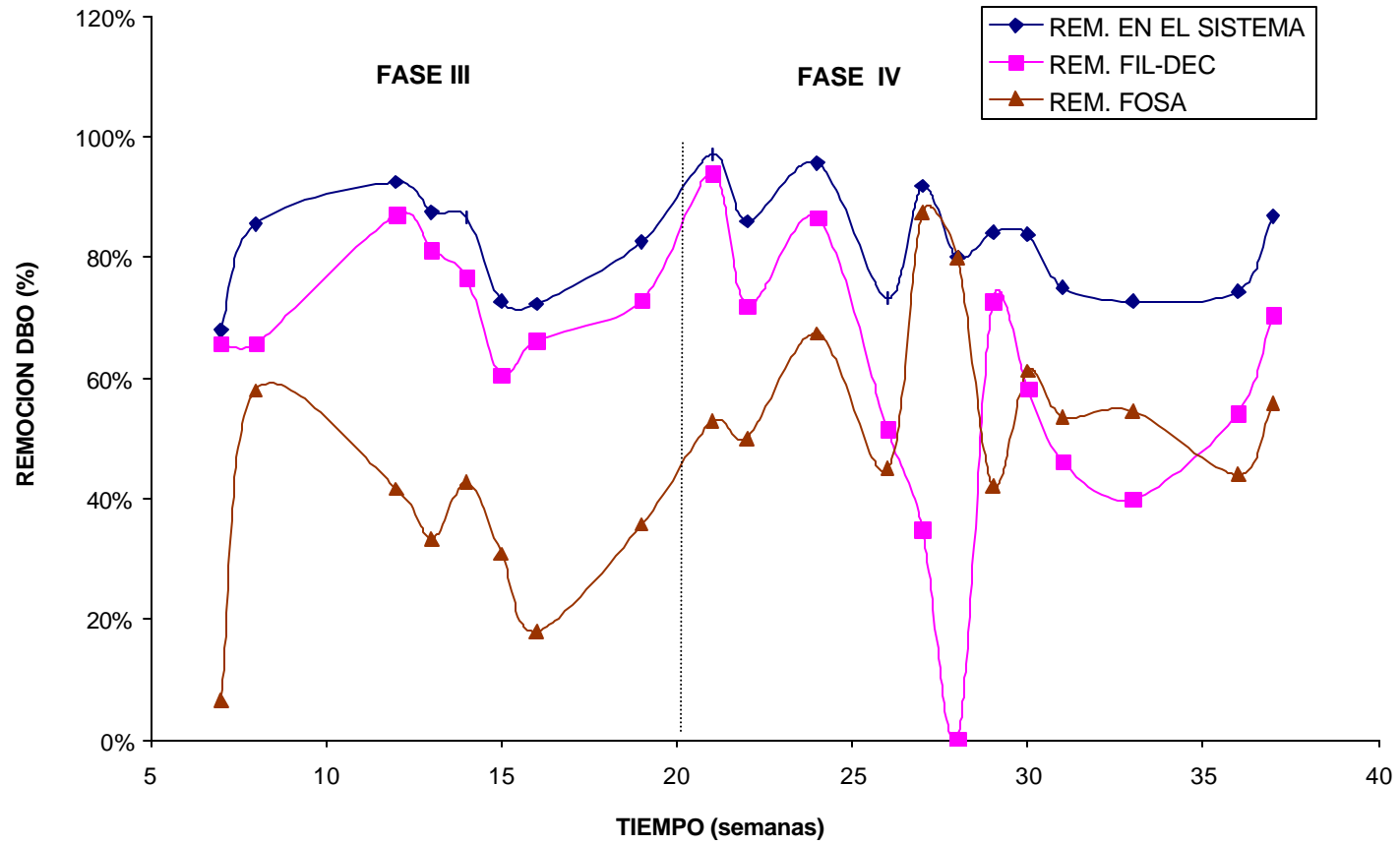




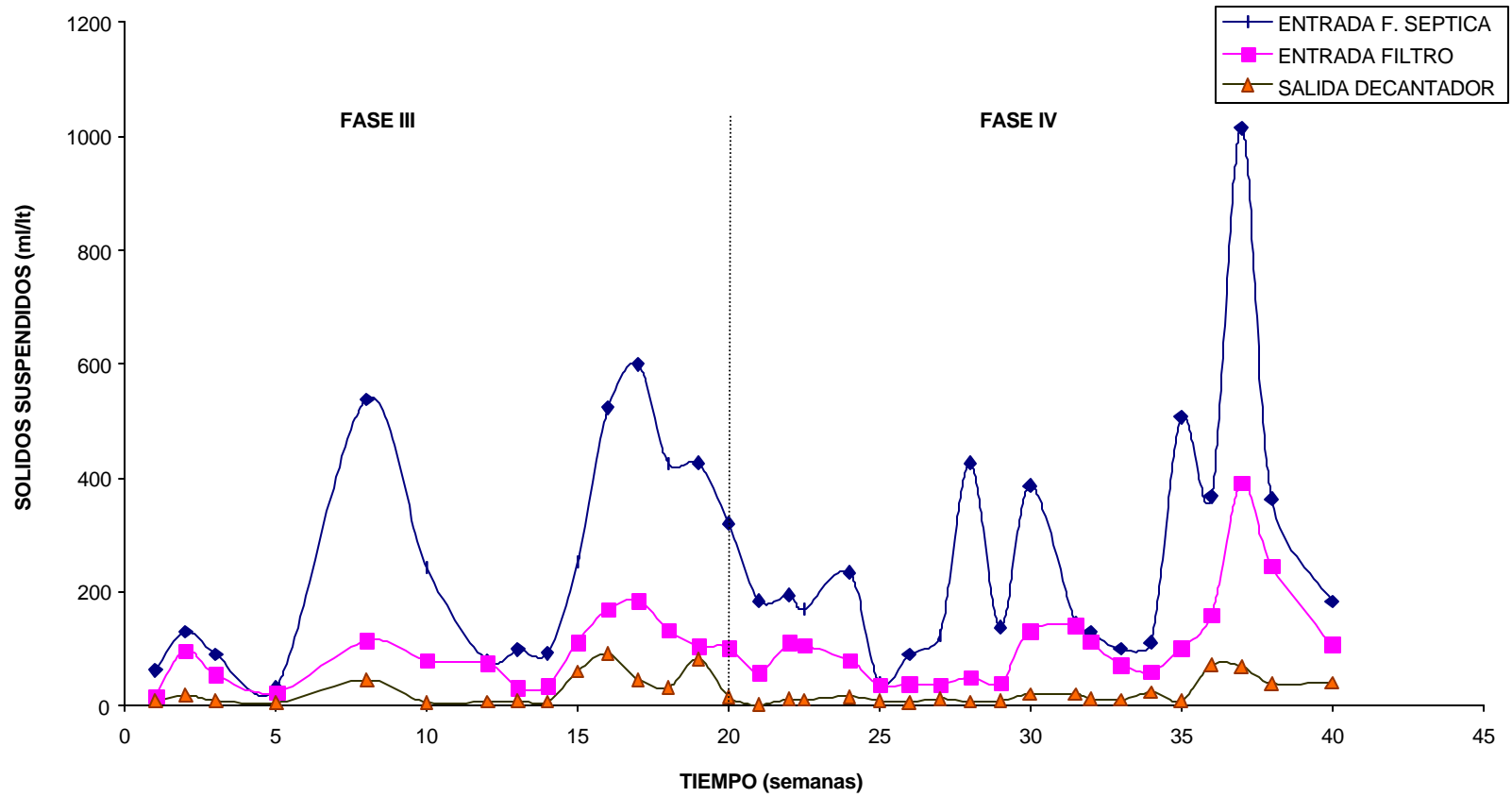
### Anexo 33. variación DBO5, aerobio fases III Y IV



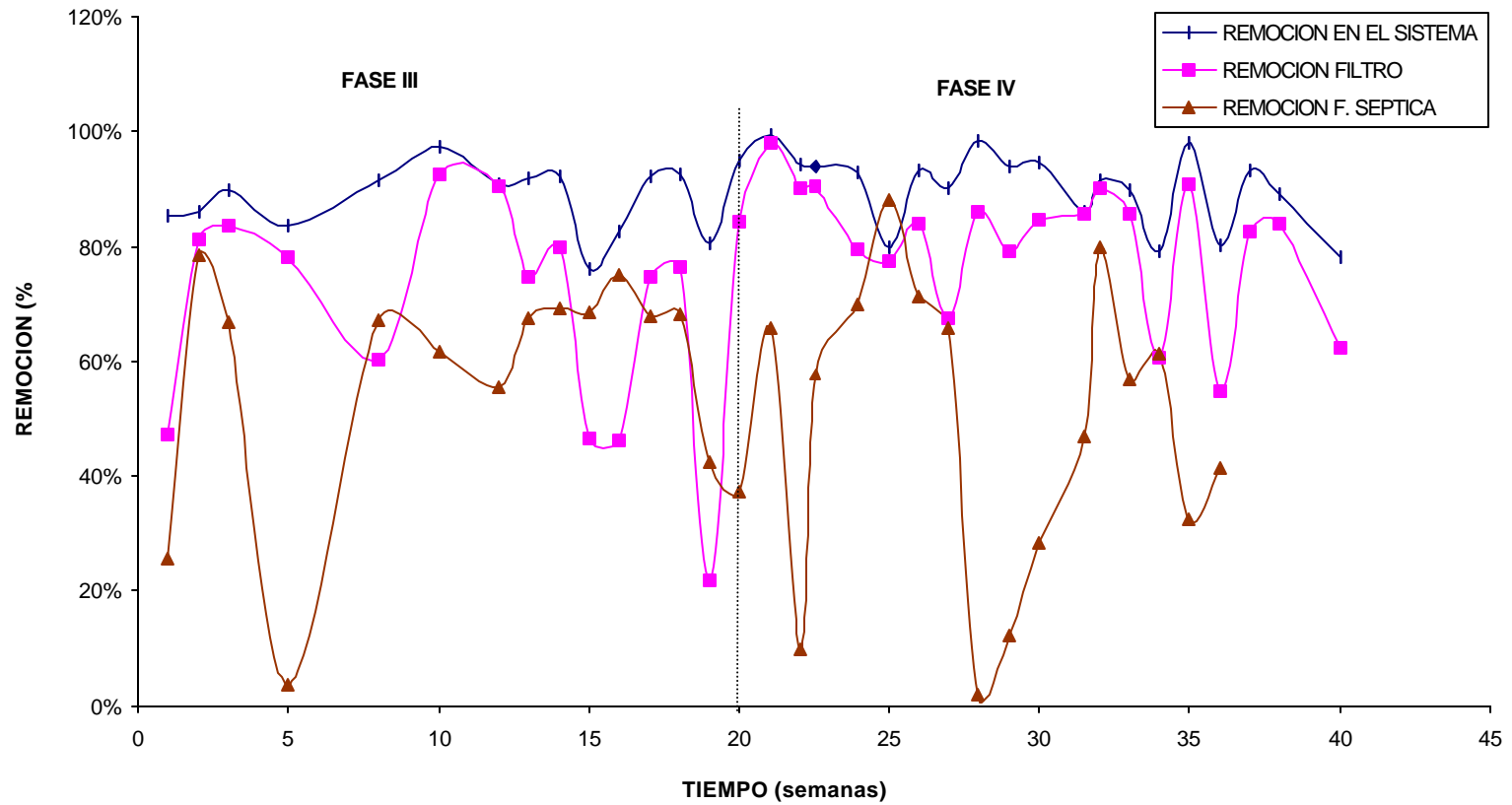
**Anexo 34. % remoción DBO5, aerobio fases III Y IV**



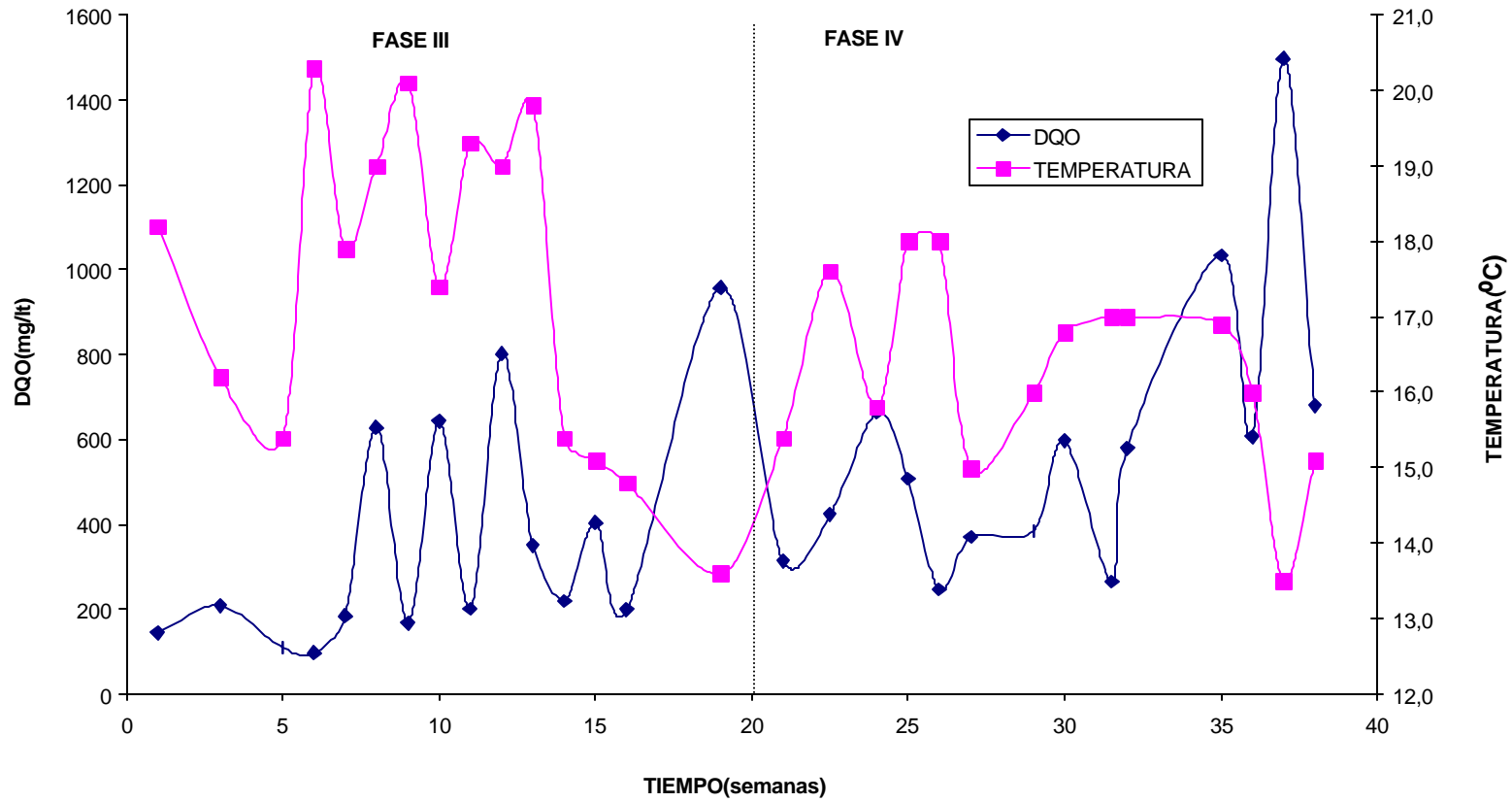
### Anexo 35. variación sólidos suspendidos, aerobio fases III Y IV



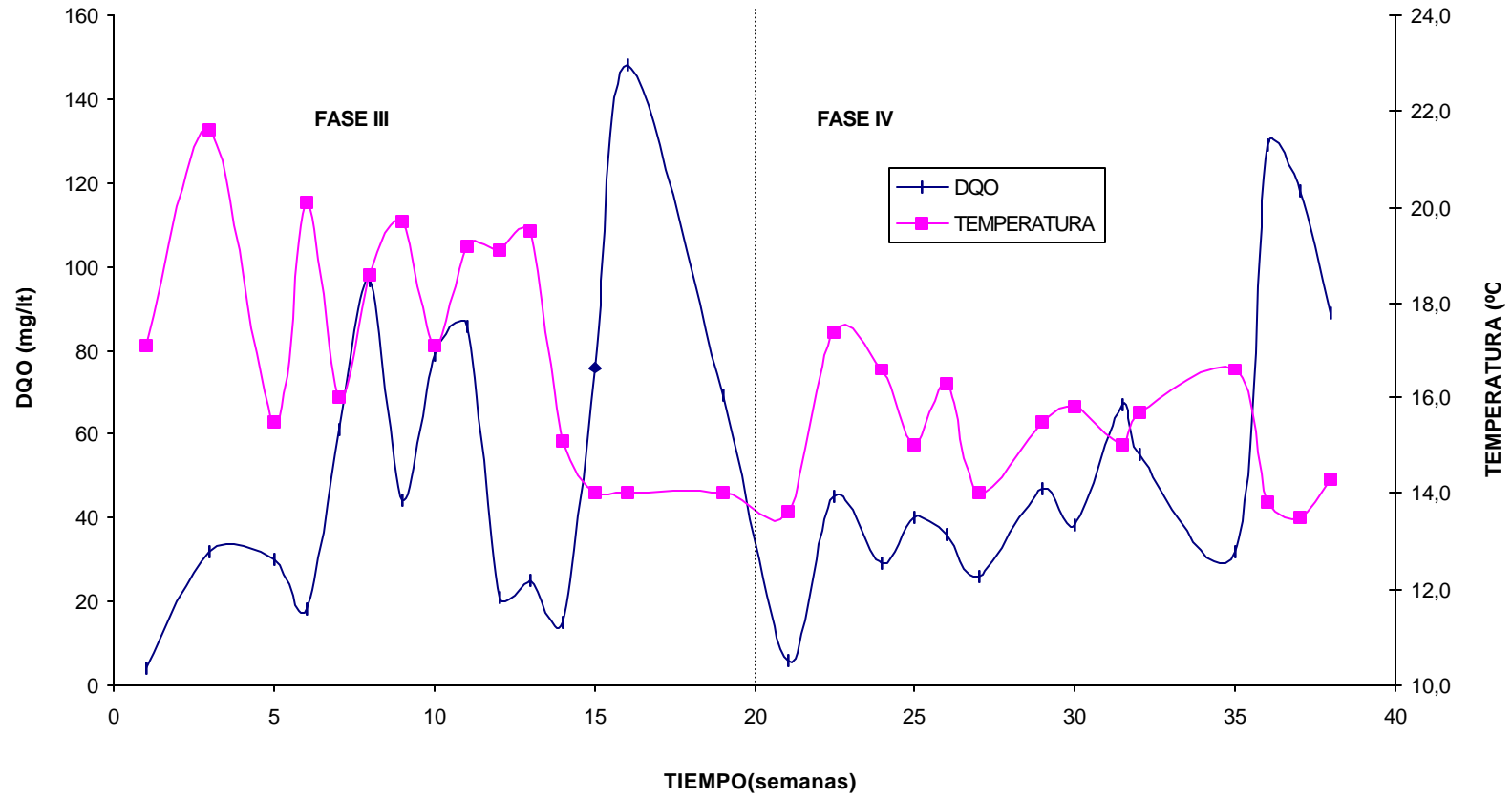
### Anexo 36. % remoción sólidos suspendidos, aerobio fases III Y IV



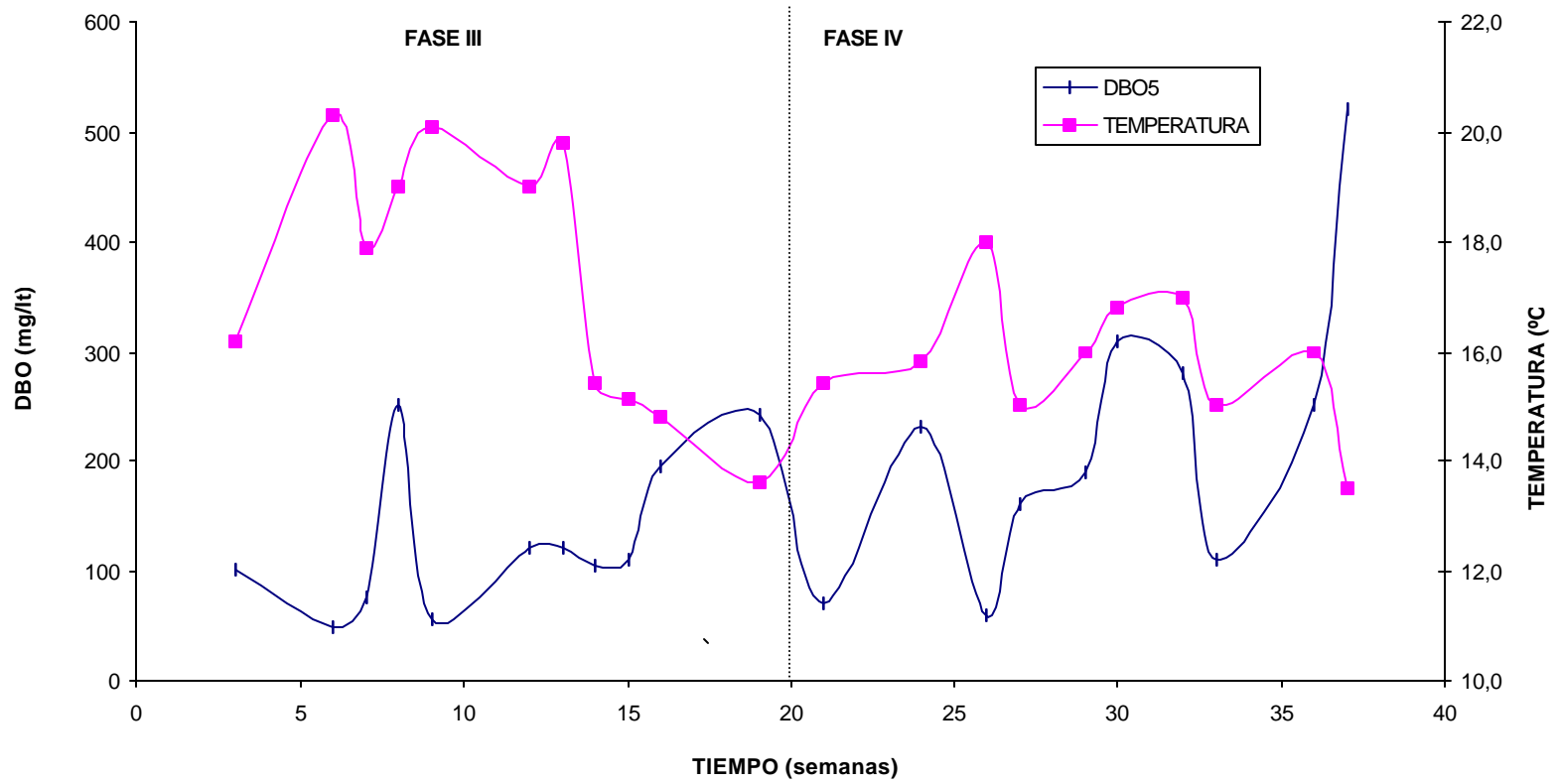
**Anexo 37. variación DQO Vs Tº, entrada f. septica aerobio fase III Y IV**



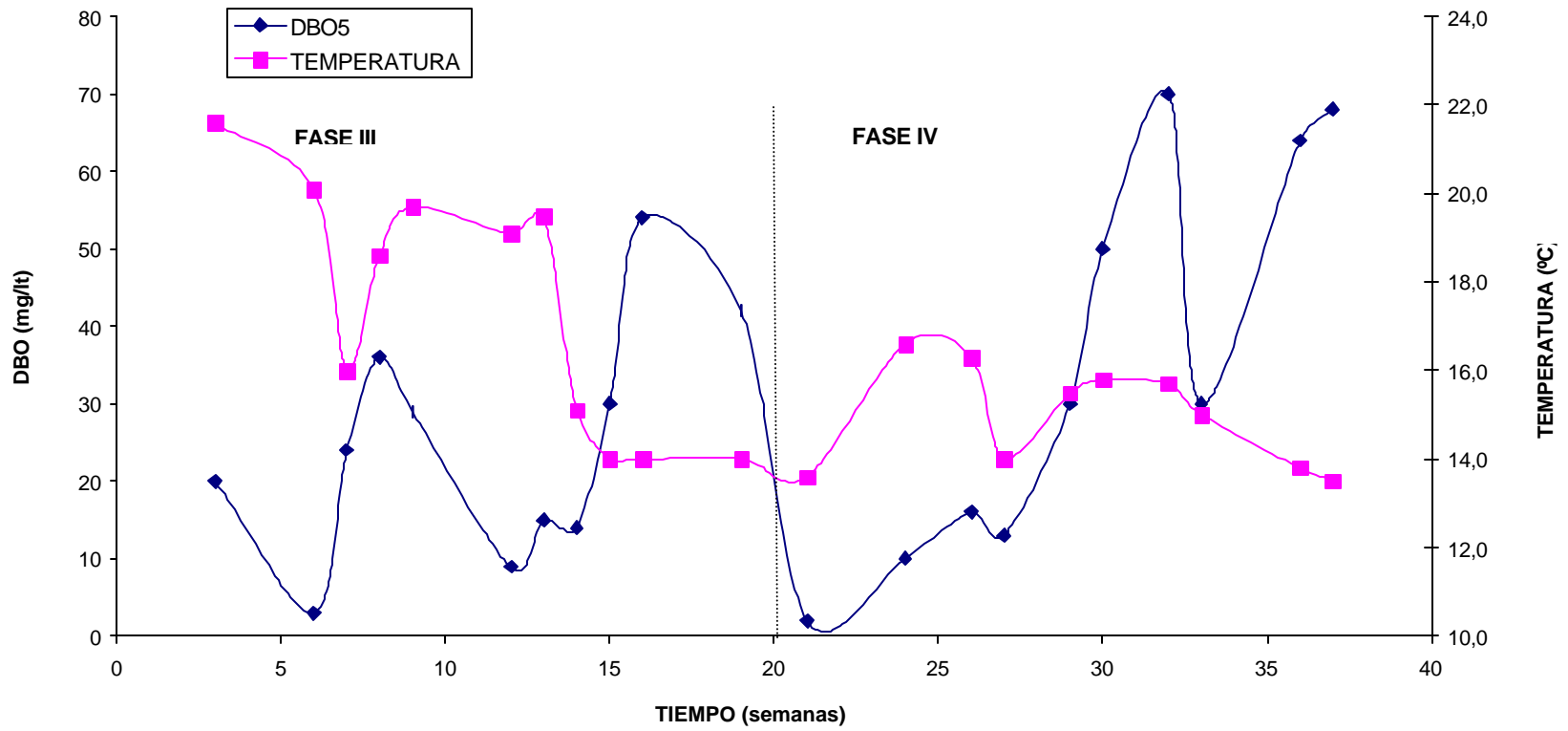
**Anexo 38. variación DQO Vs T° salida decantador, aerobio fase III Y IV**



**Anexo 39. variación DBO5 Vs T° entrada f. séptica, aerobio fase III Y IV**

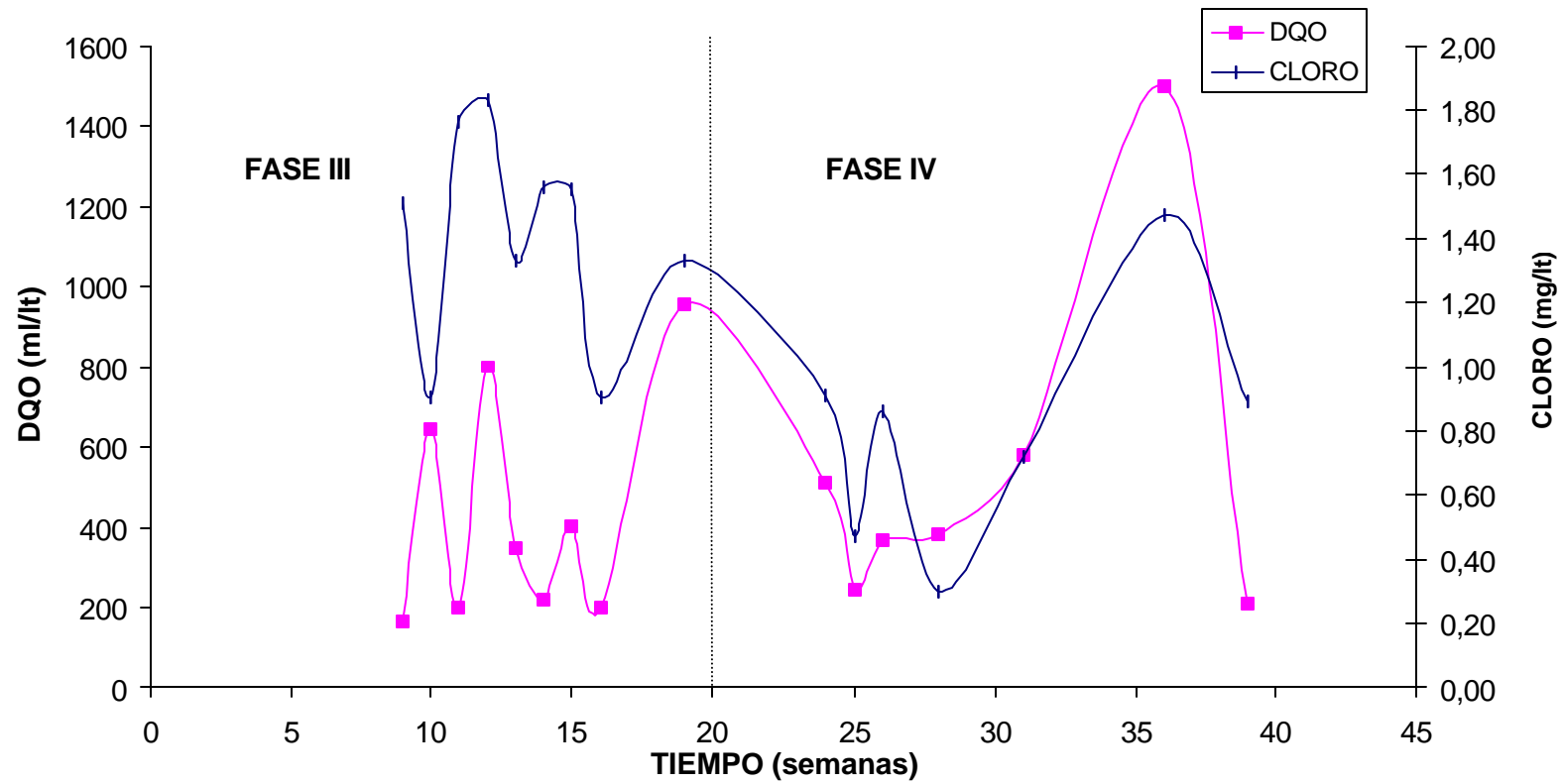


**Anexo 40. variación DBO5 Vs T° salida decantador, aerobio fase III y IV**

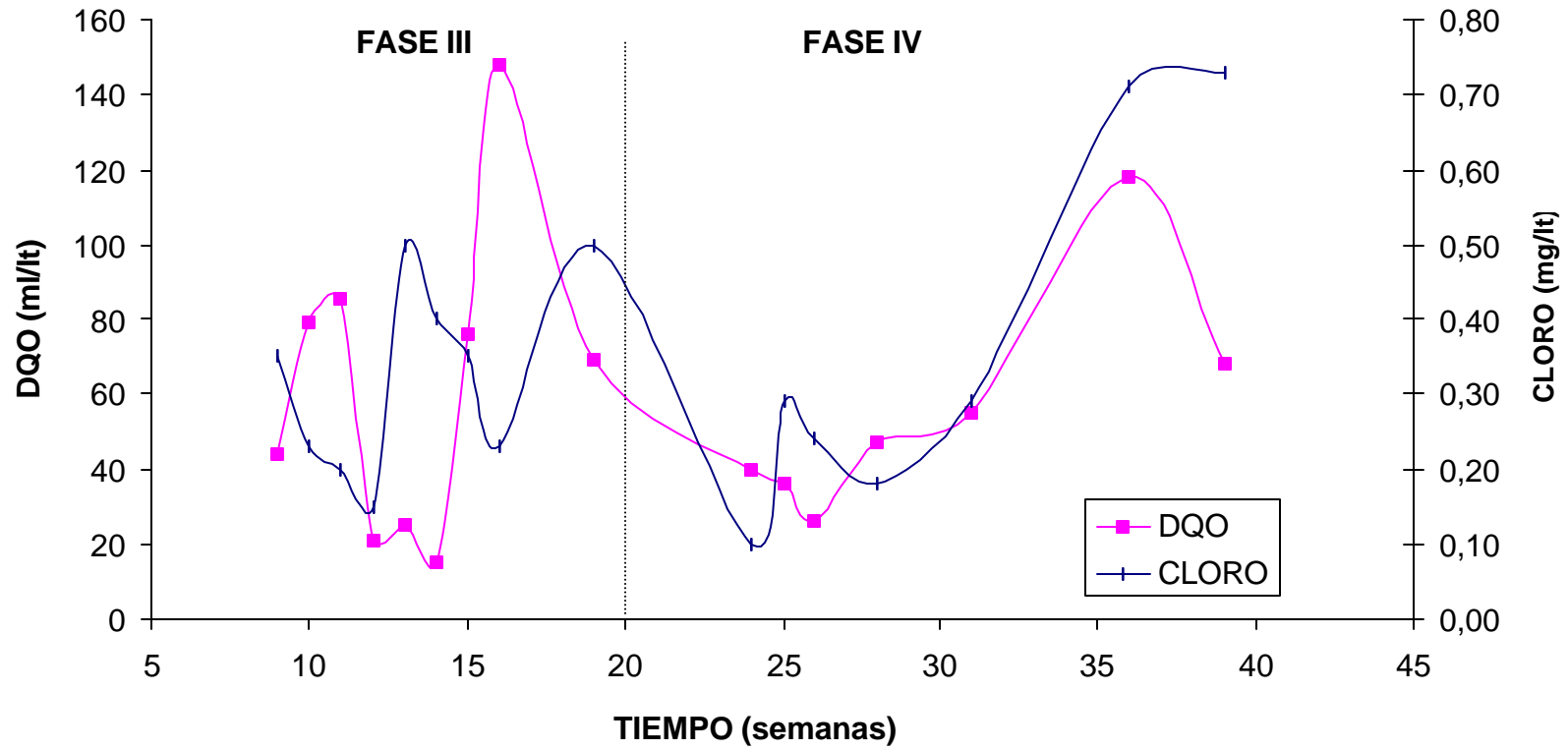




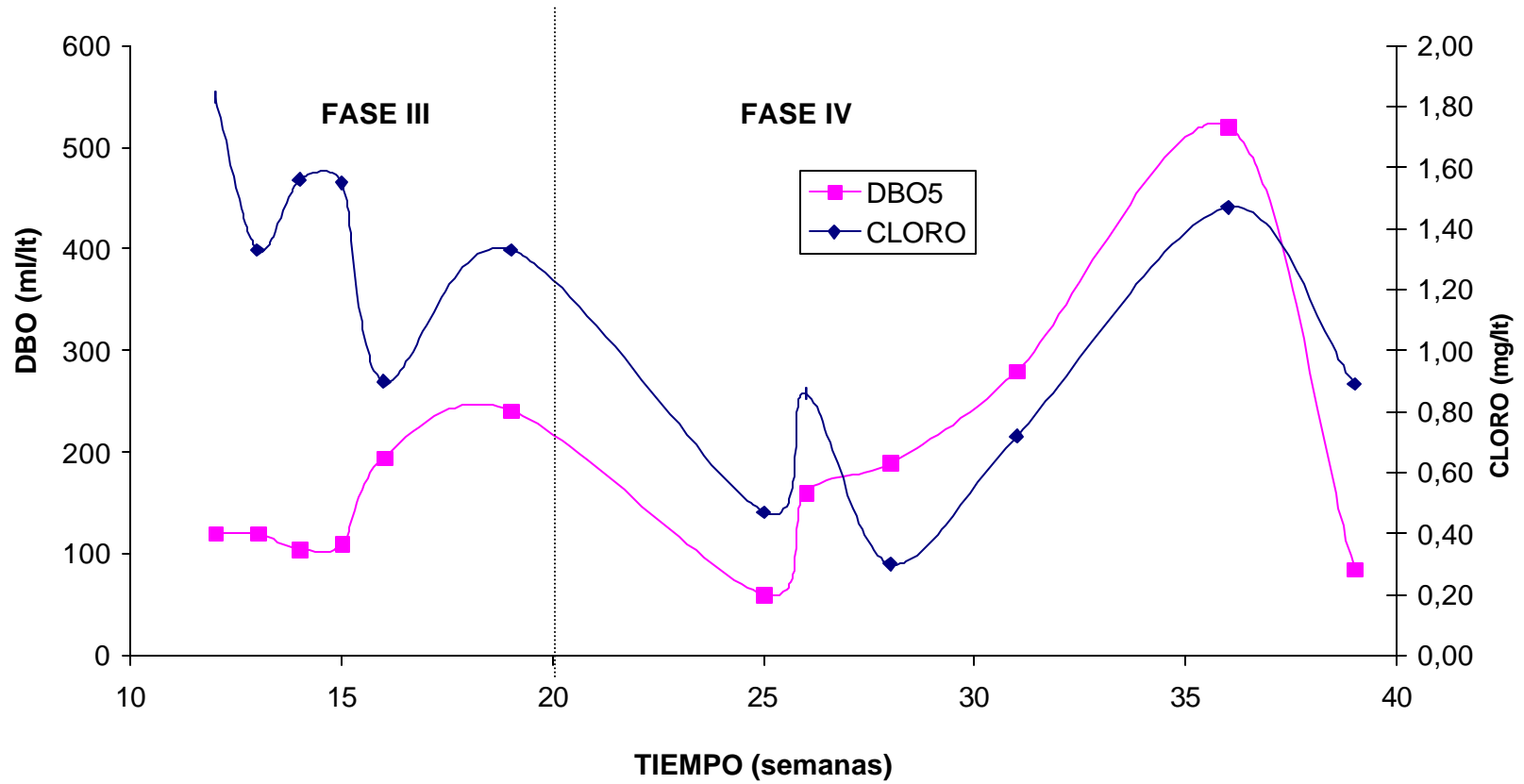
Anexo 41. variación cloro Vs DQO, entrada f. septica, aerobio fase III Y IV



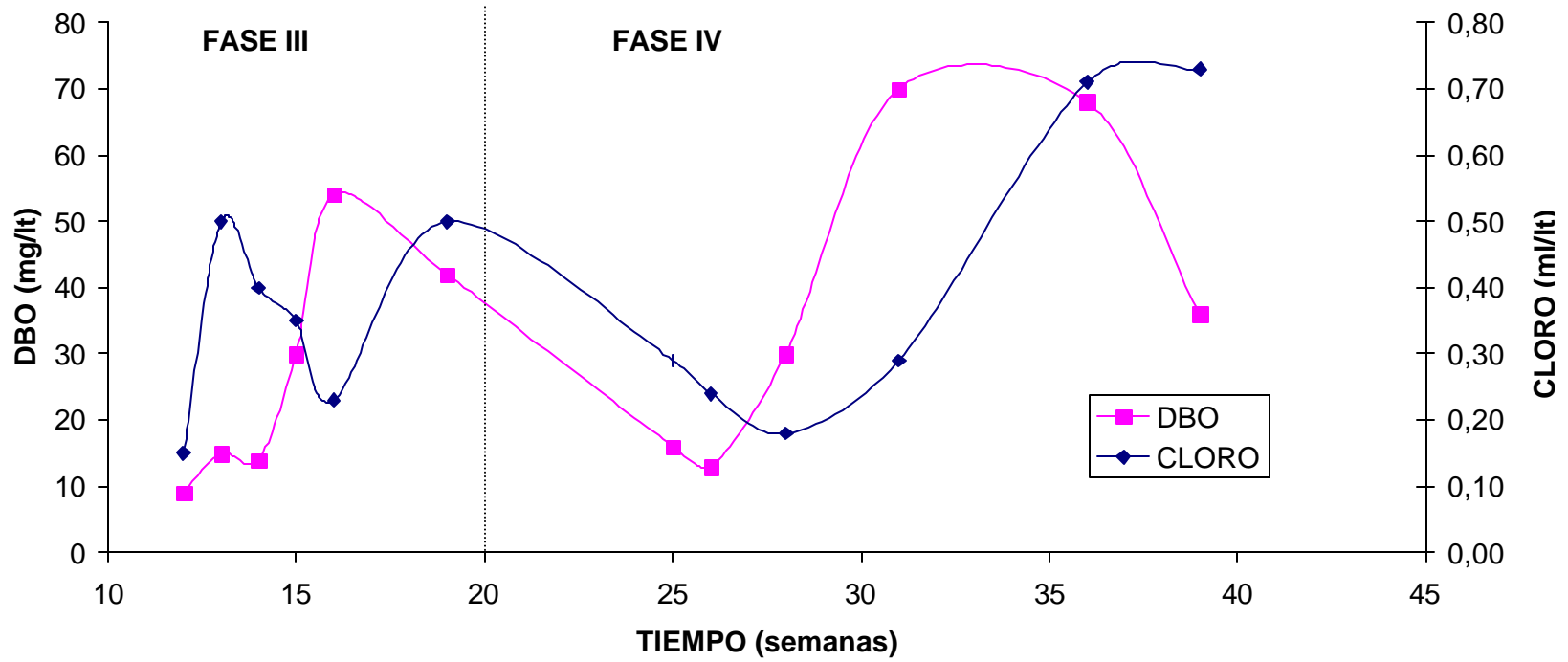
**Anexo 42. variación DQO Vs cloro, salida decantador, aerobio fase III Y IV**



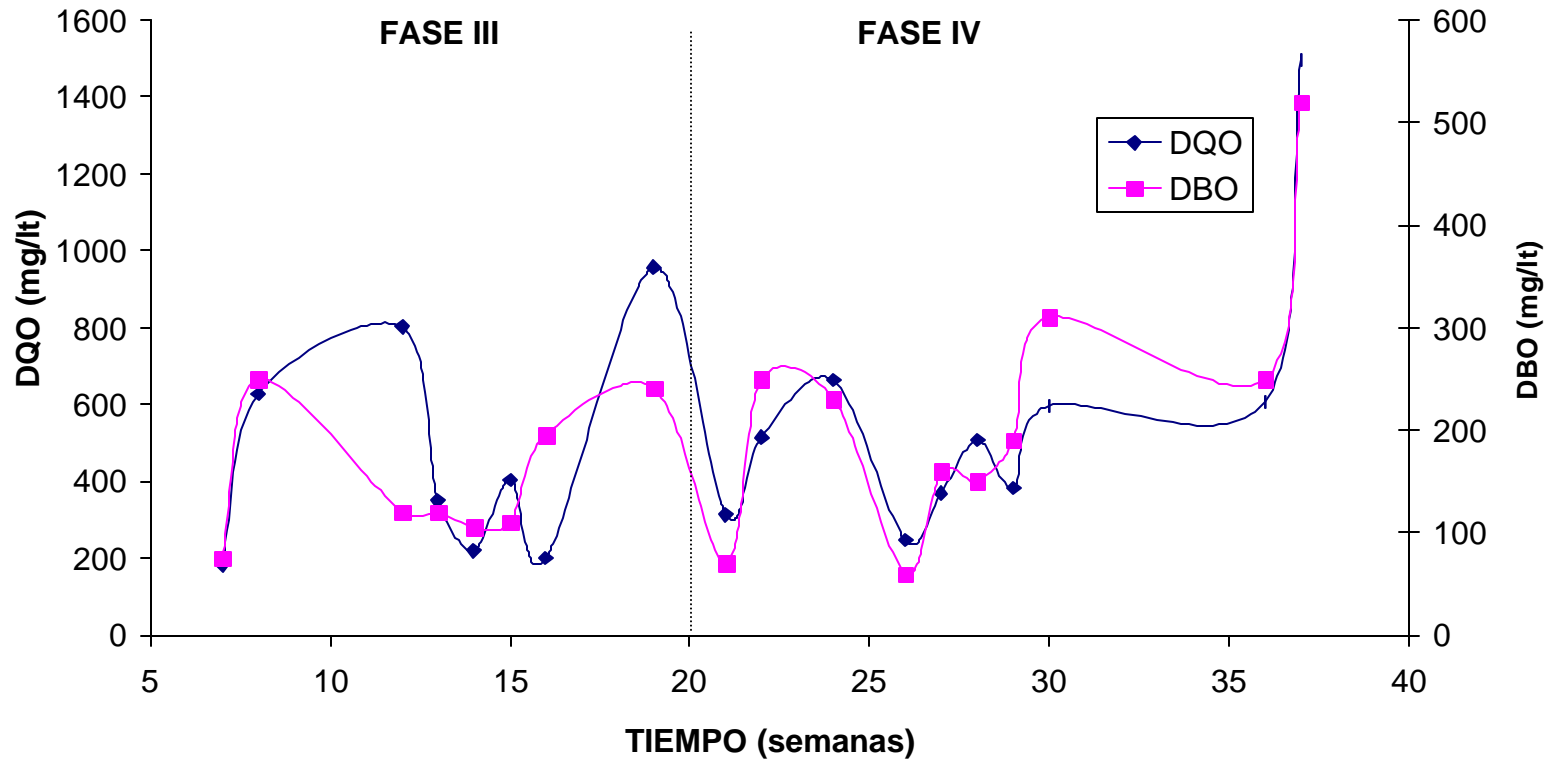
**Anexo 43. variación cloro Vs variación DBO, entrada f. Séptica, aerobio fase III Y IV**



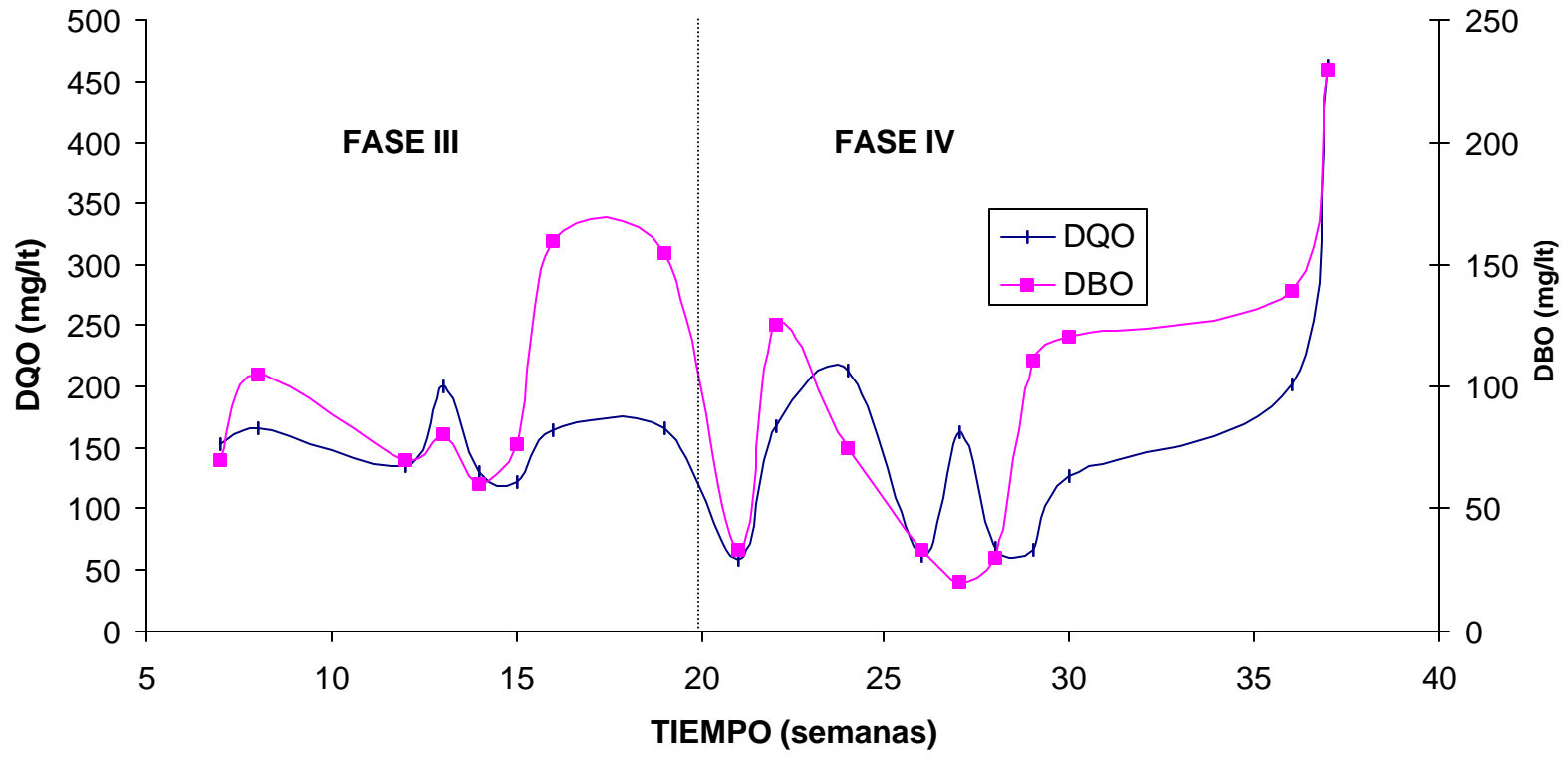
**Anexo 44. variación cloro Vs DBO, salida decantador, aerobio fase III Y IV**



**Anexo 45. variación DQO Vs DBO, entrada aerobio fase III Y IV**



**Anexo 46. variación DQO Vs DBO, entrada filtro, aerobio fase III Y IV**



Anexo 47. variación DQO Vs DBO, salida decantador aerobio fase III Y IV

