

**SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS DE LECHO GRANULAR PARA
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
F.A.L.G. IV
FILTRO GRANULAR ANAEROBIO ASCENDENTE**

**JUAN CARLOS BENAVIDES LASSO
FRANCISCO JAVIER CUATÍN NAVARRETE**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO**

2003

**SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS DE LECHO GRANULAR PARA
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
F.A.L.G. IV
FILTRO GRANULAR ANAEROBIO ASCENDENTE**

**JUAN CARLOS BENAVIDES LASSO
FRANCISCO JAVIER CUATÍN NAVARRETE**

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

**Director
ROBERTO EFRAÍN SALAZAR CANO
Ingeniero Civil
Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO**

2003

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° del acuerdo N° 324 del 11 de octubre de 1996, emanado del Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, 30 de Octubre del 2003

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado:

A DIOS, quien ha sido mi guía en los momentos de dificultad y mi mejor consejero.

A mis padres Salomón Cuatín y Matilde Navarrete, por su apoyo, confianza y paciencia que siempre me han brindado a lo largo de mi vida diaria.

A mi novia, Bella quien ha estado conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi mejor amigo y a todas las personas que de una u otra forma han influenciado en mi vida.

Francisco Javier Cuatín Navarrete

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado:

A la memoria de mis abuelos Inés, Tomas y Hernando, de mi hermanito Daniel Fernando, de mi tía Carmelita, de mi tío Tomas Arturo y las demás personas a las que llevo en mi corazón y que hoy están ante la presencia del señor.

A mis padres Maria Esther y Carlos Arturo por ser la piedra angular sobre la que se ha edificado mi vida, a mi abuela Marta Luisa, a mis hermanos Mario Alejandro, Luis Hernando y Ana Maria, por ser ante todo mis amigos y la razón para salir adelante.

A mis tíos y primos y a toda mi familia, a mis amigos y personas a las que les debo su aprecio.

A mi novia, por brindarme su aprecio, su cariño y comprensión.

Y a DIOS por que sin su luz no habría sido capaz de sobrepasar los caminos oscuros de la adversidad y por que desde siempre a sido el amigo que nunca falla.

Juan Carlos Benavides Lasso

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 incondicional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	32
1. MARCO TEÓRICO	34
1.1 ANTECEDENTES	34
1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
1.2.1 Poblaciones pequeñas	37
1.2.1.1 Pretratamientos	37
1.2.1.2 Tratamientos primarios	37
1.2.1.3 Tratamientos secundarios (tratamiento biológico)	38
1.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES	38
1.3.1 Descripción del proceso	38
1.4 PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO	40
1.4.1 Localización	40
1.4.2 Captación	40
1.4.3 Partes del Sistema de Tratamiento	41
1.4.3.1 Desbaste	41
1.4.3.2 Tanque Séptico	41
1.4.3.3 Filtro Anaerobio de Lecho Fijo	43
1.4.3.3.1 Generalidades	43

1.4.3.3.2 Ventajas y desventajas de los filtros anaerobios de lecho fijo	43
1.4.3.3.2.1 Ventajas	43
1.4.3.3.2.2 Desventajas	44
1.4.3.3.3 Material de soporte	44
1.4.3.4 Filtro Anaerobio de flujo ascendente	45
1.5 MEJORAMIENTO DE LA PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO (Línea Anaerobia)	47
1.5.1 Clarificador o Decantador Secundario	47
1.6 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO	48
1.6.1 Pretratamiento	48
1.6.2 Tratamiento Primario	49
1.6.3 Tratamiento Secundario	49
1.7 FUNCIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA – CUARTA ETAPA	50
1.7.1 Operación y Mantenimiento del Sistema Anaerobio	50
1.7.1.1 Mantenimiento y Limpieza de la captación	50
1.7.1.2 Mantenimiento y Limpieza de la Fosa Séptica	50
1.7.1.3 Mantenimiento y Limpieza del Filtro Anaerobio de Lecho Granular	51
1.7.1.4 Mantenimiento y Limpieza del Decantador Secundario	51
1.8 FACTORES NEGATIVOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	51
1.8.1 Cloro	51
1.8.2 Temperatura	52
1.8.3 Carga Orgánica	53

1.9 TOMA DE MUESTRAS	53
1.10 LABORATORIOS REALIZADOS EN LA FASE IV DE LA INVESTIGACIÓN	55
1.10.1 Demanda Química de Oxígeno DQO mg/lit	56
1.10.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno OXITOP DBO5 mg/lit	56
1.10.3 Sólidos Suspendidos mg/lit	56
1.10.4 Alcalinidad mg/lit de CaCO ₃	57
1.10.5 Oxígeno Disuelto mg/lit	57
1.10.6 pH. Potencial Hidrógeno	57
1.10.7 Temperatura °C	57
1.10.8 Cloro mg/lit	57
1.10.9 Nitratos NO ₃ -N mg/lit	58
1.10.10 Nitritos NO ₂ -N mg/lit	58
1.10.11 Dureza mg/lit de CaCO ₃	58
1.10.12 Sólidos Totales mg/lit	58
1.10.13 Sólidos Volátiles mg/lit	58
1.10.14 UFC Coliformes Totales/100ml	59
2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	60
2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS: DQO, DBO5 Y SS	68
2.2 ALCALINIDAD	73
2.3 OXIGENO DISUELTO	74
2.4 pH. POTENCIAL DE HIDRÓGENO	74

2.5 TEMPERATURA	75
2.6 CLORO	75
2.7 NITRATOS	76
2.8 NITRITOS	76
2.9 DUREZA	76
2.10 SÓLIDOS TOTALES	76
2.11 SÓLIDOS VOLÁTILES	77
2.12 UFC Coliformes TOTALES	77
3. CONCLUSIONES	121
3.1 CONCLUSIONES ESPECIFICAS FILTRO ANAEROBIO + DECANTADOR SECUNDARIO	121
3.2 CONCLUSIONES GENERALES DEL SISTEMA	122
4. RECOMENDACIONES	124
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las Bacterias en Función de la Temperatura	52
Tabla 2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) Fase IV	69
Tabla 3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Fase IV	69
Tabla 4. Sólidos Suspendidos (SS) Fase IV	69
Tabla 5. Demanda Química de Oxígeno (DQO) Comparación Fases III y IV	70
Tabla 6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Comparación Fases III y IV	70
Tabla 7. Sólidos Suspendidos (SS) Comparación Fases III y IV	71
Tabla 8. Variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) Fases III y IV	71
Tabla 9. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Fases III y IV	72
Tabla 10. Variación de Sólidos Suspendidos (SS) Fases III y IV	72
Tabla 11. Valores Promedio de los Parámetros Analizados en la Fase IV	73
Tabla 12. Valores de Oxígeno Disuelto (OD) Fase IV	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Variación de DQO Vrs DBO5 a la entrada de la Fosa Séptica - ases III y IV	80
Figura 2. Variación de DQO Vrs DBO5 a la entrada del Filtro Anaerobio – Fases III y IV	81
Figura 3. Variación de DQO Vrs DBO5 a la Salida del Decantador Secundario – Fases III y IV	82
Figura 4. Variación de DQO en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	83
Figura 5. Porcentaje de Remoción de DQO en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	84
Figura 6. Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV	85
Figura 7. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV	86
Figura 8. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio +Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV	87
Figura 9. Porcentaje de Remoción de DQO en la Fosa Séptica – Comparación Fases III y IV	88
Figura 10. Variación de DQO en la Línea Anaerobia – Fase IV	89

Figura 11. Porcentaje de Remoción de DQO en la Línea Anaerobia – Fase IV	90
Figura 12. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	91
Figura 13. Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	92
Figura 14. Variación de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	93
Figura 15. Porcentaje de Remoción de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	94
Figura 16. Variación DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV	95
Figura 17. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantado Secundario – Fases III y IV	96
Figura 18. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV	97
Figura . Variación de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fase IV	98
Figura 20. Porcentaje de Remoción de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fase IV	99
Figura 21. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	100
Figura 22. Variación de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	101

Figura 23. Variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	102
Figura 24. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fases III y IV	103
Figura 25. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en La Línea Anaerobia – Comparación Fases III y IV	104
Figura 26. Variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fase IV	105
Figura 27. Porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fase IV	106
Figura 28. Variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV	107
Figura 29. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV	108
Figura 30. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV	109
Figura 31. Variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	110
Figura 32. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	111
Figura 33. Variación de la Concentración de Cloro a través de la Línea Anaerobia	112

Figura 34. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	113
Figura 35. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	114
Figura 36. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Variación de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	115
Figura 37. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV	116
Figura 38. Variación de DQO Vrs Temperatura en la entrada al Filtro Anaerobio – Fases III y IV	117
Figura 39. Variación de DQO Vrs Temperatura a la salida del Decantador Secundario – Fases III y IV	118
Figura 40. Variación de DBO5 Vrs Temperatura en la en la entrada al Filtro Anaerobio – Fases III y IV	119
Figura 41. Variación de DBO5 Vrs Temperatura a la salida del Decantador Secundario – Fases III y IV	120

ANEXOS

- Anexo 1. Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Fase IV
- Anexo 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - Fase IV
- Anexo 3. Sólidos Suspendidos (SS) - Fase IV
- Anexo 4. Alcalinidad - Fase IV
- Anexo 5. Oxígeno Disuelto (OD) - Fase IV
- Anexo 6. Potencial de Hidrógeno (pp.) - Fase IV
- Anexo 7. Temperatura - Fase IV
- Anexo 8. Cloro Residual - Fase IV
- Anexo 9. Nitratos - Fase IV
- Anexo 10. Nitritos - Fase IV
- Anexo 11. Dureza - Fase IV
- Anexo 12. Sólidos Totales - Fase IV
- Anexo 13. Sólidos Volátiles - Fase IV
- Anexo 14. Coliformes Totales - Fase IV
- Anexo 15. Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Fases II Y III
- Anexo 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - Fases II Y III
- Anexo 17. Sólidos Suspendidos (SS) - Fases II Y III
- Anexo 18. Alcalinidad - Fases II Y III
- Anexo 19. Potencial de Hidrógeno (pH) - Fases II Y III

Anexo 20. Temperatura - Fases II Y III

Anexo 21. Oxígeno Disuelto (OD) - Fases II Y III

Anexo 22. Nitratos - Fases II Y III

Anexo 23. Nitritos - Fases II Y III

Anexo 24. Cloro Residual - Fase III

Anexo 25. Normas de Vertimiento en Colombia.

Anexo 26. Esquema de Localización de la Planta Piloto

Anexo 27. Esquema del Filtro Anaerobio

Anexo 28. Esquema General del Sistema

Anexo 29. Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad

GLOSARIO

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

AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA: agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico disuelto o en suspensión.

ALCALINIDAD: la alcalinidad del agua se define como la capacidad para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio.

AMBIENTE AEROBIO: proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

AMBIENTE ANAEROBIO: proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

BACTERIA: grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluye oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación. Las bacterias constan de una sola célula. La mayoría de las bacterias utiliza materia orgánica como alimento y producen residuos, como resultado de sus procesos vitales.

BIODEGRADACIÓN: degradación de la materia orgánica por medio de bacterias, hasta llegar a formas más estables que no provoquen problemas ni malos olores.

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

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

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

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

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.

COLIFORMES: bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 ó 37°C (coliformes totales). El grupo coliforme de organismos es un indicador bacteriano de la contaminación. Este grupo habita principalmente en el intestino de los seres humanos. Los Coliformes pueden encontrarse también en el intestino de otros animales de sangre caliente, y en plantas, suelo, aire y medio acuático. Los Coliformes se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

COLORIMETRÍA: sistema de medida de concentraciones desconocidas en relación, con la calidad del agua, obtenido comparando el color de una muestra, tras añadir unos reactivos específicos, con el color de testigos de concentración conocida.

DECANTADOR: (tanque de sedimentación, clarificador). Un tanque recipiente en el que se mantiene el agua residual durante un cierto tiempo, de manera que los sólidos más pesados se vayan al fondo y los más ligeros floten en la superficie.

DEGRADACIÓN: conversión de una sustancia en compuestos más simples.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ó BOD): indica la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aerobios en su respiración para consumir o para degradar la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura y tiempo.

DEMANDA DE CLORO: la demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro añadida a las aguas residuales y la que queda después de un determinado tiempo de contacto. La demanda de cloro puede variar según la dosis, la temperatura, el tiempo, la naturaleza y la cantidad de impurezas en el agua.

$$\text{Demanda de Cloro} = \text{Cloro Añadido} - \text{Cloro Residual}$$

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

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

DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA: descomposición y degeneración de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

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

DIGESTIÓN: descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia 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.

EFLUENTE FINAL Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

EMISARIO: canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el 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 ANAEROBIO: consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

MATERIA ORGÁNICA: materia procedente de animales o vegetales. La materia orgánica puede ser consumida en general por bacterias y otros organismos pequeños. Las materias inorgánicas son sustancias químicas de origen mineral que pueden contener carbono y oxígeno mientras que las materias orgánicas contienen principalmente carbono e hidrógeno, junto con otros elementos.

MEDIO FILTRANTE: material granular a través del cual el agua residual pasa con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento. Los microorganismos (lecho bacteriano) en cargados del tratamiento crecen adheridos al medio filtrante.

METANOGENÉISIS: etapa del proceso anaerobio en el cual se genera gas metano y gas carbónico.

MICROORGANISMOS: organismos muy pequeños que solo pueden verse con el microscopio. Algunos microorganismos utilizan como alimento los residuos contenidos en las aguas fecales, extrayéndolos o alterando gran parte de los materiales de desecho.

MUESTRA COMPUESTA: mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos (normalmente 24 horas) y combinadas luego para formar una muestra representativa del periodo completo y del total del caudal estudiado. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

MUESTRA PUNTUAL: muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Para algunos parámetros su uso es obligatorio pues estos deben determinarse in situ ya que la muestra 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: conversión de materia nitrogenada no oxidada (amoníaco y nitrógeno orgánico) en nitrógeno oxidado (generalmente nitratos). La segunda fase de la demanda bioquímica de oxígeno se llama a veces etapa de nitrificación. La primera fase se llama la etapa carbónica (los compuestos carbónicos son oxidados a CO₂)

ORGANISMOS PATÓGENOS: bacterias o virus que pueden producir enfermedades (tifus, cólera, disentería). Hay muchos tipos de bacterias que no producen enfermedades y por lo tanto no son patógenas. En los procesos de tratamiento de aguas residuales pueden encontrarse bacterias beneficiosas para el tratamiento, porque elimina residuos orgánicos.

OXÍGENO DISUELTO: concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/lit. Oxígeno atmosférico disuelto en agua o en agua residual, su abreviación es OD ó DO.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): técnicamente, es el logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro. El pH varia entre 0 y 14, siendo 0 la máxima acidez y 14 la máxima alcalinidad, y 7

corresponde al valor neutro. La mayoría de las aguas naturales tiene un pH entre 6.5 y 8.5.

PLANTA DE TRATAMIENTO (de agua residual): es el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

PLANTA PILOTO: planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la totalidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

PRETRATAMIENTO: procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario. Y que mediante la utilización de rejillas, pantallas, dilaceradores y areneros extraen metales, piedras, arenas, cáscaras de huevo y materias similares que puedan entorpecer el funcionamiento de la depuradora.

PROCESO BIOLÓGICO: proceso en el cual bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

PROTOZOOS: grupo de animales microscópicos, principalmente monocelulares (que constan de una sola célula), que se desarrollan a veces en colonias.

SEDIMENTACIÓN: proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

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

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

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

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

SÓLIDOS NO SEDIMENTABLES: materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

TANQUE SÉPTICO: sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas; combina la sedimentación y la digestión.

Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descarga normalmente en una instalación de tratamiento.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH): tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

TRATAMIENTO ANAEROBIO: estabilización de un desecho por acción de microorganismos y en ausencia de oxígeno.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO: procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

TRATAMIENTO PRIMARIO: tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos. Es un proceso de tratamiento de las aguas residuales, que cambia a formas mas fácilmente separables del agua que se esta depurando, la materia disuelta o en suspensión.

RESUMEN

El trabajo de grado denominado “SISTEMA DE FILTROS ANAEROBIOS DE LECHO GRANULAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS F.A.L.G. IV, FILTRO GRANULAR ANAEROBIO ASCENDENTE”, tiene como objetivo principal comprobar que el sistema de tratamiento en estudio funciona eficientemente teniendo en cuenta las normas de vertimiento de aguas residuales específicamente el Decreto 1594 de 1984, en un medio cuyas temperaturas no son las óptimas para el desarrollo de los procesos de degradación biológica de la materia orgánica y ante la presencia del cloro residual en el agua a tratar.

El sistema se compone físicamente de una captación localizada en las instalaciones del Instituto Correccional Santo Ángel y de la Planta Experimental piloto localizada en las instalaciones del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), la cual esta constituida por una fosa séptica mejorada, un filtro anaerobio de flujo ascendente y un decantador secundario que constituyen un sistema de tipo anaerobio.

Para realizar la evaluación del sistema se caracterizaron una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de acuerdo al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), los cuales se realizaron

durante veinte semanas. Estos resultados se analizaron por medio de procesos matemáticos y estadísticos para evaluar las eficiencias en cuanto a remoción de materia orgánica y sólidos.

ABSTRACT

The degree work named “System of anaerobic filter from granular bed to the residual domestic water treatment FA.L.G. IV, ascending anaerobic granular filter”, has a main objective to prove that the treatment system under study works in an efficiently keeping specifically in mind the norms of poured of residual waters the Ordinance 1594 of 1984, way inside an environment whose temperatures are not the optimal ones to the development of biological degradation of organic matter and in front of residual chlorine presence in water which will be treated.

System is composed, in a physical way, by a collecting located in Santo Angel correctional Institute’s and the pilot experimental center of National Service of learning (SENA)’s installations. This collecting is constituted by an improved septic Cave, an anaerobic filter of ascending flux and a secondary decanter which constitute an anaerobic system.

A series of physical, chemical and microbiological parameters were characterized in order to do the system evaluation, according to the Technical Regulation of the Sector of Drinkable Water and Basic Reparation (RAS 2000), these parameters were executed during a 20-week period. These results were analyzed through the mathematical and statistical process for testing the efficacy of them with respect to remotion of organic matter and solid bodies.

INTRODUCCIÓN

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

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

En la segunda fase de la investigación, el propósito principal fue el de comprobar que el sistema de tratamiento en estudio es eficiente, en un medio cuyas temperaturas no son adecuadas para el desarrollo de procesos de degradación biológica de la materia orgánica.

En la tercera fase, el objetivo principal fue el de determinar la eficiencia del filtro sometido a cargas contaminantes de origen doméstico y conocer la incidencia que presenta el cloro en las unidades que conforman este sistema en condiciones de baja temperatura.

Ahora, a través de esta cuarta fase de la investigación, se pretende continuar con la evaluación del filtro anaerobio bajo las condiciones de baja temperatura y presencia de cloro residual que desde la fase III del proyecto se venían presentando.

Por esta razón en la cuarta fase del proyecto "F.A.L.G. IV", se realizará una investigación más detallada a través de la toma de muestras compuestas y la caracterización de otros parámetros, como lo son la Dureza, Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV), permitiendo así un estudio y una evaluación más confiable del sistema de tratamiento en cuestión y brindar una evaluación adecuada frente a la aplicabilidad de éste en pequeñas poblaciones que requieran el tratamiento de sus aguas residuales domesticas.

Para la operación y mantenimiento en este tipo de plantas se debe resaltar que los recursos humanos requeridos no exigen un alto nivel técnico ni científico, y a su vez la implementación de los materiales son de fácil obtención, pudiendo disponerse en ambos casos de recursos locales y logrando un óptimo funcionamiento del sistema.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

En la Enciclopedia Encarta se menciona que:

La depuración de aguas residuales es el nombre que reciben los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho de distintas procedencia. La depuración cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, desde el aire a los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

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 asirías. 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.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 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.

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 ¹.

Metcalf y Eddy afirman que:

En el momento presente dependemos de los procesos para el tratamiento de muchos tipos de residuos, restringiendo en gran medida los químicos, más costosos, a los residuos industriales tóxicos o aquellos especialmente recalcitrantes. Los sistemas de tratamiento de los residuos biológicos realmente consisten en cultivos microbianos forjados por el hombre y concebidos para transformar grandes cantidades de material carbonaceo en productos inofensivos.

En términos generales los sistemas de tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir en dos tipos: los sistemas que emplean procesos físicos químicos y los que se sustentan en procesos biológicos. Los procesos biológicos se distinguen a su vez en procesos aerobios y procesos anaerobios, dependiendo que si requieren para su operación del suministro del aire o no ².

¹ Enciclopedia Encarta. CD – ROM. Madrid: Microsoft, 2002.

² METCALF y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Madrid: McGraw Hill. 1995. p. 191.

1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los procesos para el tratamiento de las aguas residuales deben estar dirigidos a alternativas convenientes y de aplicación para el control de la contaminación en el medio acuático debido a las descargas de aguas servidas.

Existe una gran variedad de procesos que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas residuales y su selección se basa en consideraciones de orden tecnológico y económico que a través de la separación del líquido de los constituyentes indeseables o la alteración de sus propiedades fisicoquímicas o biológicas, se logra un menor deterioro en el medio acuático receptor.

Los sistemas de tratamiento biológicos permiten reducciones importantes de materia orgánica, sólidos y bacterias y se constituyen en una buena alternativa en los procesos para el tratamiento de aguas residuales urbanas (ARU) que son relativamente procesos simples y están bastante determinados a diferencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales (ARI).

Los procesos de tratamiento de aguas residuales se distinguen entre los diferentes tipos de poblaciones, es decir existen procesos aplicables a poblaciones medianas-grandes o procesos aplicables a poblaciones pequeñas, en el caso de este proyecto de investigación se trabajo con procesos aplicables a poblaciones

pequeñas, recurriendo a tecnologías blandas de depuración y sistemas simples, como se muestra a continuación:

1.2.1 Poblaciones pequeñas

1.2.1.1 Pretratamientos. Las aguas residuales antes de su tratamiento propiamente dicho, se someten generalmente a un pretratamiento que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, con el objeto de separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño crearían problemas en los tratamientos posteriores. Las operaciones que se incluyen en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, dependen de la calidad de agua bruta a tratar, del tipo de tratamiento posterior, de la importancia de la instalación entre otros. Las operaciones realizadas en el presente proyecto de investigación para este tipo de tratamientos son las siguientes:

- Aliviaderos.
- Separación de grandes sólidos.

1.2.1.2 Tratamientos primarios. Salazar afirma que:

El objetivo del tratamiento primario es el de disminuir la materia gruesa y los sólidos en suspensión. Se puede decir además que en este tipo de tratamiento ocurre una disminución en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y en la presencia de Coliformes fecales³.

³ SALAZAR CANO, Roberto. Teoría y diseño de los tratamientos de las aguas residuales. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2002. p. 107.

La planta experimental piloto cuenta para este tipo de tratamientos con: una cámara de llegada en la cual se presenta una decantación primaria y un pozo séptico mejorado con una placa inclinada para la separación de los procesos de decantación y digestión de materia orgánica.

1.2.1.3 Tratamientos secundarios (Tratamiento biológico). El tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Este tipo de tratamiento supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

El tratamiento secundario con que cuenta la planta experimental piloto esta conformado por un lecho bacteriano conformado por un filtro anaerobio de lecho granular ascendente y un decantador secundario.

1.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.

1.3.1 Descripción del proceso. Según Orozco:

El tratamiento de agua residual inició con el gran descubrimiento de Arden y Locket en 1914, en el cual encontraron que una alta concentración de biomasa podía degradar rápidamente los compuestos orgánicos disueltos en el agua, es decir, reducir la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas residuales, esto significó el comienzo del tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales. Sin embargo en 1891, Mouras ya había presentado en la

revista Cosmos de París el antecesor del pozo séptico representante más popular del tratamiento anaerobio ⁴.

Según las Normas RAS 2000:

El tratamiento anaerobio es el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes (SO_4^- , NO_3^- , etc.). Como subproducto de ella se obtiene un gas, denominado usualmente biogás, cuya composición básica es metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 en un 95%, pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, usualmente en proporciones inferiores al 1% ⁵.

Metcalf y Eddy afirman que:

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

Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente, y cuyo proceso podemos dividir en tres etapas: hidrólisis, fermentación acetogénica y finalmente la metanogénica. ⁶

La temperatura es un factor muy importante para que se verifiquen éstas transformaciones metabólicas.

⁴ OROZCO, Álvaro. Manual sobre digestión anaerobia, elementos de diseño. Bogotá: McGraw Hill, 1990. p. 4.

⁵ 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. p. 74.

⁶ METCALF y EDDY. Op. cit., p. 480.

1.4 PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO.

1.4.1 Localización. El proyecto de investigación "Sistema de Filtro Anaerobio de Lecho Granular Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domesticas "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 Anexo 26)

1.4.2 Captación. La estructura de captación está compuesta por cuatro (4) cajillas de recolección de aguas residuales, las cuales reciben el agua residual de la cocina, sanitarios, duchas y pasillos de las instalaciones del Centro de Rehabilitación para el Menor Santo Ángel y una (1) cajilla de cribado en la cual se encuentran ubicadas dos mallas metálicas en hierro galvanizado cuya función es la de separar la materia sólida, que puede provocar obstrucciones en el sistema, el agua recogida por las cajillas es transportada por tubería de PF. de diámetro 2", hasta predios del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA en donde se conecta a una Fosa Séptica Mejorada, la cual cuenta con dos vertederos que distribuyen el caudal hacia los Filtros Anaerobio y Aerobio de soporte fijo, el agua tratada, posteriormente es dirigida hacia los Decantadores Secundarios en los cuales concluye el sistema que se esta analizando en esta fase de investigación para el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de San Juan de Pasto.

1.4.3 Partes Del Sistema De Tratamiento.

1.4.3.1 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.

1.4.3.2 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”⁷.

Según las Normas RAS 2000:

Los Tanque 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.
- Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento ⁸.

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.

⁷ SALAZAR, Op. cit., p. 121.

⁸ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Op. cit., p. 30.

1.4.3.3 Filtro Anaerobio De Lecho Fijo.

1.4.3.3.1 Generalidades. Metcalf y Eddy afirman que:

El filtro anaerobio es una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utiliza para el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias. Dado que las bacterias están adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente, se pueden obtener tiempos medios de retención celular del orden de los cien días. De este modo, el filtro anaerobio se puede emplear para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente⁹.

Los filtros anaerobios de lecho fijo son similares a los filtros aerobios, sólo que se encuentran inundados de líquido.

La distribución del líquido dentro del filtro anaerobio con que cuenta la planta experimental piloto es de flujo ascendente y lecho ordenado.

1.4.3.3.2 Ventajas y desventajas de los filtros anaerobios de lecho fijo.

1.4.3.3.2.1 Ventajas.

- Soportan altas cargas orgánicas.
- Con recirculación son resistentes a sobrecargas orgánicas o de tóxicos.
- Su construcción es muy simple.

⁹ METCALF y EDDY. Op. cit., p. 488.

1.4.3.3.2 Desventajas.

Arranque lento, aún contando con inoculo adecuado.

Riesgo de taponamiento sobre todo con soportes de piedra.

Sensibles a sólidos suspendidos en el efluentes.

Sensibles a aguas que forman precipitados (sobretudo en régimen de flujo ascendente).

Alto costo de material de soporte.

Presencia de sólidos suspendidos en el efluente.

1.4.3.3.3 Material de soporte. La función principal del soporte es ofrecer una gran superficie que favorezca la adhesión de las bacterias anaerobias y la formación de una película activa (Biopelícula). Al mismo tiempo el material debe ser de forma tal que se eviten obstrucciones y la formación de caminos preferenciales y zonas muertas. Estas dos características deben combinarse para obtener un lecho poroso con gran superficie específica.

Se recomienda que los filtros anaerobios estén cargados en su totalidad con elementos de anclaje, salvo el 15% superior de su profundidad total. Esta zona

superior sirve para homogeneizar la salida evitando los canales preferenciales de flujo. En filtros anaerobios de menos de 1.50 m de diámetro no hay ningún elemento colector en la superficie de esta zona para conducir el efluente hacia la salida. En unidades de diámetro mayor de 1.5 m, se recomienda una canal de bordes aserrados colocada al nivel de la superficie y en sentido diametral, para conducir uniformemente el efluente al orificio de salida.

El flujo entra al lecho poroso por el fondo del mismo y debe ser distribuido radialmente en forma uniforme, para este fin habrá un “difusor” en el fondo del lecho, al cual llega el flujo mediante un tubo o ducto, instalado dentro o fuera del cuerpo de la unidad.

Según las Normas RAS 2000: “como medio de anclaje para los filtros anaerobios, se recomienda la piedra: triturada angulosa, o redonda (grava), sin finos, de tamaño entre 4 cm y 7 cm”¹⁰.

1.4.3.4 Filtro Anaerobio de flujo ascendente. El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener porque la biomasa permanece como una película microbiana adherida y porque como el flujo es ascendente, el riesgo de taponamiento es mínimo.

¹⁰ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Op. cit., p.86.

El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El agua residual es puesta en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible obtener tiempos de retención celular del orden de cien días con tiempos de retención hidráulica cortos, permitiendo así el tratamiento de aguas residuales de baja concentración a temperatura ambiente. Los filtros anaerobios también pueden ser útiles para desnitrificar efluentes ricos en nitratos o como pretratamiento en plantas de purificación de agua. (Ver Anexo 27)

El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo; las pérdidas de energía a través del lecho son mínimas, menores de 7,5 cm en unidades de laboratorio de 15 cm de diámetro y 1,8 m de altura. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes entre el medio. La acumulación de biomasa y de sólidos inertes puede causar canalización y cortocircuito. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado. El espesor observado de biopelícula sobre diferentes medios plásticos es de 1 a 3 mm. El residuo debe contener alcalinidad suficiente para mantener un pH, en la zona de lodos, mayor a 6~5; para ello puede requerirse una alcalinidad igual a un 25% de la DQO del residuo. Sin embargo, el amonio liberado en la hidrólisis de las proteínas puede reducir la alcalinidad

requerida de fuentes externas.

El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento que el de un proceso de crecimiento suspendido, pues puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y de temperatura baja. Sin embargo, el filtro anaerobio es poco sensible a variaciones de carga hidráulica y a la operación discontinua pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él.

Los estudios de Young, indican las siguientes conclusiones principales sobre el proceso: el filtro anaerobio es apropiado para el tratamiento de gran parte de los residuos orgánicos industriales; el parámetro de diseño más importante es el tiempo de retención hidráulico; la concentración del afluente no afecta el rendimiento del proceso, excepto en aguas con menos de 2.000 mg/L de DQO; se deben usar por lo menos 2 m de altura de medio.

1.5 Mejoramiento de la Planta Experimental Piloto (Línea Anaerobia).

1.5.1 Clarificador o Decantador Secundario. Según Salazar:

El clarificador Cumple con una tarea muy importante en el tratamiento de las aguas residuales, la clarificación o decantación secundaria, esta situada después de los lechos bacterianos, en la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. En el proyecto de tanques de sedimentación, es preciso prestar atención tanto a la obtención de un

efluente clarificado como a la producción de un fango concentrado. El agua residual se mantiene durante algún tiempo, de manera que los sólidos más pesados se van al fondo por acción de la gravedad y los más ligeros flotan en la superficie ¹¹.

La sedimentación es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

Para la optimización del Decantador Secundario se propone la implementación de una placa inclinada, que separa el proceso de digestión del proceso de decantación, con el fin de mejorar los rendimientos del sistema.

1.6 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO

La planta experimental piloto Ubicada en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, fue diseñada para tratar un caudal de 0.038l/s.

1.6.1 Pretratamiento. Las aguas residuales captadas en el Centro de Rehabilitación para el Menor Santo Ángel, se someten a un pretratamiento consistente en la eliminación de grandes sólidos, mediante la implementación de mallas en hierro galvanizado. (Ver Anexo 28)

¹¹ SALAZAR, Op. cit., p. 176.

1.6.2 Tratamiento Primario. El agua pretratada es transportada por tubería PF de diámetro 2" hasta la Fosa séptica mejorada de dimensiones: 2.9 m de largo por 1.3 m de ancho y 1.7 m de alto, en donde se lleva a cabo el Tratamiento Primario. La fosa séptica en su interior contiene una placa inclinada de hierro galvanizado con la cual se dividen los procesos de sedimentación y digestión, con el objeto de mejorar su eficiencia tanto en la eliminación de sólidos como de materia orgánica, la fosa séptica dispone de dos (2) vertederos para distribuir los caudales que irán hacia los Filtros Aerobio y Anaerobio respectivamente. (Ver Anexo 28)

1.6.3 Tratamiento Secundario. El agua que proviene de la fosa séptica es introducida al filtro por medio de tuberías PVC de diámetro 3/4" por la parte inferior del mismo. El agua asciende por un lecho de piedra de 20 - 40 mm de diámetro y de aproximadamente 1.5 m de alto con una sección de 1.0 x 1.0 m, siendo captada por un múltiple recolector con orificios en la parte superior y en tubería PVC de diámetro 1/2". El agua proveniente del filtro en piedra se lleva aun decantador secundario, el cual se encarga de remover la biopelícula que se desprende del filtro anaerobio, completando así el tratamiento secundario, además el decantador dispone de una placa inclinada, para mejorar su eficiencia. (Ver Anexo 28)

1.7 FUNCIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA – CUARTA ETAPA.

1.7.1 Operación y Mantenimiento Del Sistema Anaerobio. Con el fin de que la operación del sistema se realice de una forma continua y eficiente es necesario llevar a cabo un mantenimiento periódico, dos (2) veces por semana consistente en las siguientes actividades:

1.7.1.1 Mantenimiento y Limpieza de la captación. Como primera medida se desconecta el sistema con el objeto de evitar el ingreso de agua y materiales de gran tamaño que pueden obstruirlo, enseguida se sondea la tubería que interconecta las cajillas de recolección de las aguas residuales las cuales se limpian mediante grandes descargas de agua y restregando fuertemente con cepillo, el mantenimiento de la cajilla de cribado es similar excepto que se retiran las mallas, para eliminar los sólidos que han quedado retenidos en las mismas, utilizando para ello agua a presión.

1.7.1.2 Mantenimiento y Limpieza de la Fosa Séptica. Una vez desconectado el sistema se procede a limpiar la estructura de entrada removiendo los sólidos que decantan en ella, para lo cual utilizamos un colador plástico, en la estructura principal de la fosa séptica se procede a retirar las natas, grasas y material flotante, también se limpia la superficie de la lámina de hierro galvanizado retirando la materia que se adhiere a ella, en la estructura de salida (vertederos),

la limpieza se realiza retirando material flotante que puede obstruir el flujo hacia los filtros.

1.7.1.3 Mantenimiento y Limpieza del Filtro Anaerobio de Lecho Granular. Se verifica que la tubería que dirige el agua hacia el filtro no se encuentre taponada, posteriormente se levanta el múltiple recolector, al cual se le limpian los orificios con un cepillo fino para evitar taponamientos, enseguida se retiran las natas, grasas y material flotante en la superficie del filtro, con ayuda de un colador.

1.7.1.4 Mantenimiento y Limpieza del Decantador Secundario. Se retiran las natas y los lodos suspendidos que se forman en la superficie con la ayuda de un colador muy fino, esta actividad se realiza periódicamente; Una vez a la semana se purga el decantador con el objeto de evacuar los lodos que se encuentran en el fondo del sedimentador, para evitar la resuspensión de los mismos, las paredes y la placa inclinada del decantador se limpian con una escoba para evitar que se adhiera lodo a las mismas.

1.8 FACTORES NEGATIVOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

1.8.1 Cloro. La presencia de cloro en el sistema es producto del uso de detergentes y desinfectantes utilizados en las actividades de limpieza y aseo, en los hogares, cocina y unidades sanitarias del Centro de Rehabilitación para el menor Santo Ángel, y en menor proporción el cloro residual del agua potable, su

presencia afecta a los microorganismos encargados de digerir la materia orgánica, disminuyendo su eficiencia.

1.8.2 Temperatura. Incide en el tipo de bacterias, así como en la nutrición, actividad enzimática y composición química de las células. Existen tres rangos de temperatura en los cuales diferentes tipos de microorganismos anaerobios tienen crecimiento óptimo.

Salazar menciona que: “según el intervalo de temperatura en que actúan las bacterias se clasifican en:

Tabla 1. Clasificación de las Bacterias en Función de la Temperatura”¹².

Intervalos Típicos de Temperatura Para Diversas Bacterias		
Tipo	Temperatura en grados Centígrados	
	Intervalo	Optima
Criófilas o Psicofilas	-2 a 30	12 a 18
Mesófilas	20 a 45	25 a 40
Termófilas	45 a 75	55 a 65

¹² Ibid., p. 9.

La mayoría de las bacterias metanogénicas conocidas son las mesofílicas y tienen una temperatura óptima alrededor de los 35°C. La temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales.

1.8.3 Carga Orgánica. Salazar afirma que: “es la cantidad de materia orgánica (alimento) introducida a un lecho bacteriano, en un día, por m^3 de material de relleno, se expresa en Kg. de $\text{DBO}_5/\text{m}^3/\text{día}$. Es variable fundamental de los lechos bacterianos”¹³.

Es un parámetro que cuantifica la contaminación en materia orgánica en un residuo. Se expresa en DQO (Demanda Química de Oxígeno), durante nuestra investigación la Carga Orgánica varía constantemente debido a que la población fluctúa diariamente en el Centro de Rehabilitación para el Menor Santo Ángel y esto puede provocar sobrecargas para las cuales el sistema no fue diseñado.

1.9 TOMA DE MUESTRAS

Para este trabajo de investigación se determinó realizar un muestreo continuo durante veinte semanas, teniendo en cuenta los factores económicos en cuanto a

¹³ Ibid., p. 166.

los costos que implica la caracterización de los parámetros analizados y por el tiempo requerido para el desarrollo de este tipo de trabajos de investigación.

Los sitios determinados para la toma de muestras fueron: a la entrada de la fosa séptica, salida de la fosa séptica, la cual corresponde a la entrada filtro anaerobio de lecho granular ascendente y en la salida del decantador secundario del filtro anaerobio de lecho granular ascendente.

La duración del muestreo es de aproximadamente seis (6) horas durante el día, y se lleva a cabo dos (2) veces por semana, intercalando los días de muestreo en las diferentes semanas, debido a que en el centro correccional Santo Ángel la población realizan diferentes actividades para cada día de la semana.

Para el desarrollo de la investigación se determinó la realización de toma de muestras compuestas debido a que la composición del agua residual analizada no es constante en el tiempo.

Según Salazar: “el tipo de muestras compuestas consisten en 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”¹⁴.

¹⁴ Ibid., p. 60.

1.10 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 Anexo 29)

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:

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

- Cloro Residual mg/lit.
- Nitratos NO₂-N mg/lit.
- Nitritos NO₃-N mg/lit.
- Dureza mg/lit CaCo₃.
- Sólidos Totales mg/lit.
- Sólidos Volátiles mg/lit.
- UFC Coliformes Totales/100ml.

1.10.1 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).

1.10.2 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.

1.10.3 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.

1.10.4 Alcalinidad mg/lit de CaCO₃. La determinación de la Alcalinidad se realizo con la aplicación del método 8203, método de fenoftaleina, usando ácido sulfúrico en un rango de 10 a 400 mg/lit de CaCO₃.

Lectura del titulador * Factor de tablas = Alcalinidad mg/lit de CaCO₃.

1.10.5 Oxígeno Disuelto mg/lit. En este trabajo de investigación se realizo 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.

1.10.6 pH. Potencial Hidrógeno. En este trabajo de investigación, se realizo 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⁺ presentes en el agua.

1.10.7 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.

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

1.10.9 Nitratos NO₃-N mg/lit. La determinación de los Nitratos se realizo por el método 8039 a través de la reducción de Cadmio en un rango de 0 a 30 mg/lit de NO₃-N y utilizando el equipo HACH DR-700.

1.10.10 Nitritos NO₂-N mg/lit. La determinación de los Nitritos se realizo por el método 8507, por el método de Diazotización en un rango de 0 a 350 mg/lit de NO₂-N aprobado por la USEPA y utilizando el equipo HACH DR-700.

1.10.11 Dureza mg/lit de CaCO₃. La determinación de la Dureza se realizo aplicando el método 8213, utilizando el titulador digital EDTA, en un rango de 10 a 400 mg/lit de CaCO₃.

Lectura del titulador * Factor de tablas = Dureza mg/lit de CaCO₃.

1.10.12 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.

1.10.13 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.

1.10.14 UFC Coliformes Totales/100ml. Consiste en la realización de ensayos presuntivos y confirmativos, el ensayo presuntivo se basa en la capacidad del grupo coliforme para fermentar el caldo de lactosa, con desprendimiento de gas, el ensayo confirmativo consiste en el desarrollo de cultivo de bacterias coniformes sobre medios que eliminen el crecimiento de otros organismos.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para efectos de este trabajo de grado, la eficiencia de las unidades se determino tomando los valores medios a la entrada y salida de cada una de las unidades del sistema utilizando la siguiente formula:

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

Estos valores son comparados con las normas de vertimiento de aguas residuales Decreto 1594 de 1984 Artículos 72 y 73. (Ver Anexo 25)

Las Figuras 1,2 y 3 nos muestran la relación entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO5) a la entrada de la Fosa Séptica, entrada del Filtro Anaerobio y en la Salida del Decantador Secundario, mostrando la relación de resultados entre las fases III y IV de esta investigación. La relación de estos parámetros DQO y DBO5 sirven para tipificar el agua residual que se esta tratando. (Ver Anexo 1, 2, 15, y 16)

Según Salazar: “para aguas domesticas brutas típicas, el cociente DBO5/DQO se halla en el intervalo 0.4 – 0.8”.¹⁵

¹⁵ Ibid., p. 33.

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: 0.51, 0.66 y 0.61 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.

En la Figura 4, se aprecia la variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las fases III y IV a lo largo de la Línea Anaerobia, notándose claramente que en la fase IV entre las semanas 14 a 26 se presenta un descenso en la carga orgánica que entra al sistema, observándose una caída en el comportamiento de la grafica claramente diferenciado de la fase III; Durante las semanas 28 y 30 se presenta un aumento aislado en la carga orgánica, generando dos valores pico que se alejan del comportamiento que venia presentando el sistema durante la fase IV. Debido a lo anterior se observa que en la fase IV entre la entrada a la Fosa Séptica y la entrada al Filtro Anaerobio hay un descenso de carga orgánica y entre la entrada al Filtro Anaerobio y la salida del Decantador Secundario este descenso de carga orgánica es menor este comportamiento se observa con mayor claridad en la figura 6. (Ver Anexo 1 y 15)

En la Figura 5, se muestra el comportamiento de la Línea Anaerobia en cuanto al porcentaje de remoción de DQO en las fases III y IV, en donde se puede observar

que el sistema en la fase IV ha presentado un leve incremento en el porcentaje de remoción con respecto a la fase anterior. (Ver Anexo 1 y 15)

En la Figura 7, se puede observar que en la fase IV la eficiencia en cuanto a remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + el Decantador Secundario se redujo con relación a la fase III como claramente nos lo indica la Línea de Tendencia. Como el porcentaje de remoción de DQO en la Línea Anaerobia ha aumentado y este porcentaje en el Filtro Anaerobio + el Decantador Secundario ha disminuido el aumento de la eficiencia de la Línea Anaerobia se explica con el aumento en el porcentaje de remoción de DQO en la Fosa Séptica durante la fase IV. (Ver Anexo 1 y 15)

En la Figura 8, se observa la comparación de las fases III y IV en cuanto al porcentaje de remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + el Decantador Secundario, confirmando de esta forma la reducción de la eficiencia en la remoción de DQO explicada con la Figura 7. (Ver Anexo 1 y 15)

En la Figura 9, 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 ha contribuido al mejoramiento en la eficiencia de la Línea Anaerobia pese al decrecimiento de la eficiencia en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario. (Ver Anexo 1)

En la Figura 10, se observa la variación de la DQO en la Línea Anaerobia en donde existe un comportamiento constante a la entrada de la Fosa Séptica exceptuando las semanas 15 y 17 de muestreo en donde la Figura presenta variaciones notables, mientras la DQO en el efluente del Decantador Secundario mantiene un comportamiento constante a lo largo de la fase IV. (Ver Anexo 1)

En la Figura 11, se muestra el porcentaje de remoción de DQO en la Línea Anaerobia en la fase IV notándose que la tendencia es la de disminuir su eficiencia en remoción de DQO a lo largo del tiempo. (Ver Anexo 1)

En la Figura 12, se observa que los porcentajes de remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + 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 1)

En la Figura 13, se muestra la variación de la DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario, en donde se observa que en algunos puntos la variación es significativa mientras que en otros es mínima sustentando lo observado en la Figura 12 en donde los porcentajes de remoción bajos se presentan en los puntos de variación de DQO mínimos y viceversa. (Ver Anexo 1)

En la Figura 14, se muestra la variación de DBO5 en la Línea Anaerobia en las fases III y IV en donde se observa claramente el descenso de la entrada de carga orgánica en la fase IV, razón por la cual la eficiencia en el sistema se ha visto disminuida en relación a la fase III. (Ver Anexo 2 y 16)

En la Figura 15, se presenta los porcentajes de remoción de DBO5 en las fases III y IV que nos muestran que la fase IV a sufrido un descenso en la eficiencia con respecto a la fase III, también se observa que la línea de tendencia ofrece una reducción en el porcentaje de remoción de DBO5 que se presenta a lo largo de la investigación. (Ver Anexo 2 y 16)

En la Figura 16, se observa la variación de DBO5 en las fases III y IV a la entrada del Filtro Anaerobio + Decantador Secundario, en donde se nota una significativa reducción de la carga orgánica que ingresa al Filtro Anaerobio, razón por la cual la eficiencia en la remoción de DBO5 se ve notablemente afectada como lo demuestra la Figura 17 en donde se representa la curva del porcentaje de remoción de DBO5 en las fases III y IV, en la que su línea de tendencia viene en decrecimiento y que solo al final de la fase IV presenta un leve crecimiento en la tendencia de la remoción, con lo que se espera que los porcentajes de remoción aumenten con el tiempo. (Ver Anexo 2 y 16)

En la Figura 18, se ve claramente que los porcentajes de remoción de DBO5 en la fase III fueron mayores con respecto a la fase IV, lo que se explica con la reducción de la carga orgánica en la fase IV, fenómeno que ha venido afectando el rendimiento en las unidades del Sistema Anaerobio durante el periodo de la presenta investigación. (Ver Anexo 2 y 16)

En la Figura 19, se representa la variación de la DBO5 en la Línea Anaerobia durante la fase IV en donde se observa variaciones representativas en algunos de

los puntos y en otras variaciones mínimas a la entrada de la Fosa Séptica, pero la DBO5 a la Salida del Decantador Secundario permanece constante lo que indica que la Línea Anaerobia es capaz de mantener un efluente constante pese a las variaciones intempestivas de carga orgánica, esto se demuestra en la Figura 20 en donde las variaciones del porcentaje de remoción de DBO5 son oscilantes y que según la línea de tendencia presentan una concavidad positiva, y al final de la fase la tendencia sufre un crecimiento lo que indica una favorabilidad en la eficiencia para la Línea Anaerobia en cuanto a la remoción de DBO5 se refiere. (Ver Anexo 2)

En la Figura 21, se observa el porcentaje de remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario, y de acuerdo a la línea de tendencia durante las semanas intermedias de la fase de investigación se presenta una disminución en la remoción de DBO5 mientras que en la etapa final de esta investigación la línea de tendencia sufre una recuperación indicando que la eficiencia del Filtro Anaerobio + Decantador Secundario va en aumento. (Ver Anexo 2)

En la Figura 22, se presenta la variación de la DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario en la fase IV, en donde se observa que la carga orgánica que ingresa al Filtro Anaerobio es constante exceptuando la semana 17, en donde se presenta un cambio significativo pero por otra parte el efluente trata de mantener la tendencia constante en cuanto a la DBO5, en un margen aproximado de carga orgánica. (Ver Anexo 2)

En la Figura 23, se presenta la variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia para las fases III y IV en donde se observa que la variación de Sólidos Suspendidos es mayor en la fase III con respecto a la fase IV esto se explica con el descenso de la carga orgánica que ingresa a la Línea Anaerobia. (Ver Anexo 3 y 17)

En la Figura 24, se observan los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia para las fases III y IV, de lo que se puede decir, tomando como referencia la línea de tendencia que la eficiencia en la remoción de los Sólidos Suspendidos va en descenso, esto lo confirma la Figura 25, en donde se comparan los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos entre las fases III y IV, en donde se aprecia que la fase III posee porcentajes de remoción más altos con respecto a la fase IV. (Ver Anexo 3 y 17)

En la Figura 26, se observa la variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia en 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 como los observados en las semanas 5 y 17 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 de la Figura 27, en donde se presentan los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia 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)

En la Figura 28, se muestra la variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario en las fases III y IV, en donde se identifica claramente que la variación de Sólidos Suspendidos se redujo con relación a la fase III debido a la menor carga orgánica que ingresa al Filtro Anaerobio exceptuando el comportamiento presentado en la semana 30 en donde hay un incremento significativo y aislado de los Sólidos Suspendidos, de igual la en la Figura 29 se observa que la línea de tendencia va en descenso indicando que los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos irán disminuyendo según el comportamiento de la curva que relaciona las fases III y IV, este fenómeno se aprecia con mayor claridad en la Figura 30, en donde se comparan los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos entre las fases III y IV en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario y que nos indica que los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos son mayores en la fase III con respecto a la fase IV. (Ver Anexo 3 y 17)

En la Figura 31, se presenta la variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario durante la fase IV de la investigación, en donde se observa que las curvas siguen la misma tendencia presentando además variaciones bajas entre la entrada del Filtro Anaerobio y la salida del Decantador

Secundario. Relacionando lo anteriormente enunciado con la Figura 32, observamos que los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario oscilan siguiendo un mismo comportamiento, de igual forma la línea de tendencia nos muestra que la eficiencia en la remoción de Sólidos Suspendidos ha ido en decrecimiento. (Ver Anexo 3)

En la Figura 33, se muestra la variación de la concentración de Cloro Residual a través de las diferentes unidades de la Línea Anaerobia, apreciando que la cantidad de Cloro Residual que ingresa a la Fosa Séptica es alta y que ocurre una disminución en el trayecto de las distintas unidades de la Línea Anaerobia, lo cual indica que el Cloro Residual esta actuando dentro de la Fosa Séptica y en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario. (Ver Anexo 8)

2.1 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 Anaerobia comparándolos además con las normas de vertimiento de aguas residuales (Decreto 1594 de 1984), como se muestra a continuación.

Tabla 2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) Fase IV.

Unidad	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Promedio	Decreto 1594 de 1984	
				Usuario Nuevo	Usuario Existente
Fosa Séptica	87.01%	15.09%	67.89%		
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	88.86%	13.04%	48.78%		
Línea Anaerobia	96.32%	58.49%	84.60%	80%	30%

(Ver Anexo 1)

Tabla 3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Fase IV.

Unidad	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Promedio	Decreto 1594 de 1984	
				Usuario Nuevo	Usuario Existente
Fosa Séptica	87.50%	17.65%	51.36%		
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	72.80%	3.03%	50.50%		
Línea Anaerobia	95.88%	46.67%	76.64%	80%	30%

(Ver Anexo 2)

Tabla 4. Sólidos Suspendidos (SS) Fase IV.

Unidad	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Promedio	Decreto 1594 de 1984	
				Usuario Nuevo	Usuario Existente
Fosa Séptica	88.26%	2.08%	48.10%		
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	84.00%	18.64%	53.95%		
Línea Anaerobia	98.12%	27.50%	74.14%	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 el caso de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), pero en cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos (SS) los valores de los porcentajes de remoción son inferiores a los mínimos exigidos por el Decreto para un usuario nuevo. (Ver Anexo 25)

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 5. Demanda Química de Oxígeno (DQO) Comparación Fases III y IV.

Unidad	Fase III	Fase IV	Diferencia
Fosa Séptica	43.88%	67.89%	24.01%
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	66.22%	48.78%	-17.44%
Línea Anaerobia	81.68%	84.60%	2.92%

(Ver Anexo 1 y 15)

Tabla 6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Comparación Fases III y IV.

Unidad	Fase III	Fase IV	Diferencia
Fosa Séptica	45.62%	51.36%	5.74%
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	61.72%	50.50%	-11.22%
Línea Anaerobia	80.27%	76.64%	-3.63%

(Ver Anexo 2 y 16)

Tabla 7. Sólidos Suspendidos (SS) - Comparación Fases III y IV.

Unidad	Fase III	Fase IV	Diferencia
Fosa Séptica	68.42%	48.10%	-20.32%
Filtro Anaerobio + Decantador Secundario	57.59%	53.95%	-3.64%
Línea Anaerobia	86.98%	74.14%	-12.84%

(Ver Anexo 3 y 17)

Analizando las tablas anteriores se puede observar que existe un incremento en el porcentaje de remoción de la Línea Anaerobia en cuanto a la remoción de DQO, en contraste con lo que sucede son los porcentajes de remoción de Línea Anaerobia en DBO5 y Sólidos Suspendidos.

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 8. 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	1302	73	745.92	1497	170	528.44	-217.48
Entrada Filtro Anaerobio	896	50	409.15	462	30	154.44	-254.71
Salida Decantador Secundario	155	38	110.69	165	17	73	-37.69

(Ver Anexo 1 y 15)

Tabla 9. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Fases III y IV.

Unidad	Fase III			Fase IV			Diferencia
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Promedios
Entrada Fosa Séptica	860	60	383.5	800	60	72.78	-310
Entrada Filtro Anaerobio	350	31	179	230	33	101.78	-77.22
Salida Decantador Secundario	135	8	65.09	90	14	44.89	-20.2

(Ver Anexo 2 y 16)

Tabla 10. Variación de Sólidos Suspendidos (SS) Fases III y IV.

Unidad	Fase III			Fase IV			Diferencia
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Promedios
Entrada Fosa Séptica	860	319	556.8	1014	40	254.35	-302.45
Entrada Filtro Anaerobio	232	28	171.2	391	36	110.9	-60.30
Salida Decantador Secundario	130	20	62.2	195	8	53.55	-12.65

(Ver Anexo 3 y 17)

Con respecto a las tablas anteriores se puede observar que la carga orgánica que ingresa a las diferentes unidades de la Línea Anaerobia durante la fase IV difiere en gran medida de la cantidad de carga orgánica que ingresa a la Línea Anaerobia durante la fase III, lo que nos indica que durante la fase IV la Línea Anaerobia

trabajo con una agua residual menos polucionada, razón por la cual los procesos de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos se ven afectados en gran medida reduciendo de esta manera la eficiencia de la Línea Anaerobia.

Tabla 11. Valores Promedio de los Parámetros Analizados en la Fase IV.

PARÁMETRO	Entrada Fosa Séptica	Entrada Filtro Anaerobio	Salida Decantador Secundario
Alcalinidad	90.86	71.83	58.53
Oxígeno Disuelto	0.76	0.49	0.90
pH	8.62	8.51	8.27
Temperatura	16.28	15.43	15.34
Cloro Residual	0.80	0.66	0.41
Nitratos	23.60	17.74	10.49
Nitritos	0.191	0.099	0.044
Dureza	83.81	84.88	91.85
Sólidos Totales	640.56	452.63	386.88
Sólidos Volátiles	304.07	196.33	141.67
Coliformes		55366.27	

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

2.2 ALCALINIDAD

Estos valores se muestran en la tabla 11. los cuales indican que la Alcalinidad del agua residual se reduce a medida que atraviesa las diferentes unidades de la línea anaerobia, 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 HCO_3^{-} .

2.3 OXÍGENO DISUELTO

Los valores promedios de Oxígeno Disuelto durante la fase IV de investigación, se observan en la tabla 11. los cuales indican que hay consumo de oxígeno en la Fosa Séptica, pero en el trayecto del Filtro Anaerobio al Decantador Secundario hay un incremento notable de oxígeno, razón por la cual se determino comprobar estos resultados con la realización de nuevos ensayos para así determinar en que lugar se produce el aumento de oxígeno en el sistema; Los nuevos resultados se presentan en la tabla 12. y cabe anotar que en el Filtro Anaerobio sí hay consumo de Oxígeno, y el incremento se produce en el Decantador Secundario.

Tabla 12. Valores de Oxígeno Disuelto (OD) Fase IV.

PARÁMETRO	Entrada Fosa	Entrada Filtro	Salida Filtro	Salida
OXIGENO	Séptica	Anaerobio	Anaerobio	Decantador
Muestra N° 1	1.01	0.25	0.28	1.00
Muestra N° 2	1.50	0.22	0.04	0.55
Muestra N° 3	1.13	0.13	0.04	0.15
Muestra N° 4	1.31	0.10	0.05	0.28

2.4 pH. POTENCIAL DE HIDROGENO.

Como se puede observar en la tabla 11. los valores promedio de pH, 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 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.

2.5 TEMPERATURA

Los valores promedio de temperatura que se muestran en la tabla 11. para la fase IV de investigación son bajos y no favorecen los tratamientos biológicos anaerobios 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, por debajo de los 20 °C el proceso no es muy efectivo.

2.6 CLORO

Los valores de la variación de cloro en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran el tabla 11. como se identifica claramente estos valores son altos, ya que el cloro es un desinfectante químico utilizado para eliminar organismos patógenos, en nuestro caso las altas concentraciones de este afectan al Filtro Anaerobio, debido a que este afecta a los microorganismos encargados de la eliminación de materia orgánica, incidiendo en los rendimientos del mismo.

2.7 NITRATOS

Los valores promedios de nitratos durante la fase IV de investigación, se observan en la tabla 11. podemos notar que se presenta una disminución de nitratos dentro del reactor, lo cual puede estar asociado con la transformación del Nitrógeno.

2.8 NITRITOS

Los valores de la variación de nitritos en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran en la tabla 11. como se puede observar su valor es bajo y en aguas residuales no excede de 1mg/lit. pero se debe tomar en cuenta que los nitritos son altamente tóxicos para las especies acuáticas.

2.9 DUREZA

Los valores medios de Dureza en la Línea Anaerobia se encuentran en la tabla 11. de acuerdo a estos valores el agua residual analizada se puede clasificar como blanda ya que se encuentra por debajo de 100 mg/lit de CaCO_3 .

2.10 SÓLIDOS TOTALES

Los valores medios de variación de Sólidos Totales en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran en la tabla 11. como se puede observar que los sólidos se reducen

a medida que pasan a través del las unidades del sistema presentándose las máximas remociones en la Fosa Séptica.

2.11 SÓLIDOS VOLÁTILES

Los valores medios de variación de Sólidos Volátiles en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran el tabla 11. se puede observar que los sólidos se reducen a medida que pasan a través del las unidades del sistema presentándose las máximas remociones en la Fosa Séptica.

2.12 UFC COLIFORMES TOTALES

Los valores de coliformes en el la Línea Anaerobia fase IV se encuentran en la tabla 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.

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 Anaerobia, estos resultados se presentan a continuación:

- Para DQO, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 4% y un coeficiente de variación de 10.7%.
- Para DBO5, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 8% y un coeficiente de variación de 22.5%.
- Para Sólidos Suspendidos, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 95% con un margen de error del 8% y un coeficiente de variación de 25.1%.

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.

σ : 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 Suspendidos respectivamente.

Figura 1. Variación de DQO Vrs DBO5 a la entrada de la Fosa Séptica – Fases III y IV

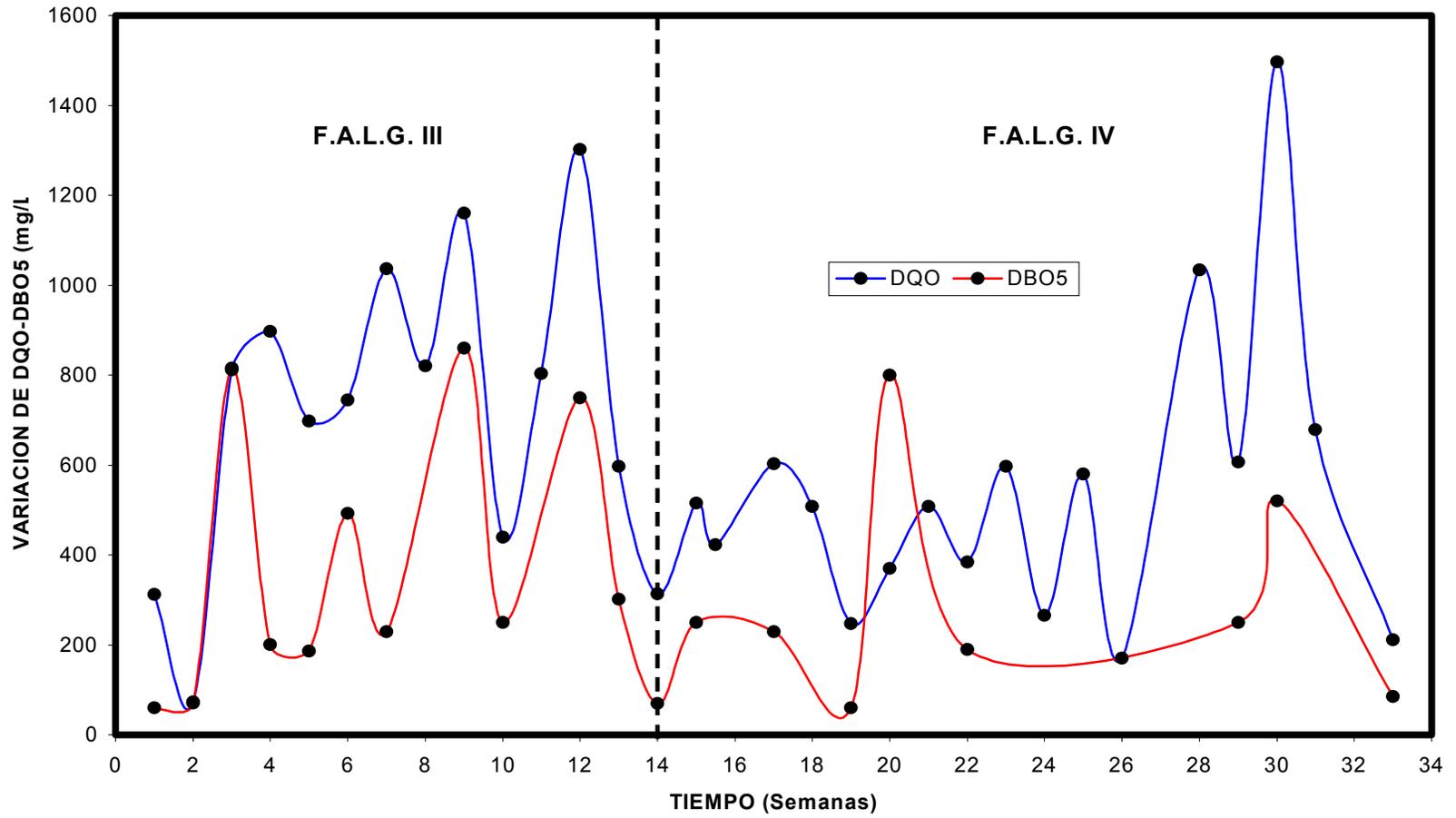


Figura 2. Variación de DQO Vrs DBO5 a la entrada del Filtro Anaerobio – Fases III y IV

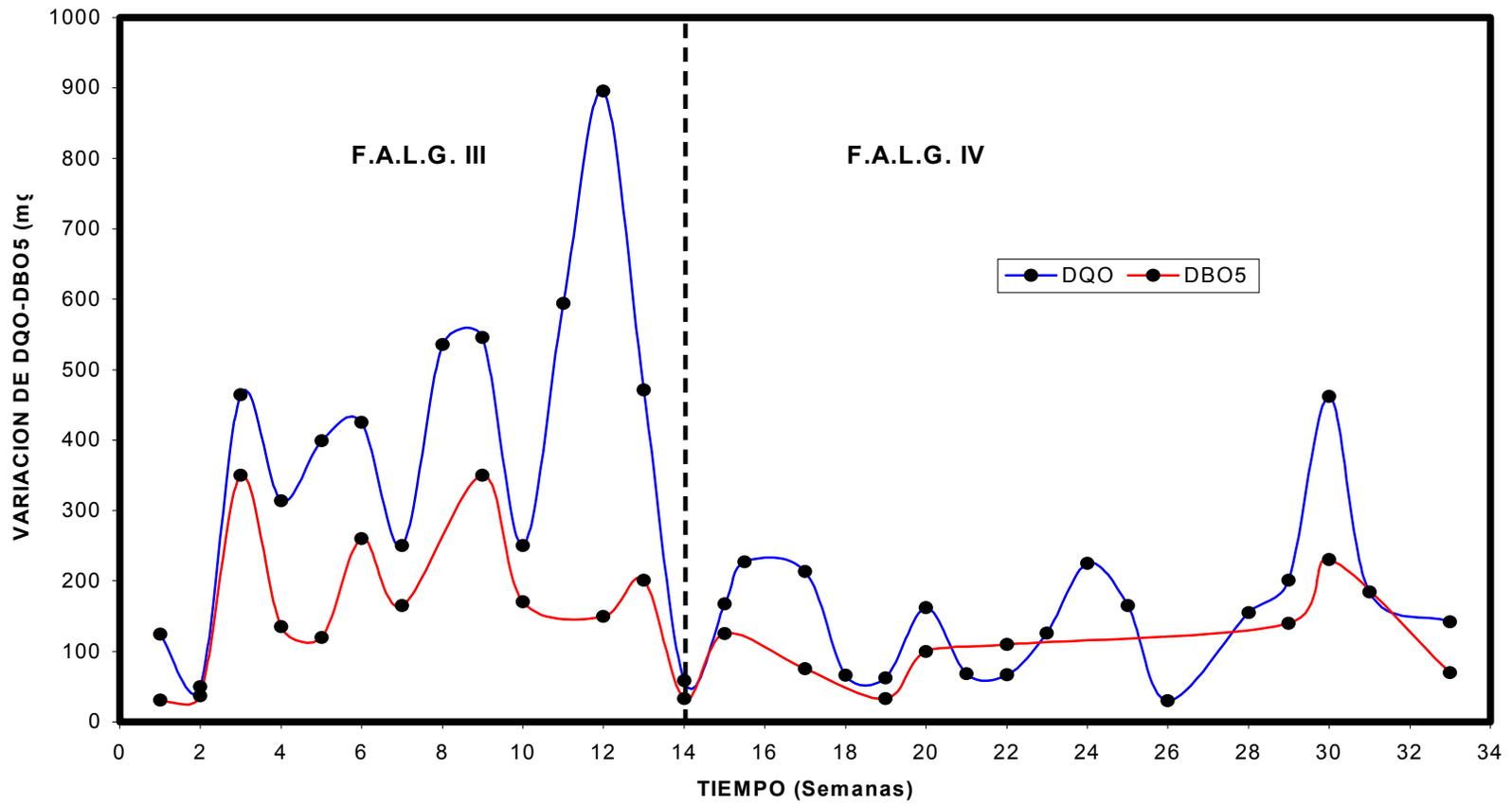


Figura 3. Variación de DQO Vrs DBO5 a la salida del Decantador Secundario – Fases III y IV

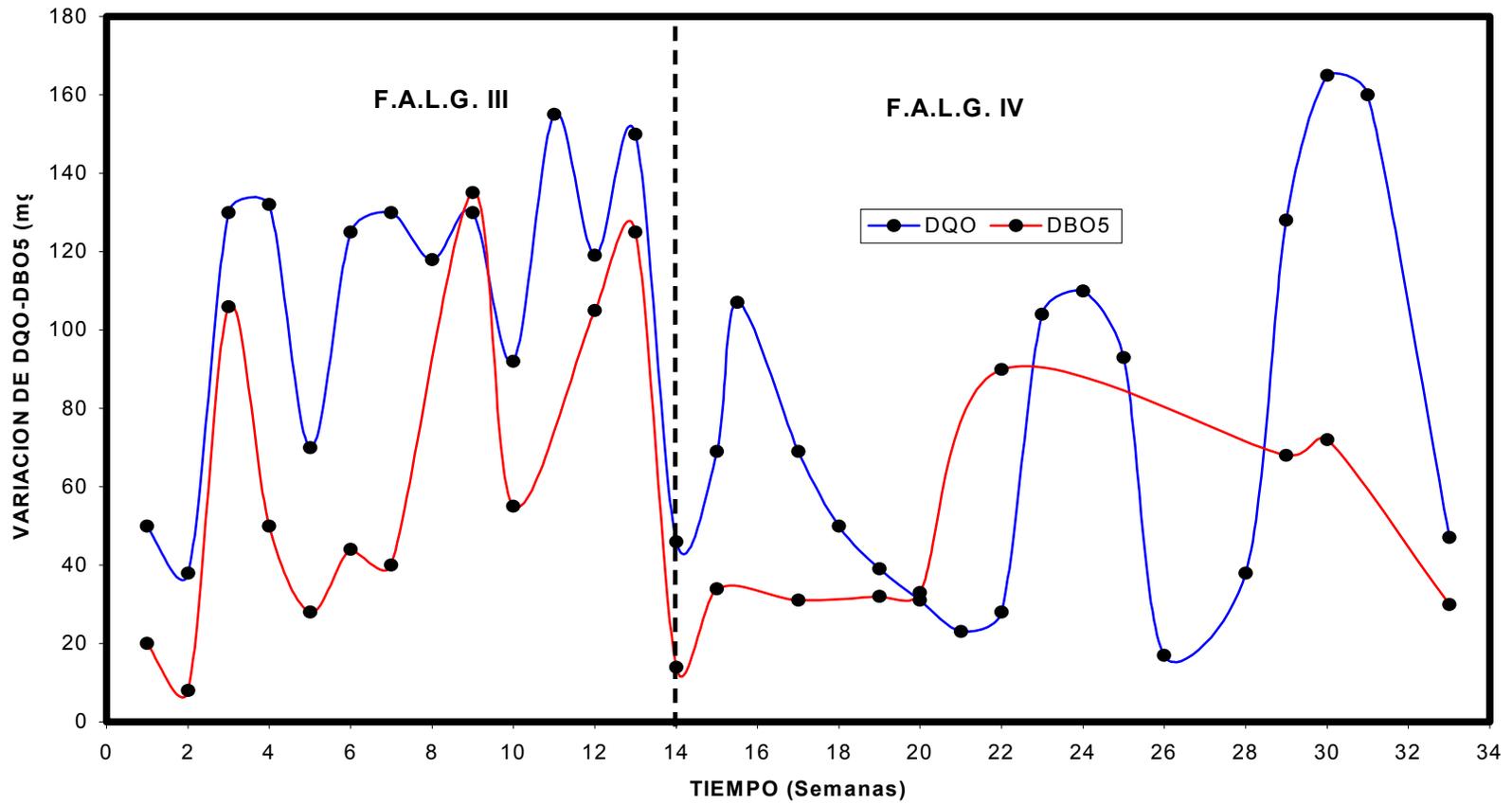


Figura 4. Variación de DQO en la línea Anaerobia – Fases III y IV

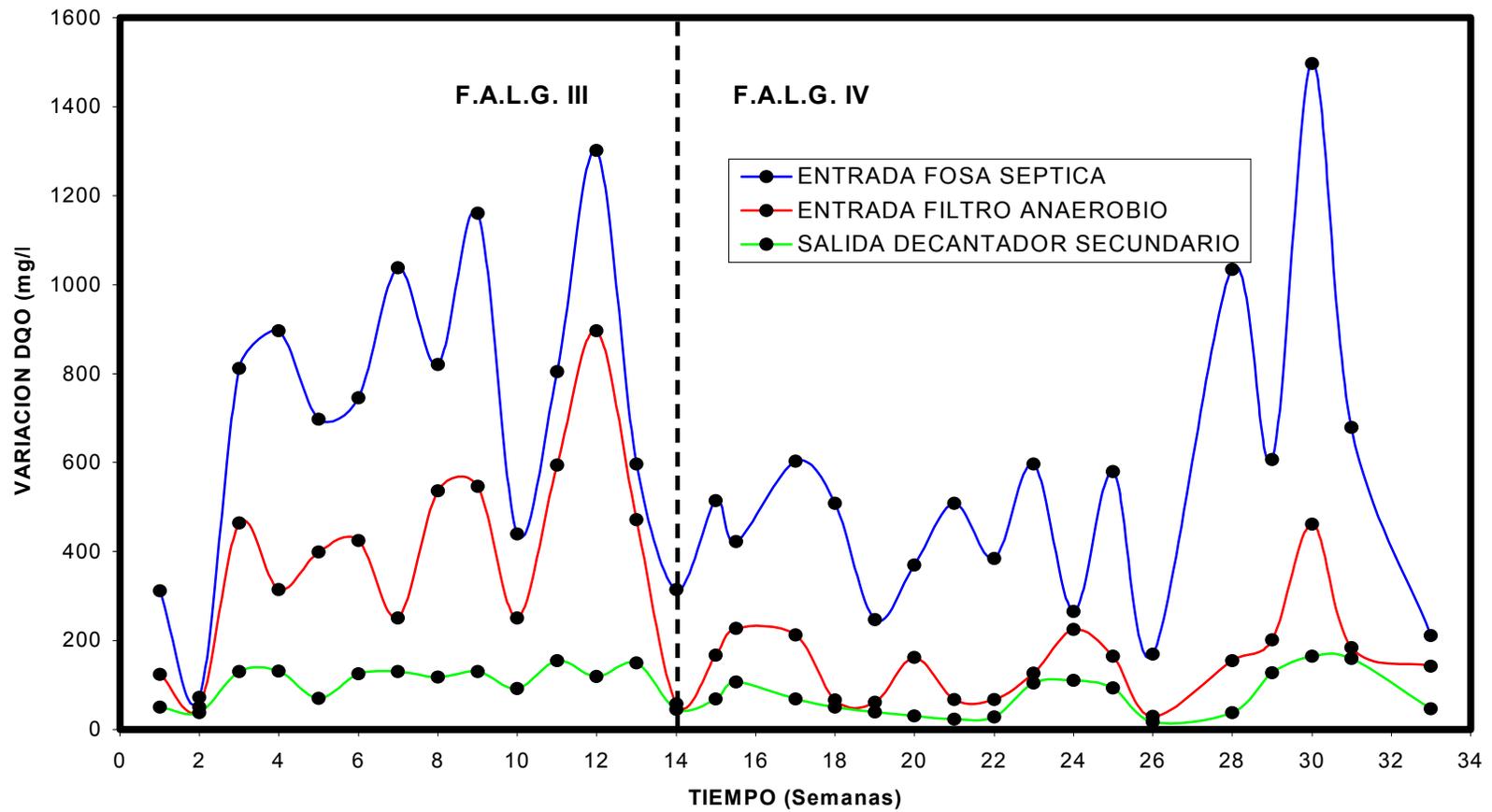


Figura 5. Porcentaje de Remoción de DQO en la línea Anaerobia – Fases III y IV

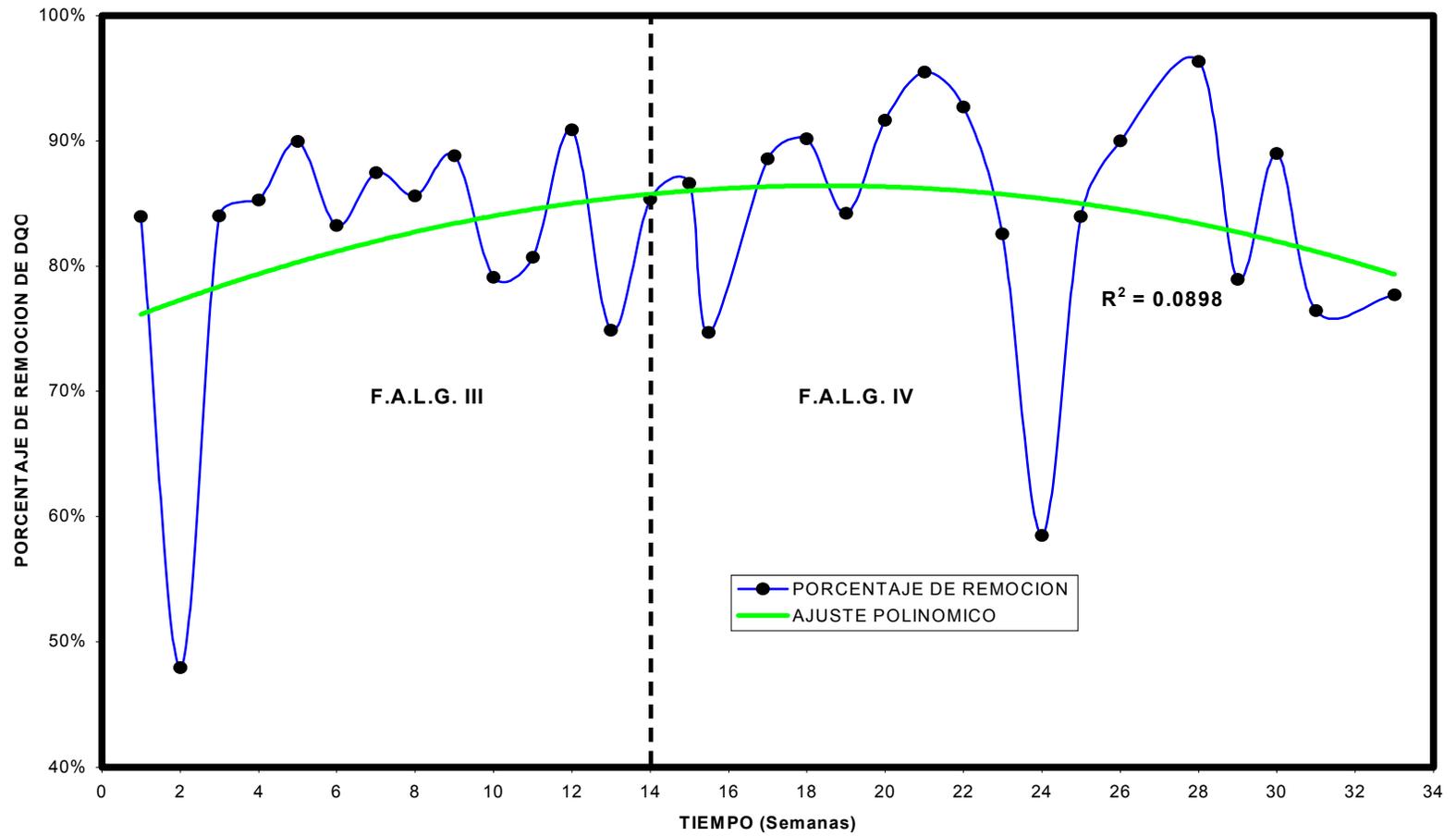


Figura 6. Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

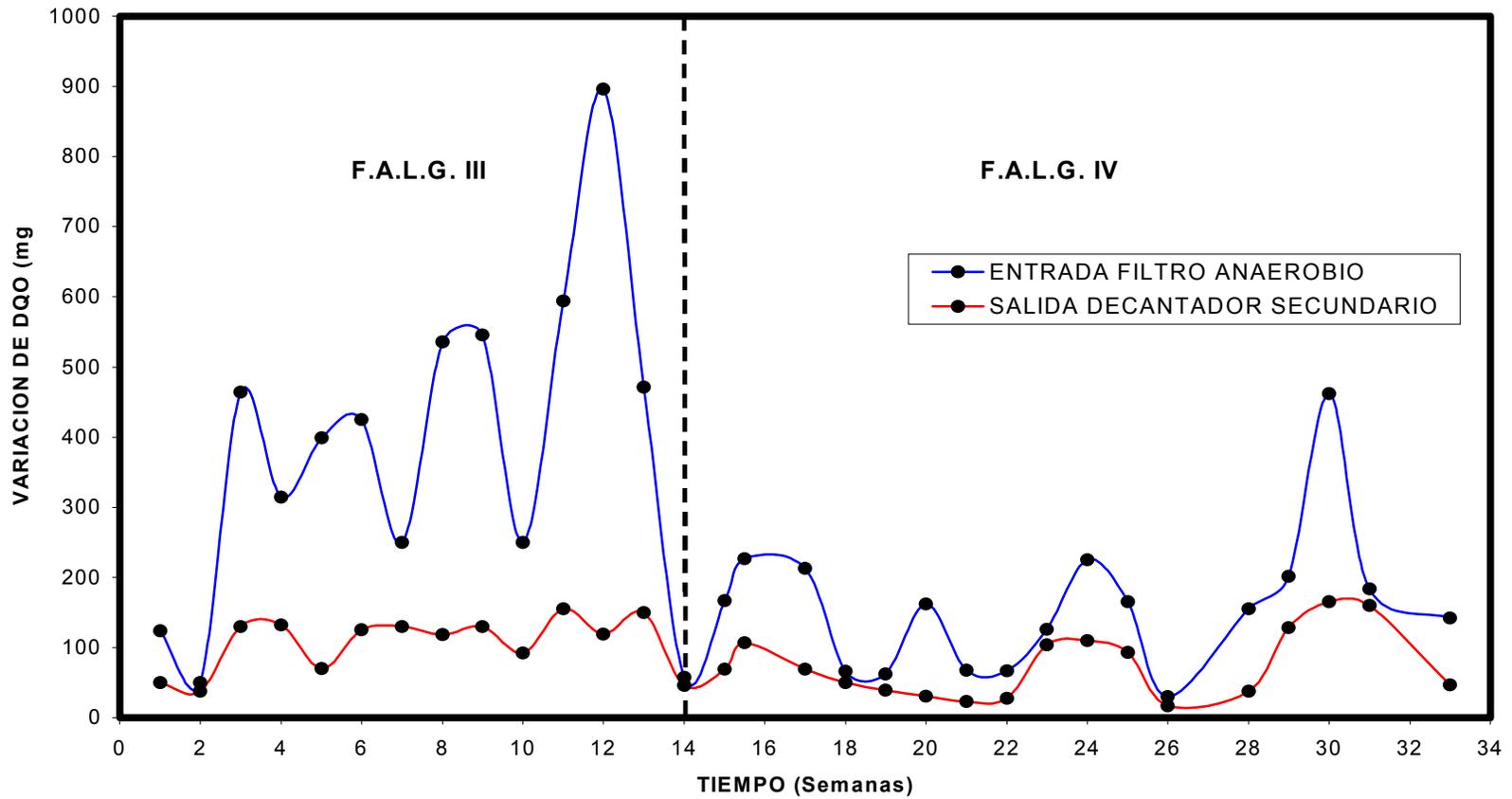


Figura 7. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

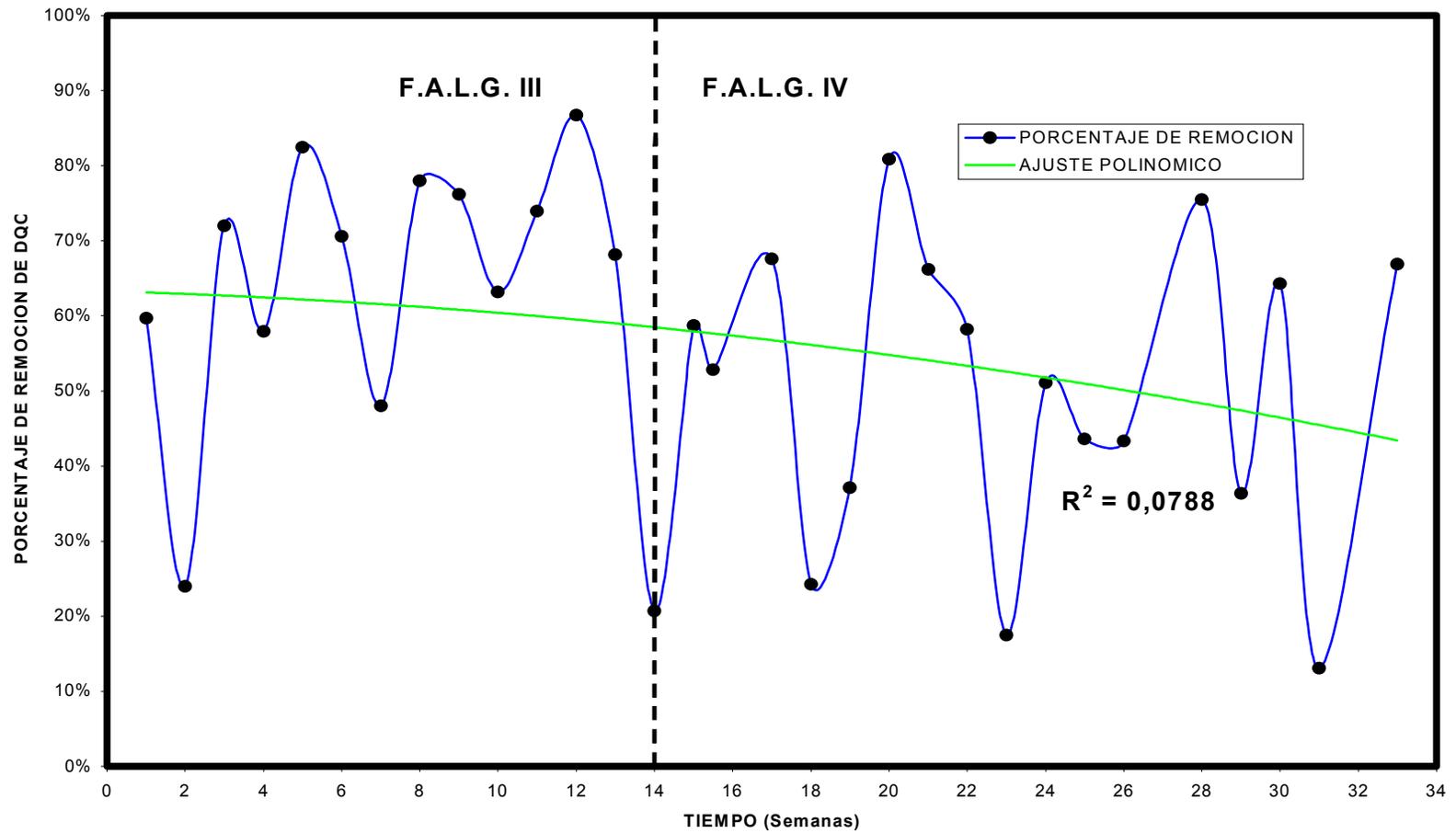


Figura 8. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV

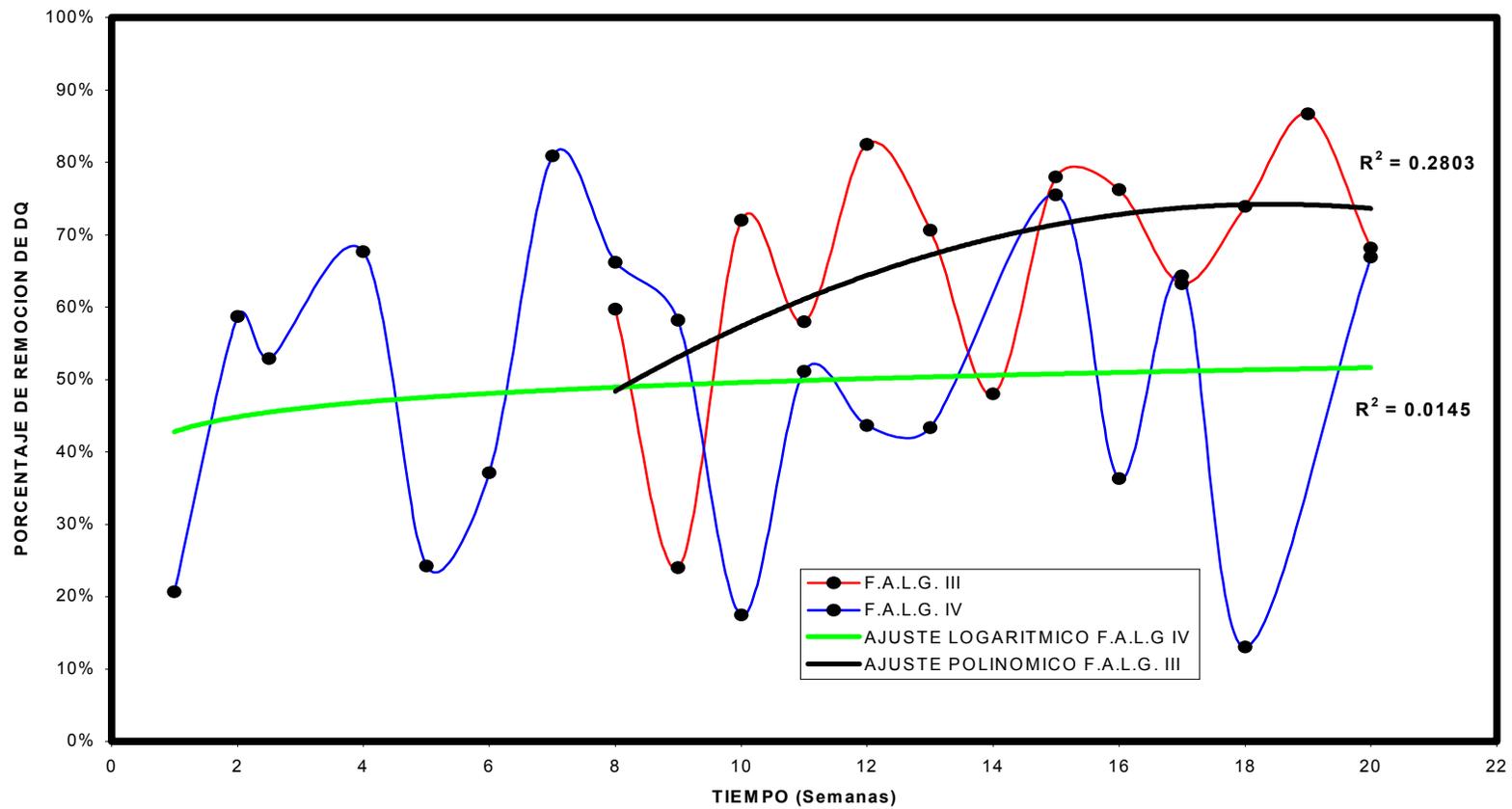


Figura 9. Porcentaje de Remoción de DQO en la Fosa Séptica – Comparación Fases III y IV

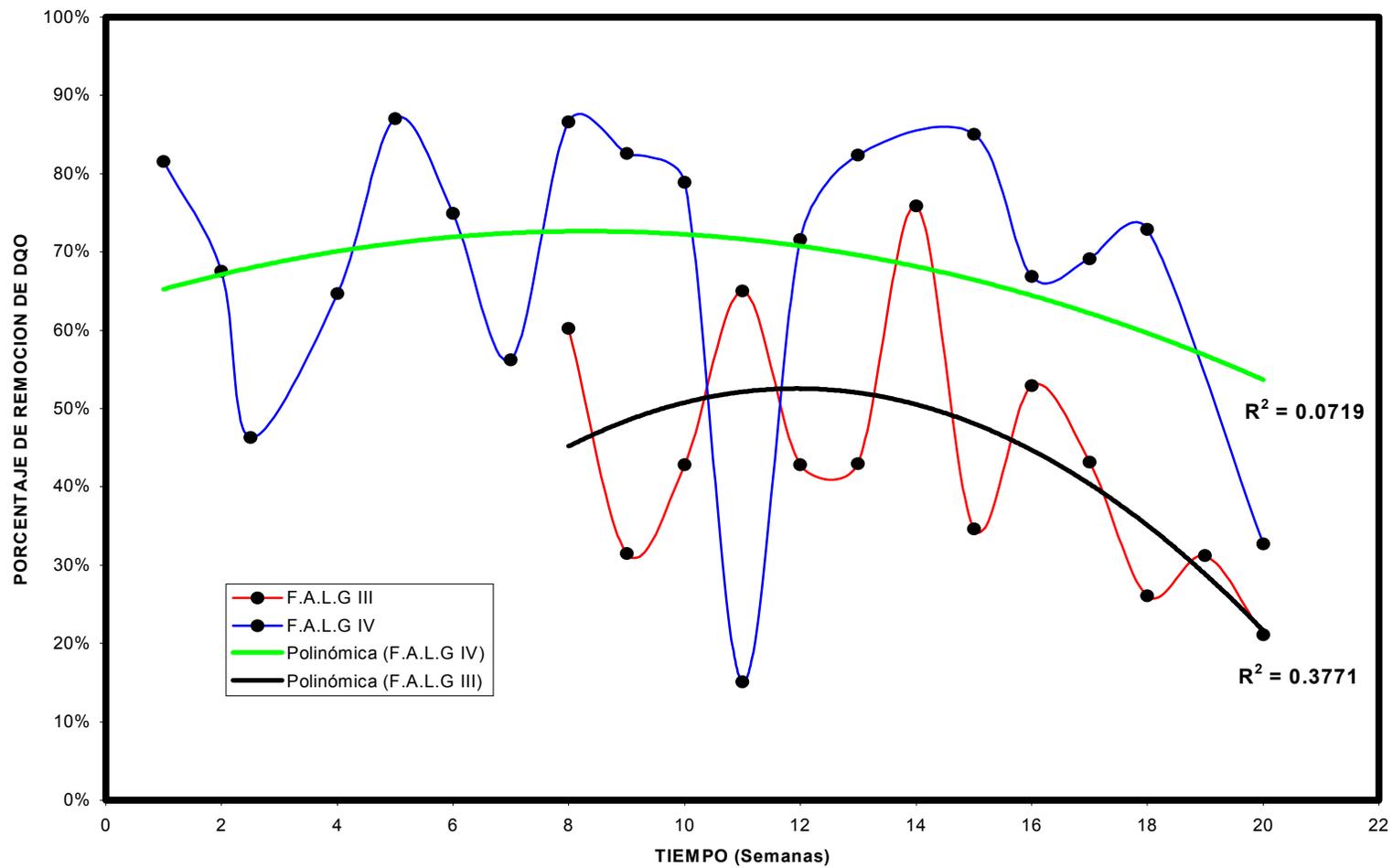


Figura 10. Variación de DQO en la Línea Anaerobia – Fase IV

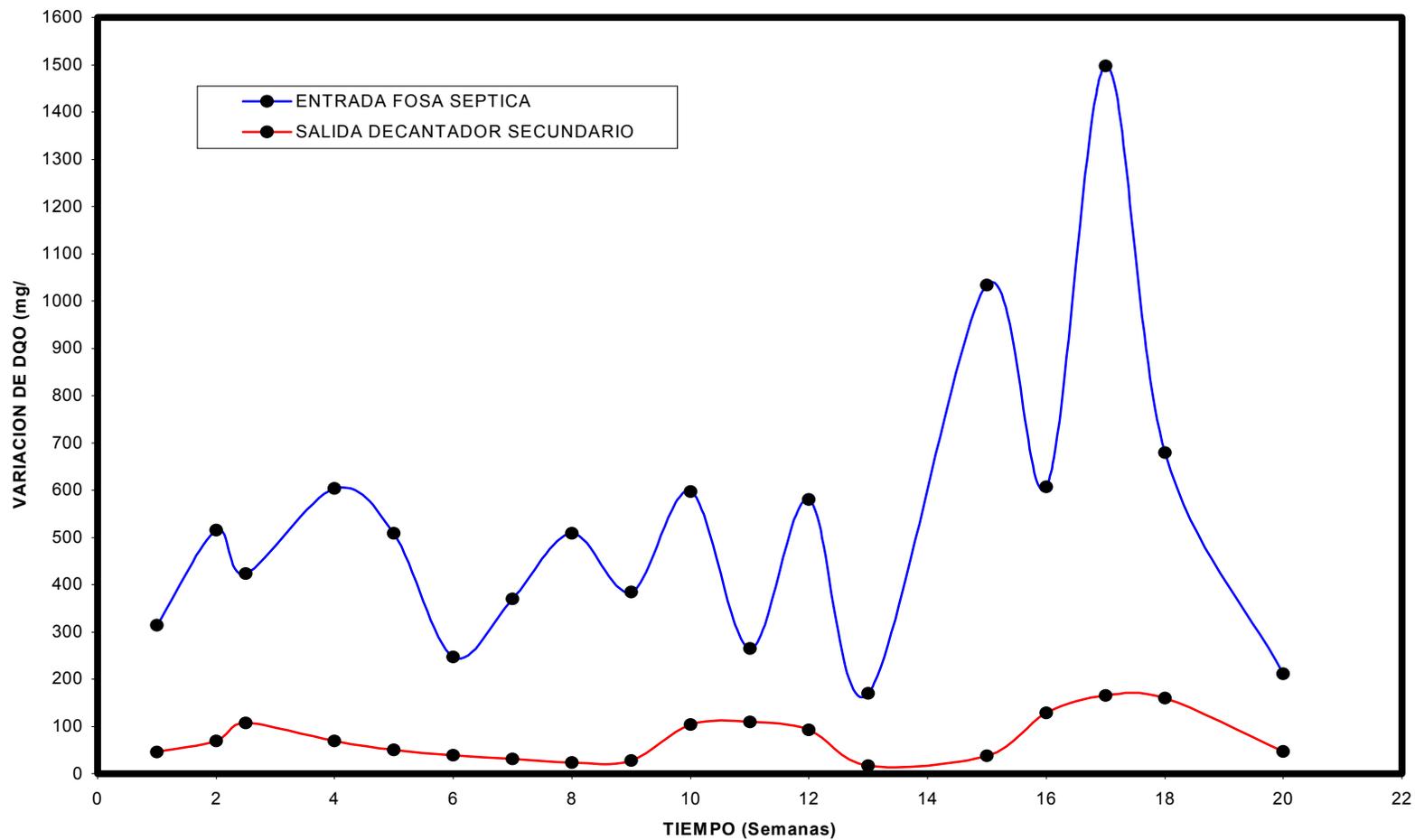


Figura 11. Porcentaje de Remoción de DQO en la Línea Anaerobia – Fase IV

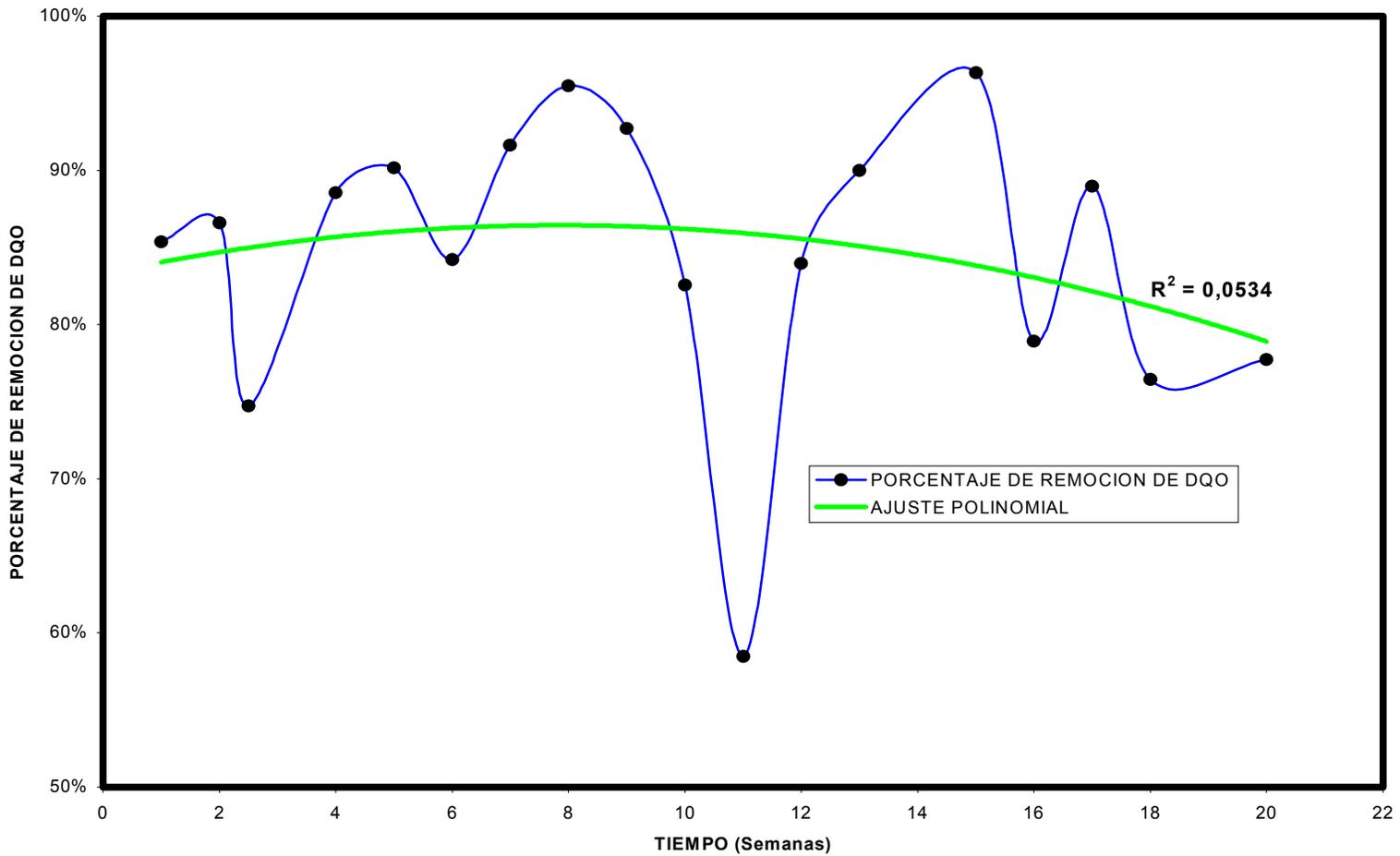


Figura 12. Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

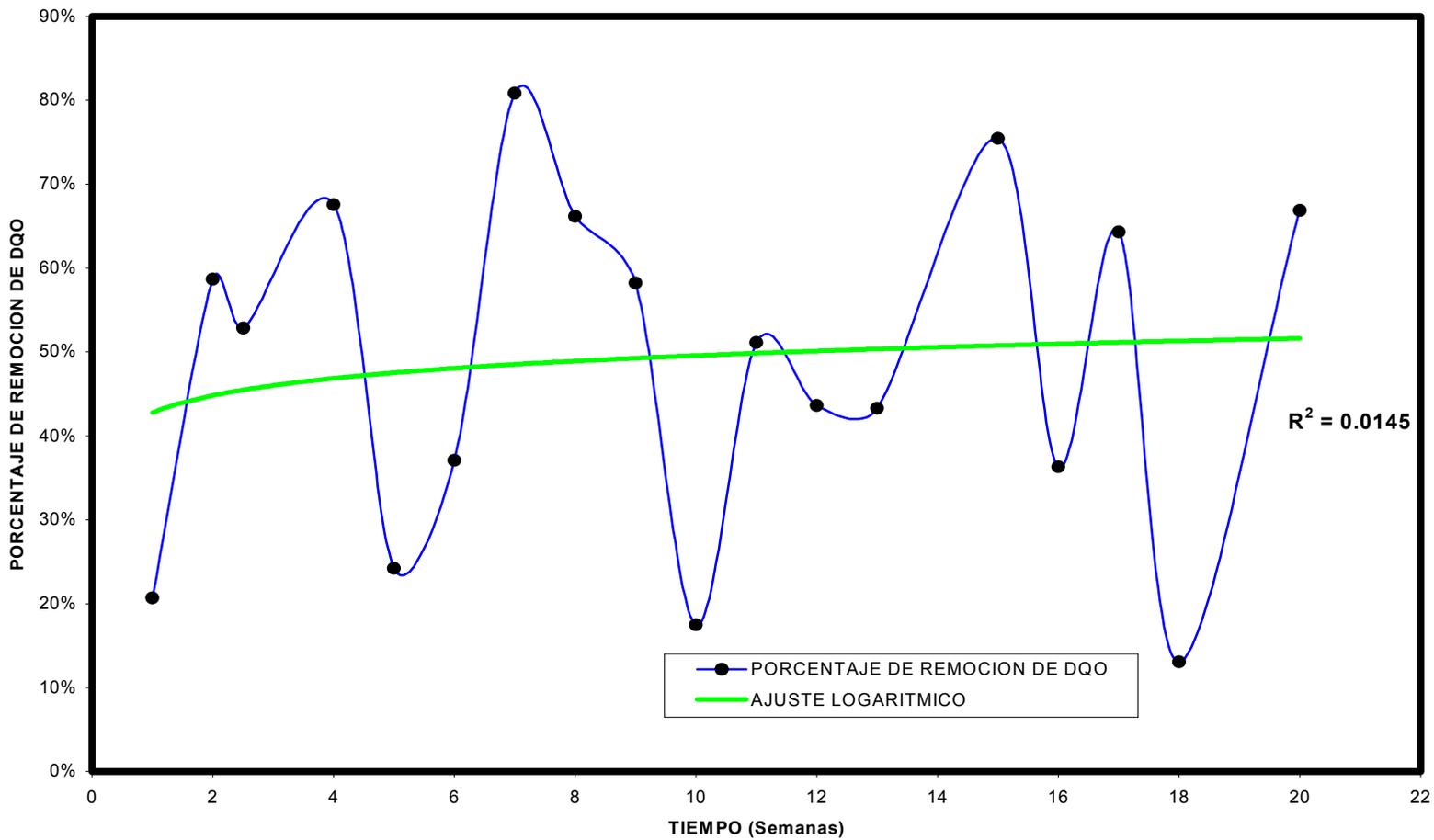


Figura 13. Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

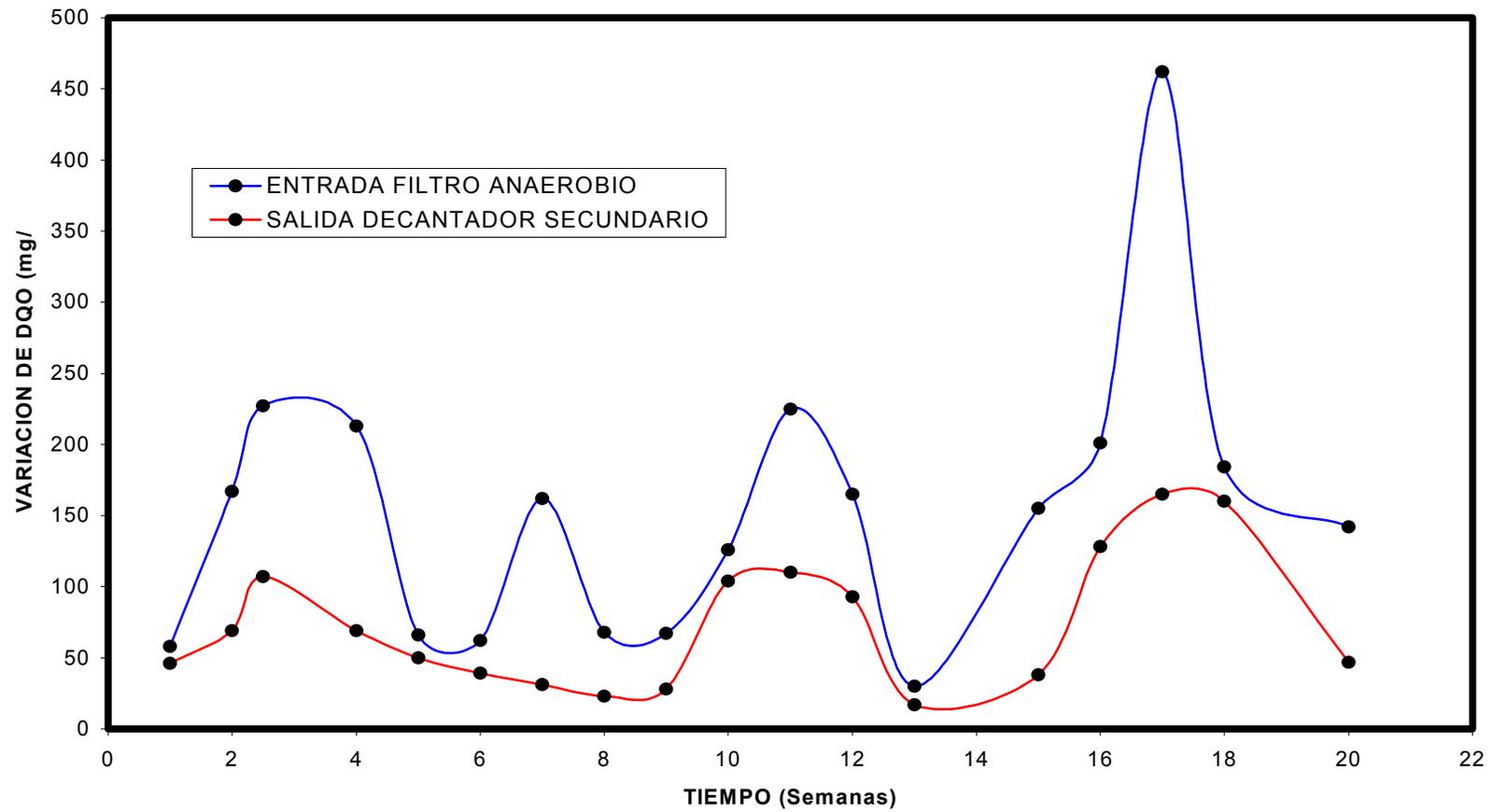


Figura 14. Variación de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fases III y IV

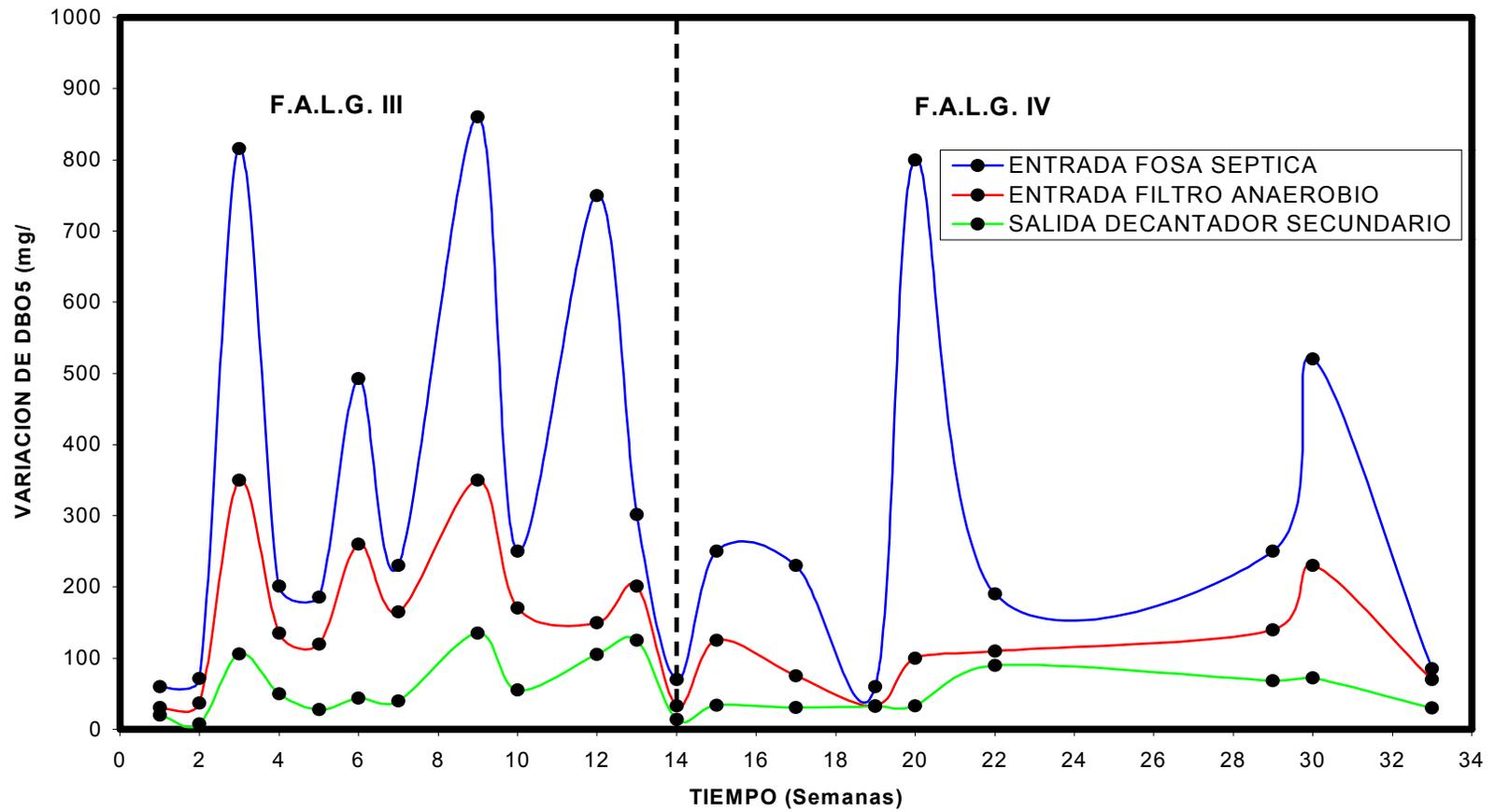


Figura 15. Porcentaje de Remoción de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fases III y IV

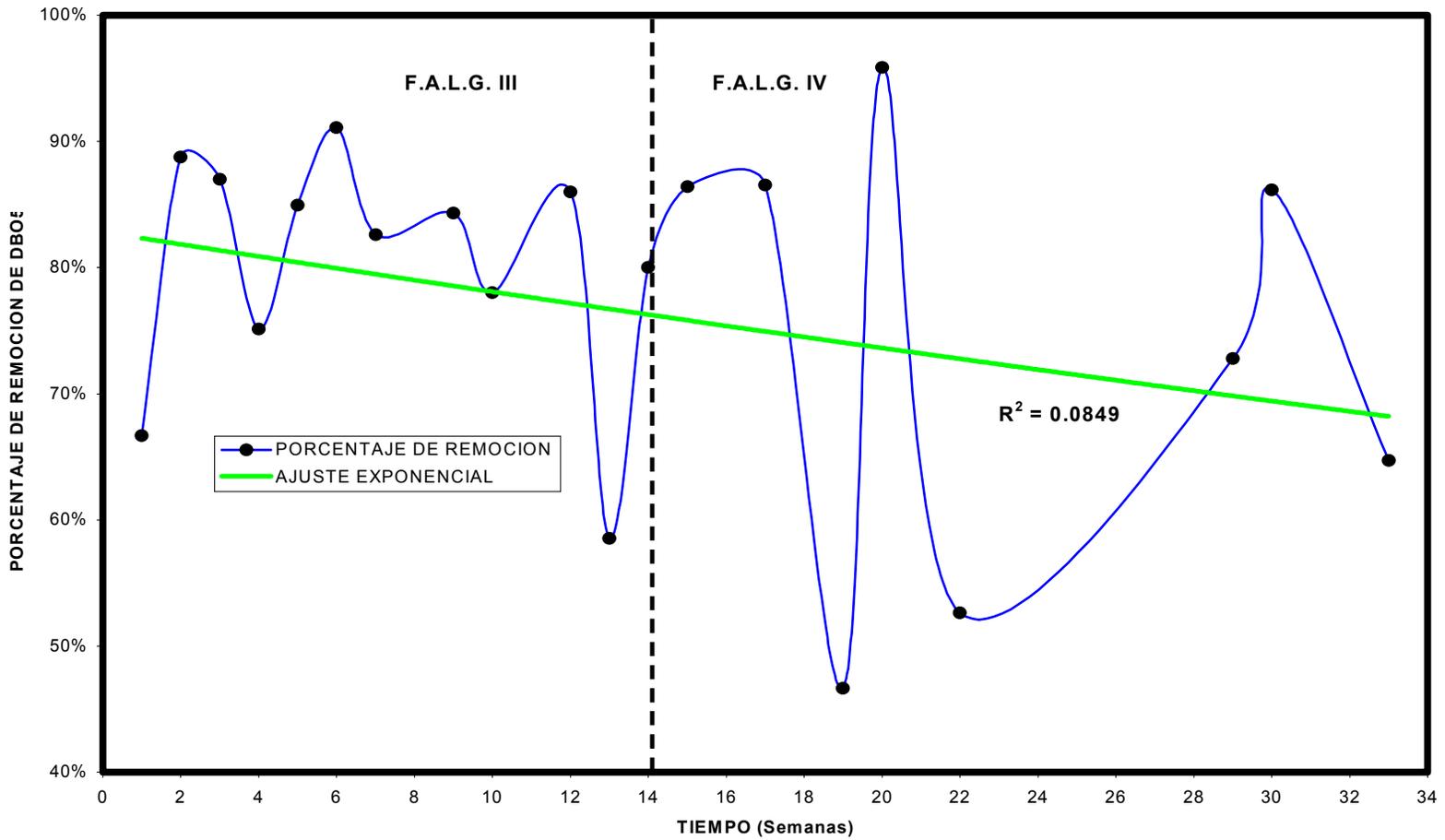


Figura 16. Variación de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

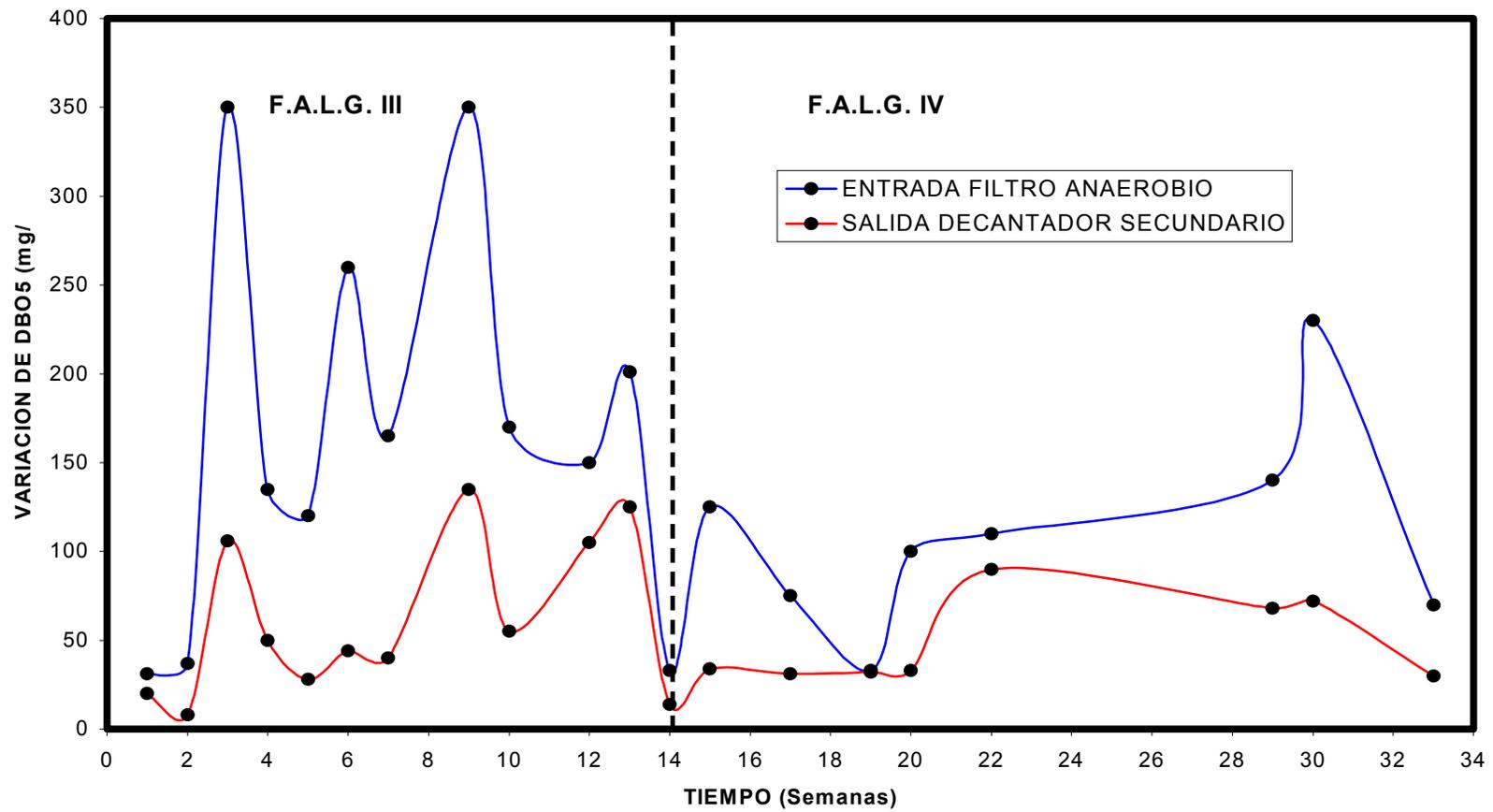


Figura 17. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

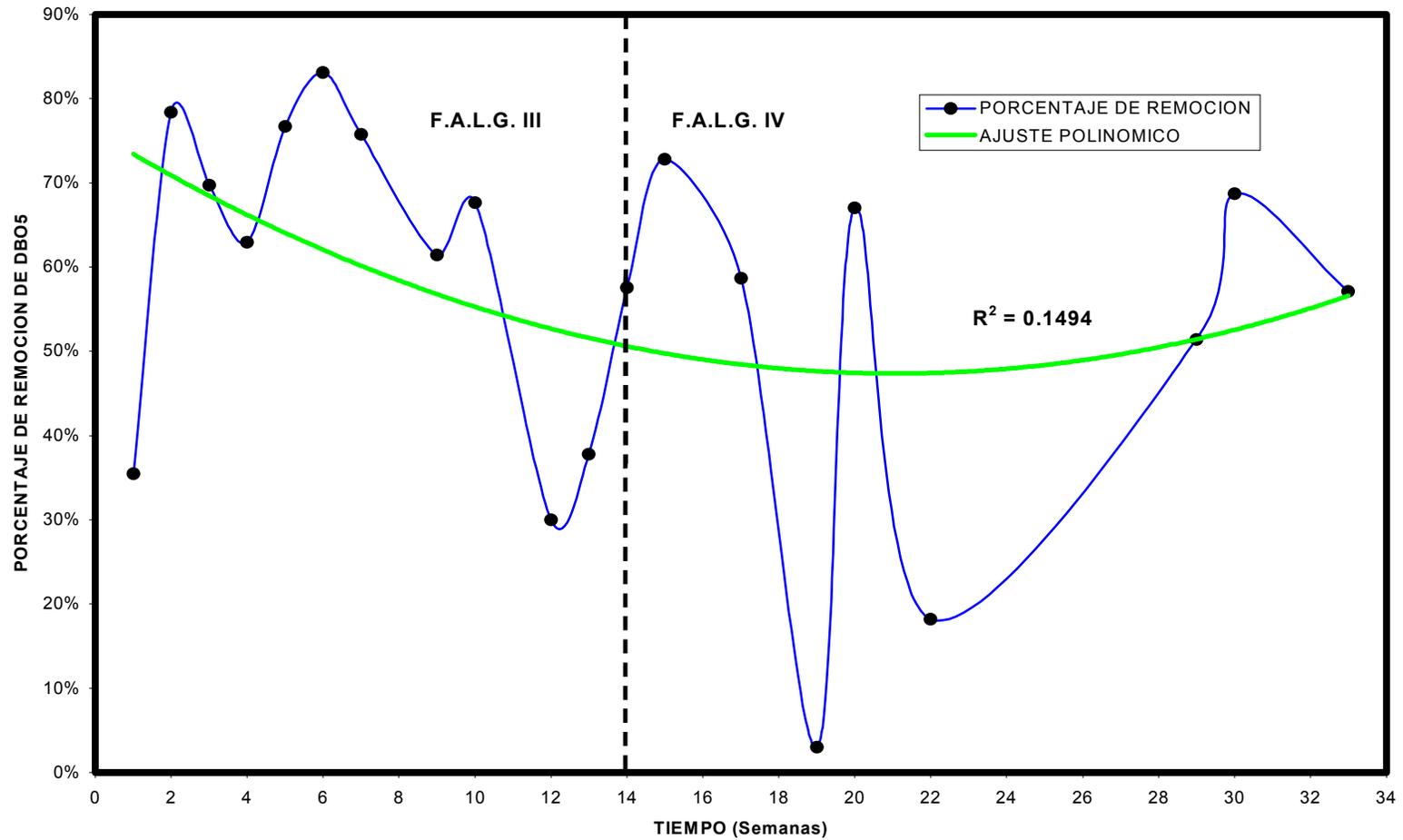


Figura 18. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV

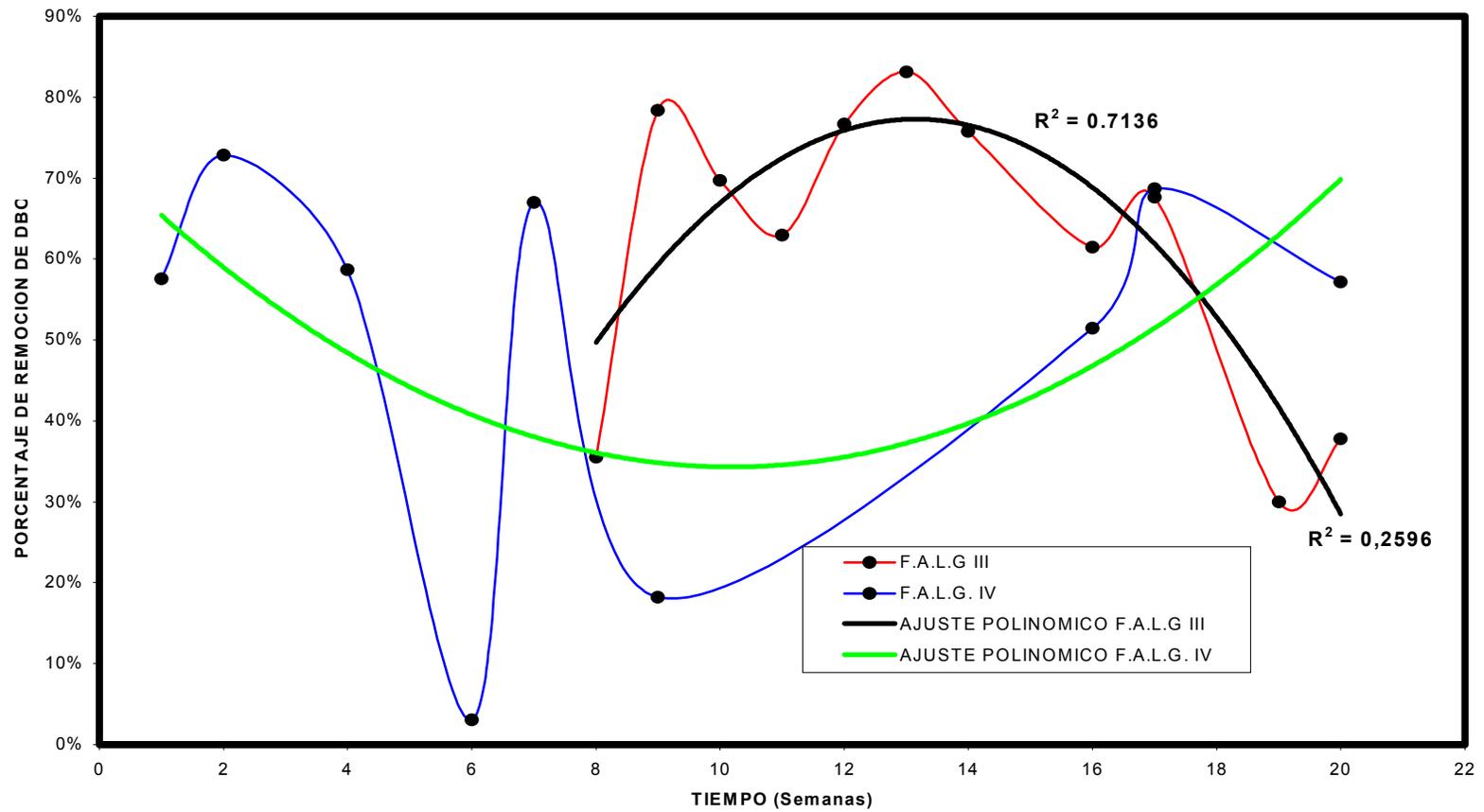


Figura 19. Variación de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fase IV

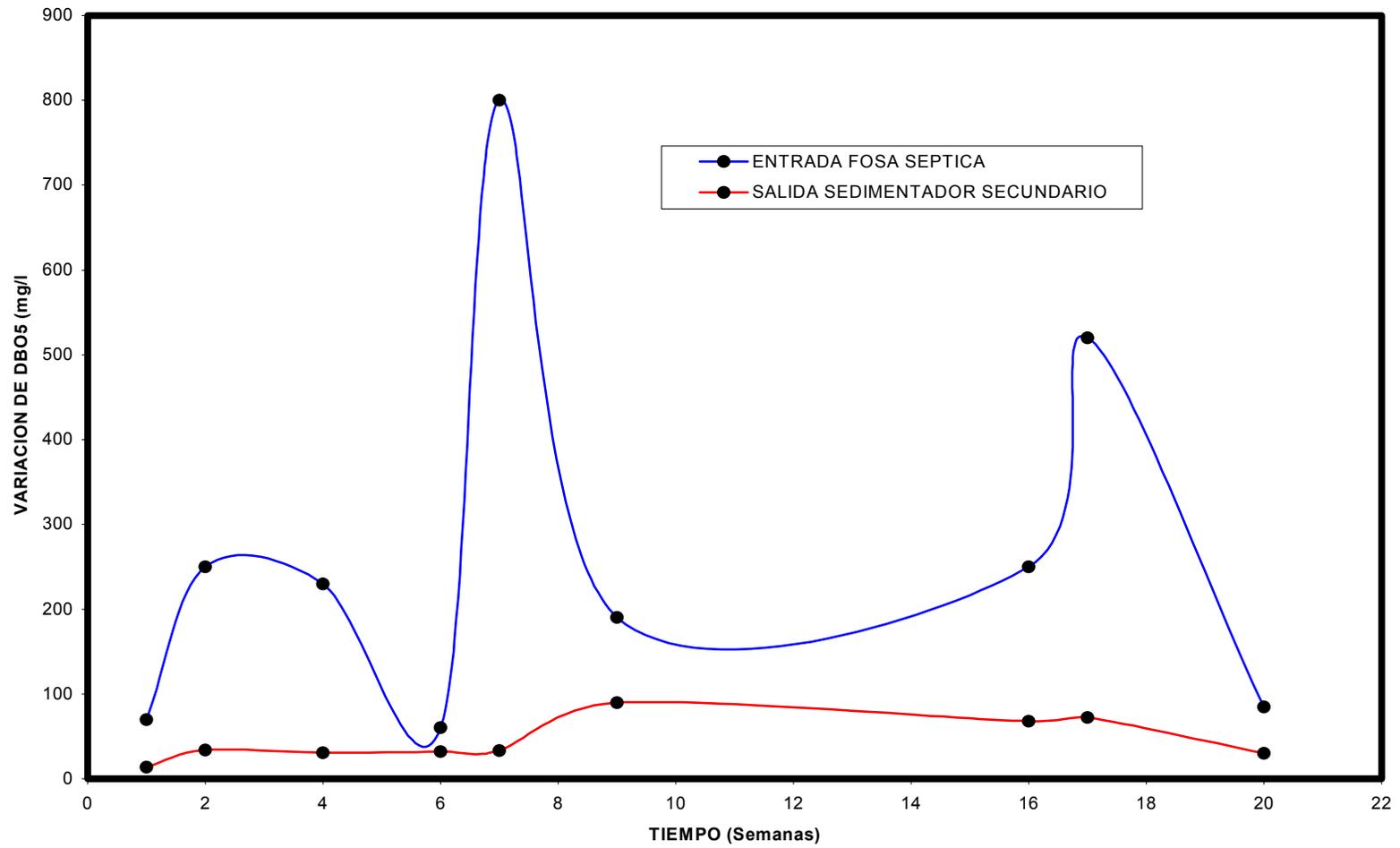


Figura 20. Porcentaje de Remoción de DBO5 en la Línea Anaerobia – Fase IV

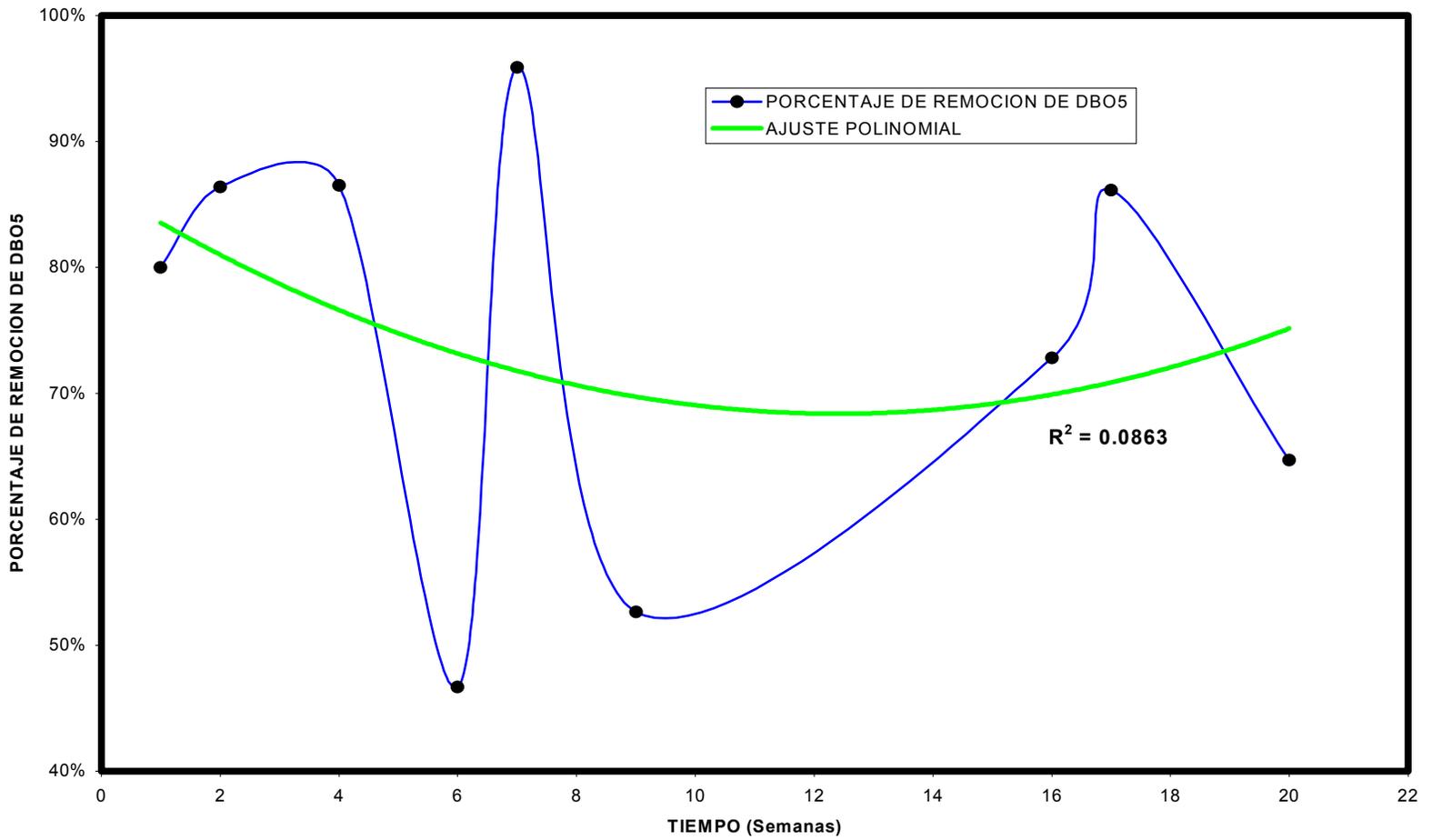


Figura 21. Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

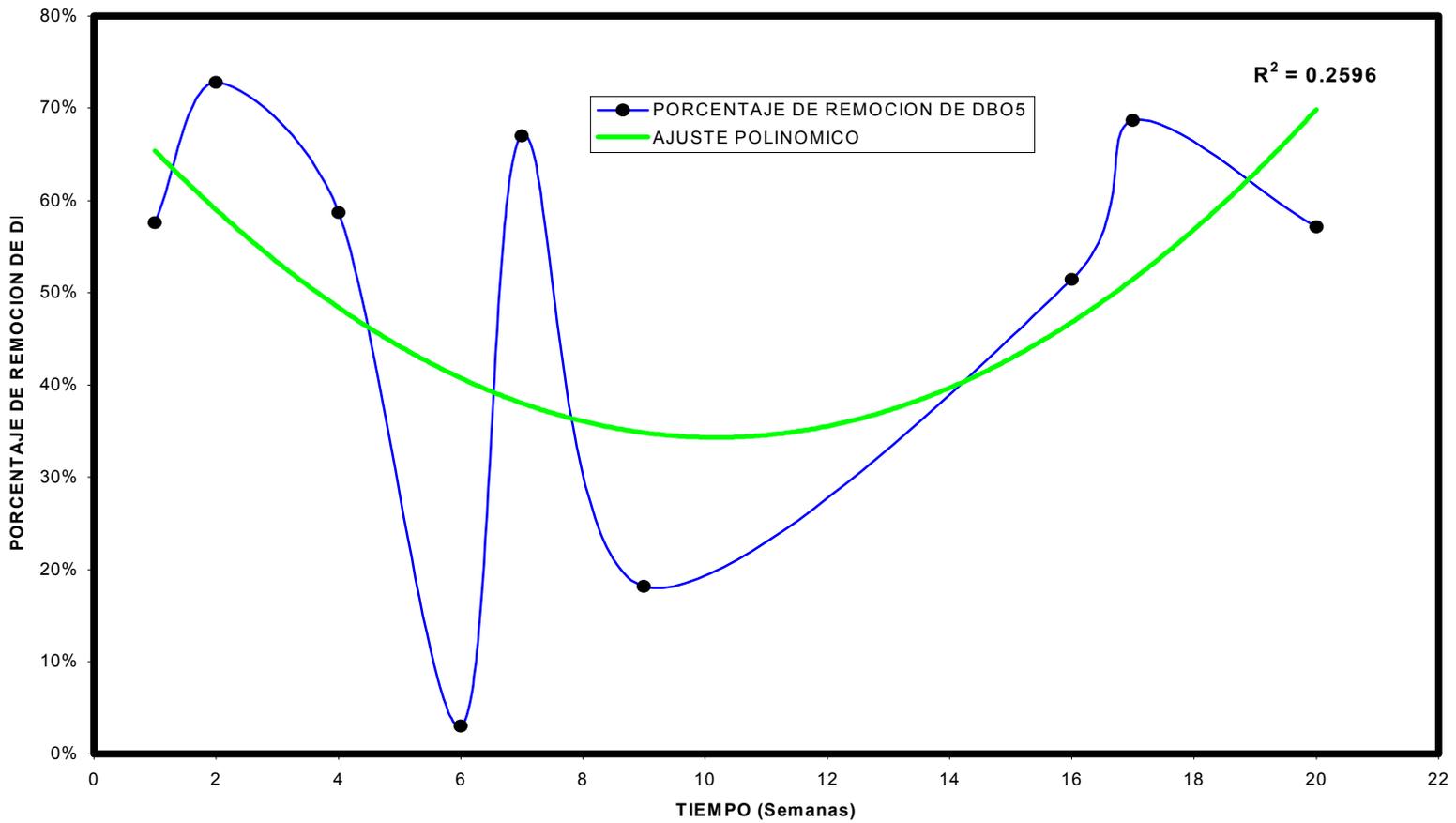


Figura 22. Variación de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

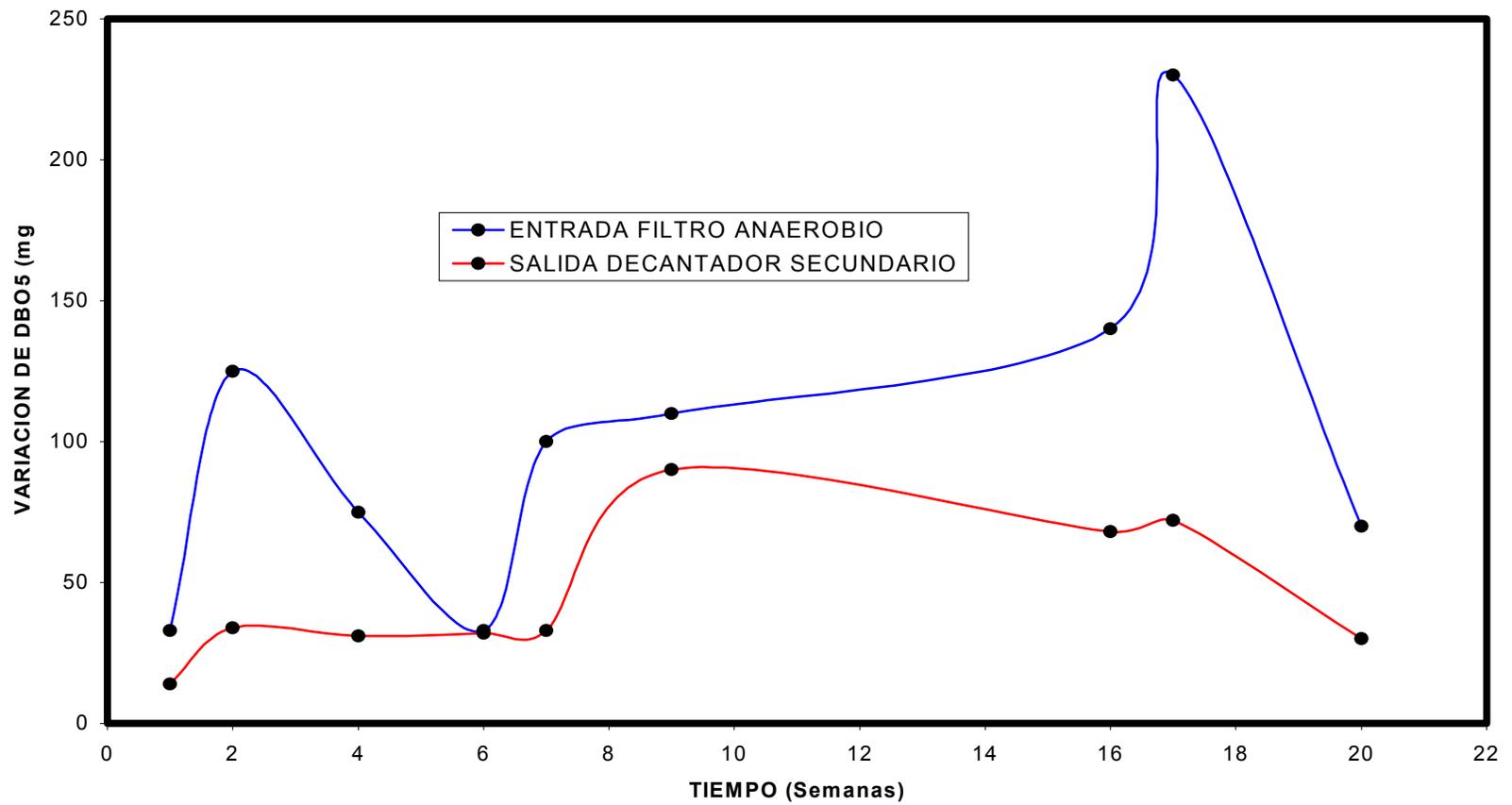


Figura 23. Variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fases III y IV

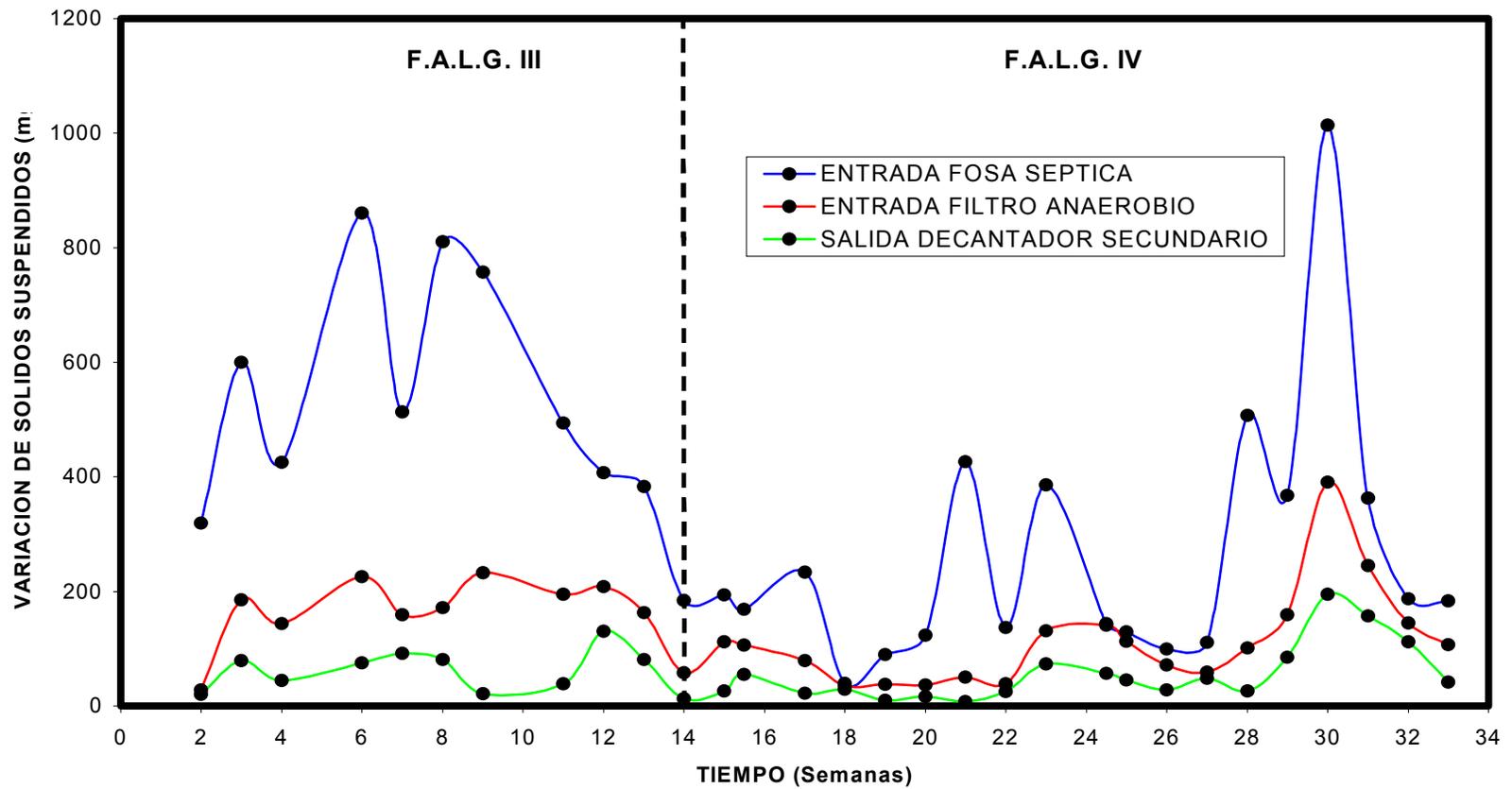


Figura 24. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fases III y IV

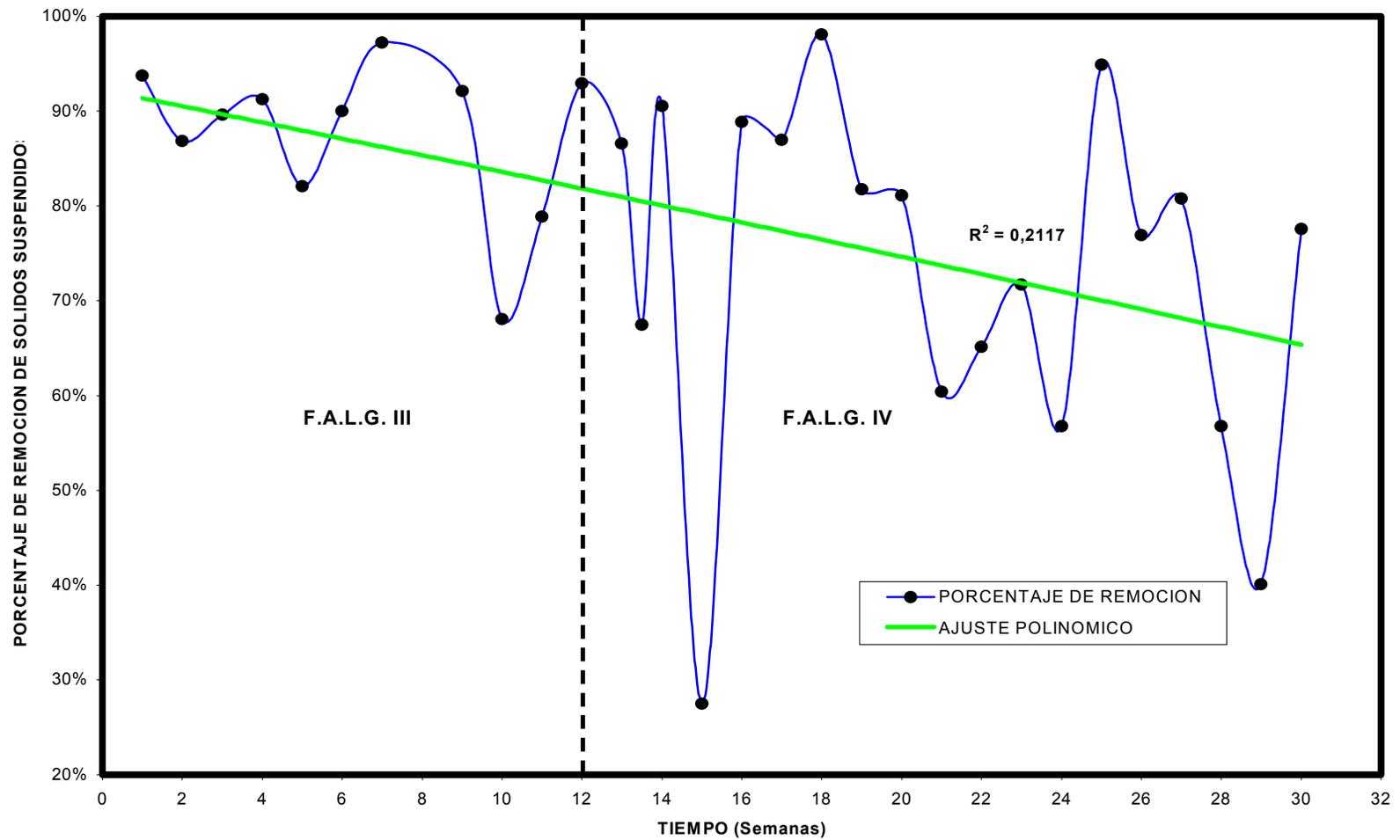


Figura 25. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos en la Línea Anaerobia – Comparación Fases III y IV

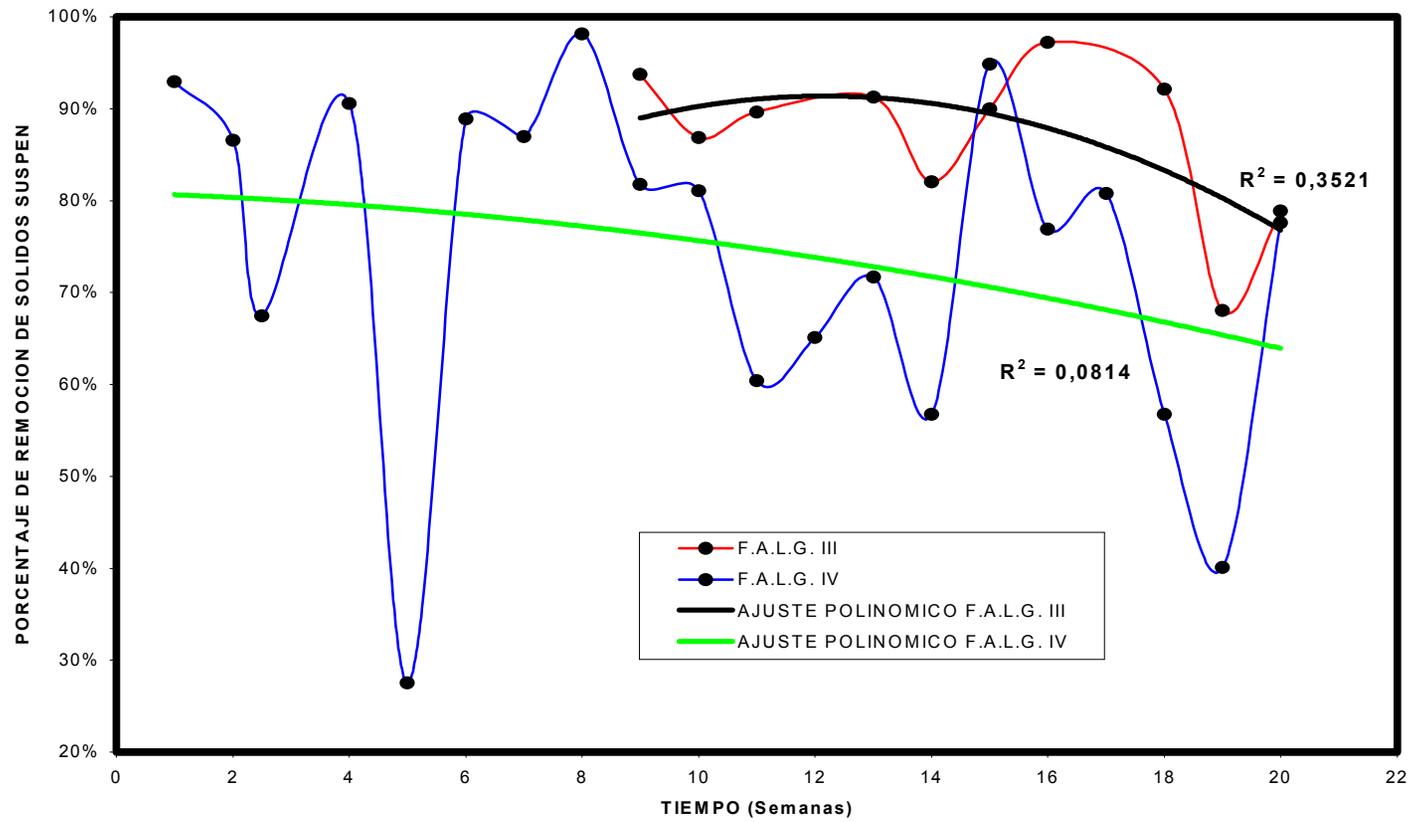


Figura 26. Variación de Sólidos Suspendidos en la Línea Anaerobia – Fase IV

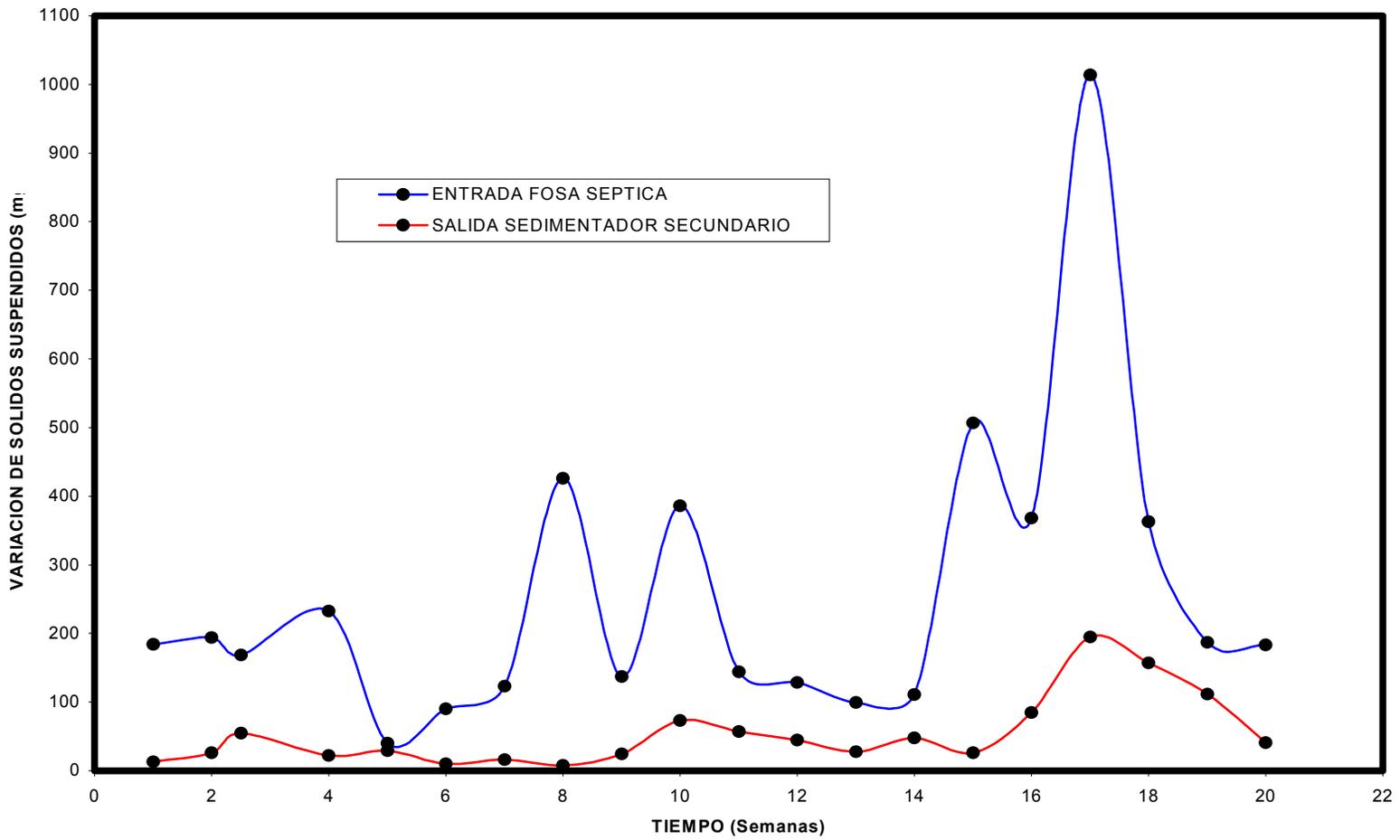


Figura 27. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos en la Línea Anaerobia – Fase IV

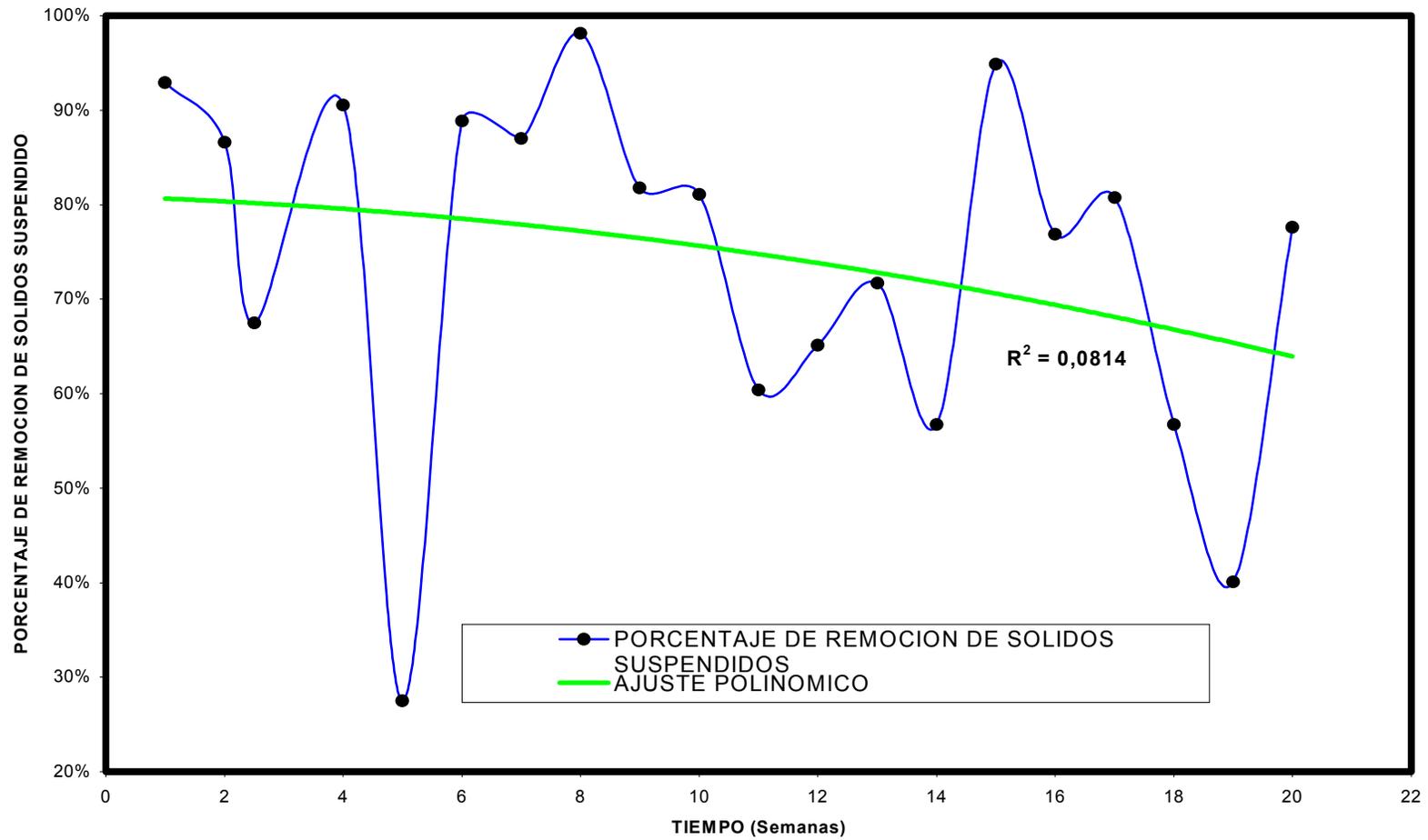


Figura 28. Variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

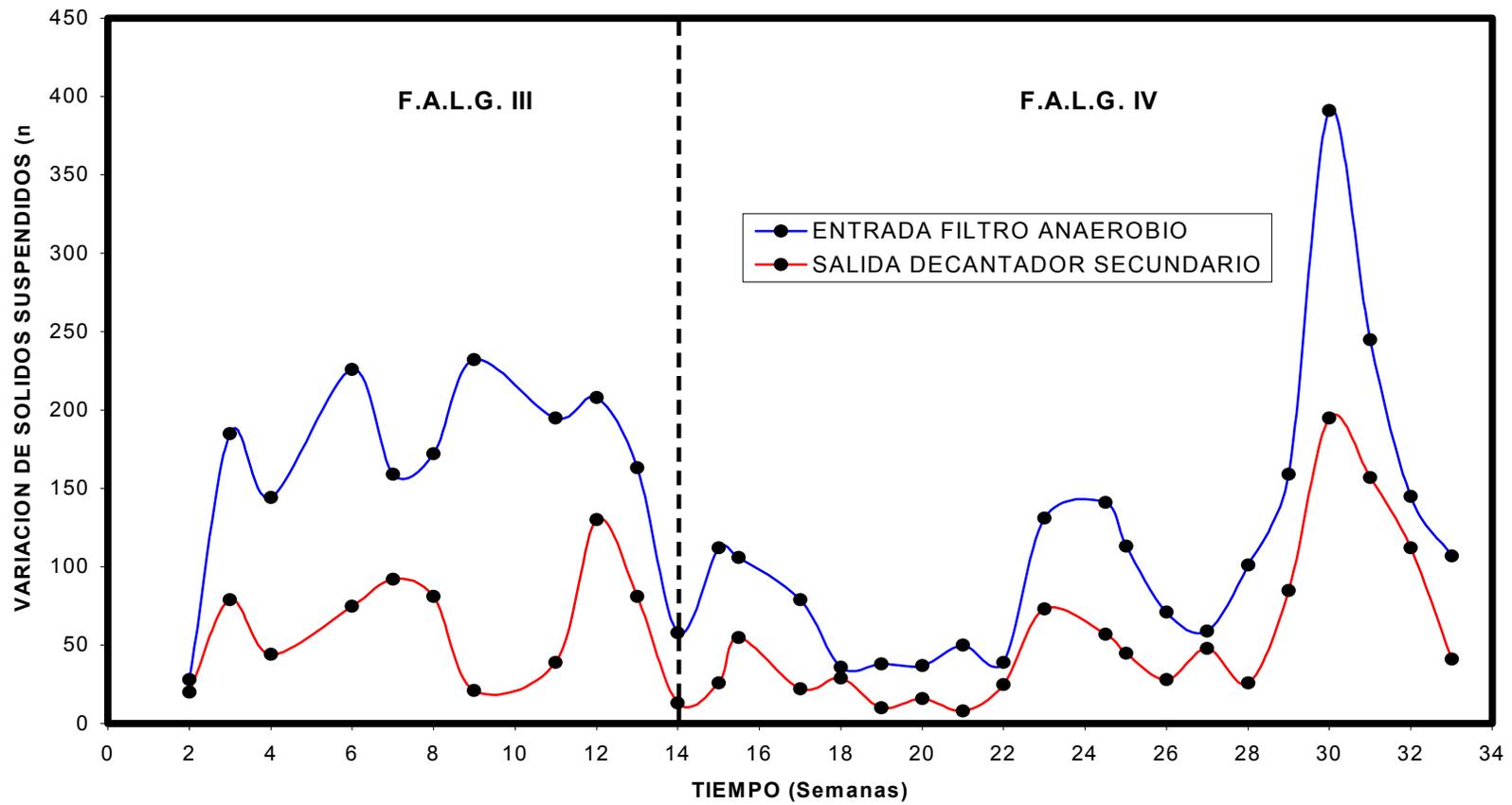


Figura 29. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fases III y IV

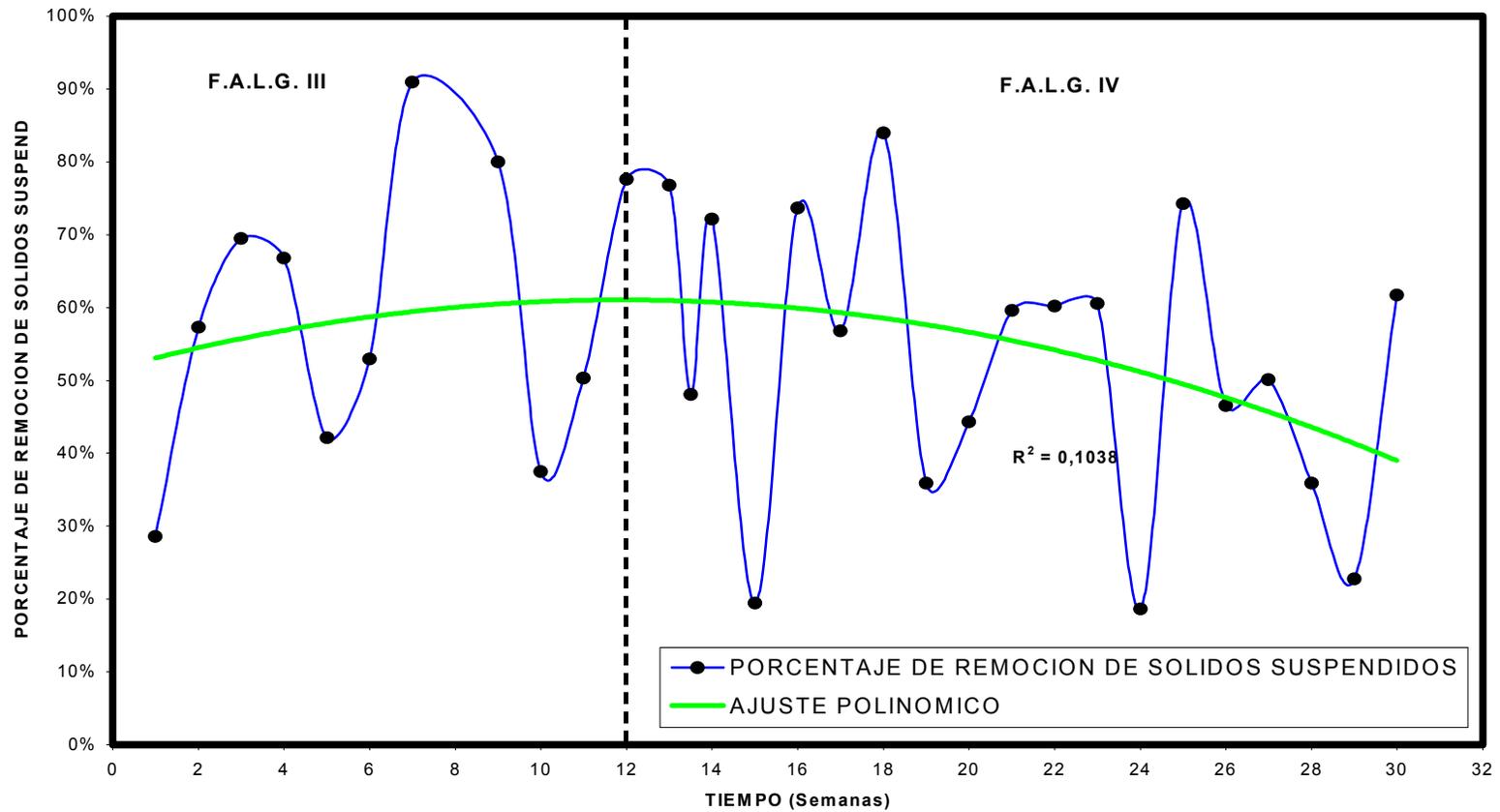


Figura 30. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Comparación Fases III y IV

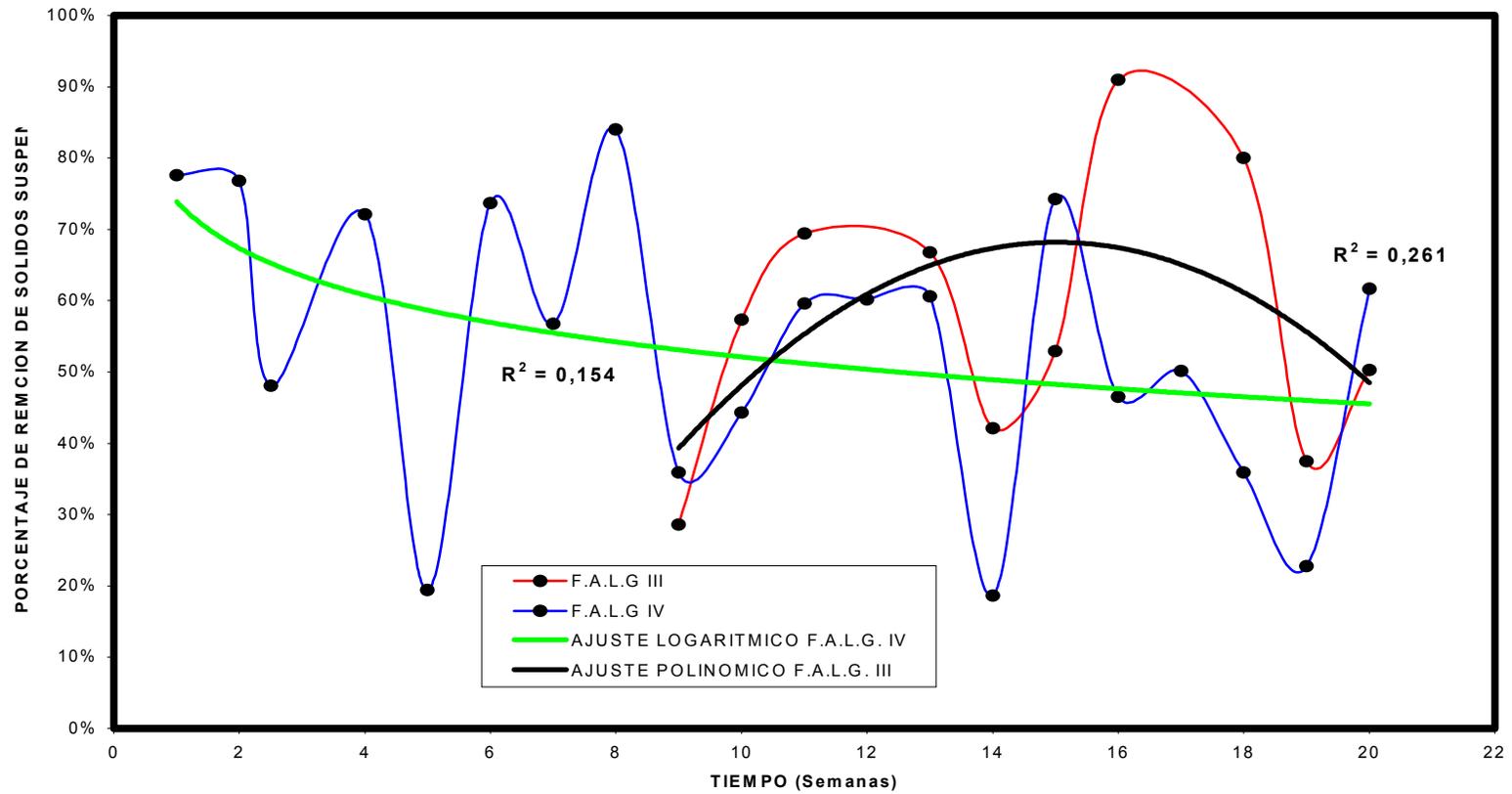


Figura 31. Variación de Sólidos Suspendidos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

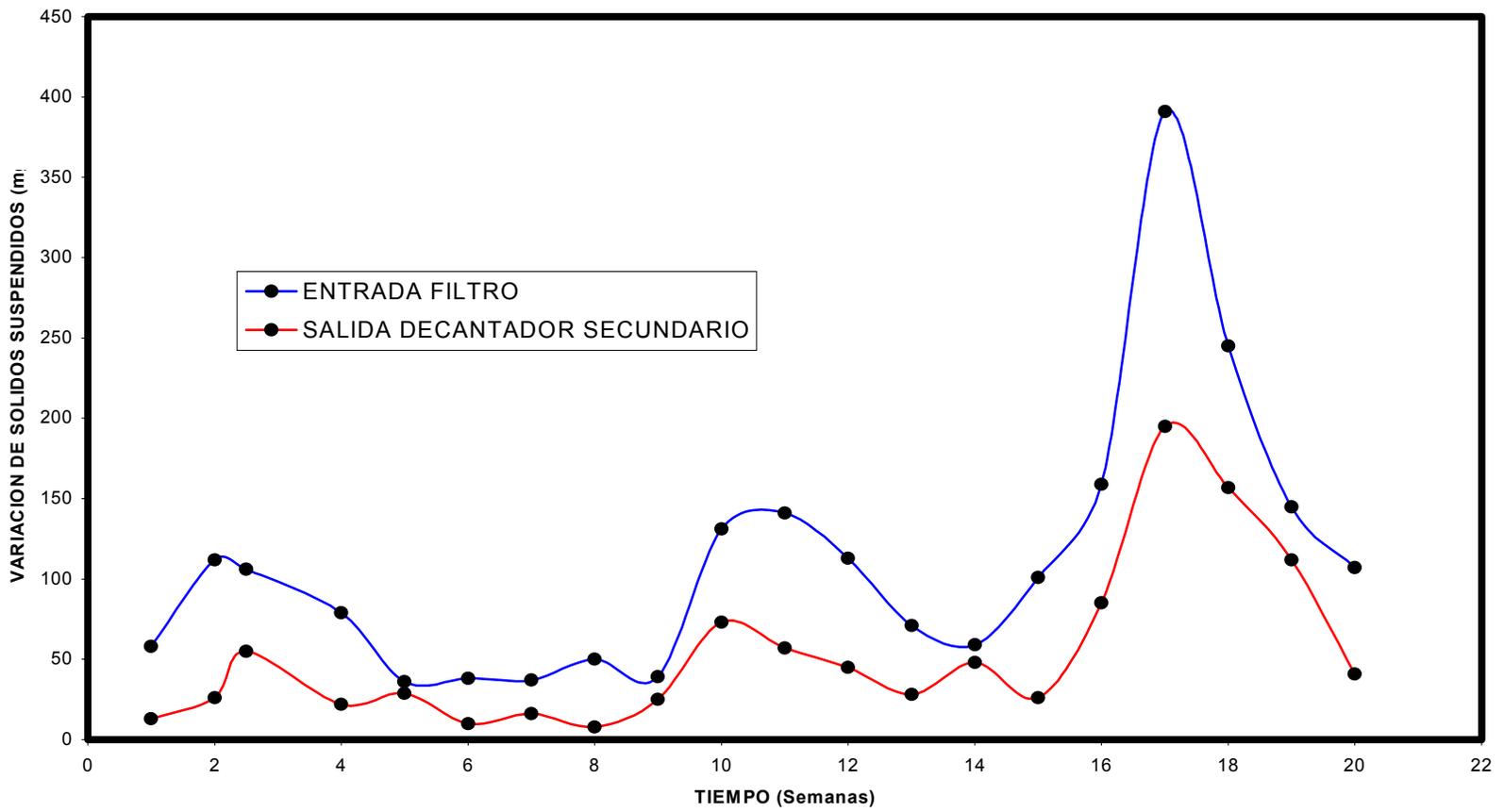


Figura 32. Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

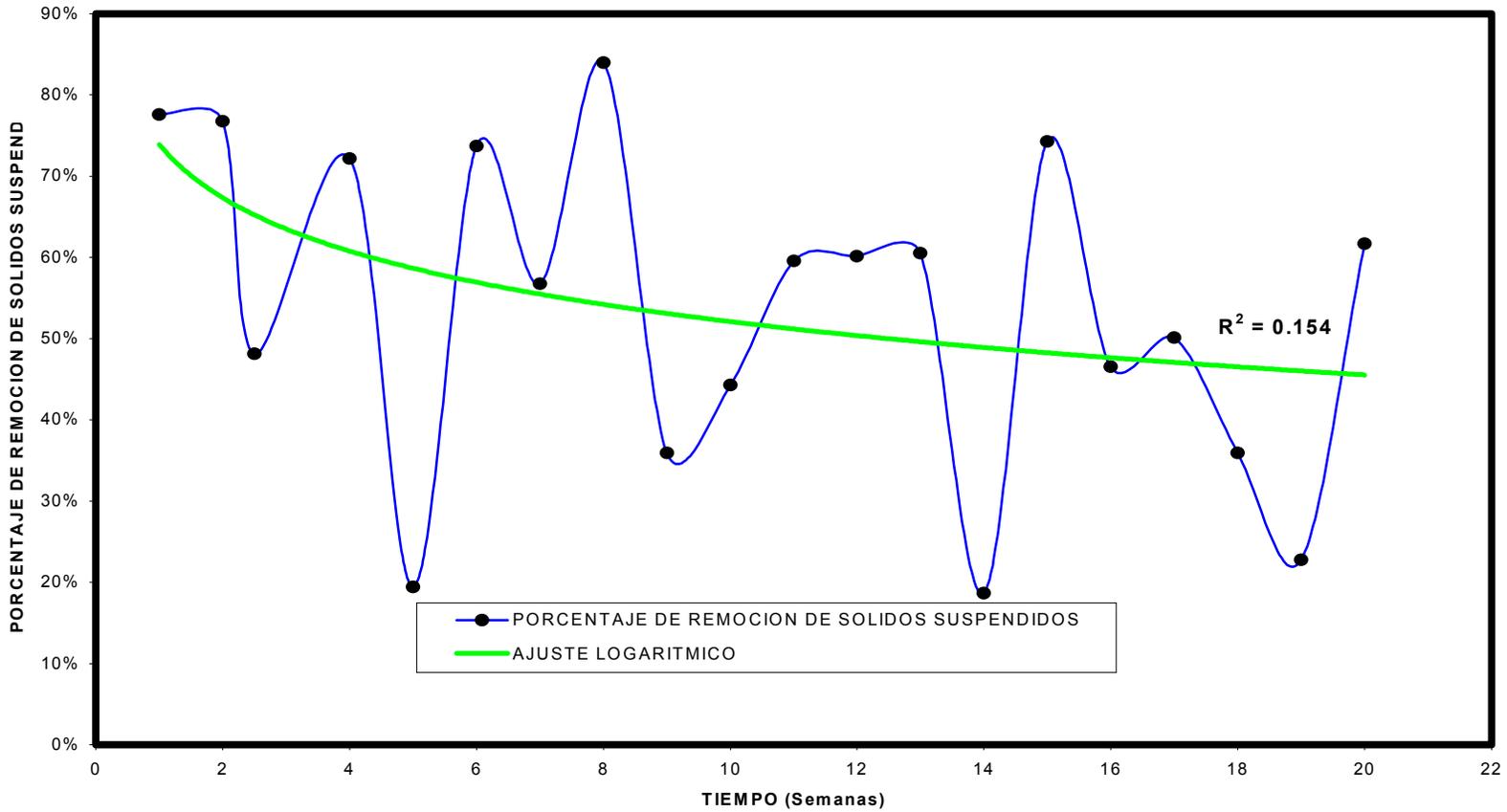


Figura 33. Variación de la Concentración de Cloro Residual a través de la línea Anaerobia – Fase IV

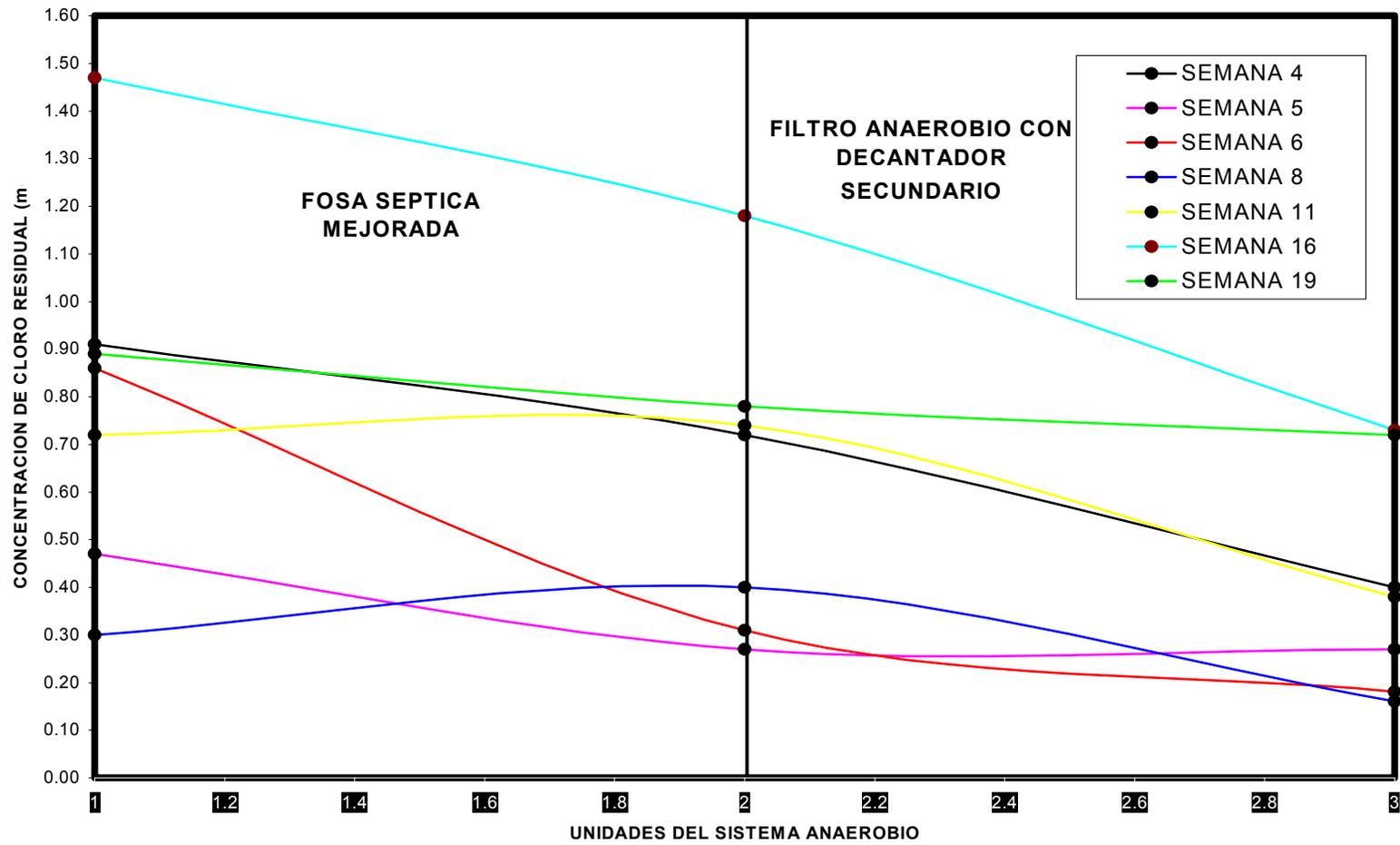


Figura 34. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Variación de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

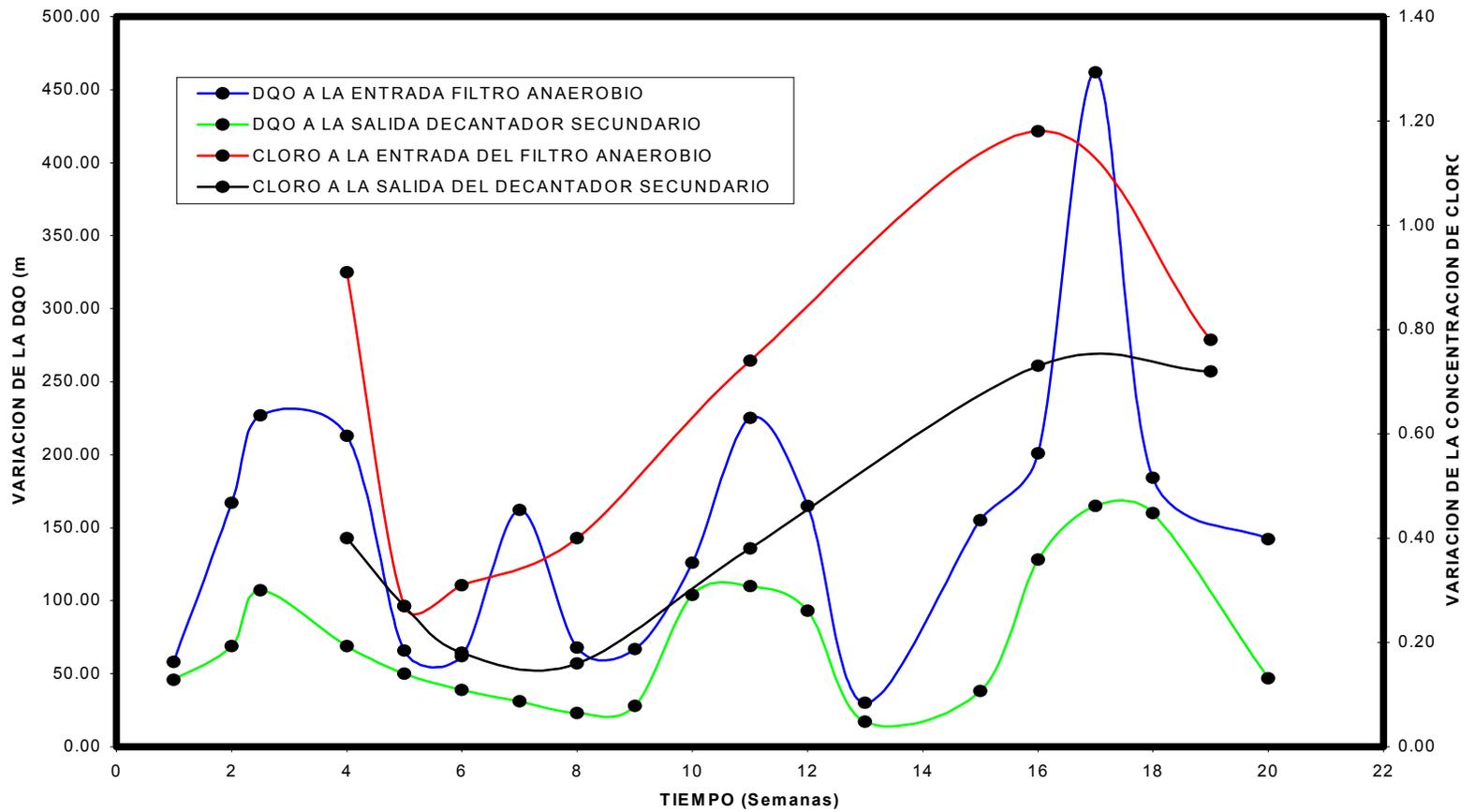


Figura 35. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Porcentaje de Remoción de DQO en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

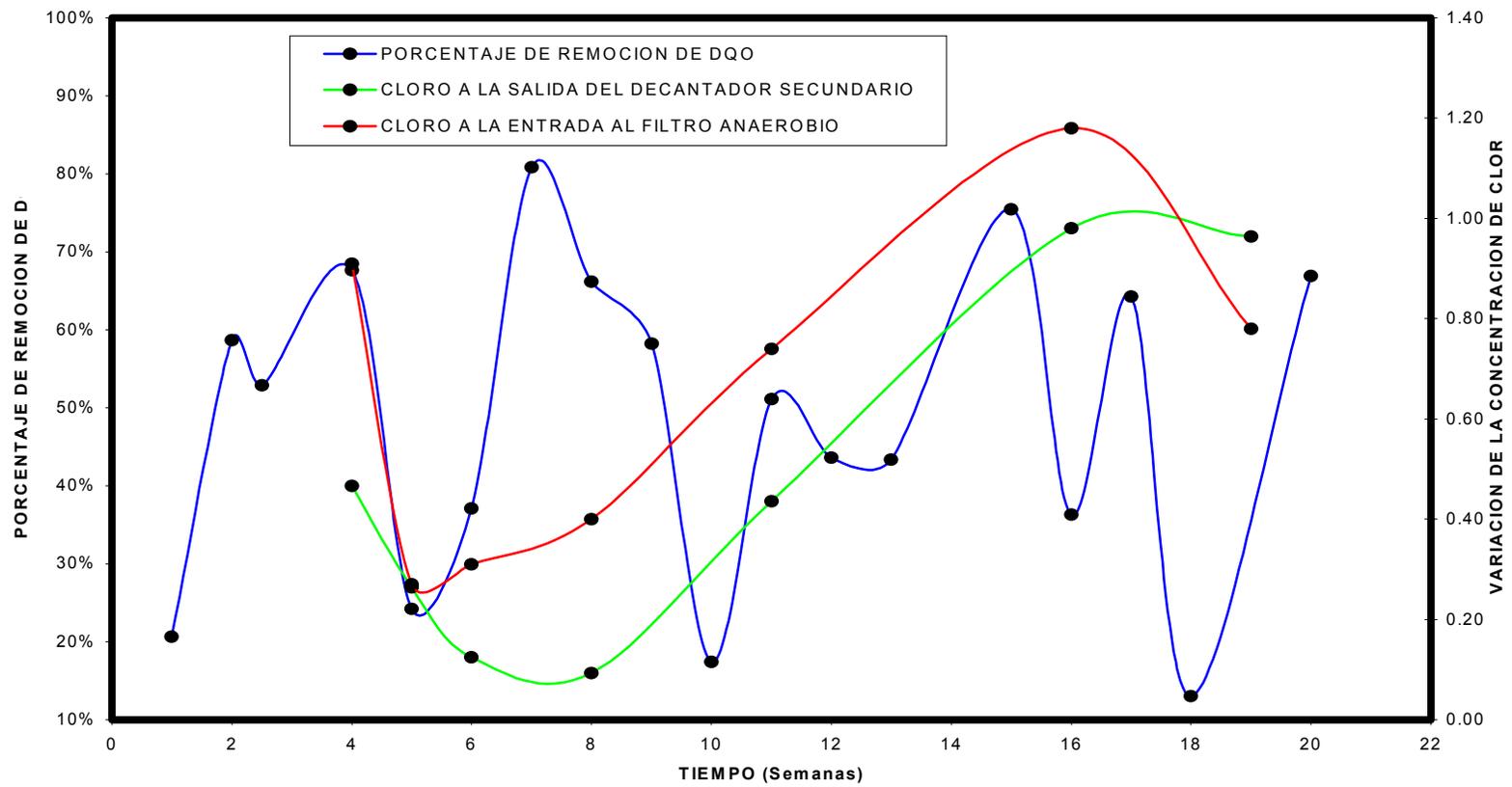


Figura 36. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Variación de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

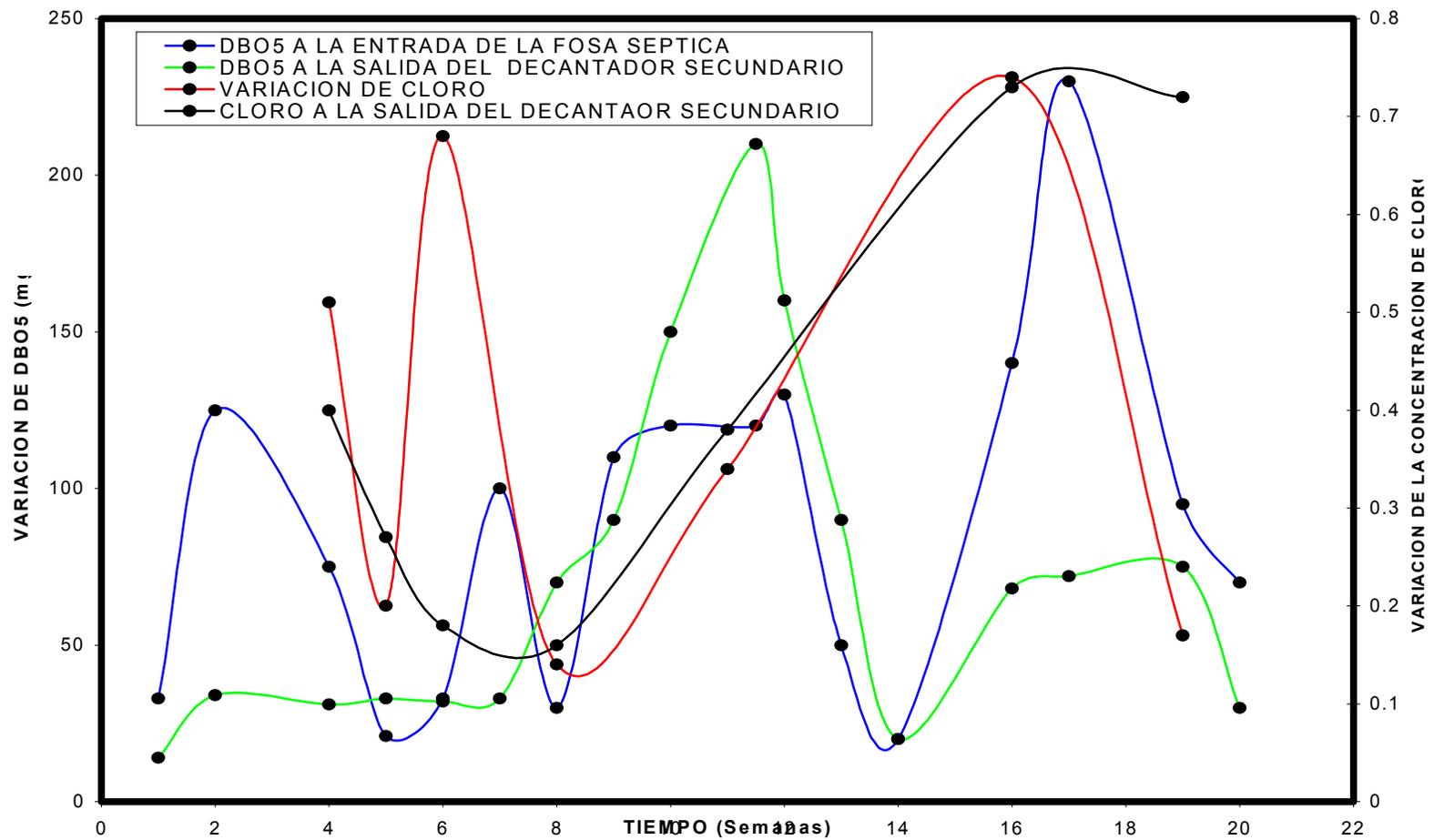


Figura 37. Variación de la Concentración de Cloro Vrs Porcentaje de Remoción de DBO5 en el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario – Fase IV

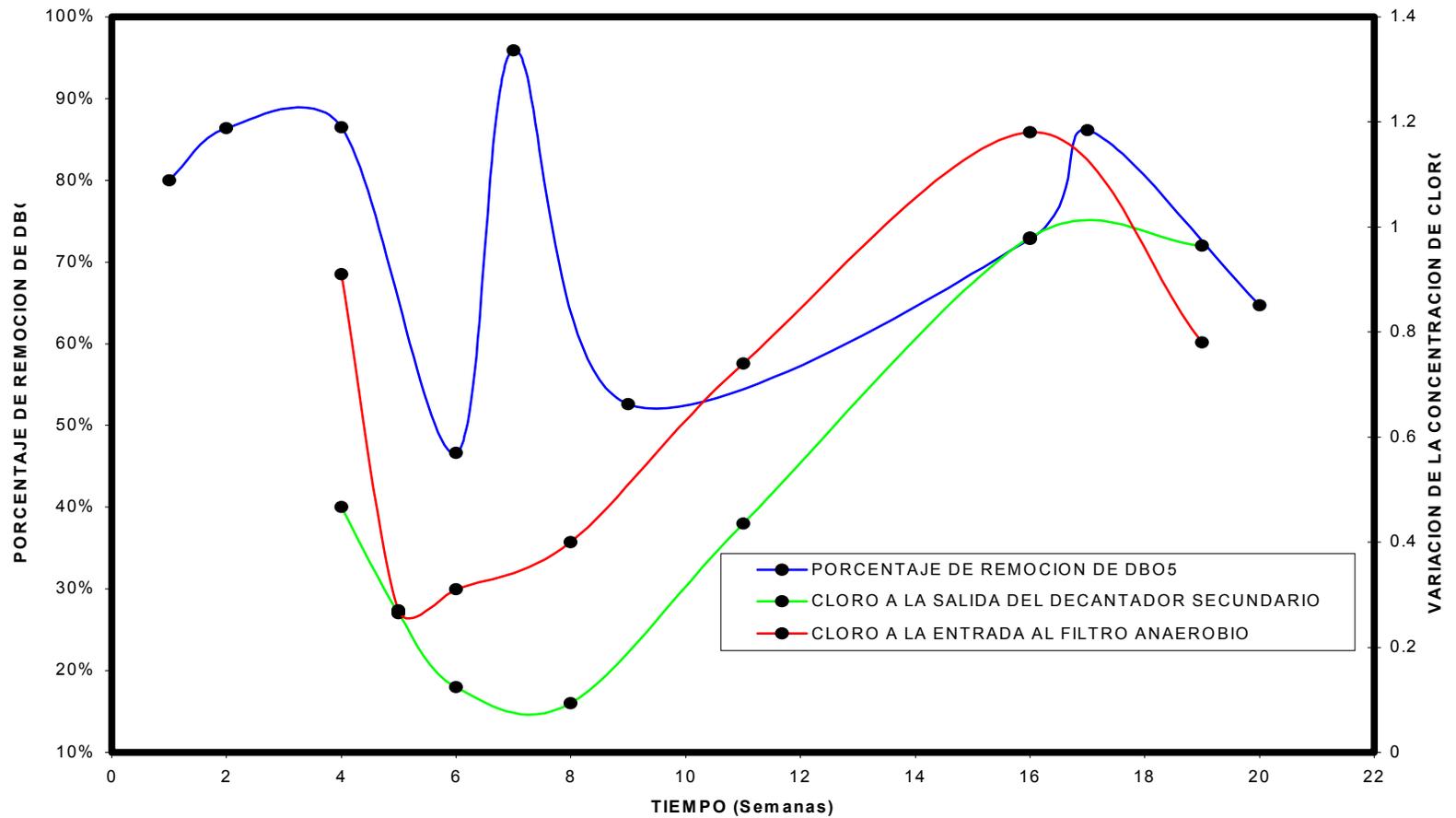


Figura 38. Variación de DQO Vrs Temperatura a la entrada del Filtro Anaerobio – Fases III y IV

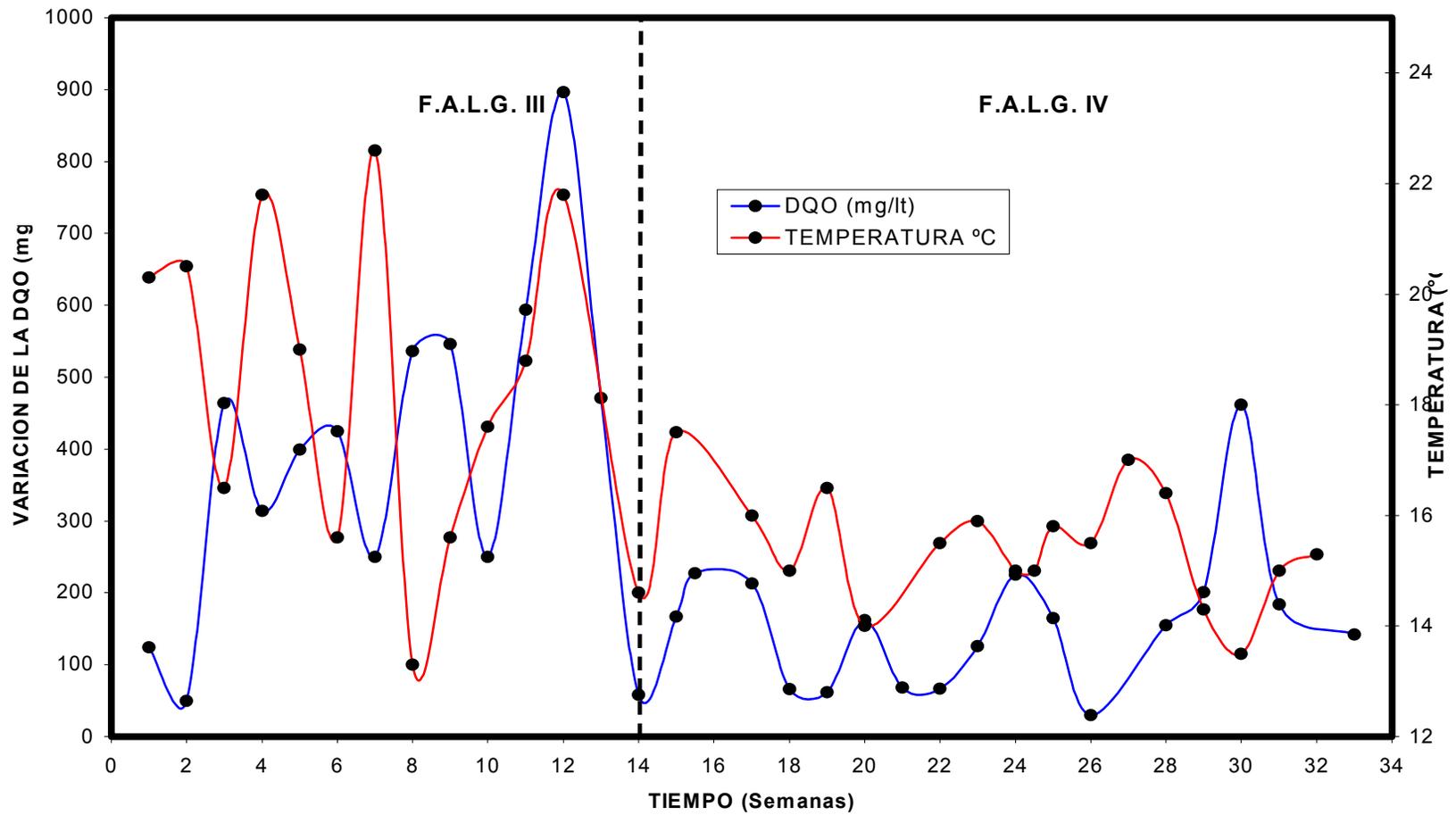


Figura 39. Variación de DQO Vrs Temperatura a la Salida del Decantador Secundario – Fases III y IV

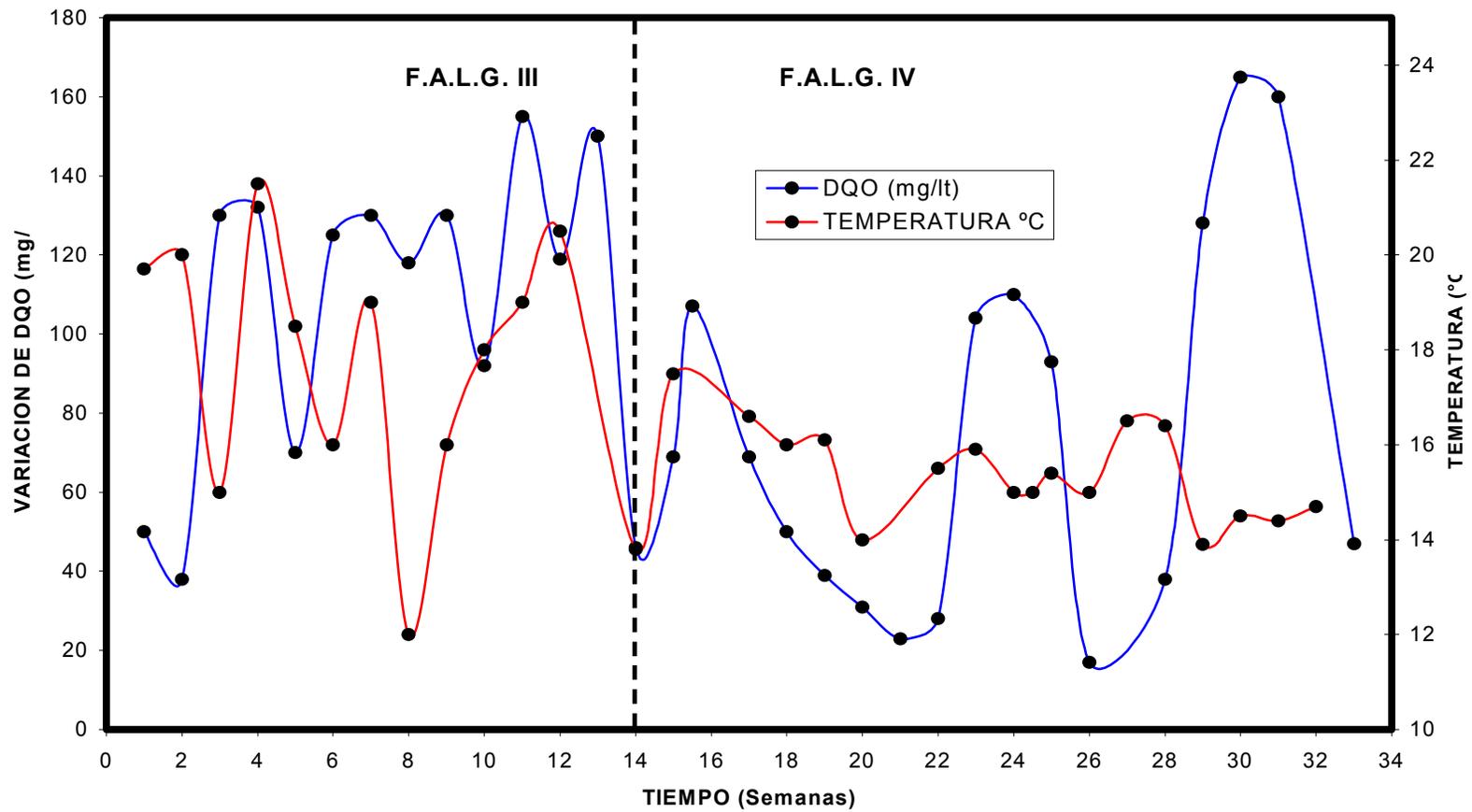


Figura 40. Variación de DBO5 Vrs Temperatura a la entrada del Filtro Anaerobio – Fases III y IV

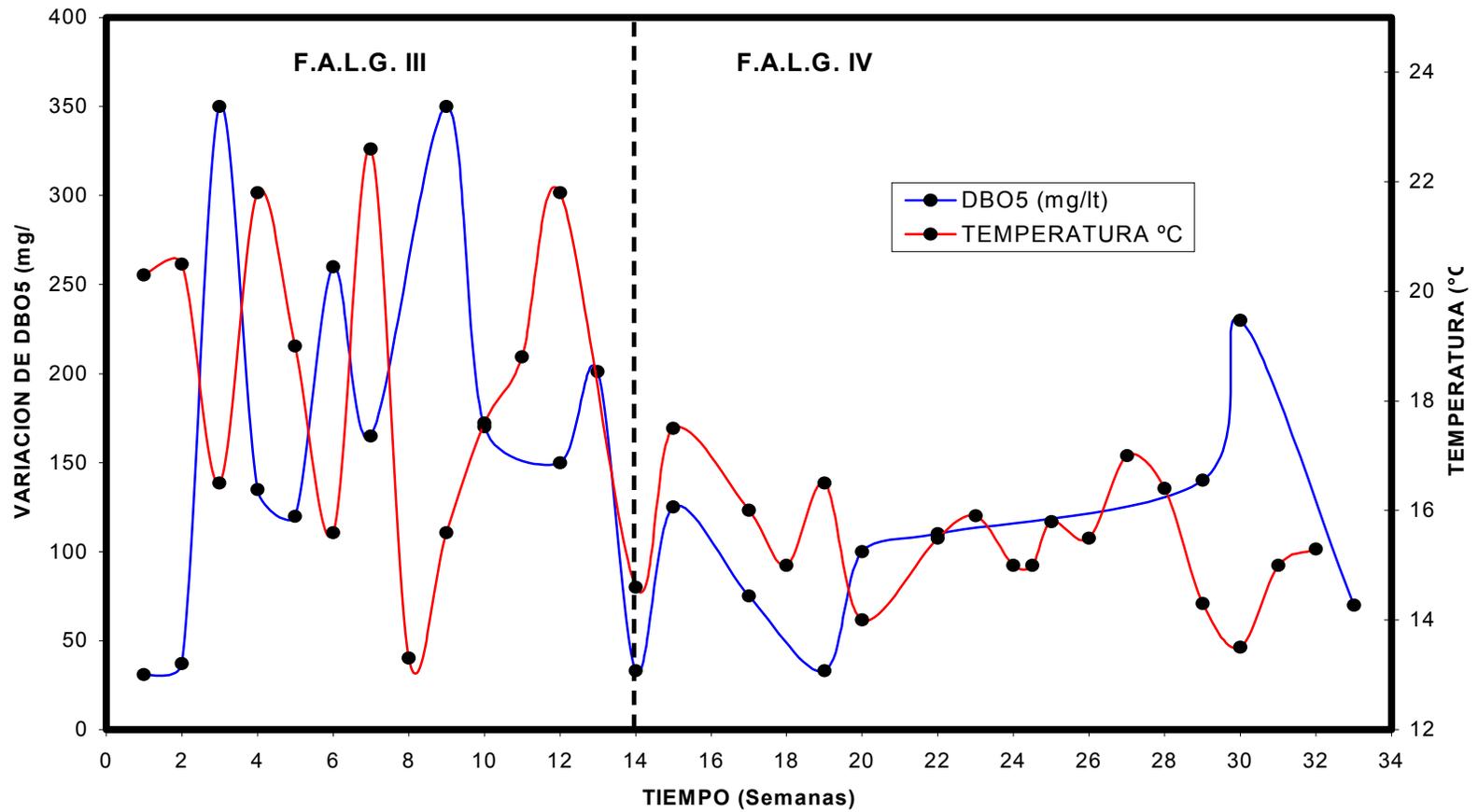
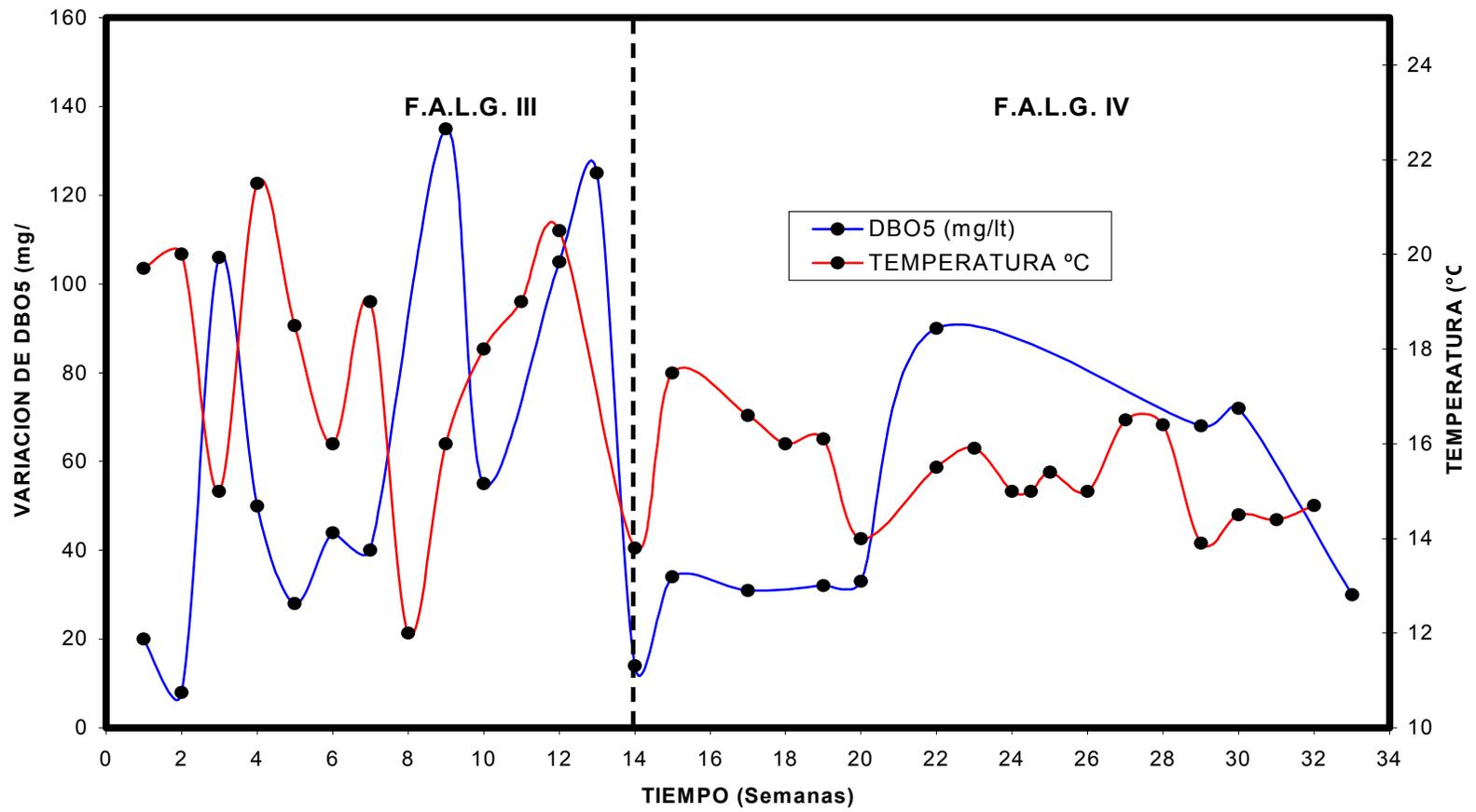


Figura 41. Variación de DBO5 Vrs Temperatura a la Salida del Decantador Secundario – Fases III y IV



3. CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES ESPECIFICAS FILTRO ANAEROBIO + DECANTADOR SECUNDARIO

Una vez terminada la fase IV y evaluado el sistema con la fase III, el Filtro Anaerobio + Decantador Secundario en conjunto presentan remociones de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos de 48.78%, 50.50% y 53.95% respectivamente en la fase IV, y de 62.22%, 61.72% y 57.59% respectivamente en la fase III, se nota claramente que hay una baja en la eficiencia de remoción de estos tres parámetros, la cual se ve afectada por múltiples factores como son: las bajas temperaturas estimadas en 15.43 °C a la entrada del Filtro Anaerobio y de 15.34°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 Anaerobios, 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.

Se nota que existe aumento de oxígeno disuelto en el sistema, pero al evaluar independientemente el Filtro Anaerobio y el Decantador Secundario, se observa que el incremento de oxígeno disuelto se localiza a la salida del Decantador Secundario y no en el Reactor Biológico.

La Alcalinidad del agua residual que se esta tratando mantiene el pH alto, del orden de 8.51 a la entrada del Filtro Anaerobio y de 8.27 a la salida del Decantador Secundario, ya que la Alcalinidad sirve como regulador del pH debido a la presencia de carbonatos que pueden reaccionar con el CO_2 , producto de la oxidación biológica de la materia orgánica formando así bicarbonatos.

La relación de DQO/DBO5, es igual a 0.66 a la entrada del Filtro Anaerobio, lo cual indica que de la carga orgánica que ingresa al Filtro Anaerobio tan solo el 34% lo constituye la materia orgánica biodegradable, esto conlleva a que se reduzcan las eficiencias de remoción del mismo.

3.2 CONCLUSIONES GENERALES DEL SISTEMA.

El sistema no es apto para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones de Temperatura y Carga Orgánica bajas, aunque los porcentajes de remoción de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos están próximos a los estipulados en el decreto 1594 de 1984, por lo que se debe tomar en cuenta que existen limitantes en este tipo de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Los porcentajes de remoción del Sistema Anaerobio con respecto a DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos están por el orden de 84.60%, 74.64% y 74.14% respectivamente en la fase IV, los cuales no están cumpliendo con el Decreto 1594 de 1984 de las Normas de Vertimiento de Aguas Residuales, cabe destacar que el sistema se encuentra trabajando al límite a pesar de todos los factores adversos que redujeron los porcentajes de remoción durante la fase IV de esta investigación.

Los mayores porcentajes de remoción de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos se realizan dentro de la Fosa Séptica Mejorada, lo cual reduce la carga orgánica que ingresa al Filtro Anaerobio, provocando que su funcionamiento no sea óptimo.

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, los cuales fueron limitantes al evaluar la línea Anaerobia, 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 88.94 % en DQO, 82.11 % en DBO5 y de 87.99 % en SS.

4. RECOMENDACIONES.

A pesar de que este tipo de sistemas presentan eficiencias en remoción aceptables, no cumplen con las Normas de Vertimiento de Aguas Residuales, por lo tanto no son recomendables bajo condiciones de temperaturas y cargas orgánicas bajas, por lo tanto se debe pensar en la implementación de alternativas que sean más eficientes bajo este tipo de condiciones, como es el caso de los sistemas de Filtros Aerobios.

Hacer una limpieza en las flautas del filtro anaerobio 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 Anaerobio, para evitar que haya inclusión de oxígeno al 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 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 de 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.

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

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

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.

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.

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

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

ANEXOS

Anexo 1. Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Fase IV

PARAMETRO: D.Q.O
 UNIDAD: mg/lt

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA FOSA+DEC	% REMOCION FOSA	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
1	314,00	58,00	46,00	12,00	268,00	81,53%	20,69%	85,35%
2	515,00	167,00	69,00	98,00	446,00	67,57%	58,68%	86,60%
	423,00	227,00	107,00	120,00	316,00	46,34%	52,86%	74,70%
4	603,00	213,00	69,00	144,00	534,00	64,68%	67,61%	88,56%
5	508,00	66,00	50,00	16,00	458,00	87,01%	24,24%	90,16%
6	247,00	62,00	39,00	23,00	208,00	74,90%	37,10%	84,21%
7	370,00	162,00	31,00	131,00	339,00	56,22%	80,86%	91,62%
8	508,00	68,00	23,00	45,00	485,00	86,61%	66,18%	95,47%
9	384,00	67,00	28,00	39,00	356,00	82,55%	58,21%	92,71%
10	597,00	126,00	104,00	22,00	493,00	78,89%	17,46%	82,58%
11	265,00	225,00	110,00	115,00	155,00	15,09%	51,11%	58,49%
12	580,00	165,00	93,00	72,00	487,00	71,55%	43,64%	83,97%
13	170,00	30,00	17,00	13,00	153,00	82,35%	43,33%	90,00%
15	1034,00	155,00	38,00	117,00	996,00	85,01%	75,48%	96,32%
16	607,00	201,00	128,00	73,00	479,00	66,89%	36,32%	78,91%
17	1497,00	462,00	165,00	297,00	1332,00	69,14%	64,29%	88,98%
18	679,00	184,00	160,00	24,00	519,00	72,90%	13,04%	76,44%
20	211	142	47	95,00	164,00	32,70%	66,90%	77,73%
Valor Máximo	1497,00	462,00	165,00	297,00	1332,00	87,01%	80,86%	96,32%
Valor Mínimo	170,00	30,00	17,00	12,00	153,00	15,09%	13,04%	58,49%
Media	528,44	154,44	73,56	80,89	454,89	67,89%	48,78%	84,60%
Desviación Estandar	317,84	99,67	46,47	70,50	295,12	19,50%	20,54%	9,08%

Anexo 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - Fase IV

PARAMETRO: D.B.O.5

UNIDAD: mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA FOSA+DEC	% REMOCION FOSA	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
1	70,00	33,00	14,00	19,00	56,00	52,86%	57,58%	80,00%
2	250,00	125,00	34,00	91,00	216,00	50,00%	72,80%	86,40%
4	230,00	75,00	31,00	44,00	199,00	67,39%	58,67%	86,52%
6	60,00	33,00	32,00	1,00	28,00	45,00%	3,03%	46,67%
7	800,00	100,00	33,00	67,00	767,00	87,50%	67,00%	95,88%
9	190,00	110,00	90,00	20,00	100,00	42,11%	18,18%	52,63%
16	250,00	140,00	68,00	72,00	182,00	44,00%	51,43%	72,80%
17	520,00	230,00	72,00	158,00	448,00	55,77%	68,70%	86,15%
20	85,00	70,00	30,00	40,00	55,00	17,65%	57,14%	64,71%
Valor Máximo	800,00	230,00	90,00	158,00	767,00	87,50%	72,80%	95,88%
Valor Mínimo	60,00	33,00	14,00	1,00	28,00	17,65%	3,03%	46,67%
Media	272,78	101,78	44,89	56,89	227,89	51,36%	50,50%	74,64%
Desviación Estandar	242,50	60,93	25,25	47,55	239,25	19,05%	23,88%	16,81%

Anexo 3. Sólidos Suspendidos (SS) - Fase IV

PARAMETRO: Sólidos Suspendidos

UNIDAD: mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA FOSA+DEC	% REMOCION FOSA	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
1	184,00	58,00	13,00	45,00	171,00	68,48%	77,59%	92,93%
2	194,00	112,00	26,00	86,00	168,00	42,27%	76,79%	86,60%
	169,00	106,00	55,00	51,00	114,00	37,28%	48,11%	67,46%
4	233,00	79,00	22,00	57,00	211,00	66,09%	72,15%	90,56%
5	40,00	36,00	29,00	7,00	11,00	10,00%	19,44%	27,50%
6	90,00	38,00	10,00	28,00	80,00	57,78%	73,68%	88,89%
7	123,00	37,00	16,00	21,00	107,00	69,92%	56,76%	86,99%
8	426,00	50,00	8,00	42,00	418,00	88,26%	84,00%	98,12%
9	137,00	39,00	25,00	14,00	112,00	71,53%	35,90%	81,75%
10	386,00	131,00	73,00	58,00	313,00	66,06%	44,27%	81,09%
11	144,00	141,00	57,00	84,00	87,00	2,08%	59,57%	60,42%
12	129,00	113,00	45,00	68,00	84,00	12,40%	60,18%	65,12%
13	99,00	71,00	28,00	43,00	71,00	28,28%	60,56%	71,72%
14	111,00	59,00	48,00	11,00	63,00	46,85%	18,64%	56,76%
15	507,00	101,00	26,00	75,00	481,00	80,08%	74,26%	94,87%
16	368,00	159,00	85,00	74,00	283,00	56,79%	46,54%	76,90%
17	1014,00	391,00	195,00	196,00	819,00	61,44%	50,13%	80,77%
18	363,00	245,00	157,00	88,00	206,00	32,51%	35,92%	56,75%
19	187,00	145,00	112,00	33,00	75,00	22,46%	22,76%	40,11%
20	183,00	107,00	41,00	66,00	142,00	41,53%	61,68%	77,60%

Valor Máximo	1014,00	391,00	195,00	196,00	819,00	88,26%	84,00%	98,12%
Valor Mínimo	40,00	36,00	8,00	7,00	11,00	2,08%	18,64%	27,50%
Media	254,35	110,90	53,55	57,35	200,80	48,10%	53,95%	74,14%
Desviación Estandar	219,44	84,21	49,94	41,32	189,99	24,50%	19,94%	18,63%

Anexo 4. Alcalinidad - Fase IV

PARAMETRO: Alcalinidad
 UNIDAD: mg/lit CaCo₃

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	135,20	101,20	72,00	34,00	29,20	63,20
2	257,60	103,60	76,40	154,00	27,20	181,20
	79,20	56,80	64,80	22,40	-8,00	14,40
4	172,80	132,40	82,00	40,40	50,40	90,80
5	21,60	32,80	55,20	-11,20	-22,40	-33,60
6	49,60	64,00	62,00	-14,40	2,00	-12,40
7	41,60	26,80	34,80	14,80	-8,00	6,80
8	69,20	63,60	34,80	5,60	28,80	34,40
9	35,60	33,60	31,60	2,00	2,00	4,00
10	148,00	80,80	76,40	67,20	4,40	71,60
11	58,00	85,20	56,80	-27,20	28,40	1,20
	54,40	44,00	43,60	10,40	0,40	10,80
12	82,40	50,00	38,00	32,40	12,00	44,40
13	56,40	45,60	43,60	10,80	2,00	12,80
14	57,60	60,40	64,80	-2,80	-4,40	-7,20
15	92,80	119,20	101,60	-26,40	17,60	-8,80
16	100,40	59,20	52,80	41,20	6,40	47,60
17	153,20	114,80	50,40	38,40	64,40	102,80
18	79,20	73,60	45,60	5,60	28,00	33,60
19	85,60	88,40	73,20	-2,80	15,20	12,40
20	77,60	72,40	68,80	5,20	3,60	8,80

Valor Máximo	257,60	132,40	101,60	154,00	64,40	181,20
Valor Mínimo	21,60	26,80	31,60	-27,20	-22,40	-33,60
Media	90,86	71,83	58,53	19,03	13,30	32,32
Desviación Estandar	55,42	29,80	18,22	39,03	20,50	48,77

Anexo 5. Oxígeno Disuelto (OD) - Fase IV

PARAMETRO: Oxígeno disuelto
 UNIDAD: mg/lt

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	0,50	0,10	0,70	0,40	-0,60	-0,20
4	0,10	0,10	0,71	0,00	-0,61	-0,61
10	0,50	0,44	0,34	0,06	0,10	0,16
12	0,29	0,08	0,71	0,21	-0,63	-0,42
16	0,64	0,65	1,16	-0,01	-0,51	-0,52
18	1,34	1,11	1,04	0,23	0,07	0,30
19	1,94	0,94	1,63	1,00	-0,69	0,31

Valor Máximo	1,94	1,11	1,63	1,00	0,10	0,31
Valor Mínimo	0,10	0,08	0,34	-0,01	-0,69	-0,61
Media	0,76	0,49	0,90	0,27	-0,41	-0,14
Desviación Estandar	0,65	0,43	0,42	0,35	0,34	0,39

Anexo 6. Potencial de Hidrógeno (PH) - Fase IV

PARAMETRO: P.h.
 UNIDAD: Medición directa

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	9,13	8,68	8,28	0,45	0,4	0,85
2	9,1	8,54	8,05	0,56	0,49	1,05
	7,91	8,65	8,3	-0,74	0,35	-0,39
4	8,62	8,38	8,22	0,24	0,16	0,4
5	7,72	8,09	7,87	-0,37	0,22	-0,15
6	8,11	8,06	7,81	0,05	0,25	0,3
7	8,55	8,1	7,86	0,45	0,24	0,69
8	8,29	8,04	7,93	0,25	0,11	0,36
9	8,33	8,34	8,02	-0,01	0,32	0,31
10	9,02	8,68	8,42	0,34	0,26	0,6
11	8,72	8,6	8,48	0,12	0,12	0,24
	8,62	8,56	8,43	0,06	0,13	0,19
12	9,36	8,77	8,6	0,59	0,17	0,76
13	8,57	8,72	8,4	-0,15	0,32	0,17
14	7,91	8,43	8,52	-0,52	-0,09	-0,61
15	9,16	8,63	8,15	0,53	0,48	1,01
16	8,91	8,57	8,24	0,34	0,33	0,67
17	9,45	8,95	8,53	0,5	0,42	0,92
18	9,32	9,14	8,89	0,18	0,25	0,43
19	7,83	8,27	8,44	-0,44	-0,17	-0,61
20	8,36	8,61	8,27	-0,25	0,34	0,09
Valor Máximo	9,45	9,14	8,89	0,59	0,49	1,05
Valor Mínimo	7,72	8,04	7,81	-0,74	-0,17	-0,61
Media	8,62	8,51	8,27	0,10	0,24	0,35
Desviación Estandar	0,54	0,29	0,28	0,39	0,17	0,49

Anexo 7. Temperatura - Fase IV

PARAMETRO: Temperatura

UNIDAD: °C

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	15,40	14,60	13,80	0,80	0,80	1,60
2	17,60	17,50	17,50	0,10	0,00	0,10
4	15,80	16,00	16,60	-0,20	-0,60	-0,80
5	18,00	15,00	16,00	3,00	-1,00	2,00
6	18,00	16,50	16,10	1,50	0,40	1,90
7	15,00	14,00	14,00	1,00	0,00	1,00
9	16,00	15,50	15,50	0,50	0,00	0,50
10	16,80	15,90	15,90	0,90	0,00	0,90
11	17,00	15,00	15,00	2,00	0,00	2,00
	17,00	15,00	15,00	2,00	0,00	2,00
12	17,00	15,80	15,40	1,20	0,40	1,60
13	15,00	15,50	15,00	-0,50	0,50	0,00
14	17,00	17,00	16,50	0,00	0,50	0,50
15	16,90	16,40	16,40	0,50	0,00	0,50
16	16,00	14,30	13,90	1,70	0,40	2,10
17	13,50	13,50	14,50	0,00	-1,00	-1,00
18	15,10	15,00	14,40	0,10	0,60	0,70
19	15,90	15,30	14,70	0,60	0,60	1,20

Valor Máximo	18,00	17,50	17,50	3,00	0,80	2,10
Valor Mínimo	13,50	13,50	13,80	-0,50	-1,00	-1,00
Media	16,28	15,43	15,34	0,84	0,09	0,93
Desviación Estandar	1,19	1,03	1,05	0,92	0,52	0,96

Anexo 8. Cloro Residual - Fase IV

PARAMETRO: Cloro Residual
 UNIDAD: mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
4	0,91	0,91	0,40	0,00	0,51	0,51
5	0,47	0,27	0,27	0,20	0,00	0,20
6	0,86	0,31	0,18	0,55	0,13	0,68
8	0,30	0,40	0,16	-0,10	0,24	0,14
11	0,72	0,74	0,38	-0,02	0,36	0,34
16	1,47	1,18	0,73	0,29	0,45	0,74
19	0,89	0,78	0,72	0,11	0,06	0,17

Valor Máximo	1,47	1,18	0,73	0,55	0,51	0,74
Valor Mínimo	0,30	0,27	0,16	-0,10	0,00	0,14
Media	0,80	0,66	0,41	0,15	0,25	0,40
Desviación Estandar	0,37	0,34	0,24	0,22	0,20	0,25

Anexo 9. Nitratos - Fase IV

PARAMETRO: Nitratos
 UNIDAD: NO₂-N mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	14,50	4,70	4,00	9,80	0,70	10,50
2	33,00	26,20	5,10	6,80	21,10	27,90
	25,10	20,10	11,80	5,00	8,30	13,30
4	33,00	15,80	2,70	17,20	13,10	30,30
5	6,40	6,60	6,40	-0,20	0,20	0,00
6	15,10	3,90	3,20	11,20	0,70	11,90
7	24,00	7,10	4,50	16,90	2,60	19,50
8	33,00	6,60	2,80	26,40	3,80	30,20
9	31,60	7,60	5,40	24,00	2,20	26,20
10	33,00	16,50	10,00	16,50	6,50	23,00
11	27,30	13,80	8,10	13,50	5,70	19,20
	20,60	30,80	10,50	-10,20	20,30	10,10
12	28,80	29,50	11,90	-0,70	17,60	16,90
13	5,50	11,40	5,80	-5,90	5,60	-0,30
14	5,40	8,30	8,90	-2,90	-0,60	-3,50
15	33,00	23,80	9,70	9,20	14,10	23,30
16	33,00	31,60	13,60	1,40	18,00	19,40
17	33,00	33,00	33,00	0,00	0,00	0,00
18	33,00	33,00	33,00	0,00	0,00	0,00
19	18,20	26,20	22,00	-8,00	4,20	-3,80
20	9,10	16,10	7,90	-7,00	8,20	1,20
Valor Máximo	33,00	33,00	33,00	26,40	21,10	30,30
Valor Mínimo	5,40	3,90	2,70	-10,20	-0,60	-3,80
Media	23,60	17,74	10,49	5,86	7,25	13,11
Desviación Estandar	10,42	10,32	8,72	10,56	7,23	11,68

Anexo 10. Nitritos - Fase IV

PARAMETRO: Nitritos
UNIDAD: NO₃-N mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DECI	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	0,139	0,035	0,030	0,104	0,005	0,109
2	0,270	0,115	0,039	0,155	0,076	0,231
	0,192	0,092	0,059	0,100	0,033	0,133
4	0,201	0,085	0,020	0,116	0,065	0,181
5	0,078	0,039	0,049	0,039	-0,010	0,029
6	0,139	0,037	0,017	0,102	0,020	0,122
7	0,151	0,057	0,030	0,094	0,027	0,121
8	0,215	0,045	0,018	0,170	0,027	0,197
9	0,161	0,041	0,049	0,120	-0,008	0,112
10	0,385	0,081	0,051	0,304	0,030	0,334
11	0,162	0,127	0,069	0,035	0,058	0,093
	0,189	0,125	0,054	0,064	0,071	0,135
12	0,134	0,114	0,072	0,020	0,042	0,062
13	0,051	0,065	0,037	-0,014	0,028	0,014
14	0,086	0,150	0,072	-0,064	0,078	0,014
15	0,344	0,097	0,033	0,247	0,064	0,311
16	0,243	0,138	0,081	0,105	0,057	0,162
17	0,336	0,214	0,180	0,122	0,034	0,156
18	0,305	0,207	0,168	0,098	0,039	0,137
19	0,150	0,133	0,104	0,017	0,029	0,046
20	0,081	0,086	0,044	-0,005	0,042	0,037

Valor Máximo	0,385	0,214	0,180	0,304	0,078	0,334
Valor Mínimo	0,051	0,035	0,017	-0,064	-0,010	0,014
Media	0,191	0,099	0,061	0,092	0,038	0,130
Desviación Estandar	0,093	0,052	0,044	0,085	0,025	0,088

Anexo 11. Dureza - Fase IV

PARAMETRO: Dureza
UNIDAD: mg/lit CaCo3

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
1	68,40	84,80	72,40	-16,40	12,40	-4,00
2	97,60	100,80	104,00	-3,20	-3,20	-6,40
	115,60	87,20	98,80	28,40	-11,60	16,80
4	93,60	100,40	106,40	-6,80	-6,00	-12,80
5	74,40	86,80	82,40	-12,40	4,40	-8,00
6	74,40	76,40	79,60	-2,00	-3,20	-5,20
7	66,00	71,20	70,80	-5,20	0,40	-4,80
8	101,60	76,00	76,80	25,60	-0,80	24,80
9	56,00	62,80	64,00	-6,80	-0,80	24,80
10	145,20	88,00	89,20	57,20	-1,20	-8,00
11	62,00	95,20	116,00	-33,20	-1,20	56,00
	75,20	97,20	109,20	-22,00	-20,80	-54,00
12	78,00	104,80	132,00	-26,80	-12,00	-34,00
13	78,80	78,00	77,60	0,80	-27,20	-54,00
14	64,40	65,20	69,60	-0,80	0,40	1,20
15	106,00	84,40	79,60	21,60	-4,40	-5,20
16	59,60	86,40	114,00	-26,80	4,80	26,40
17	93,20	88,80	98,00	4,40	-27,60	-54,40
18	77,60	90,80	101,60	-13,20	-9,20	-4,80
19	88,40	89,60	104,00	-1,20	-10,80	-24,00
20	84,00	67,60	82,80	16,40	-14,40	-15,60

Valor Máximo	145,20	104,80	132,00	57,20	12,40	56,00
Valor Mínimo	56,00	62,80	64,00	-33,20	-27,60	-54,40
Media	83,81	84,88	91,85	-1,07	-6,29	-6,91
Desviación Estandar	21,33	11,84	18,27	21,47	10,17	27,89

Anexo 12. Sólidos Totales - Fase IV

PARAMETRO: Sólidos Totales
 UNIDAD: mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA FOSA+DEC	% REMOCION FOSA	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
2	752	485,00	468,00	17,00	284,00	35,51%	3,51%	37,77%
	514	429,00	378,00	51,00	136,00	16,54%	11,89%	26,46%
4	653	440,00	358,00	82,00	295,00	32,62%	18,64%	45,18%
6	309	277,00	250,00	27,00	59,00	10,36%	9,75%	19,09%
7	267	257,00	251,00	6,00	16,00	3,75%	2,33%	5,99%
8	580	290,00	240,00	50,00	340,00	50,00%	17,24%	58,62%
10	662,00	424,00	404,00	20,00	258,00	35,95%	4,72%	38,97%
11	546,00	463,00	408,00	55,00	138,00	15,20%	11,88%	25,27%
12	831,00	553,00	485,00	68,00	346,00	33,45%	12,30%	41,64%
14	252,00	242,00	236,00	6,00	16,00	3,97%	2,48%	6,35%
15	832,00	340,00	310,00	30,00	522,00	59,13%	8,82%	62,74%
16	832,00	527,00	437,00	90,00	395,00	36,66%	17,08%	47,48%
17	1015,00	741,00	661,00	80,00	354,00	27,00%	10,80%	34,88%
18	1015,00	741,00	661,00	80,00	354,00	27,00%	10,80%	34,88%
19	632,00	484,00	334,00	150,00	298,00	23,42%	30,99%	47,15%
20	557,00	549,00	309,00	240,00	248,00	1,44%	43,72%	44,52%
Valor Máximo	1015,00	741,00	661,00	240,00	522,00	59,13%	43,72%	62,74%
Valor Mínimo	252,00	242,00	236,00	6,00	16,00	1,44%	2,33%	5,99%
Media	640,56	452,63	386,88	65,75	253,69	25,75%	13,56%	36,06%
Desviación Estandar	236,52	152,21	133,41	59,83	143,95	16,57%	10,81%	16,24%

Anexo 13. Sólidos Volátiles - Fase IV

PARAMETRO: Sólidos Volátiles
 UNIDAD: mg/lit

SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA FOSA+DEC	% REMOCION FOSA	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
2	310,00	191,00	187,00	4,00	123,00	38,39%	2,09%	39,68%
	316,00	263,00	168,00	95,00	148,00	16,77%	36,12%	46,84%
4	359,00	259,00	146,00	113,00	213,00	27,86%	43,63%	59,33%
6	137,00	111,00	76,00	35,00	61,00	18,98%	31,53%	44,53%
7	89,00	75,00	54,00	21,00	35,00	15,73%	28,00%	39,33%
8	323,00	114,00	98,00	16,00	225,00	64,71%	14,04%	69,66%
11	238,00	146,00	124,00	22,00	114,00	38,66%	15,07%	47,90%
12	263,00	222,00	201,00	21,00	62,00	15,59%	9,46%	23,57%
14	131,00	88,00	80,00	8,00	51,00	32,82%	9,09%	38,93%
15	245,00	145,00	116,00	29,00	129,00	40,82%	20,00%	52,65%
16	388,00	233,00	169,00	64,00	219,00	39,95%	27,47%	56,44%
17	500,00	296,00	177,00	119,00	323,00	40,80%	40,20%	64,60%
18	495,00	296,00	177,00	119,00	318,00	40,20%	40,20%	64,24%
19	445,00	212,00	184,00	28,00	261,00	52,36%	13,21%	58,65%
20	322,00	294,00	168,00	126,00	154,00	8,70%	42,86%	47,83%
Valor Máximo	500,00	296,00	201,00	126,00	323,00	64,71%	43,63%	69,66%
Valor Mínimo	89,00	75,00	54,00	4,00	35,00	8,70%	2,09%	23,57%
Media	304,07	196,33	141,67	54,67	162,40	32,82%	24,86%	50,28%
Desviación Estandar	125,15	78,26	46,82	46,15	94,00	15,45%	13,92%	12,25%

Anexo 14. Coliformes Totales - Fase IV

PARAMETRO: Coliformes

UNIDAD: UFC Coliformes Totales/100ml

SEMANA	COLIFORMES TOTALES
1	1*1000 Spreader
2	1*1000 Spreader
4	86000,00
5	1*1000 Spreader
6	1172,00
7	402,00
8	280,00
9	460000,00
10	240000,00
11	4200,00
12	1200,00
14	14000,00
15	3120,00
16	1120,00
17	4800
18	4800
19	1600
20	7800

Valor Máximo	1*1000 Spreader
Valor Mínimo	280,00

Anexo 15. Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Fases II Y III

PARAMETRO: D.Q.O

UNIDAD: mg/lt

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	% REMOCION FOSA	% REMOCION FOSA+FIL	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
FASE II	1	145	77	138		46.90%	4.83%		4.83%
	2	182	154	82		15.38%	54.95%		54.95%
	3	208	97	67		53.37%	67.79%		67.79%
	5	109	75	34		31.19%	68.81%		68.81%
	9	167	163	138		2.40%	17.37%		17.37%
	10	643	225	71		65.01%	88.96%		88.96%
	12	802	134	57		83.29%	92.89%		92.89%
	13	350	200	80		42.86%	77.14%		77.14%
	14	220	130	50		40.91%	77.27%		77.27%
15	404	122	102		69.80%	74.75%		74.75%	
16	200	164	85		18.00%	57.50%		57.50%	
FASE III	22	1062	607	165		42.84%	84.46%		84.46%
	23	685	240	112		64.96%	83.65%		83.65%
	24	821	469	249		42.87%	69.67%		69.67%
	25	522	250	99		52.11%	81.03%		81.03%
	26	208	97	47		53.37%	77.40%		77.40%
	28	63	44	48		30.16%	23.81%		23.81%
	29	312	124	56	50	60.26%	82.05%	59.68%	83.97%
	30	73	50	45	38	31.51%	38.36%	24.00%	47.95%
	31	812	464	165	130	42.86%	79.68%	71.98%	83.99%
	32	897	314	160	132	64.99%	82.16%	57.96%	85.28%
	33	698	399	90	70	42.84%	87.11%	82.46%	89.97%
	34	745	425	160	125	42.95%	78.52%	70.59%	83.22%
	35	1037	250	165	130	75.89%	84.09%	48.00%	87.46%
	36	820	536	148	118	34.63%	81.95%	77.99%	85.61%
	37	1160	546	165	130	52.93%	85.78%	76.19%	88.79%
38	440	250	123	92	43.18%	72.05%	63.20%	79.09%	
39	804	594	165	155	26.12%	79.48%	73.91%	80.72%	
40	1302	896	167	119	31.18%	87.17%	86.72%	90.86%	
41	597	471	153	150	21.11%	74.37%	68.15%	74.87%	
Media Fase II		311.82	140.09	82.18		42.65%	62.02%		62.02%
Media Fase III Sin Decantador		687.26	369.79	130.63	110.69	45.09%	75.41%	66.22%	77.99%
Media Fase III Con Decantador		745.92	409.15	135.54	110.69	43.88%	77.90%	66.22%	81.68%

Anexo 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - Fases II Y III

PARAMETRO: D.B.O.5
 UNIDAD: mg/lt

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	% REMOCION FOSA	% REMOCION FOSA+FIL	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
FASE II	1	54	28	2		48.15%	96.30%		96.30%
	3	100	80	60		20.00%	40.00%		40.00%
	4	400	102	90		74.50%	77.50%		77.50%
	6	48	68	38		-41.67%	20.83%		20.83%
	8	250	105	72		58.00%	71.20%		71.20%
	10	30	55	21		-83.33%	30.00%		30.00%
	12	120	70	37		41.67%	69.17%		69.17%
	13	120	80	26		33.33%	78.33%		78.33%
	14	105	60	36		42.86%	65.71%		65.71%
	15	110	76	82		30.91%	25.45%		25.45%
16	195	160	150		17.95%	23.08%		23.08%	
19	241.2	155	78		35.74%	67.66%		67.66%	
FASE III	23	285	120	70		57.89%	75.44%		75.44%
	24	490	210	130		57.14%	73.47%		73.47%
	25	98	56	42		42.86%	57.14%		57.14%
	26	68	46	30		32.35%	55.88%		55.88%
	27	54	27	40		50.00%	25.93%		25.93%
	28	108	56	38		48.15%	64.81%		64.81%
	29	60	31	25	20	48.33%	58.33%	35.48%	66.67%
	30	71	37	10	8	47.89%	85.92%	78.38%	88.73%
	31	816	350	135	106	57.11%	83.46%	69.71%	87.01%
	32	201	135	25	50	32.84%	87.56%	62.96%	75.12%
	33	186	120	40	28	35.48%	78.49%	76.67%	84.95%
	34	493	260	64	44	47.26%	87.02%	83.08%	91.08%
	35	230	165	68	40	28.26%	70.43%	75.76%	82.61%
	37	860	350	185	135	59.30%	78.49%	61.43%	84.30%
	38	250	170	74	55	32.00%	70.40%	67.65%	78.00%
40	750	150	145	105	80.00%	80.67%	30.00%	86.00%	
41	301.5	201	180	125	33.33%	40.30%	37.81%	58.54%	
Media Fase II		147.77	86.58	57.67		23.18%	55.44%		55.44%
Media Fase III Sin Decantador		313.03	146.12	76.53	65.09	46.48%	69.04%	61.72%	72.69%
Media Fase III Con Decantador		383.50	179.00	86.45	65.09	45.62%	74.64%	61.72%	80.27%

Anexo 17. Sólidos Suspendidos (SS) - Fases II Y III

PARAMETRO: Sólidos Suspendidos

UNIDAD: mg/lit

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	% REMOCION FOSA	% REMOCION FOSA+FIL	% REMOCION FIL+DEC	% REMOCION LINEA ANAEROBIA
FASE II	2	130	96	70		26.15%	46.15%		46.15%
	3	90	55	32		38.89%	64.44%		64.44%
	4	105	109	78		-3.81%	25.71%		25.71%
	5	31	23	14		25.81%	54.84%		54.84%
	7	142	170	86		-19.72%	39.44%		39.44%
	8	537	114	90		78.77%	83.24%		83.24%
	10	242	80	31		66.94%	87.19%		87.19%
	11	100	104	73		-4.00%	27.00%		27.00%
	12	77	74	40		3.90%	48.05%		48.05%
	13	98	32	15		67.35%	84.69%		84.69%
	14	92	35	12		61.96%	86.96%		86.96%
	15	252	122	102		51.59%	59.52%		59.52%
	16	523	169	167		67.69%	68.07%		68.07%
	17	600	184	130		69.33%	78.33%		78.33%
18	425	133	86		68.71%	79.76%		79.76%	
19	426	105	55		75.35%	87.09%		87.09%	
20	319	102	60		68.03%	81.19%		81.19%	
FASE III	22	622	197	75		68.33%	87.94%		87.94%
	23	250	102	69		59.20%	72.40%		72.40%
	24	554	179	117		67.69%	78.88%		78.88%
	25	123	61	67		50.41%	45.53%		45.53%
	26	109	38	15		65.14%	86.24%		86.24%
	27	92	35	16		61.96%	82.61%		82.61%
	30	319	28	8	20	91.22%	97.49%	28.57%	93.73%
	31	600	185	106	79	69.17%	82.33%	57.30%	86.83%
	32	425	144	100	44	66.12%	76.47%	69.44%	89.65%
	34	860	226	151	75	73.72%	82.44%	66.81%	91.28%
	35	513	159	67	92	69.01%	86.94%	42.14%	82.07%
	36	810	172	91	81	78.77%	88.77%	52.91%	90.00%
	37	757	232	211	21	69.35%	72.13%	90.95%	97.23%
	39	494	195	156	39	60.53%	68.42%	80.00%	92.11%
40	407	208	78	130	48.89%	80.84%	37.50%	68.06%	
41	383	163	82	81	57.44%	78.59%	50.31%	78.85%	
Media Fase II		246.41	100.41	67.12		43.70%	64.81%		64.81%
Media Fase III Sin Decantador		457.38	145.25	88.06	66.20	66.06%	79.25%	57.59%	82.71%
Media Fase III Con Decantador		556.80	171.20	105.00	66.20	68.42%	81.44%	57.59%	86.98%

Anexo 18. Alcalinidad - Fases II Y III

PARAMETRO: Alcalinidad
UNIDAD: mg/lit CaCo₃

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
FASE II	1	33.6	10.8	8.4		22.8	25.2		25.2
	2	89.6	218.4	134.4		-128.8	-44.8		-44.8
	3	164.0	124.0	159.2		40.0	4.8		4.8
	4	127.2	113.6	131.2		13.6	-4.0		-4.0
	5	130.4	159.2	180.0		-28.8	-49.6		-49.6
	6	178.4	189.0	160.0		-10.6	18.4		18.4
	7	173.6	221.6	203.2		-48.0	-29.6		-29.6
	8	109.6	170.4	90.0		-60.8	19.6		19.6
	9	196.8	171.2	180.0		25.6	16.8		16.8
	10	33.6	33.6	28.0		0.0	5.6		5.6
	11	246.0	240.0	198.0		6.0	48.0		48.0
	12	27.0	25.0	26.0		2.0	1.0		1.0
	13	102.0	188.0	114.6		-86.0	-12.6		-12.6
	14	250.0	130.6	118.8		119.4	131.2		131.2
	15	172.0	116.0	138.0		56.0	34.0		34.0
	16	90.0	125.0	130.0		-35.0	-40.0		-40.0
	17	160.0	116.0	115.0		44.0	45.0		45.0
	18	210.0	206.0	194.0		4.0	16.0		16.0
	19	454.0	112.0	125.0		342.0	329.0		329.0
	20	220.0	128.0	129.0		92.0	91.0		91.0
FASE III	22	343.0	334.0	334.0		9.0	9.0		9.0
	23	246.0	119.0	170.0		127.0	76.0		76.0
	24	266.5	260.0	274.0		6.5	-7.5		-7.5
	25	133.0	144.0	172.0		-11.0	-39.0		-39.0
	26	308.0	300.0	368.0		8.0	-60.0		-60.0
	27	131.0	142.0	172.0		-11.0	-41.0		-41.0
	28	113.0	82.0	36.0		31.0	77.0		77.0
	29	175.0	56.0	90.1	64.0	119.0	84.9	-8.0	111.0
	30	205.0	66.0	82.0	56.0	139.0	123.0	10.0	149.0
	31	260.0	332.0	222.0	128.0	-72.0	38.0	204.0	132.0
	32	210.0	200.0	168.0	126.0	10.0	42.0	74.0	84.0
	33	98.0	72.0	80.4	44.0	26.0	17.6	28.0	54.0
	34	236.0	230.0	165.0	154.0	6.0	71.0	76.0	82.0
	35	357.0	348.0	222.0	222.0	9.0	135.0	126.0	135.0
	36	130.0	158.0	84.0	96.0	-28.0	46.0	62.0	34.0
	37	420.0	406.0	392.0	218.0	14.0	28.0	188.0	202.0
	38	172.0	99.0	107.0	35.0	73.0	65.0	64.0	137.0
	39	440.0	260.0	248.0	244.0	180.0	192.0	16.0	196.0
	40	256.0	352.0	356.0	264.0	-96.0	-100.0	88.0	-8.0
	41	373.0	441.0	392.0	288.0	-68.0	-19.0	153.0	85.0
	Media Fase II		158.39	139.92	128.14		18.47	30.25	
Media Fase III		243.63	220.05	206.73	149.15	23.58	36.90	83.15	70.38

Anexo 19. Potencial de Hidrógeno (PH) - Fases II Y III

PARAMETRO: P.h.
 UNIDAD: Medición directa

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
FASE II	1	7.47	7.26	7.20		0.21	0.27		0.27
	2	7.85	7.86	7.49		-0.01	0.36		0.36
	3	7.92	7.80	7.49		0.12	0.43		0.43
	4	7.99	8.08	7.50		-0.09	0.49		0.49
	5	6.93	7.37	7.19		-0.44	-0.26		-0.26
	6	8.05	7.59	7.20		0.46	0.85		0.85
	7	7.48	7.36	7.07		0.12	0.41		0.41
	8	7.82	7.92	7.68		-0.10	0.14		0.14
	9	8.10	7.88	7.30		0.22	0.80		0.80
	10	7.83	7.25	7.04		0.58	0.79		0.79
	11	7.09	7.76	7.28		-0.67	-0.19		-0.19
	13	7.81	7.47	7.20		0.34	0.61		0.61
	14	7.79	7.50	7.16		0.29	0.63		0.63
	15	8.12	7.20	7.06		0.92	1.06		1.06
	16	7.80	7.50	7.10		0.30	0.70		0.70
	17	8.04	8.05	7.72		-0.01	0.32		0.32
	18	7.92	7.80	7.43		0.12	0.49		0.49
	19	7.00	7.88	7.29		-0.88	-0.29		-0.29
	20	7.30	7.26	7.29		0.04	0.01		0.01
	FASE III	22	8.06	7.90	7.62		0.16	0.44	
23		7.65	7.60	7.11		0.05	0.54		0.54
24		6.93	7.30	7.00		-0.37	-0.07		-0.07
25		7.11	6.60	6.94		0.51	0.17		0.17
26		7.20	6.80	6.85		0.40	0.35		0.35
27		8.12	7.16	7.08		0.96	1.04		1.04
28		7.10	7.13	7.13		-0.03	-0.03		-0.03
29		7.33	7.14	7.18	7.30	0.19	0.15	-0.16	0.03
30		7.21	7.06	7.13	7.00	0.15	0.08	0.06	0.21
31		8.05	7.64	7.28	7.60	0.41	0.77	0.04	0.45
32		6.93	7.37	7.21	7.40	-0.44	-0.28	-0.03	-0.47
33		8.04	7.13	6.97	7.50	0.91	1.07	-0.37	0.54
34		7.81	7.46	7.15	7.50	0.35	0.66	-0.04	0.31
35		7.69	7.63	7.33	7.60	0.06	0.36	0.03	0.09
36		7.46	7.22	7.19	7.30	0.24	0.27	-0.08	0.16
37		7.61	7.40	7.12	7.60	0.21	0.49	-0.20	0.01
38		7.20	7.09	7.12	7.61	0.11	0.08	-0.52	-0.41
39		8.62	8.11	7.53	7.78	0.51	1.09	0.33	0.84
40		7.68	7.95	7.68	7.60	-0.27	0.00	0.35	0.08
Media Fase II			7.70	7.62	7.30		0.08	0.40	
Media Fase III		7.57	7.35	7.19	7.48	0.22	0.38	-0.05	0.23

Anexo 20. Temperatura - Fases II Y III

PARAMETRO: Temperatura
UNIDAD: °C

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA	
FASE II	2	19.50	18.30	18.50		1.20	1.00		1.00	
	4	15.30	14.70	14.50		0.60	0.80		0.80	
	5	15.40	15.80	15.20		-0.40	0.20		0.20	
	6	20.30	19.40	19.50		0.90	0.80		0.80	
	7	17.90	15.30	15.60		2.60	2.30		2.30	
	8	19.00	18.80	18.50		0.20	0.50		0.50	
	9	20.10	20.20	19.90		-0.10	0.20		0.20	
	10	17.40	17.10	17.60		0.30	-0.20		-0.20	
	11	19.30	19.10	18.90		0.20	0.40		0.40	
	12	19.00	18.90	18.80		0.10	0.20		0.20	
	13	19.80	18.70	18.10		1.10	1.70		1.70	
	14	15.30	14.70	14.50		0.60	0.80		0.80	
	15	15.10	14.10	13.90		1.00	1.20		1.20	
	16	14.10	14.90	14.60		-0.80	-0.50		-0.50	
	17	15.00	14.90	14.60		0.10	0.40		0.40	
	18	15.20	15.10	14.80		0.10	0.40		0.40	
	19	13.60	13.80	13.20		-0.20	0.40		0.40	
	20	15.60	15.70	15.50		-0.10	0.10		0.10	
	FASE III	22	13.50	13.00	12.70		0.50	0.80		0.80
		23	23.00	22.10	22.60		0.90	0.40		0.40
24		24.30	23.80	22.80		0.50	1.50		1.50	
25		19.20	18.00	16.00		1.20	3.20		3.20	
26		18.60	18.00	18.00		0.60	0.60		0.60	
27		20.00	19.00	18.70		1.00	1.30		1.30	
28		21.00	20.40	20.40		0.60	0.60		0.60	
29		20.70	20.30	20.10	19.70	0.40	0.60	0.60	1.00	
30		20.60	20.50	20.70	20.00	0.10	-0.10	0.50	0.60	
31		17.30	16.50	17.60	15.00	0.80	-0.30	1.50	2.30	
32		21.80	21.80	20.80	21.50	0.00	1.00	0.30	0.30	
33		19.10	19.00	19.20	18.50	0.10	-0.10	0.50	0.60	
34		16.20	15.60	16.00	16.00	0.60	0.20	-0.40	0.20	
35		23.00	22.60	22.50	19.00	0.40	0.50	3.60	4.00	
36		13.60	13.30	13.80	12.00	0.30	-0.20	1.30	1.60	
37		15.70	15.60	15.80	16.00	0.10	-0.10	-0.40	-0.30	
38		19.00	17.60	17.80	18.00	1.40	1.20	-0.40	1.00	
39		19.10	18.80	18.70	19.00	0.30	0.40	-0.20	0.10	
40		21.90	21.80	21.20	20.50	0.10	0.70	1.30	1.40	
Media Fase II		17.05	16.64	16.46		0.41	0.59		0.59	
Media Fase III		19.35	18.83	18.71	17.93	0.52	0.64	0.68	1.12	

Anexo 21. Oxígeno Disuelto (OD) - Fases II Y III

PARAMETRO: Oxígeno disuelto

UNIDAD: mg/lit

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
FASE II	4	0.34	0.08	0.03		0.26	0.31		0.31
	6	0.60	0.04	0.03		0.56	0.57		0.57
	8	0.30	0.03	0.04		0.27	0.26		0.26
	9	0.62	0.11	0.05		0.51	0.57		0.57
	10	0.07	0.02	0.04		0.05	0.03		0.03
	11	0.83	0.05	0.02		0.78	0.81		0.81
	12	0.40	0.31	0.12		0.09	0.28		0.28
	14	0.34	0.06	0.03		0.28	0.31		0.31
	15	0.22	0.03	0.05		0.19	0.17		0.17
	17	0.11	0.30	0.03		-0.19	0.08		0.08
	18	0.30	0.15	0.08		0.15	0.22		0.22
19	0.20	0.06	0.03		0.14	0.17		0.17	
20	0.20	0.15	0.08		0.05	0.12		0.12	
FASE III	22	0.10	0.10	0.08		0.00	0.02		0.02
	23	0.10	0.10	0.03		0.00	0.07		0.07
	24	0.10	0.10	0.06		0.00	0.04		0.04
	25	0.60	0.20	0.05		0.40	0.55		0.55
	26	0.60	0.20	0.04		0.40	0.56		0.56
	27	0.10	0.10	0.04		0.00	0.06		0.06
	28	0.20	0.10	0.05		0.10	0.15		0.15
	29	0.10	0.10	0.08	0.03	0.00	0.02	0.07	0.07
	30	0.20	0.10	0.06	0.04	0.10	0.14	0.06	0.16
	31	0.10	0.20	0.10	0.05	-0.10	0.00	0.15	0.05
	32	0.20	0.20	0.09	0.03	0.00	0.11	0.17	0.17
	33	0.23	0.10	0.07	0.08	0.13	0.16	0.02	0.15
	34	0.23	0.20	0.10	0.09	0.03	0.13	0.11	0.14
	35	0.60	0.15	0.05	0.06	0.45	0.55	0.09	0.54
	36	0.40	0.10	0.07	0.07	0.30	0.33	0.03	0.33
	37	0.30	0.09	0.03	0.04	0.21	0.27	0.05	0.26
	38	0.10	0.10	0.03	0.03	0.00	0.07	0.07	0.07
	39	0.10	0.08	0.03	0.03	0.02	0.07	0.05	0.07
	40	0.20	0.05	0.03	0.02	0.15	0.17	0.03	0.18
	41	0.23	0.20	0.06	0.04	0.03	0.17	0.16	0.19
Media Fase II		0.35	0.11	0.05		0.24	0.30		0.30
Media Fase III		0.24	0.13	0.06	0.05	0.11	0.18	0.08	0.19

Anexo 22. Nitratos - Fases II Y III

PARAMETRO: Nitratos
UNIDAD: NO₂-N mg/lit

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
FASE II	2	20.1	15.6	13.9		4.5	6.2		6.2
	3	15.6	9.7	7.3		5.9	8.3		8.3
	4	9.2	24.0	19.8		-14.8	-10.6		-10.6
	5	4.8	4.3	3.6		0.5	1.2		1.2
	6	6.5	32.4	29		-25.9	-22.5		-22.5
	7	20.9	32.8	18.8		-11.9	2.1		2.1
	8	33.0	23.7	20.3		9.3	12.7		12.7
	9	7.5	19.9	17.3		-12.4	-9.8		-9.8
	11	9.9	24.7	8.3		-14.8	1.6		1.6
	12	13.3	15.7	19.2		-2.4	-5.9		-5.9
	13	10.0	18.4	7.3		-8.4	2.7		2.7
	14	24.0	20.3	15.6		3.7	8.4		8.4
	15	33.0	27.5	11.6		5.5	21.4		21.4
	16	33.0	33.0	19.2		0.0	13.8		13.8
18	20.1	15.6	13.2		4.5	6.9		6.9	
19	33.0	22.6	14.3		10.4	18.7		18.7	
20	33.2	12.7	12.7		20.5	20.5		20.5	
FASE III	22	33.0	33.0	19.9		0.0	13.1		13.1
	23	33.0	22.4	17.8		10.6	15.2		15.2
	26	14.8	9.2	4.5		5.6	10.3		10.3
	27	43.0	6.9	3.1		36.1	39.9		39.9
	28	5.9	21.0	9.3		-15.1	-3.4		-3.4
	29	60.6	5.9	4.6	22.0	54.7	56.0	-16.1	38.6
	30	7.1	6.3	3.5	5.3	0.8	3.6	1.0	1.8
	31	34.0	33.0	25.9	15.8	1.0	8.1	17.2	18.2
	32	66.0	27.9	20.3	20.0	38.1	45.7	7.9	46.0
	33	19.6	30.7	15.5	8.0	-11.1	4.1	22.7	11.6
	34	33.0	33.0	21	18.6	0.0	12.0	14.4	14.4
	35	33.0	33.0	30.7	8.3	0.0	2.3	24.7	24.7
	36	33.0	33.0	25.1	6.5	0.0	7.9	26.5	26.5
	37	33.0	33.0	25	6.5	0.0	8.0	26.5	26.5
38	10.0	18.0	18	20.0	-8.0	-8.0	-2.0	-10.0	
39	33.0	11.0	10	12.1	22.0	23.0	-1.1	20.9	
40	33.0	33.0	20	10.3	0.0	13.0	22.7	22.7	
41	32	25	18	22	7.0	14.0	3.0	10.0	
Media Fase II		19.2	20.8	14.8		-1.5	4.5		4.5
Media Fase III		30.9	23.1	16.2	13.5	7.9	14.7	11.3	18.2

Anexo 23. Nitritos - Fases II Y III

PARAMETRO: Nitritos
 UNIDAD: NO₃-N mg/lit

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA	
FASE II	1	0.070	0.030	0.026		0.040	0.044		0.044	
	2	0.119	0.094	0.077		0.025	0.042		0.042	
	3	0.106	0.071	0.055		0.035	0.051		0.051	
	4	0.064	0.113	0.09		-0.049	-0.026		-0.026	
	5	0.035	0.030	0.025		0.005	0.010		0.010	
	6	0.049	0.142	0.123		-0.093	-0.074		-0.074	
	7	0.127	0.148	0.091		-0.021	0.036		0.036	
	8	0.330	0.114	0.099		0.216	0.231		0.231	
	9	0.058	0.113	0.094		-0.055	-0.036		-0.036	
	11	0.229	0.095	0.052		0.134	0.177		0.177	
	12	0.080	0.080	0.096		0.000	-0.016		-0.016	
	13	0.084	0.039	0.051		0.045	0.033		0.033	
	14	0.085	0.026	0.039		0.059	0.046		0.046	
	15	0.385	0.186	0.026		0.199	0.359		0.359	
	16	0.200	0.165	0.098		0.035	0.102		0.102	
	18	0.350	0.175	0.178		0.175	0.172		0.172	
	19	0.223	0.112	0.013		0.111	0.210		0.210	
	20	0.230	0.096	0.124		0.134	0.106		0.106	
	FASE III	22	0.2	0.2	0.078		0.029	0.127		0.127
		23	0.203	0.097	0.07		0.106	0.133		0.133
24		0.200	0.167	0.074		0.033	0.126		0.126	
25		0.106	0.071	0.129		0.035	-0.023		-0.023	
26		0.097	0.045	0.070		0.052	0.027		0.027	
27		0.084	0.032	0.032		0.052	0.052		0.052	
28		0.055	0.017	0.025		0.038	0.030		0.030	
29		0.080	0.082	0.026	0.031	-0.002	0.054	0.051	0.049	
30		0.110	0.050	0.115	0.080	0.060	-0.005	-0.030	0.030	
31		0.200	0.167	0.114	0.100	0.033	0.086	0.067	0.100	
32		0.070	0.134	0.053	0.121	-0.064	0.017	0.013	-0.051	
33		0.225	0.121	0.159	0.150	0.104	0.066	-0.029	0.075	
34		0.430	0.198	0.142	0.121	0.232	0.288	0.077	0.309	
35		0.227	0.159	0.126	0.147	0.068	0.101	0.012	0.080	
36		0.365	0.184	0.228	0.156	0.181	0.137	0.028	0.209	
37		0.469	0.236	0.179	0.148	0.233	0.290	0.088	0.321	
38		0.231	0.098	0.163	0.155	0.133	0.068	-0.057	0.076	
39		0.355	0.197	0.150	0.122	0.158	0.205	0.075	0.233	
40		0.330	0.099	0.120	0.085	0.231	0.210	0.014	0.245	
41		0.332	0.095	0.110	0.097	0.237	0.222	-0.002	0.235	
Media Fase II		0.157	0.102	0.075		0.055	0.082		0.082	
Media Fase III		0.219	0.121	0.108	0.116	0.097	0.111	0.024	0.119	

Anexo 24. Cloro Residual - Fase III

PARAMETRO: Cloro Residual
 UNIDAD: mg/lit

FASE	SEMANA	ENTRADA FOSA SEPTICA	ENTRADA FILTRO	SALIDA FILTRO	SALIDA DECANTADOR	DIFERENCIA FOSA	DIFERENCIA FOSA+FIL	DIFERENCIA FIL+DEC	DIFERENCIA LINEA ANAEROBIA
FASE III	9	1.51	1.18	0.85	0.35	0.33	0.66	0.83	1.16
	10	0.90	0.81	0.77	0.23	0.09	0.13	0.58	0.67
	11	1.76	0.96	0.50	0.20	0.80	1.26	0.76	1.56
	12	1.83	1.23	0.53	0.15	0.60	1.30	1.08	1.68
	13	1.33	1.22	1.04	0.50	0.11	0.29	0.72	0.83
	14	1.56	1.25	1.00	0.40	0.31	0.56	0.85	1.16
	15	1.55	1.20	0.56	0.35	0.35	0.99	0.85	1.20
	16	0.90	0.81	0.77	0.23	0.09	0.13	0.58	0.67
	17	1.76	0.96	0.62	0.17	0.80	1.14	0.79	1.59
	18	1.83	1.23	1.05	0.53	0.60	0.78	0.70	1.30
	19	1.33	1.22	1.04	0.50	0.11	0.29	0.72	0.83
20	1.56	1.25	1.00	0.40	0.31	0.56	0.85	1.16	
Media Fase III		1.49	1.11	0.81	0.33	0.38	0.67	0.78	1.15

ANEXO 25. Normas de Vertimiento en Colombia.

El decreto 1594 de 1984 en el capítulo VI (de las normas de vertimiento de aguas residuales) 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	$\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
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 $\geq \%$ 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	≤ 40 °C
Acidos, bases o soluciones ácidas o básicas que pueden causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables.	Ausentes
Sólidos sedimentables	≤ 10 ml/lt
Sustancias solubles en hexano	≤ 100 ml/lt

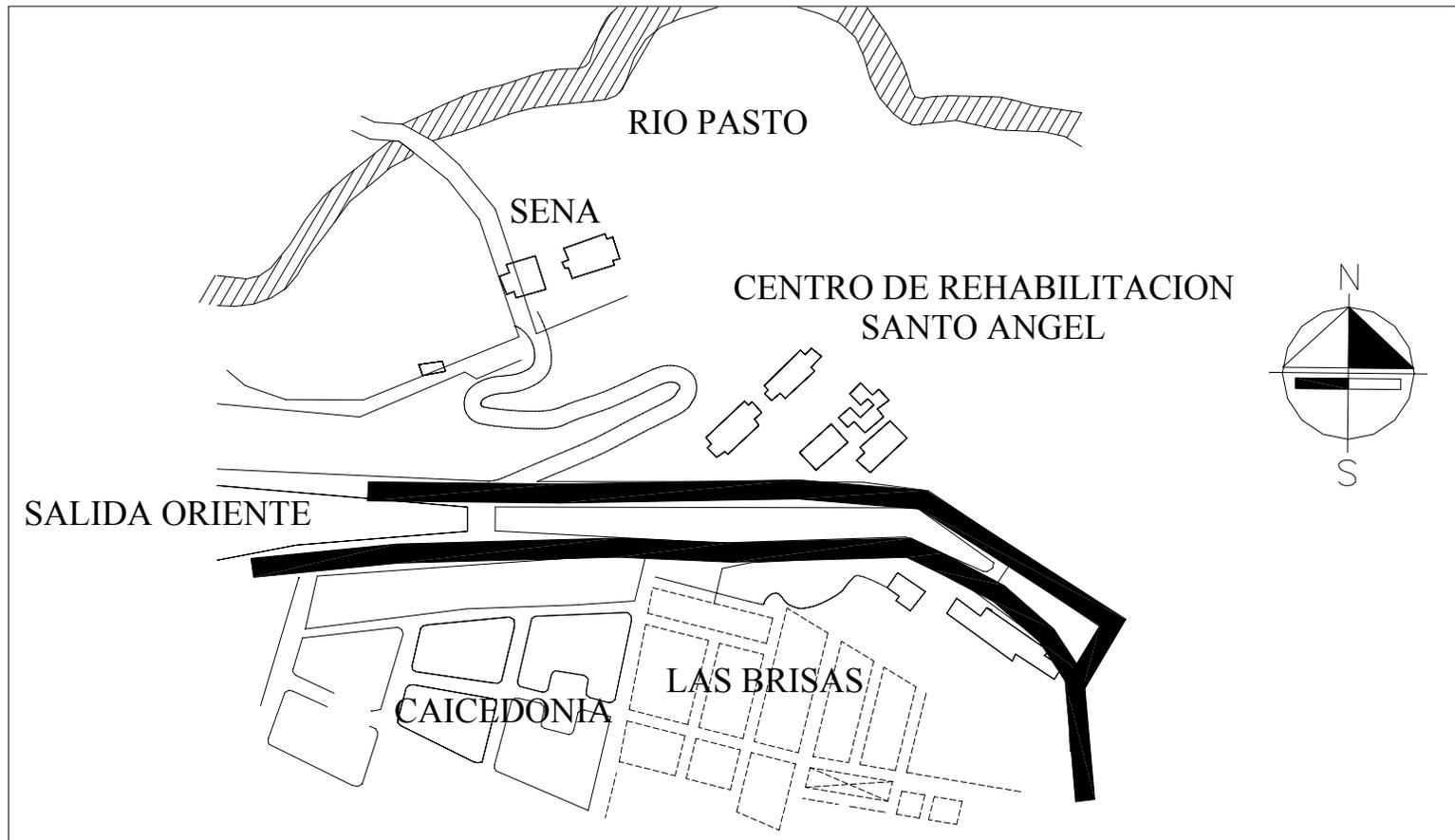
REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
Sólidos suspendidos para desechos domésticos e industriales	Remoción $\geq 50\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga
Demanda Bioquímica de Oxígeno		
Para desechos domésticos	Remoción $\geq 30\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga

Para desechos industriales	Remoción \geq 20% en carga	Remoción \geq 80% en carga
Caudal máximo	1.5 veces el caudal promedio horario	

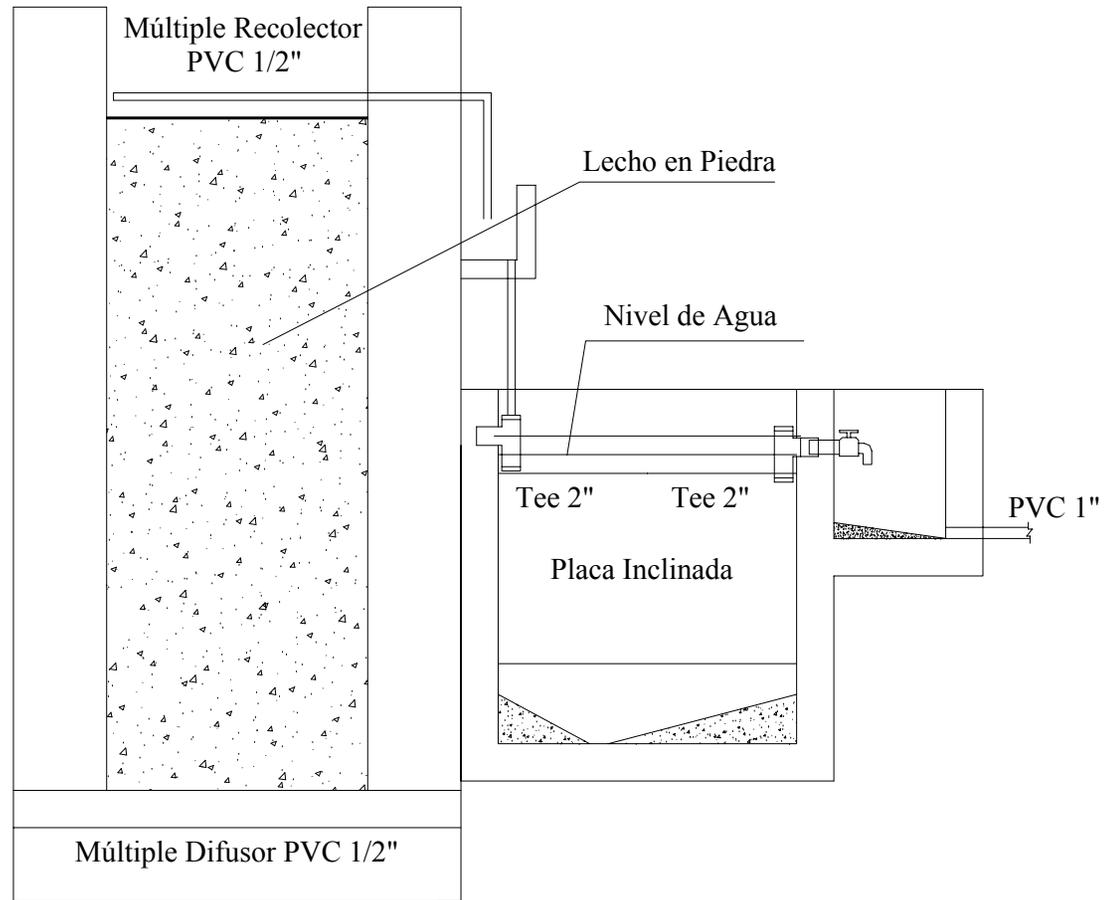
PARAGRAFO

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.

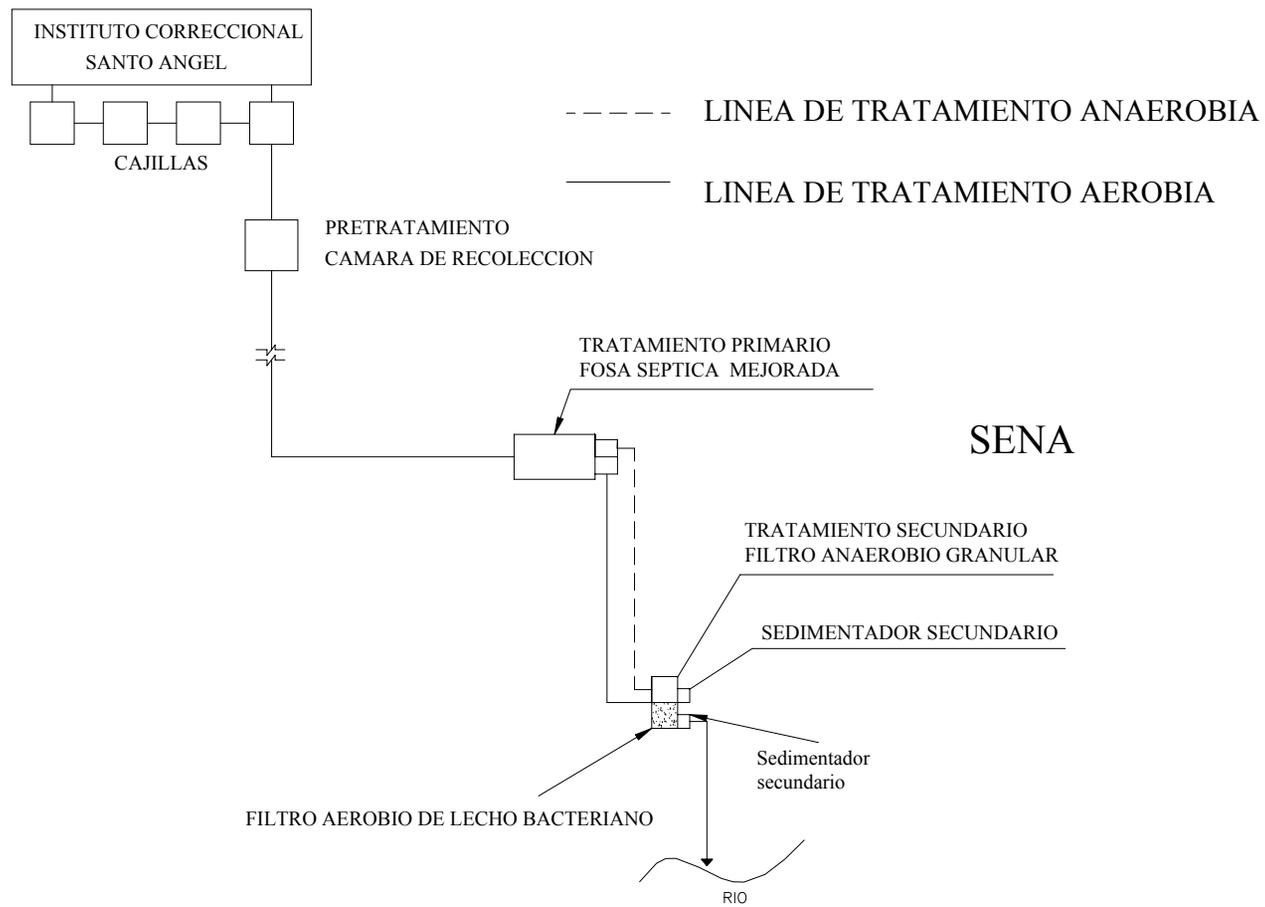
Anexo 26. Esquema de localización de la Planta Piloto



Anexo 27. Esquema del Filtro Anaerobio.



Anexo 28. Esquema general del sistema.



Anexo 29. Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad.

Parámetro	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Oxígeno disuelto	X	X	X	X
DBO ₅				
<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>				X
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)