

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN EN LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DEL  
EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO MEDIANTE UNA  
BATERIA DE FILTROS BIOLÓGICOS SUMERGIDOS  
ANAEROBIO”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:**

**HOCES HILARIO WILLIAM**

**ASESOR: ING. OTTO ROSASCO GERKES.**

**LIMA-PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

Dedico al esfuerzo de mis padres, Elizalde y Liduvina, en especial a mi amada madre, ya que sin su infinito apoyo no habría sido posible lograr mis objetivos profesionales, por brindarme sus sabios consejos para tomar decisiones firmes en todas las etapas de mi vida.

**Hoces Hilario William**

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Ing. Otto Rosasco Gerkes, asesor de esta investigación por la orientación, el seguimiento y la supervisión de la misma durante la elaboración y revisión de la presente tesis.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud también a Manuel Romero Mananí, operador de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la UNI-CITRAR, por su apoyo en la construcción del equipo de investigación (Planta Piloto); asimismo, agradezco a todo el personal del laboratorio de la Facultad Ingeniería Ambiental por su confianza y apoyo en las mediciones fisicoquímicas realizadas.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

A todos ello, muchas gracias.

## INDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice.....	iv
Glosario.....	vii
Símbolos y Abreviaturas.....	ix
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO.....	3
1.2. FILTRO ANAEROBIO.....	3
1.3. LA PIEDRA CHANCADA.....	4
1.4. PARÁMETROS QUE SE ANALIZAN EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	4
1.4.1. Parámetros Físicos.....	4
1.4.2. Parámetros Químicos.....	5
1.4.3. Parámetros Biológicos.....	7
1.4.4. Organismos patógenos.....	8
CAPITULO II CONSIDERACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.1 ANTECEDENTES.....	9
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.4 OBJETIVOS.....	11
2.4.1 General.....	11
2.4.2 Específicos.....	12
2.5. HIPÓTESIS.....	12
2.6. VARIABLES DE ESTUDIO.....	12
2.6.1. Variables Dependientes.....	12
2.6.2. Variables Independientes.....	13
2.6.3. Variables Intervinientes.....	13
CAPITULO III MARCO NORMATIVO.....	13
3.1 NACIONAL.....	13

3.2 INTERNACIONAL.....	15
CAPITULO IV RECURSOS, EQUIPOS Y METODOS.....	16
4.1 RECURSOS DE TRABAJO.....	16
4.2 DISEÑO DE FILTROS ANAEROBIOS.....	16
4.2.1 Configuración del reactor.....	18
4.2.2 Velocidad superficial.....	20
4.2.3 Criterios y parámetros de diseño.....	20
4.3 EFICIENCIAS DE LOS FILTROS ANAEROBIOS.....	24
4.4 DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA BATERÍA DE FILTROS ANAEROBIOS.....	26
4.5 EQUIPOS USADOS PARA LA MEDICIÓN EN EL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.....	27
CAPITULO V DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
5.1. UBICACIÓN DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
5.2. MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS DE LA PLANTA PILOTO.....	28
5.3 GRANULOMETRÍA EN LA BATERÍA DE FILTROS.....	30
5.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA OPERACIÓN DE LOS REACTORES.....	32
5.4.1 Determinación de la Porosidad en la Granulometría.....	32
5.4.2 Prueba hidráulica y operación de aforo.....	33
5.4.3 Operación y Puesta en marcha de la Batería de Filtros.....	34
CAPITULO VI EVALUACION DEL ANALISIS Y MEDICION EN LABORATORIO.....	37
6.1 ESTUDIO DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LA CAPA ZOGLEAL EN EL MATERIAL GRANULADO.....	37
6.2 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO.....	38
6.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	38
6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	39
6.2.3 Coliformes Fecales.....	40
6.2.4 Sólidos Suspendidos Totales.....	44
6.2.5 Turbidez.....	44
6.2.6 PH y Temperatura.....	45

CAPITULO VII RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO.....	46
CAPITULO VIII EFICIENCIA DE REMOCIÓN.....	124
CAPITULO IX RESULTADOS DE FACTORES FÍSICOS DEL PROCESO METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	164
9.1 TASA DE APLICACIÓN SUPERFICIAL.....	164
9.2 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA.....	164
9.3 VELOCIDAD SUPERFICIAL.....	165
9.4 COMPARACIÓN CON LA EFICIENCIA DE VAN HAANDEL & LETTINGA.....	166
CAPITULO X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	167
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	170
PANEL FOTOGRÁFICO.....	172

**GLOSARIO**

LMP	Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa daños a la salud, al bienestar humano y al Ambiente.
Lignina	Polímero presente en las paredes celulares de organismos del reino Plantae.
Dicromato	Como reactivo en la industria química se utiliza para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en muestras de agua.
Crossflow	Medio de soporte biológico sintético del tipo flujo cruzado.
Biofilm	Ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructuras complejas.
Proteu	Género de bacterias gramnegativas, que incluye patógenos responsables de muchas infecciones del tracto urinario.
Sustrato	Compuesto o sustancia a degradar.
Reactor	Reservorio donde se lleva a cabo una transformación Físico química o biológica de un sustrato.

Biomasa

Materia orgánica originada en un proceso biológico, utilizable como fuente de energía.

**SIMBOLOS Y ABREVIATURAS**

MINAM	Ministerio Nacional Del Ambiente.
UASB	Manto de Lodos Anaerobio de flujo Ascendente.
$\mu\text{m}$	Micrómetro.
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.
RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.
APHA-AWWA_WPCF	Aasociación americana de la salud pública
AR	Agua Residual.

## INTRODUCCIÓN

Se realiza el tratamiento al efluente de un reactor UASB mediante el uso de Filtros Biológicos Anaeróbicos Sumergidos, que viene hacer una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales, la remoción de microorganismos y contaminantes físico químico, esto debido a sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales.

El efluente de una batería de filtros anaerobios, generalmente es muy clarificado y posee una relativamente baja concentración de materia orgánica, aproximado de 30 mg/L en DBO. Suele ser apropiado para la disposición en el suelo, no solamente por medio de infiltración, sino también para irrigación con fines de producción vegetal, siempre y cuando se resguarden las preocupaciones con los microorganismos patógenos, usualmente presentes en grandes cantidades en los efluentes de filtros para tratamiento de aguas residuales domésticas. En esos casos puede ser necesaria la desinfección y para ello se pueden aplicar los procesos usuales.

En el primer capítulo vemos aspectos generales al sistema de tratamiento anaerobio, características del material de filtro y parámetros que se pueden analizar en las aguas residuales domésticas.

En el segundo capítulo, se describe antecedentes en investigación a filtros anaerobios, formulación del problema, justificación de la investigación, los objetivos, hipótesis y variables de estudio.

En el tercer capítulo, se refiere el marco normativo, norma nacional e internacional referente al sistema de tratamiento.

En el cuarto capítulo se describe los recursos, equipos utilizados y metodología de investigación. Aquí se desarrolla el diseño de la batería de Filtros.

En el quinto capítulo se desarrolla la investigación con metodología de trabajo para evaluar los materiales, construcción, operación y puesta en marcha de la batería de filtros.

En el sexto capítulo se realiza las mediciones en laboratorio de los análisis físicos químicos.

En el séptimo capítulo se indica los resultados de la medición de los parámetros Físico Químico.

En el octavo capítulo se tiene las eficiencias de remoción luego del tratamiento con la batería de filtros anaerobios. También se indica los resultados de velocidad superficial, tasa de aplicación superficial y carga volumétrica.

En el noveno capítulo, se realiza el cálculo de factores físicos estudiados en el proceso teórico.

En el décimo capítulo, se describe las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

## **CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES.**

### **1.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO.**

El proceso anaerobio, es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía que el aerobio, puesto que la mayoría de energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la sustancia descompuesta aún permanece en los productos finales reducidos como el metano y gas carbónico, generándose una cantidad de biomasa mucho menor que la producida en el proceso aerobio [1].

Las condiciones óptimas para un proceso anaerobio eficiente son las siguientes:

- 1.- Nutrientes suficientes.
- 2.- PH entre 6.5 y 7.6.
- 3.- Temperatura en el intervalo mesofílico de 30 – 38 °C o en el intervalo termofílico de 50 – 60 °C.
- 4.- Ausencia de oxígeno.
- 5.- Ausencia de sustancias tóxicas.

### **1.2. FILTRO ANAEROBIO**

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento, el filtro anaerobio es el más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbiana adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. 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 en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado. El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento, que el del proceso de crecimiento suspendido y puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y

temperatura baja. En el tratamiento de aguas residuales, la filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO y metales pesados [1].

### **1.3. LA PIEDRA CHANCADA**

Es un agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas que presenta características físicas, químicas y mecánicas. En general, es primordial en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas.

Está definida como roca ígnea: formada por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida (magma), compuesta casi en su totalidad por silicatos. Por su tamaño, las piedras pueden ser desde muy pequeñas hasta piedras extra grandes (de 3 a 6 pulgadas).

Presentan las siguientes características:

- Están conformados por partículas limpias.
- Son de perfiles angulares, duros, compactos, resistentes, y de textura rugosa.
- Presentan partículas químicamente estables y están libres de escamas, tierra, polvo y limo [2].

### **1.4. PARÁMETROS QUE SE ANALIZAN EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

En breve una descripción de todos los parámetros que se pueden analizar en aguas residuales domésticas.

#### **1.4.1. Parámetros Físicos**

Los parámetros físicos, como su nombre lo explica son aquellos parámetros que dan las características físicas visibles en el agua, se pone en consideración a continuación su descripción y los problemas que causan en el agua.

El **color y olor** sirven como indicadores del grado de contaminación por residuos y su presencia en aguas residuales es signo de un pre tratamiento inadecuado antes de la descarga.

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. Existen tres tipos de sólidos que se pueden cuantificar en las aguas residuales entre estos están:

Los **sólidos totales** representan la suma de los SDT (Sólidos Disueltos Totales) y SST(Sólidos Suspendidos Totales), además estos poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles, que pueden ser sedimentables y no sedimentables. Generalmente cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales son sedimentables. La prueba de SST son usados comúnmente como una medida de desempeño de las unidades de tratamiento y con propósitos de control, pues los **sólidos sedimentables** son aquellos que ocasionan la formación de bancos de lodos.

#### 1.4.2. Parámetros Químicos

Son aquellos parámetros que solo se pueden determinar a través de análisis de laboratorio.

El término **pH** es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad.

Para Rodier (1986), el **pH óptimo** de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los

efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH [ver 3].

La **temperatura** es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de esta.

La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35 °C.

El método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento para determinar la descomposición biológica en las aguas residuales es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO<sub>5</sub>) es un indicador de la cantidad de sustancias orgánicas de origen biológico (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites) y de productos químicos orgánicos sintéticos y biodegradables en las aguas residuales.

Para medir el material orgánico presente en las aguas residuales susceptible de ser oxidado químicamente se analiza la **Demanda Química de Oxígeno** (DQO), la cual es oxidada con una solución de dicromato en medio ácido.

Aunque se podría esperar que el valor de la DBO<sub>5</sub> fuera similar al de la DQO, éste sería un caso fortuito. Algunas razones para explicar tal diferencia se enumeran a continuación:

1. Muchas sustancias orgánicas las cuales son difíciles de oxidar biológicamente, tales como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente.
2. Las sustancias inorgánicas que se oxidan con dicromato aumentan evidentemente el contenido orgánico de la muestra.
3. Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO<sub>5</sub>.

4. Valores altos de DQO indican la presencia de sustancias inorgánicas con las cuales el dicromato puede reaccionar.

La proporción entre la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno en una prueba de 5 días) y la DQO es un indicador del tratamiento biológico. Según Fresenius et al. (1989), los valores de la relación DBO5/DQO en aguas residuales municipales no tratados oscilan entre 0.3 y 0.8. Generalmente, los procesos de descomposición biológica comienzan y ocurren de manera rápida con proporciones de DBO5/DQO de 0.5 o mayor. Las proporciones entre 0.2 y 0.5 son susceptibles al tratamiento biológico; sin embargo, la descomposición puede ocurrir de manera más lenta debido a que los microorganismos degradantes necesitan aclimatarse a las aguas residuales [3].

Si esta relación es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.

### **1.4.3. Parámetros Biológicos**

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.

En los depósitos de agua que proceden de las descargas de animales, existen microorganismos patógenos. La *Escherichiacoli* en general coliformes, *Streptococcus fecales* (*Streptococcus fecales*) y *Clostridium perfringens* son habitantes regulares del intestino grueso.

En las aguas negras hay millones de bacterias como coliformes, esporulados anaerobios (*Proteu ssp.*) y también algunos protozoos patógenos y virus. El predominio de algunos tipos fisiológicos varía durante la digestión de las aguas.

En un digestor en anaerobiosis, inicialmente predominan anaerobios facultativos (*Enterobacter* sp. , *Alcaligene* ssp, *Escherichia* sp, *Pseudomonas* sp, etc.) a los cuales siguen productores metano anaerobios estrictos, como *Metanobacterium*, *Metanosarcina* y *Metanococcus*. Los productos finales son metano y dióxido de carbono (Opazo, 1991) [4].

Según García y Bacares citado por Valderrama (2005), el tiempo de retención aumenta la eficiencia de remoción en todos los tratamientos biológicos [5].

#### **1.4.4. Organismos patógenos**

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en aguas residuales son: bacterias, parásitos (protozoos, helmintos) y virus.

Los nemátodos son organismos libres en el estado de larva que no presenta ningún riesgo de tipo patógeno para los humanos.

Los huevos y larvas cuyo tamaño oscila entre 10  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización [3].

## **CAPÍTULO II: CONSIDERACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **2.1 Antecedentes.**

La Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, intentó disminuir el grado de contaminación de las aguas residuales utilizando un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) para el tratamiento de las vinazas originadas en el proceso de la fermentación alcohólica en el laboratorio. Fue un proceso con muy buenas alternativas, pues se obtuvieron resultados favorables en cuanto a la eficiencia del filtro; ya que a pesar de que se trataba de aguas residuales tan contaminantes como lo son las vinazas, su porcentaje de remoción para la DQO fue del 46%, trabajando con rangos de caudal 70 cm<sup>3</sup>/min a 78 cm<sup>3</sup>/min y un periodo de retención entre 28.3 horas y 31.54 horas [6].

Según Carlos De Lemos [7] los primeros trabajos acerca de los filtros anaerobios datan de finales de la década de los sesenta y, desde entonces, han tenido una creciente aplicación, representando hoy una tecnología avanzada para el efectivo tratamiento de las aguas residuales domésticas y de diversidad de efluentes industriales. El filtro anaerobio ascendente es básicamente una unidad de contacto, en la que las aguas residuales pasan a través de una masa de sólidos biológicos que se encuentra contenida dentro del reactor. La biomasa retenida en el reactor puede presentarse de dos maneras distintas:

- En la forma de una fina capa de biopelícula adherida a las superficies del material de soporte.
- En la forma de biomasa dispersa retenida en los intersticios del material soporte.

Los compuestos orgánicos solubles que se encuentran en el agua residual afluente entran en contacto con la biomasa, difundándose a través de las superficies de la biopelícula o del lodo granular, pasando a ser convertidas en productos intermedios y finales, específicamente metano y gas carbónico.

En Brasil se ha investigado modelos de sistemas con filtros anaerobios para el pos-tratamiento de efluentes de reactores anaerobios de mediano y gran tamaño en escala real. Una aplicación fue con material filtrante llamado escoria de alto horno según Pinto y Chernicharo [8], es un material obtenido en las siderúrgicas, en el proceso de reducción de la mena de hierro. La composición química de la escoria es determinada por los elementos que contribuyen en la formación: la ganga (material inerte del mineral), los fundentes (sustancias que auxilian a la fusión de los materiales) y la cenizas del combustible utilizado (carbón de madera o coque). Los principales componentes de las escorias con sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), provenientes de la ganga, y cal ( $\text{CaO}$ ) proveniente del calcáreo utilizado como fundente. La escoria fundida, al salir del alto horno a la temperatura de  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ , puede ser sometida a diferentes procesos de enfriamiento, que le confieren al material características particulares que llevan a una creciente aplicación de dicho material. Además de su uso en filtros para tratamiento de aguas residuales domésticas, la escoria también ha sido aplicada como material de relleno en filtros anaerobios para tratamiento de efluentes de diferentes tipos de industrias como por ejemplo las de industrias lácteas.

## **2.2. Formulación del Problema.**

El tratamiento de las aguas residuales ha sido preocupación de la humanidad desde muchos años atrás; la aplicación de los procesos biológicos para tal fin, se remonta al siglo XVII cuando se empezaron a usar sistemas rústicos para el control de la contaminación y de los riesgos sanitarios y de salud pública asociados a la disposición de dichos desechos [9].

En nuestro país hace falta mayor cantidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyo efluente sea reutilizada para regar áreas verdes de centros recreacionales, parques y jardines públicos, cementerios y colegios. También se debe mencionar que existen casos en los que las aguas residuales son mal tratadas, o simplemente no son tratadas, y que se han venido usando para riego de tierras agrícolas en cultivos de pan llevar los cuales atentan contra

la salud pública. El país produce anualmente alrededor de 1000 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas, de este volumen sólo el 22% es tratado, en Lima sólo es tratada el 9.5 % [10]. El objetivo es evacuar el efluente de las plantas de tratamiento de agua residual doméstico con menos porcentajes de carga contaminante directamente en algún cuerpo de agua (río, lago o mar ) o usarlo en riego, a un bajo costo.

### **2.3 Justificación de la Investigación.**

Esta investigación permitirá determinar la ventaja del Tratamiento secundario mediante filtro biológico sumergido, respecto a los tratamientos tradicionales.

Puede ser un aporte importante como alternativa para la reducción de la contaminación de los cuerpos receptores y el desarrollo sostenible en las localidades.

De comprobarse su aplicabilidad, puede tener impactos hacia otros sectores, debido a que puede darse el reuso del agua por ejemplo en áreas verdes.

La factibilidad, está dada porque el tema de estudio puede ayudar a resolver la problemática de falta de tratamiento del agua residual que se viene suscitando en muchas regiones del país.

Pese a que los estudios en escala piloto y de laboratorio realizados en Brasil contribuyan al desarrollo de relaciones entre los diversos factores de diseño y operacionales, aun no se ha logrado desarrollar una relación general y de aceptación irrestricta que pueda ser utilizada para el diseño de filtros anaerobios en escala plena.

### **2.4 Objetivos.**

#### **2.4.1 General**

- ❖ Evaluar la eficiencia de tratamiento en cada una de las tres unidades de filtros anaerobios en serie.

### **2.4.2 Específicos**

- ❖ Determinar la reducción de DBO en cada uno de los reactores en serie.
- ❖ Determinar la reducción de DQO en cada uno de los reactores en serie.
- ❖ Determinar la variación de Sólidos Suspendidos Totales.
- ❖ Evaluación de coliformes fecales.
- ❖ Evaluar pH, Turbiedad y Temperatura.

### **2.5. Hipótesis**

Una batería de Filtros Biológicos Anaerobios, instalados para el pos tratamiento del efluente del reactor anaerobio, realiza una reducción mayor al 50% en la DBO y DQO.

### **2.6. Variables de estudio.**

Dado que la presente tesis pretende explicar experimentalmente y en función a teorías la Hipótesis planteada, las variables e indicadores han sido clasificadas en el siguiente orden.

#### **2.6.1. Variables Dependientes**

Referido a aquellas características que sufren alteraciones por efecto de las variables independientes. Para el presente estudio las variables dependientes corresponden a:

- ❖ Porcentaje de Remoción de DBO.
- ❖ Porcentaje de Remoción de DQO.
- ❖ Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendidos Totales.
- ❖ Porcentaje de Remoción de Coliformes Fecales.
- ❖ Porcentaje de Remoción de Turbiedad.

### 2.6.2. Variables Independientes.

Referido a aquellos factores cuya modificación origina la alteración de las variables dependientes. Para el presente estudio las variables independientes corresponden a:

- ❖ Caudal.
- ❖ Tiempo de retención hidráulico.
- ❖ Granulometría.

### 2.6.3. Variables Intervinientes.

- ❖ Temperatura.
- ❖ pH.

## CAPÍTULO III: MARCO NORMATIVO

### 3.1 Nacional:

3.1.1 Decreto Supremo 003-2010 – MINAM se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) que contiene dentro de este último para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes Domésticas lo siguiente:

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Cuadro N°1: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.

3.1.2 La calidad del agua residual depende del uso de las aguas del cuerpo receptor al cual se vierte, o del uso directo de las aguas residuales tratadas.

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua según Decreto Supremo 002-2008-MINAM del 31.07.2008 son:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

- ✓ Aguas superficiales dedicadas a la producción de agua potable.
  - A1.-Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
  - A2.-Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional.
  - A3.- Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
- ✓ Aguas superficiales dedicadas para recreación.
  - B1.- Contacto primario
  - B2.- Contacto secundario

Categoría 2: Actividades Marino Costeras (Agua de mar)

- ✓ Sub categoría 1.- Extracción y cultivo de moluscos bivalvos.
- ✓ Sub categoría 2.- Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas.
- ✓ Sub categoría 3.- Otras actividades.

Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales.

- ✓ Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
- ✓ Parámetro para riego de vegetales.
- ✓ Parámetro para bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

- ✓ Lagunas y lagos.
- ✓ Ríos.
  - Costa y Sierra
  - Selva
- ✓ Ecosistemas marinos costeros.

- Estuarios
- Marinos

De acuerdo a la clasificación anterior, el presente proyecto estará enfocado en la categoría 3 y dentro de riego de vegetales de tallo alto.

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO ALTO Y TALLO BAJO</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Demanda Bioquímica De Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química De Oxígeno	mg/L	40
pH	Unidad de pH	6.5-8.5

*Cuadro N°2: Categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales.*

### **3.2 Internacional:**

#### **Configuración establecida por la Norma Brasileira (ABNT, 1997)**

En Brasil, los filtros anaerobios han sido utilizados principalmente para el tratamiento complementarios de efluentes de tanques sépticos, de acuerdo con las disposiciones contempladas en la Norma Brasileira NBR 13.969(ABNT,1997), titulada: Tanques sépticos-Unidades de tratamiento complementario y disposición final de efluentes líquidos – Proyecto, construcción y operación.

La mencionada norma prevé configuraciones para filtros anaerobios (cilíndricos y prismáticos, con y sin falso fondo, abiertos y cerrados) y diferentes formas de distribución del agua residual, en el fondo del filtro, y de colecta del efluente, en la parte superior del mismo.

Esta norma señala que los filtros anaerobios pueden ser construidos en concreto reforzado, plástico de alta resistencia o poliéster reforzado con fibra de vidrio. Cualquiera que sea el material, los filtros deberán tener perfecta estanqueidad a líquidos y ser resistentes a empujes de suelo, personas y vehículos, cuando fuese el caso. También que el material de relleno del filtro puede ser piedra triturada o piezas de plástico.

## **CAPITULO IV: RECURSOS, EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACION**

### **4.1 Recursos de Trabajo.**

Los medios que se necesitó para desarrollar el presente Proyecto fueron el siguiente:

Información de libros, tesis de investigación, páginas web, etc.

Económico, S./ 6000 para la obtención de materiales.

Humano, con dos personas se construyó el equipo piloto.

Tiempo, se necesitó 6 meses para desarrollar el estudio de investigación.

Lugar de instalación en CITRAR, se requirió un área de 3 m<sup>2</sup>.

Laboratorios, se necesitó las instalaciones del laboratorio de Microbiología y Físico-Química de la Facultad Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional De Ingeniería.

Respecto a la información recopilada sirvió para diseñar los filtros.

### **4.2 Diseño de Filtros Anaerobios.**

En el caso de Filtros Anaerobios aplicados al Pos-Tratamiento de efluentes de reactores anaerobios, los criterios y parámetros de diseño aún son muy escasos. Young (1991) reunió datos operacionales de diversos filtros anaerobios y los correlacionó estadísticamente, con el objetivo de determinar los parámetros que más influenciaban en el desempeño del sistema. Entre los parámetros analizados en las pruebas de regresión lineal de variables múltiples se incluyeron:

- Tiempo de retención hidráulica;
- Concentración del agua residual;
- Área superficial del medio soporte;
- Pendiente de las placas corrugadas de medio soporte;

- Carga orgánica volumétrica.

Los estudios estadísticos indican que el tiempo de retención hidráulica es el parámetro que más influencia tiene en la eficiencia de remoción de DQO del sistema, tanto para reactores rellenos con medio sintético como con piedras.

En relación a los módulos corrugados, el incremento del área superficial pareció no influir significativamente en la eficiencia del sistema, mientras que el tamaño de los espacios vacíos y la geometría de material corrugado mostraron tener influencia sobre la eficiencia de los reactores. También la introducción de la pendiente de las placas corrugadas en el modelo de regresión lineal reflejó una correlación positiva entre los datos analizados.

La relación general capaz de describir el desempeño de los filtros anaerobios al tratar diferentes tipos de efluentes fue propuesto por Young (1991).

$$E = 100 \cdot (1 - S_k \cdot T^m) \dots\dots\dots(1)$$

En la que:

E: eficiencia del sistema (%);

T: tiempo de retención hidráulico (h);

$S_k$ : coeficiente del sistema;

m: coeficiente del medio soporte.

Se debe resaltar que esta relación sirve para estimar, con relativa precisión, el desempeño de reactores en escala plena y de laboratorio, cuando los mismos utilizan medio soporte sintético del tipo crossflow, con un área superficial de cerca de  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Para tal situación, los coeficientes  $S_k$  y m asumen valores de 1.0 y 0.55 respectivamente. Para reactores con lecho de piedras, el valor del coeficiente m es de cerca de 0.4.

El presente diseño de la batería de Filtros Anaerobios tomó como referencia las investigaciones desarrolladas en Brasil en el ámbito del Programa de investigación en saneamiento Básico” Programa de Pesquisa en Saneamiento Básico – PROSAB” (Goncalves et al. , 2001), utilizando filtros anaerobios

rellenos con lecho de piedras para el pulimento de efluentes de tanques sépticos y de reactores UASB.

Las configuraciones usuales de filtros anaerobios presentan flujo ascendente o descendente. En los filtros de flujo ascendente, el lecho es necesariamente sumergido (ahogado). Los de flujo descendente pueden trabajar ahogados o no. Generalmente son cubiertos, pero pueden construirse sin cobertura, cuando no existe preocupación con la eventual emanación de malos olores. Los factores físicos que intervienen en el proceso son:

#### **4.2.1 Configuración del reactor.**

Los filtros anaerobios pueden tener varias formas, configuraciones y dimensiones, siempre y cuando se obtenga un flujo bien distribuido a través del lecho. En escala plena, los filtros anaerobios normalmente presentan forma cilíndrica o rectangular, con dimensiones en los tanques que usualmente varían en términos de su diámetro(o ancho) entre 6 y 26 metros y altura desde 3 hasta cerca de 13 metros. Los volúmenes de los reactores varían entre 100 y 10000 m<sup>3</sup>. Los medios soportes se pueden diseñar de tal manera que ocupen, desde la profundidad total del reactor, hasta cerca de 50 a 70% de altura de los tanques. Existen diferentes tipos de medio soporte. Pese a que algunos tipos de medio soporte sean más eficientes que otros en la retención de la biomasa, la selección final dependerá de las condiciones específicas locales, de consideraciones económicas y de factores operacionales.

En el tratamiento de efluentes diluidos, como es el caso de las aguas residuales domésticas, la remoción de materia orgánica ocurre principalmente en la parte inferior del filtro anaerobio (en el falso fondo y el inicio de la capa de medio soporte) lo que conduce a la utilización de alturas de medio soporte más reducidas.

##### **4.2.1.1 Medio Soporte.**

El fin del material de soporte es retener sólidos en el interior del reactor, bien sea a través del biofilm formado en la superficie de dicho material soporte o a través de la retención de sólidos en los intersticios del medio o por debajo de éste. Las siguientes son las principales finalidades de la capa de soporte:

- Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.
- Ayudar a promover la uniformidad de flujo en el reactor.
- Mejorar el contacto entre los constituyentes del agua residual afluyente y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa, con el correspondiente aumento del tiempo de retención celular.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados hacia fuera del sistema de tratamiento.

En el cuadro se presentan los principales requisitos deseables para materiales soporte de filtros anaerobios [8].

Requisito	Objetivo
Ser estructuralmente resistente.	- Soportar el peso propio, adicionado al peso de los sólidos biológicos adheridos a su superficie.
Ser biológica y químicamente inerte.	- No haber reacción entre el lecho y los microorganismos.
Ser suficientemente ligero.	- Evitar la necesidad de estructuras pesadas y caras y permitir la construcción de filtros relativamente más altos, lo que se refleja en una reducción del área necesaria para la instalación del sistema.
Poseer alta área específica.	- Permitir adherencia de mayor cantidad de sólidos biológicos.
Poseer alta porosidad.	- Permitir una mayor área libre disponible para la acumulación de bacterias y para disminuir la posibilidad de colmatación.
Posibilitar la colonización acelerada de los microorganismos.	- Disminuir el tiempo de partida del reactor.
Presentar forma no achatada o lisa.	- Garantizar una alta porosidad.
Precio reducido	- Viabilizar el proceso, desde el punto de vista técnico y económico.

*Cuadro N°3: Requisitos de medio soporte para filtros anaerobios.*

#### **4.2.2 Velocidad superficial.**

Otro factor hidráulico interviniente en el proceso es la velocidad superficial y las variaciones de caudal. La velocidad superficial debe mantenerse por debajo del límite para el cual se observe pronunciada pérdida de sólidos en el efluente. En reactores en escala plena, la velocidad superficial, incluyendo el caudal de recirculación, es generalmente del orden de 0.56 mm/seg. La velocidad superficial máxima es función de la densidad de los sólidos suspendidos y de la magnitud de la granulación. Durante la partida o arranque del proceso deben mantenerse unas velocidades bajas con el fin de disminuir la pérdida de sólidos en el efluente. Durante el arranque la recirculación del efluente puede favorecer el control del pH en el reactor, pero debe tenerse en cuenta que las velocidades superficiales (incluyendo la recirculación) no excedan a 0.11 mm/seg. Las tasas de recirculación pueden incrementarse gradualmente, conforme el reactor progrese en su maduración, aunque velocidades superficiales por encima de 0.28 mm/seg pueden provocar excesivas pérdidas de sólidos [8].

#### **4.2.3 Criterios y parámetros de diseño.**

La utilización de filtros anaerobios para el tratamiento de aguas residuales doméstica ha sido principalmente para el pulimento de efluentes de tanques sépticos y de reactores UASB. En esa configuración en serie, las siguientes son las prescripciones para su dimensionamiento.

##### **4.2.3.1 Tiempo de Retención Hidráulica**

El tiempo de retención hidráulica se refiere al tiempo medio de permanencia del líquido en el interior del filtro el cual se calcula a partir de la siguiente expresión.

$$T= V/Q$$

En la que:

T: tiempo de retención hidráulica (h)

V: volumen del filtro anaerobio ( $m^3$ )

Q: Caudal medio afluente al filtro anaerobio ( $m^3/h$ )

De las investigaciones en Brasil, se observó que los filtros anaerobios son capaces de producir efluentes que están relacionados a padrones menos restrictivos de vertimiento ( $DBO \leq 60 \text{ mg/L}$  ,  $SST \leq 40 \text{ mg/L}$ ) al ser operados con tiempos de retención hidráulica del orden de 4 a 10 horas.

#### **4.2.3.2 Temperatura.**

Los filtros anaerobios pueden operarse satisfactoriamente bajo temperaturas en el rango de 25 a 38 °C.

Pese a la recomendación de que los filtros anaerobios sean operados en el rango de temperatura de 25 a 38 °C se observaron resultados aun satisfactorios para filtros operando bajo rangos de temperatura entre 20 y 25°C ( e incluso menores) , especialmente al ser aplicados al pos- tratamiento de efluentes de tanques sépticos y reactores UASB (Goncalves et al. 2001).

#### **4.2.3.3 Altura de la capa medio soporte.**

Con base en la experiencia brasilera y en las investigaciones desarrolladas en el ámbito del Programa PROSAB (Goncalves et al. , 2001), al utilizarse filtros anaerobios rellenos con lecho de piedras para el pulimento de efluentes de tanques sépticos y de reactores UASB, se puede recomendar, para la mayoría de las condiciones de aplicación de filtros anaerobios, que la altura del medio soporte deberá estar comprendida entre 0.8 y 3 m.

#### 4.2.3.4 Tasa de aplicación superficial.

La tasa de aplicación superficial se refiere a la cantidad de aguas residuales aplicadas diariamente al filtro anaerobio, por unidad de área del medio soporte del filtro, calculada a través de la ecuación.

$$q_s = Q/A$$

$q_s$  : Tasa de aplicación hidráulica superficial ( $m^3/m^2d$ )

Q: Caudal medio afluente al filtro anaerobio ( $m^3/d$ )

A: Área de la superficie libre del medio soporte ( $m^2$ )

Como fruto de la investigación desarrolladas en el ámbito del programa PROSAB (Goncalves et al., 2001), al utilizarse filtros anaerobios rellenos con lecho de piedras, para el pulimento de efluentes de tanques sépticos y de reactores UASB, se observó que tales filtros son capaces de producir efluentes de buena calidad cuando son operados con tasas de aplicación hidráulica superficial del orden de 6 a 15  $m^3/m^2d$ .

#### 4.2.3.5 Carga orgánica Volumétrica.

La carga orgánica volumétrica se refiere a la cantidad de materia orgánica aplicada diariamente al filtro anaerobio, por unidad de volumen del filtro o de volumen del medio soporte, calculada a través de la ecuación:

$$C_v = Q \cdot S_0 / V$$

Donde:

$C_v$  : carga orgánica volumétrica ( $kg\ DBO / m^3\ d$ )

Q: caudal medio afluente al filtro anaerobio ( $m^3/d$ )

$S_0$  : concentración de DBO del agua residual afluente al filtro anaerobio ( $kg\ DBO/m^3$ )

V: volumen total del filtro o volumen ocupado por el medio soporte ( $m^3$ ).

Aunque los filtros anaerobios han sido proyectados para soportar cargas orgánicas de hasta 16 kg DBO / m<sup>3</sup> d (considerando el volumen total), las cargas operacionales generalmente no sobrepasan los 12 kg DQO / m<sup>3</sup> d, excepto cuando las aguas residuales presentan concentraciones superiores a 12000 mg DQO/L. Ello implica la existencia de una concentración por encima de la cual los filtros pasan a ser dimensionados por el criterio de carga orgánica. Por debajo de esa concentración, el dimensionamiento se realiza por la carga hidráulica . De esta manera, el proyecto de diseño de filtros anaerobios para tratamiento de aguas residuales domésticas estará siempre regido por el parámetro tiempo de retención hidráulico.

De la misma forma que para la tasa de aplicación superficial, las investigaciones realizadas en el ámbito de PROSAB indicaron que los filtros anaerobios son capaces de producir efluentes de buena calidad cuando los mismos son operados con cargas orgánicas volumétricas del orden de 0.15 a 0.50 kg DBO/m<sup>3</sup>d , tomado como referencia el volumen total del filtro, y de 0.25 a 0.75 kg DBO/m<sup>3</sup>d, para el volumen de la capa de medio soporte.

#### **4.2.3.6 Sistema de distribución y colecta del efluente.**

Un aspecto muy importante en el diseño de filtros anaerobios hace referencia al detallado de los dispositivos de entrada y salida de las aguas residuales, puesto que la eficiencia del sistema de tratamiento depende sustancialmente de la buena distribución del flujo en el falso fondo y en la capa de medio soporte, y esta se encuentra condicionada a la correcta previsión de dichos dispositivos de entrada y salida. La equitativa distribución del agua residual mejora el contacto de esta con la biomasa y disminuye la ocurrencia de zonas muertas.

#### **4.2.3.7 Dispositivos para muestreo y remoción de lodo.**

Los dispositivos para muestreo y remoción de lodo se destinan, principalmente al monitoreo del crecimiento y de la calidad de la biomasa en el reactor, posibilitando mayores acciones de control sobre los sólidos en el sistema.

#### 4.3 Eficiencias de los Filtros Anaerobios.

Las eficiencias esperadas para los filtros anaerobios pueden ser estimadas a partir de la relación de desempeño presentada a través de la ecuación 1. Como dicha relación es empírica, teniendo como principales variables dependientes el tiempo de retención hidráulica y las características del medio soporte, la misma no deberá tener un uso generalizado. Van Haandel&Lettinga (1984) proponen otras alternativas.

Para la ec. 1, obtenidas a partir del ajuste de datos experimentales de diferentes investigaciones con filtros anaerobio, que pasa a ser expresada como:

$$E = 100(1 - 0.87 T^{-0.5}) \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

E: eficiencia de filtro anaerobio (%).

T: tiempo de retención hidráulica (h);

0.87: constante empírica (coeficiente del sistema).

0.5: constante empírica (coeficiente del medio soporte).

Sin embargo, Van Haandel&Lettinga (1994) resaltan la limitación de la ecuación 2 en dos aspectos:

- La ausencia de relatos sobre la utilización de filtros anaerobios, en escala real, tratando aguas residuales domesticas;
- El numero bastante limitado de datos utilizados para la determinación de las constantes empíricas de la ecuación 2, que entre sí presentan grandes desviaciones.

Trabajos de investigación en escala piloto, utilizando filtros anaerobios como unidades aisladas de tratamiento de aguas residuales domésticas, precedidos solamente por dispositivos de tratamiento preliminar (rejillas finas y desarenador), reportaron eficiencias medias de remoción de DBO y DQO que variaron entre 68 y 79 % . Estos resultados fueron obtenidos para filtros operando con caudal constante y tiempos de retención hidráulico que variaron entre 6 y 8 horas ( Pinto, 1995).

Para filtros anaerobios utilizados como unidades de pos tratamiento de efluentes de reactores UASB, las eficiencias de remoción de DBO separadas para el sistema integrado varían entre el 75 y el 85%, siempre y cuando las unidades de tratamiento sean bien operadas y las temperaturas medias del agua residual en los meses más fríos sean superiores a los 20°C.

Los valores de eficiencias de remoción de contaminantes esperables en filtros anaerobios dimensionados de acuerdo con las directrices de la Norma NBR 13.969 (ABNT,1997)son: DBO entre 40 y 75 %, DQO entre 40 y 70 % y SST entre 60 y 90 %. Los valores límites inferiores se refieren a temperaturas del agua residual por debajo de 15°C, mientras que los valores límites superiores son para temperaturas por encima de los 25°C [7].

Las definiciones de velocidad superficial, carga volumétrica y tasa de aplicación será verificada con los resultados obtenidos al final de la investigación. En el caso de las mencionadas fórmulas experimentales de eficiencias se realizará la comparación con las obtenidas en la práctica mediante:

$$E = (S_0 - S) \cdot 100 / S_0$$

En la que:

E: eficiencia de remoción de DBO/DQO (%);

$S_0$  :Concentración de DBO/DQO afluente (mg/L);

S: Concentración de DBO/DQO efluente (mg/L).

Según Leuschner (1976) demostró que un proceso de lecho expandido con película anaerobia adherida es apto para tratar aguas residuales de baja concentración con tiempos cortos de retención, a temperatura ambiente. Estos resultados fueron confirmados por Switzenbaum y Jewell, quienes obtuvieron remociones del 80 % en DQO a temperaturas de 10 a 20 °C, tratando aguas residuales con DQO  $\leq$  600 mg/L, tiempos de retención hidráulica de seis horas, concentraciones de biomasa hasta de 30 g/L en el reactor y cargas volumétricas de hasta 8 kg DQO/ m<sup>3</sup>d.

El siguiente cuadro muestra los principales estándares de diseño del reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP) aplicado al tratamiento de aguas residuales municipales [11].

Estándar	Valor
Tiempo de retención: a 15°C, h	9-10
Tiempo de retención: a 20°C, h	8
Velocidad en las cámaras, m/h	3
Velocidad de sedimentación, m/d	24
Profundidad, m	2.7

*Cuadro N°4 : Estándares de diseño del RAP*

#### **4.4 Desarrollo del diseño de la Batería de Filtros Anaerobios.**

De las investigaciones en Brasil vistas anteriormente se ha observado que el diseño de filtros anaerobios para una DQO  $\leq$  12000 mg/L es con carga hidráulica, asumiendo valores de tiempo de retención hidráulica entre 4 a 10 horas a fin de obtener en el efluente una DBO  $\leq$  60 mg/L y SST  $\leq$  40 mg/L. Como consecuencia de elegir cierto tiempo de retención hidráulica, se obtiene las dimensiones del reactor anaeróbico.

Además, respecto a la investigación en Colombia de reactores anaerobios de flujo a pistón, que muestra el cuadro anterior a 20 °C el tiempo de retención es 8 horas.

Por ambos estudios mencionados en lo anterior, se trabajó con un tiempo de retención de 8 horas en cada reactor de la batería. Teniendo cada módulo reactor de diámetro 200 mm y recomendado en base a la experiencia brasilera, en el programa PROSAB, de estar el medio filtrante comprendido entre una altura de 0.8 a 3 metros, se optó por elegir la altura de 90 cm de material filtrante; por consiguiente se obtuvo el volumen del material filtrante a usar en cada filtro de 0.0283 m<sup>3</sup>, este dato de volumen con el valor del tiempo de retención (8 horas), se obtiene un caudal medio de 0.98 mL/seg.

V: Volumen en m<sup>3</sup>.

d: Diámetro en metros.

h: Altura del lecho en metros.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

T : tiempo de retención en segundos.

$$V = \pi d^2 h / 4$$

$$V = \pi 0.2^2 0.9 / 4$$

$$V = 0.0283 \text{ m}^3$$

$$Q = V / T$$

$$Q = 0.0283 / 28800$$

$$Q = 0.982 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} < > 1 \text{ mL/s.}$$

El 3 de Junio del año 2013 se empezó a realizar diario el aforo para que trabaje al caudal de diseño 4 L/Hora.

#### 4.5 Equipos usados para la medición en el estudio de investigación.

- Un Digestor (DRB 200 marca HACH) .
- Una Bomba de 1 hp.
- PH-metro (OAKTON)
- Turbidímetro (2100 Q)
- Colorímetro (DR/850 marca HACH)
- Incubadora
- Horno
- Balanza electrónica
- Desecador
- Aireador para análisis DBO
- Una Mufla
- Mechero
- Microscopio electrónico (Primo Star Zeiss).

## **CAPITULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **5.1. Ubicación del Equipo de investigación:**

La batería de filtros biológicos sumergidos anaerobios se ubicó dentro de las instalaciones del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería.



*Fig. N°1: Vista Satelital de CITRAR UNI.*

### **5.2. Materiales y construcción de los módulos de la Planta piloto.**

El mencionado equipo de investigación utilizó tres tuberías de PVC de diámetro 200 mm y altura 1.25 metros, con tapa de PVC en ambos extremos, dentro de cada uno se instaló como soporte para el material filtrante una rejilla circular de acero con orificios de  $\frac{1}{4}$  pulgada para el paso del fluido con patas o parantes de 20 cm de altura [ver Fig. 2 y 3].



Fig. N°2: Tubos PVC 8" y 1.25 m.



Fig. N°3: Vista de Planta de la rejilla de soporte para la granulometría.

Como apoyo de la batería de filtros se utilizó una madera de 1.5 metros de largo, 0.3 metros de ancho y 2 cm de espesor, con 3 orificios de 0.1 metros de diámetro separados 0.5 metros. Estos orificios están hechos para el paso y fácil manejo de la válvula de lodos y limpieza de cada reactor [ver Fig. 4 y 5].



Fig. N°4: Instalación del 2do Reactor.



Fig. N°5: Válvula para limpieza y eliminación de Lodo.

Estos tres reactores anaerobios se instalaron de forma vertical y fueron conectados en serie mediante mangueras de ½ pulgada ubicados su inicio y final 10 cm por encima de la parte superior del lecho y 10 cm por debajo de la rejilla del filtro respectivamente. Tiene 16 válvulas de control incluido para la eliminación de lodos [ver Fig. 6 y 7].



*Fig. N°6: Conexión en serie de los Filtros Anaerobios*



*Fig. N°7: Válvulas de Limpieza y eliminación de Lodos.*

Se ubicó un Reservorio Elevado de 200 L de agua cruda, sobre un andamio de fierro a una altura de dos metros de la base de la batería de filtros. Para mantener el nivel y flujo continuo se instaló al costado del Reservorio Elevado una Cámara regulación de carga hidráulica y al final de la batería de filtros se ubicó la unidad de recolección y sedimentación de agua tratada que fue conectado a la red de alcantarillado [ver Fig. 8 y 9].



*Fig. N°8: Reservorio Elevado y Cámara Reguladora de carga hidráulica*



*Fig. N°9: Al final de la Batería se ubica la unidad de Recolección y su conexión hacia el alcantarillado.*

### **5.3 Granulometría en la Batería de Filtros.**

La Piedra Chancada tiene una excelente resistencia por sus aristas, presentan esquinas que hacen que sea difícil el deslizamiento entre partículas y permite

buena distribución del flujo. Además la piedra chancada presenta porosidad y no contiene sulfuros ni sulfatos [ver Fig.10].



*Fig. N°10: Piedra chancada.*

La piedra chancada fue lavada cuatro veces con bastante agua para evitar el polvo o barro adherido a su superficie, esta grava es de consistencia dura; es decir no se rompe fácilmente y no tiene arcilla [ver Fig.11 y 12].



*Fig. N°11: Lavado número 4 de la piedra chancada.*



*Fig. N°12: Lavado número 4 de la piedra chancada.*

Se colocó como material filtrante dentro de cada Reactor 0.028 m<sup>3</sup> de piedra chancada, seleccionada de forma angular, graduada según selección y uso de tamizado al tamaño de ½ pulgada [ver Fig.13].



*Fig. N°13: Granulometría del Filtro*

#### **5.4. Metodología de Trabajo para la Evaluación de los Materiales y de la Operación de los Reactores.**

##### **5.4.1 Determinación de la Porosidad en la Granulometría.**

Se utilizó dos recipientes de 1L, en uno se colocó determinado volumen de agua y en el otro recipiente se colocó material filtrante del mismo volumen que el agua en el primer recipiente. Luego se vació agua del primer recipiente al segundo hasta llenar todos los vacíos del material filtrante. La reducción del volumen de agua en el primer recipiente entre el volumen de agua al inicio de este recipiente da como resultado la porosidad del material filtrante la cual salió 55 %. (550/1000) del análisis en laboratorio [ver Fig.14, 15 y 16].



*Fig. N°14: Se coloca la granulometría en el Recipiente.*



*Fig. N°15: Se llena de agua el recipiente*

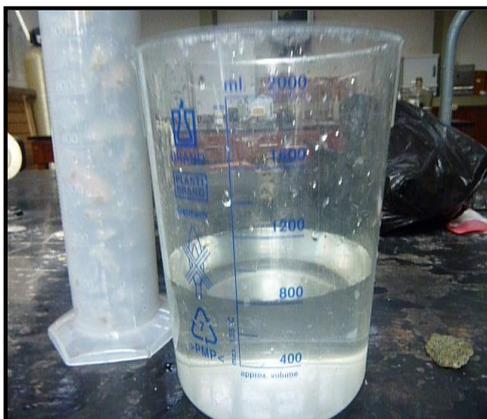


Fig. N°16: Se mide la diferencia de nivel de agua.

#### 5.4.2 Prueba hidráulica y operación de aforo.

Antes de llenar el reservorio elevado con agua cruda del efluente del RAFA este se llenó con agua potable para apreciar su funcionamiento o circulación del agua. Además se realizó la prueba hidráulica (24 horas) para observar si existe alguna filtración para su pronta corrección [ver Fig.17 y 18].



Fig. N°17: Se llena el reactor con agua para la prueba hidráulica.



Fig. N°18: Se llena con agua la cámara reguladora de carga para la prueba hidráulica.

Para uniformizar el flujo de agua a través de los reactores y obtener el mismo caudal al aforar las salidas de los tres filtros se recurrió a ubicar a diferentes niveles cada filtro para de esta manera definir la línea gradiente hidráulica que obtuvo una pendiente de 1/5% [ver Fig.19 y 20].



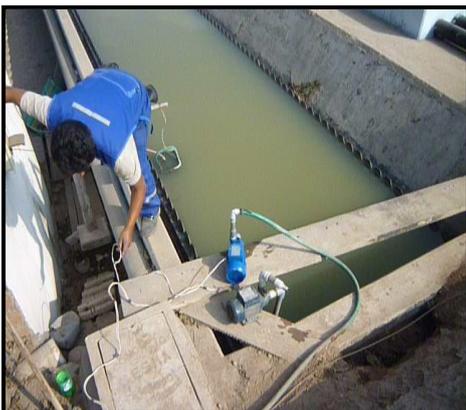
*Fig. N°19: Se afora el caudal diseño en la salida de cada reactor.*



*Fig. N°20: Se uniformiza el flujo de agua cuando el desnivel es 10 cm por cada 50 cm de separación horizontal entre reactores.*

#### **5.4.3 Operación y Puesta en marcha de la Batería de Filtros.**

Del efluente del RAFA es bombeado hacia el Reservorio Elevado de agua cruda mediante el uso de una bomba de 1 HP, para obtener carga hidráulica y luego por gravedad pueda circular normalmente el caudal de diseño a través de la batería de filtros anaerobios [ver Fig. 21 y 22].



*Fig. N°21: Bombeo del efluente del RAFA hacia el Reservorio Elevado.*



*Fig. N°22: Llenando el Reservorio Elevado del efluente del RAFA.*

Para aforar las salidas de cada reactor empezando del último y terminando en el primer reactor, se usó una probeta y un cronómetro manual. La medición fue de

10 ml en 10 segundos, para lograr esto en los tres filtros, diario se calibró la válvula de ingreso de la batería de filtros [ver Fig. 23].



*Fig. N°23: Aforo del Caudal Diseño en el segundo Reactor. Se observa que se cierra la llave roja y se abre la azul.*

Los aforos fueron diarios en duración de 18 semanas. El purgado y limpieza de cada filtro se realizó dos veces, el primero fue al finalizar la octava semana (fin del primer periodo) y el segundo al terminar la treceava semana (fin del segundo periodo) [ver Fig. 24].



*Fig. N°24: Purgado y Limpieza de filtro para evitar la colmatación.*

Luego, se llevó un litro de agua del purgado al cono imhoff, por 24 horas para ver cuánto de sólidos sedimenta. El resultado fue de 0.4 ml/L/H [ver Fig. 25].



*Fig. N°25: Cono imhoff para los sólidos sedimentados.*

Cabe mencionar también que antes de purgar cada uno de los filtros, se realizó limpieza, eliminando las natas formados en cada filtro [ver Fig. 26].



*Fig. N°26: Limpieza de natas en el Reactor Anaerobio.*

## CAPITULO VI: EVALUACION DEL ANALISIS Y MEDICION EN LABORATORIO.

### 6.1 Estudio del Desarrollo y Crecimiento de la Capa Zogleal en el Material Granulado.

Se observó que después de dos semanas de contacto del agua cruda con el material granulado se obtuvo formación de la capa zogleal, dándose inicio a la caracterización del agua residual [ver Fig. 27,28 y 29].



*Fig. N°27: Unidad de contacto, en la que las aguas residuales pasan a través de una masa de sólidos biológicos que se encuentra contenida dentro del reactor.*



*Fig. N°28: Formación de capa zogleal en la granulometría*



*Fig. N°29: Sacando una muestra para llevarlo al Microscopio.*

Se preparó suero fisiológico (solución salina al 0,9%), con el cual se efectuó el lavado del material granulométrico. Seguidamente, la solución obtenida luego del lavado se colocó en porta objetos para finalmente observarla en el microscopio. Se logró visualizar los elementos que conforman la capa zogleal (materia

orgánica en descomposición, detritos y protozoarios tales como la vorticela Campanula y rotíferos [ver Fig. 30 y 31].



Fig. N°30: Microscopio (Primo Star Zeiss) para observar la formación de Capa Zogleal.



Fig. N°31: Vista Microscópica de la Capa Zogleal.

## 6.2 Análisis Físico Químico.

El desarrollo del análisis está comprendido por 16 semanas de estudio iniciando en la tercera semana y terminando en la décima octava semana, que contemplan 3 periodos.

Periodo 1: Seis semanas, desde la semana 3 hasta la semana 8.

Periodo 2: Cinco semanas, desde la semana 9 hasta la semana 13.

Periodo 3: Cinco semanas, desde la semana 14 hasta la semana 18.

### 6.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La remoción de demanda bioquímica de oxígeno fue evaluada semanalmente de acuerdo al método de las diluciones indicada en los Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y aguas residuales APHA-AWWA\_WPCF 19 edición (método winkler) [ver Fig. 32].



*Fig. N°32: En Laboratorio para Análisis DBO.*

### 6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fue evaluada semanalmente de acuerdo al método de reflujó con dicromato, indicado en los métodos normalizados para el análisis de agua potable y agua residual APHA-AWWA\_WPCF, 19va edición (se empleó el método de reflujó cerrado – Reactor Digestión Method) [ver Fig. 33, 34 y 35].



*Fig. N°33: Se va sacar 1 ml de la muestra para introducir al vial.*



*Fig. N°34 : Digestor con viales de agua tratada en filtros anaerobios .*



*Fig. N°35: Colorímetro para la medición de la DQO en el vial.*

### **6.2.3 Coliformes Fecales por el Método de Recuento de Entero bacterias.**

El análisis de coliformes fecales se realizó cuatro veces con una frecuencia de una vez por mes. Los análisis se han efectuado tomando como consulta los Métodos Normalizados y Residuales APHA-AWWA-WPCF 19 edición.

#### **6.2.3.1 Equipos y Materiales:**

- Mechero con Rejilla.
- Pipeta de 10 ml.
- Probeta 50 ml.
- Una perilla, una bagueta y una espátula.
- Dos Erlenmeyer esterilizados.
- Cuatro Placas Petri esterilizadas.
- Tres tubos de ensayo.
- Agar Endo Desoxicolato.
- Peptona.
- Agua Destilada.
- Horno.
- Incubadora.

#### **6.2.3.2 Procedimiento:**

Se preparó el agua peptonada en un Erlenmeyer mediante 72 ml de agua destilada con 0.72 gr. de peptona [ver Fig. 36 ].



*Fig. N°36: Análisis de Coliformes Fecales.*

Luego se sacaron 27 ml de agua peptonada para introducir en cada tubo de ensayo 9 ml. [ver Fig. 37].



*Fig. N°37: Análisis de Coliformes Fecales.*

Al Erlenmeyer que contiene ahora 45 ml de agua peptonada se introdujeron 5 ml de muestra [ver Fig. 38].



*Fig. N°38: Análisis de Coliformes Fecales.*

Luego de diluir se extrajo del Erlenmeyer 1 ml de solución para introducir en el tubo de ensayo  $10^{-2}$ ; de este tubo se extrajo 1 ml para introducirlo en el tubo  $10^{-3}$ ; así se realizaron diluciones hasta  $10^{-4}$ . Se preparó en un Erlenmeyer el agar con 13 gr. de Endo Desoxicolato y 250 ml. de agua destilada [ver Fig. 39].



*Fig. N°39: Análisis de Coliformes Fecales.*

Este Erlenmeyer se mantuvo en un mechero por 10 minutos, hasta que cambiase a un color violeta [ver Fig. 40].



*Fig. N°40: Análisis de Coliformes Fecales.*

Luego se empezó a sacar 1 ml de cada tubo de ensayo para colocarlo en su respectiva placa Petri [ver Fig. 41].



*Fig. N°41: Análisis de Coliformes Fecales.*

Después se vació hasta la mitad de cada placa el agar preparado del Erlenmeyer [ver Fig. 42].



*Fig. N°42: Análisis de Coliformes Fecales.*

Finalmente se llevó las placas al horno por un día para el crecimiento de las bacterias y poder realizar el conteo de coliformes. Sólo se contabilizaron las colonias rojas de diámetro mayor o igual a 2 mm. [ver Fig. 43].



*Fig. N°43: Análisis de Coliformes Fecales.*

### 6.2.4 Sólidos Suspendidos Totales.

Fueron realizados de acuerdo a los métodos gravimétricos indicados en los métodos normalizados para el análisis de agua potable y aguas residuales APHA-AWWA.WPCF 19 edición [ver Fig. 44,45,46 y 47].



*Fig. N°44: Crisoles en el evaporador.*



*Fig. N°45: Crisoles en la mufla.*



*Fig. N°46: Filtración de la Muestra con AR.*



*Fig. N°47: Balanza para pesar los crisoles.*

### 6.2.5 Turbidez.

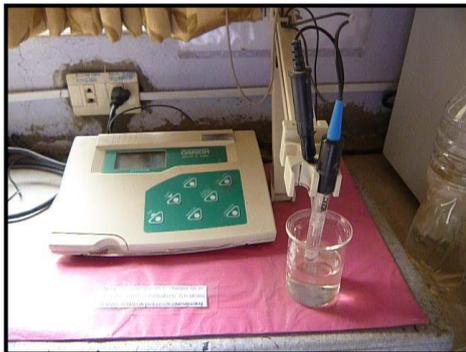
La turbiedad se midió de acuerdo al método de patrones por turbiedad utilizando un turbidímetro marca HACH – 2100Q [ver Fig. 48]



*Fig. N°48: Medición de turbiedad con Colorímetro (DR/850 marca HACH)*

### 6.2.6 PH y Temperatura.

Se realizó con el equipo PH-metro marca OAKTON [ver Fig. 49]



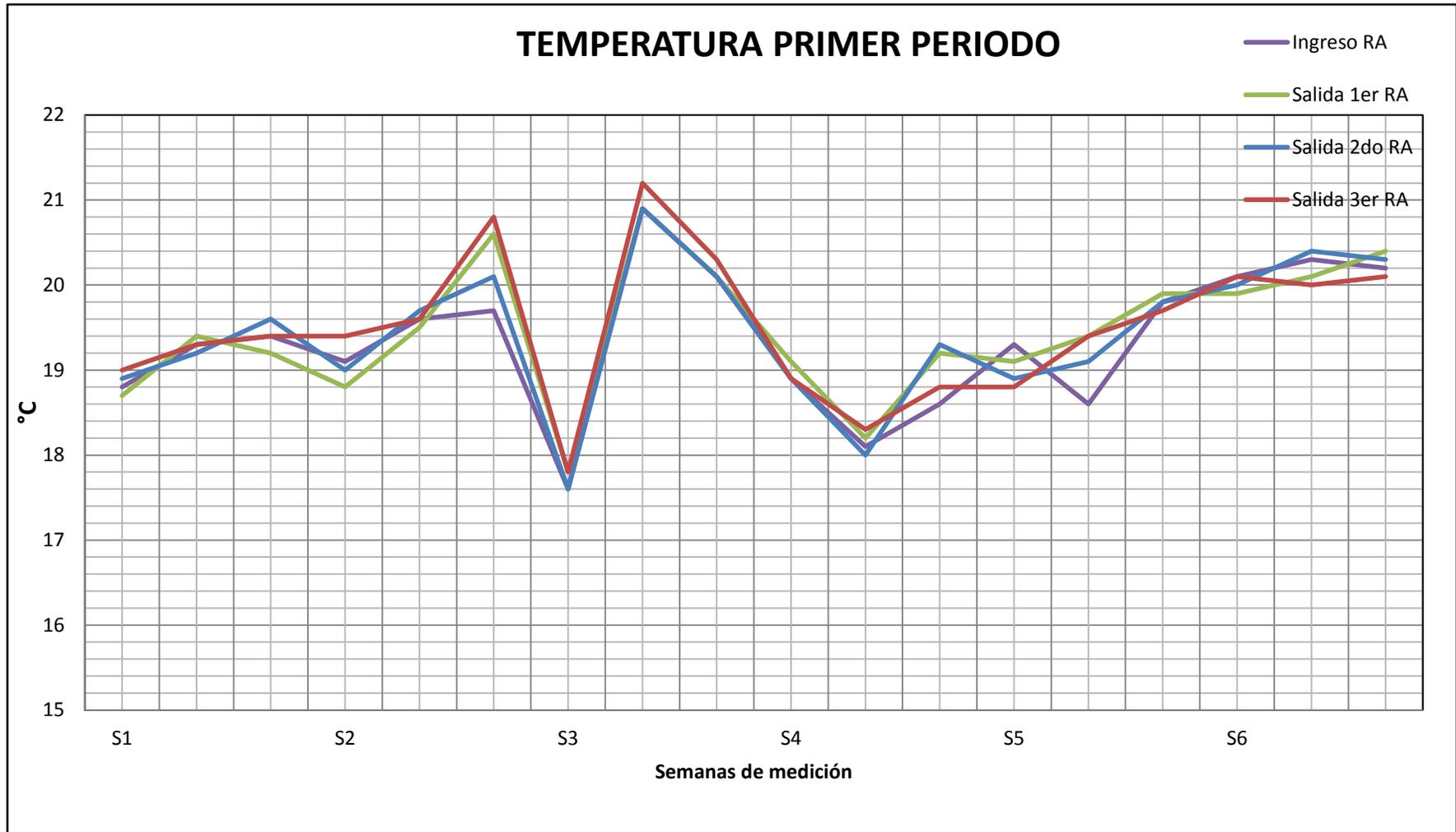
*Fig. N°49: Medición de PH y Temperatura.*

## CAPITULO VII: RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO.

### 7.1 Temperatura (°C).

Tabla N°1 : TEMPERATURA-PERIODO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	18.8	18.7	18.9	19
	19.3	19.4	19.2	19.3
	19.4	19.2	19.6	19.4
S2	19.1	18.8	19	19.4
	19.6	19.5	19.7	19.6
	19.7	20.6	20.1	20.8
S3	17.6	17.8	17.6	17.8
	20.9	20.9	20.9	21.2
	20.1	20.1	20.1	20.3
S4	18.9	19.1	18.9	18.9
	18.1	18.2	18	18.3
	18.6	19.2	19.3	18.8
S5	19.3	19.1	18.9	18.8
	18.6	19.4	19.1	19.4
	19.8	19.9	19.8	19.7
S6	20.1	19.9	20	20.1
	20.3	20.1	20.4	20
	20.2	20.4	20.3	20.1
PROMEDIO	19.36	19.46	19.43	19.49
MÁXIMO	20.90	20.90	20.90	21.20
MÍNIMO	17.60	17.80	17.60	17.80

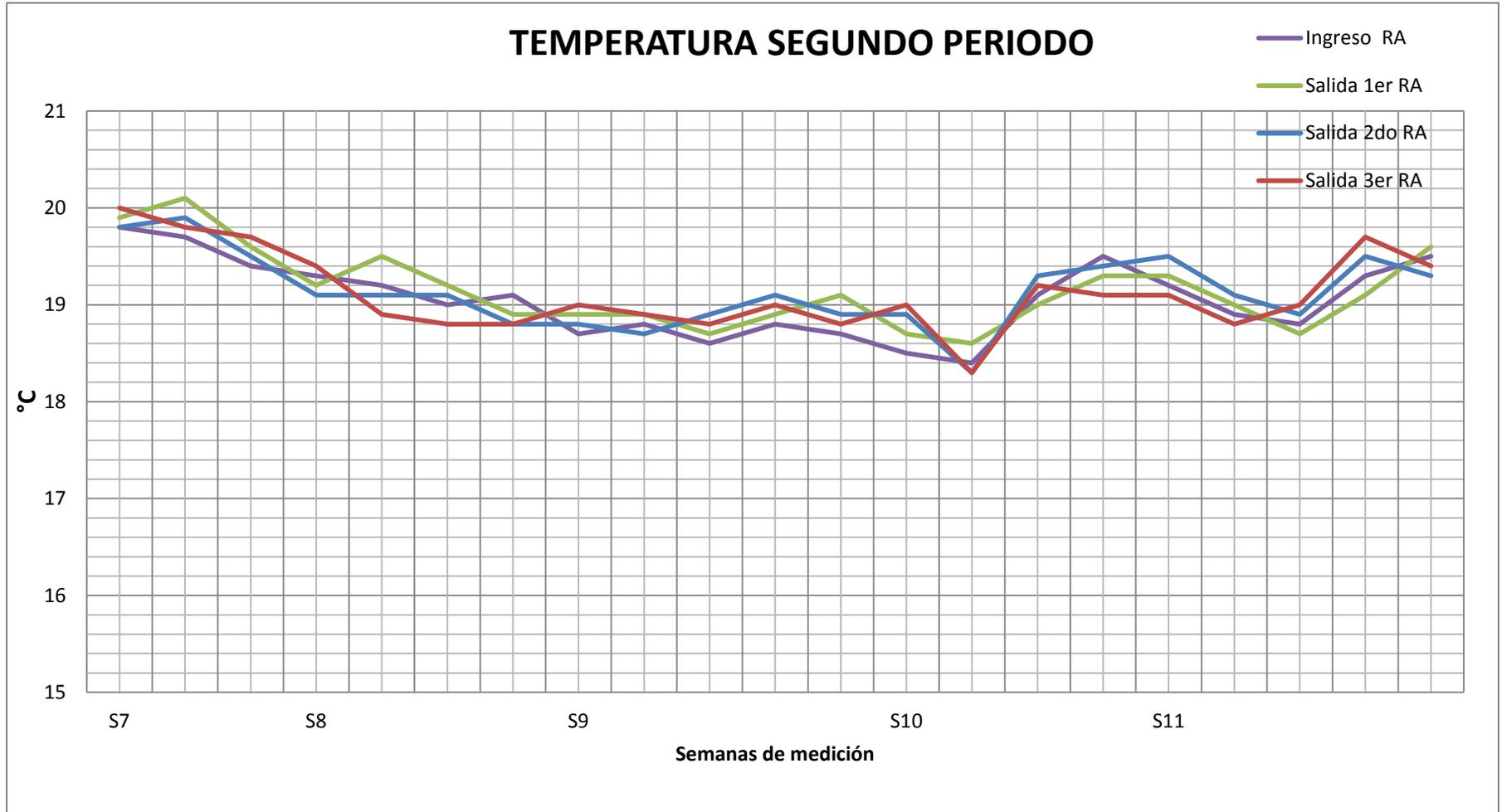
Gráfica N°1 : Variación de la temperatura (°C) en el primer periodo de prueba.



Estos datos están íntimamente relacionados con la temperatura ambiental correspondiendo con la temporada de invierno correspondiente a los meses de junio y julio. La primera semana comienza el 17 de Junio del 2013. Como se observa en la gráfica las temperaturas al ingreso y salidas de los tres reactores son muy semejantes. Para este periodo se observa la máxima temperatura observada en la semana 3.

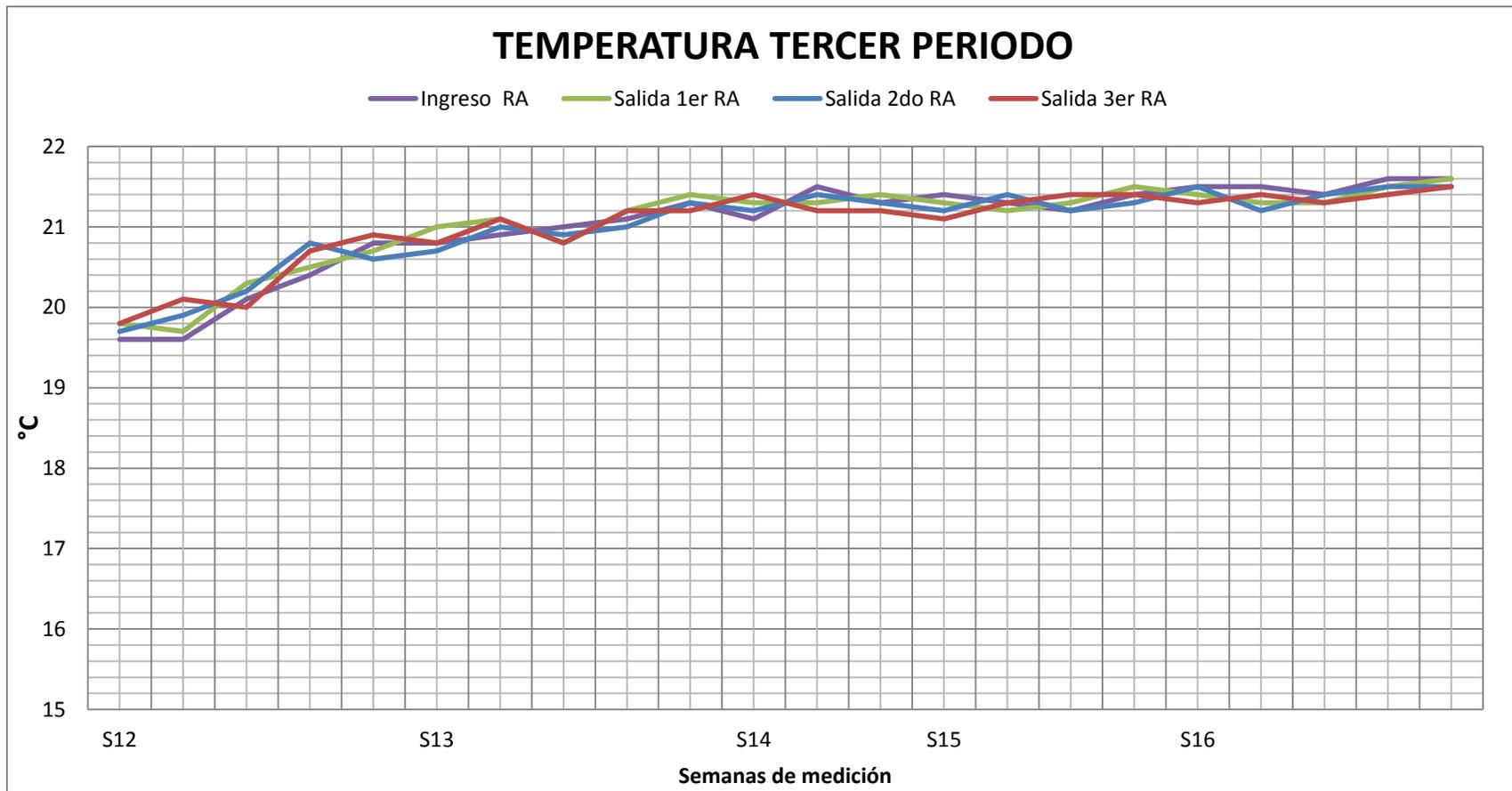
Tabla N°2 :TEMPERATURA-PERIDO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	19.8	19.9	19.8	20
	19.7	20.1	19.9	19.8
	19.4	19.6	19.5	19.7
S8	19.3	19.2	19.1	19.4
	19.2	19.5	19.1	18.9
	19	19.2	19.1	18.8
	19.1	18.9	18.8	18.8
S9	18.7	18.9	18.8	19
	18.8	18.9	18.7	18.9
	18.6	18.7	18.9	18.8
	18.8	18.9	19.1	19
	18.7	19.1	18.9	18.8
S10	18.5	18.7	18.9	19
	18.4	18.6	18.3	18.3
	19.1	19	19.3	19.2
	19.5	19.3	19.4	19.1
S11	19.2	19.3	19.5	19.1
	18.9	19	19.1	18.8
	18.8	18.7	18.9	19
	19.3	19.1	19.5	19.7
	19.5	19.6	19.3	19.4
PROMEDIO	19.06	19.15	19.14	19.12
MÁXIMO	19.80	20.10	19.90	20.00
MÍNIMO	18.40	18.60	18.30	18.30

Gráfica N°2: Variación de la temperatura (°C) en el segundo periodo de prueba.



Las temperaturas corresponden a una parte de los meses julio y agosto, de este último desde la semana 8 hasta la semana 11. Por ser temporada de invierno se dan las menores temperaturas.

Tabla N°3: TEMPERATURA-PERIDO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	19.6	19.8	19.7	19.8
	19.6	19.7	19.9	20.1
	20.1	20.3	20.2	20
	20.4	20.5	20.8	20.7
	20.8	20.7	20.6	20.9
S13	20.8	21	20.7	20.8
	20.9	21.1	21	21.1
	21	20.8	20.9	20.8
	21.1	21.2	21	21.2
	21.3	21.4	21.3	21.2
S14	21.1	21.3	21.2	21.4
	21.5	21.3	21.4	21.2
	21.3	21.4	21.3	21.2
S15	21.4	21.3	21.2	21.1
	21.3	21.2	21.4	21.3
	21.2	21.3	21.2	21.4
	21.4	21.5	21.3	21.4
S16	21.5	21.4	21.5	21.3
	21.5	21.3	21.2	21.4
	21.4	21.3	21.4	21.3
	21.6	21.5	21.5	21.4
	21.6	21.6	21.5	21.5
PROMEDIO	21.02	21.04	21.01	21.02
MÁXIMO	21.60	21.60	21.50	21.50
MÍNIMO	19.60	19.70	19.70	19.80

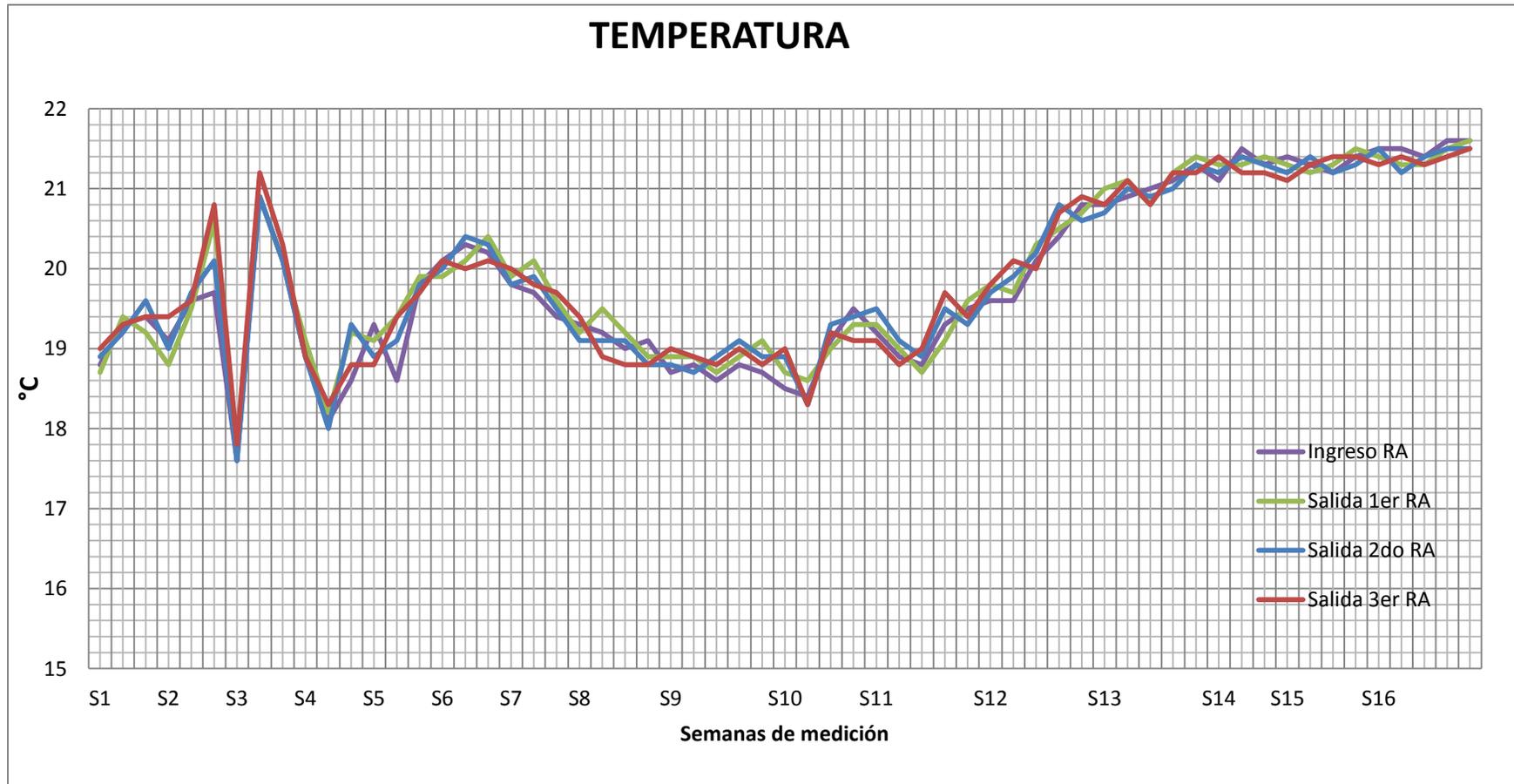
**Gráfica N°3: Variación de la temperatura (°C) en el tercer periodo de prueba.**

En este periodo corresponden a los meses de Setiembre y octubre. La semana 16 corresponde a la primera semana de octubre. En este periodo se presentan los picos más altos de temperatura por estar en temporada de primavera.

Tabla N°4: TEMPERATURA °C – TODOS LOS PERIODOS				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	18,8	18,7	18,9	19
	19,3	19,4	19,2	19,3
	19,4	19,2	19,6	19,4
S2	19,1	18,8	19	19,4
	19,6	19,5	19,7	19,6
	19,7	20,6	20,1	20,8
S3	17,6	17,8	17,6	17,8
	20,9	20,9	20,9	21,2
	20,1	20,1	20,1	20,3
S4	18,9	19,1	18,9	18,9
	18,1	18,2	18	18,3
	18,6	19,2	19,3	18,8
S5	19,3	19,1	18,9	18,8
	18,6	19,4	19,1	19,4
	19,8	19,9	19,8	19,7
S6	20,1	19,9	20	20,1
	20,3	20,1	20,4	20
	20,2	20,4	20,3	20,1
S7	19,8	19,9	19,8	20
	19,7	20,1	19,9	19,8
	19,4	19,6	19,5	19,7
S8	19,3	19,2	19,1	19,4
	19,2	19,5	19,1	18,9
	19	19,2	19,1	18,8
	19,1	18,9	18,8	18,8
S9	18,7	18,9	18,8	19
	18,8	18,9	18,7	18,9
	18,6	18,7	18,9	18,8
	18,8	18,9	19,1	19
	18,7	19,1	18,9	18,8

S10	18,5	18,7	18,9	19
	18,4	18,6	18,3	18,3
	19,1	19	19,3	19,2
	19,5	19,3	19,4	19,1
S11	19,2	19,3	19,5	19,1
	18,9	19	19,1	18,8
	18,8	18,7	18,9	19
	19,3	19,1	19,5	19,7
S12	19,5	19,6	19,3	19,4
	19,6	19,8	19,7	19,8
	19,6	19,7	19,9	20,1
	20,1	20,3	20,2	20
	20,4	20,5	20,8	20,7
S13	20,8	20,7	20,6	20,9
	20,8	21	20,7	20,8
	20,9	21,1	21	21,1
	21	20,8	20,9	20,8
	21,1	21,2	21	21,2
S14	21,3	21,4	21,3	21,2
	21,1	21,3	21,2	21,4
	21,5	21,3	21,4	21,2
S15	21,3	21,4	21,3	21,2
	21,4	21,3	21,2	21,1
	21,3	21,2	21,4	21,3
	21,2	21,3	21,2	21,4
S16	21,4	21,5	21,3	21,4
	21,5	21,4	21,5	21,3
	21,5	21,3	21,2	21,4
	21,4	21,3	21,4	21,3
	21,6	21,5	21,5	21,4
	21,6	21,6	21,5	21,5
<b>PROMEDIO</b>	19,85	19,92	19,90	19,92
<b>MÁXIMO</b>	21,6	21,60	21,50	21,50
<b>MÍNIMO</b>	17,6	17,80	17,60	17,80
<b>DESV.ESTANDAR</b>	±1.08	±1.03	±1.03	±1.03

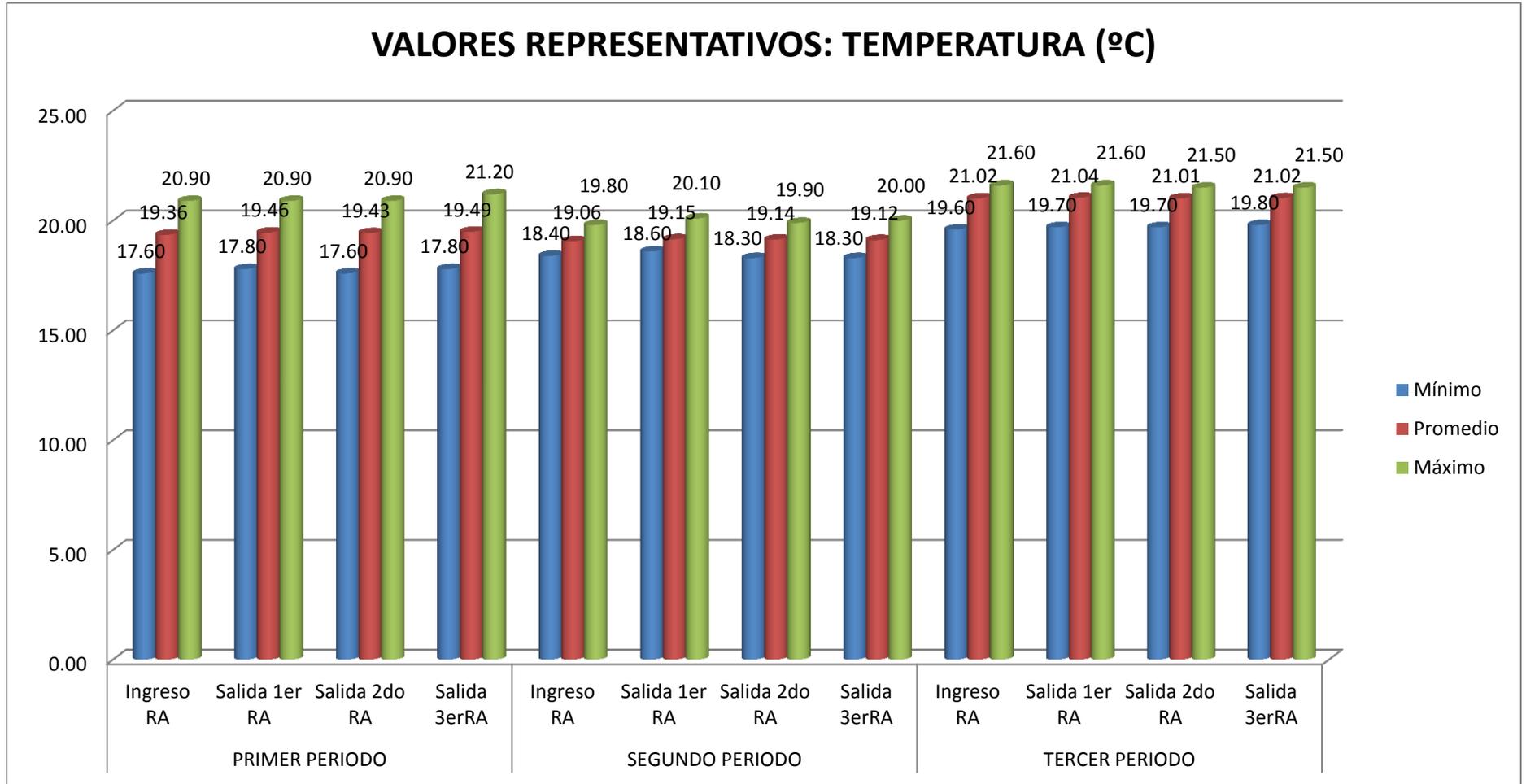
Gráfica N°4: Variación de la temperatura (°C) durante los tres periodos de prueba.



Se observa la variación de la temperatura durante los tres periodos de medición. Se inicia el 17 de Junio del año 2013 y acaba el 4 de octubre del mismo año. Se observa que la Temperatura es semejante en los cuatro puntos de muestreo y ha ido creciendo conforme a estado acercándose a la temporada de primavera.

Tabla N°5: VALORES REPRESENTATIVOS: TEMPERATURA				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	17.60	19.36	20.90
	Salida 1er RA	17.80	19.46	20.90
	Salida 2do RA	17.60	19.43	20.90
	Salida 3erRA	17.80	19.49	21.20
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	18.40	19.06	19.80
	Salida 1er RA	18.60	19.15	20.10
	Salida 2do RA	18.30	19.14	19.90
	Salida 3erRA	18.30	19.12	20.00
TERCER PERIODO	Ingreso RA	19.60	21.02	21.60
	Salida 1er RA	19.70	21.04	21.60
	Salida 2do RA	19.70	21.01	21.50
	Salida 3erRA	19.80	21.02	21.50

Gráfica N°5: Valores representativos de temperatura (°C).

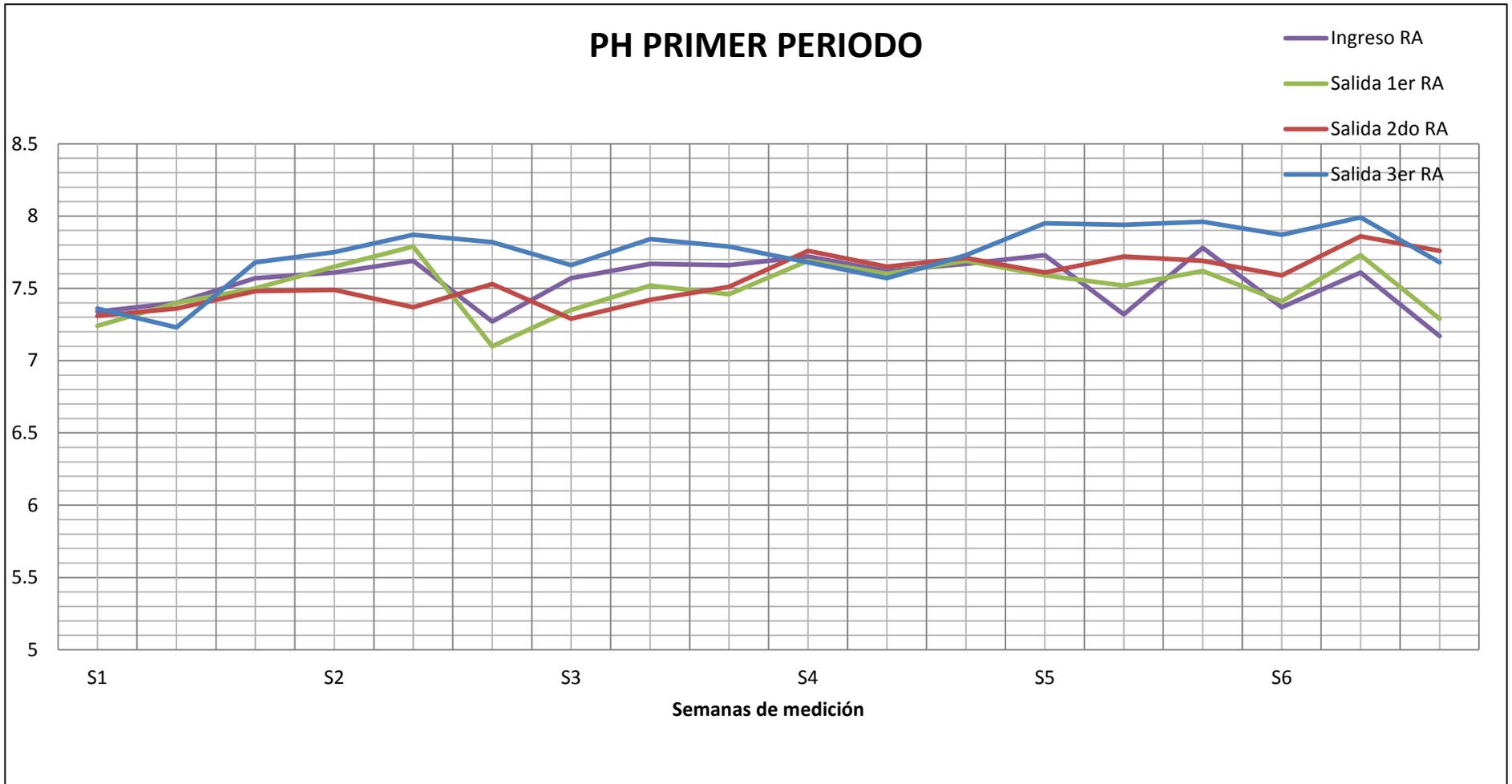


Se observa una gran semejanza en los tres periodos, entre los valores promedio de las temperaturas en los cuatro puntos de muestreo, pero que en conjunto ha ido aumentando.

## 7.2 Potencial de Hidrogeno (PH).

Tabla N°6:PH-PERIDO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	7.34	7.24	7.31	7.36
	7.4	7.4	7.36	7.23
	7.57	7.5	7.48	7.68
S2	7.61	7.65	7.49	7.75
	7.69	7.79	7.37	7.87
	7.27	7.1	7.53	7.82
S3	7.57	7.35	7.29	7.66
	7.67	7.52	7.42	7.84
	7.66	7.46	7.51	7.79
S4	7.72	7.69	7.76	7.68
	7.62	7.6	7.65	7.57
	7.67	7.69	7.71	7.73
S5	7.73	7.59	7.61	7.95
	7.32	7.52	7.72	7.94
	7.78	7.62	7.69	7.96
S6	7.37	7.41	7.59	7.87
	7.61	7.73	7.86	7.99
	7.17	7.29	7.76	7.68
PROMEDIO	7.54	7.51	7.56	7.74
MÁXIMO	7.78	7.79	7.86	7.99
MÍNIMO	7.17	7.10	7.29	7.23

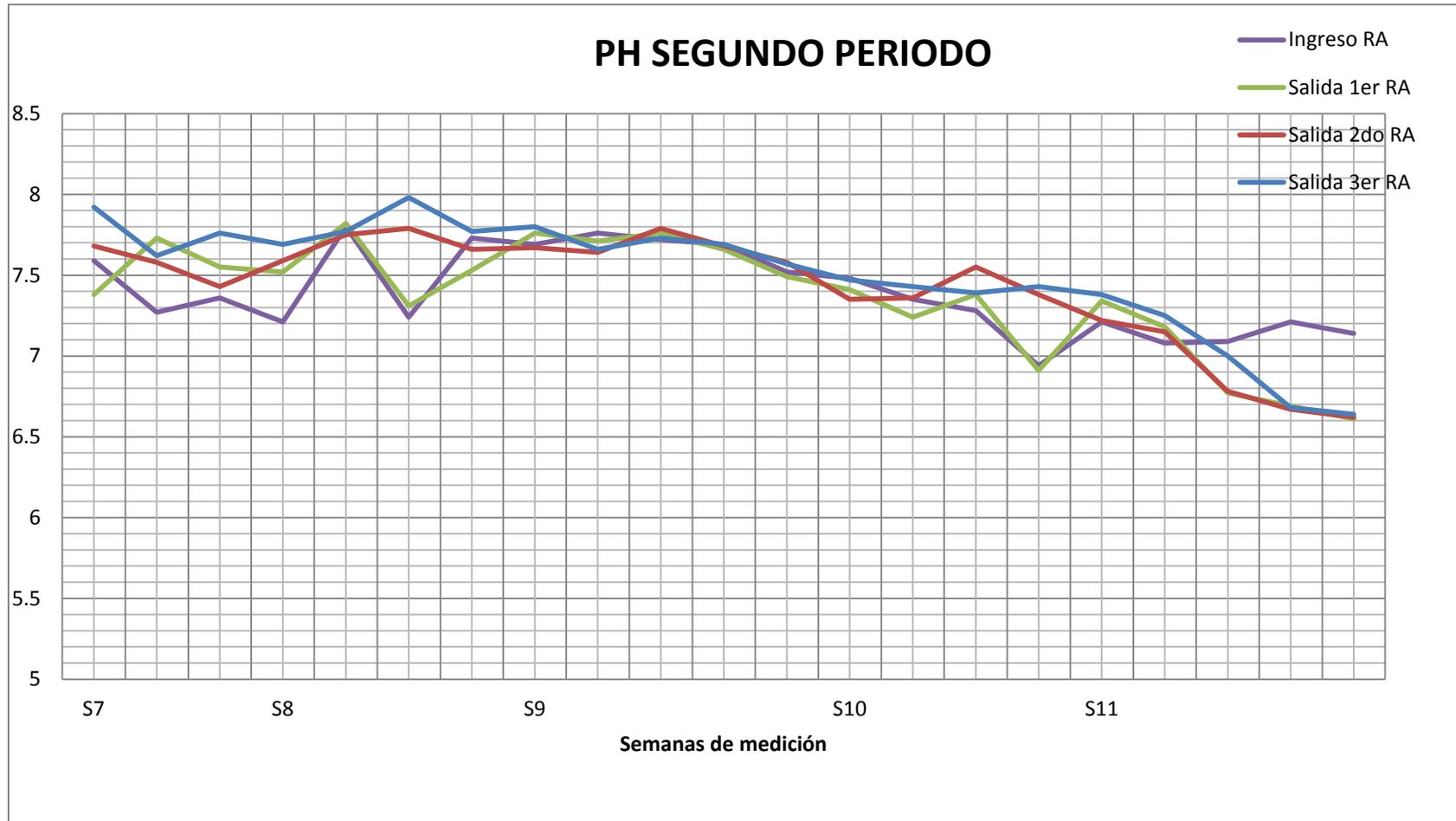
Gráfica N°6 : Variación del potencial de hidrógeno (PH) en el primer periodo de prueba.



Se observa que el pH se mantiene en el rango de 7 a 8 y no ocasiona mucha variación al pasar a través del filtro. Su máximo valor se aprecia en la semana 6 , en el tercer filtro.

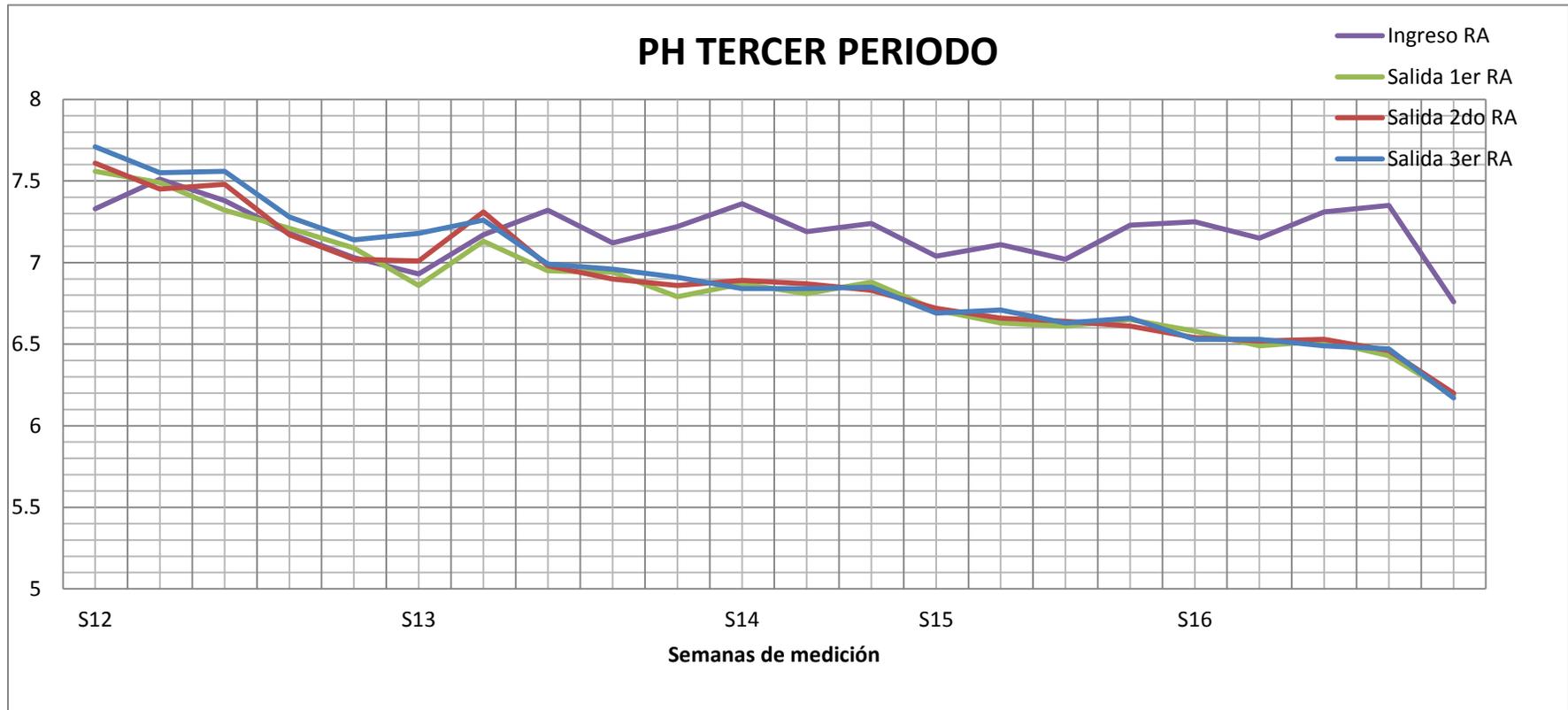
Tabla N°7:PH-PERIDO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	7.59	7.38	7.68	7.92
	7.27	7.73	7.58	7.62
	7.36	7.55	7.43	7.76
S8	7.21	7.52	7.59	7.69
	7.8	7.82	7.75	7.77
	7.24	7.31	7.79	7.98
	7.73	7.53	7.66	7.77
S9	7.69	7.76	7.67	7.8
	7.76	7.71	7.64	7.66
	7.72	7.76	7.79	7.73
	7.69	7.66	7.68	7.69
	7.52	7.49	7.58	7.57
S10	7.48	7.41	7.35	7.47
	7.35	7.24	7.36	7.43
	7.28	7.38	7.55	7.39
	6.94	6.91	7.38	7.43
S11	7.21	7.34	7.22	7.38
	7.08	7.18	7.15	7.25
	7.09	6.77	6.78	7
	7.21	6.69	6.67	6.68
	7.14	6.61	6.62	6.64
PROMEDIO	7.40	7.37	7.42	7.51
MÁXIMO	7.80	7.82	7.79	7.98
MÍNIMO	6.94	6.61	6.62	6.64

Gráfica N°7: Variación del potencial de hidrógeno (PH) en el segundo periodo de prueba.



Se puede apreciar que en la semana 10 y 11 el pH en los reactores empieza a bajar su valor hasta 6.61.

Tabla N°8: PH-PERODO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	7.33	7.56	7.61	7.71
	7.51	7.49	7.45	7.55
	7.38	7.32	7.48	7.56
	7.18	7.21	7.17	7.28
	7.03	7.09	7.02	7.14
S13	6.93	6.86	7.01	7.18
	7.17	7.13	7.31	7.26
	7.32	6.95	6.98	6.99
	7.12	6.94	6.9	6.96
	7.22	6.79	6.86	6.91
S14	7.36	6.87	6.89	6.84
	7.19	6.81	6.87	6.84
	7.24	6.88	6.83	6.85
S15	7.04	6.71	6.72	6.69
	7.11	6.63	6.66	6.71
	7.02	6.61	6.64	6.63
	7.23	6.65	6.61	6.66
S16	7.25	6.58	6.54	6.53
	7.15	6.49	6.52	6.53
	7.31	6.52	6.53	6.49
	7.35	6.43	6.46	6.47
	6.76	6.19	6.2	6.17
PROMEDIO	7.19	6.85	6.88	6.91
MÁXIMO	7.51	7.56	7.61	7.71
MÍNIMO	6.76	6.19	6.20	6.17

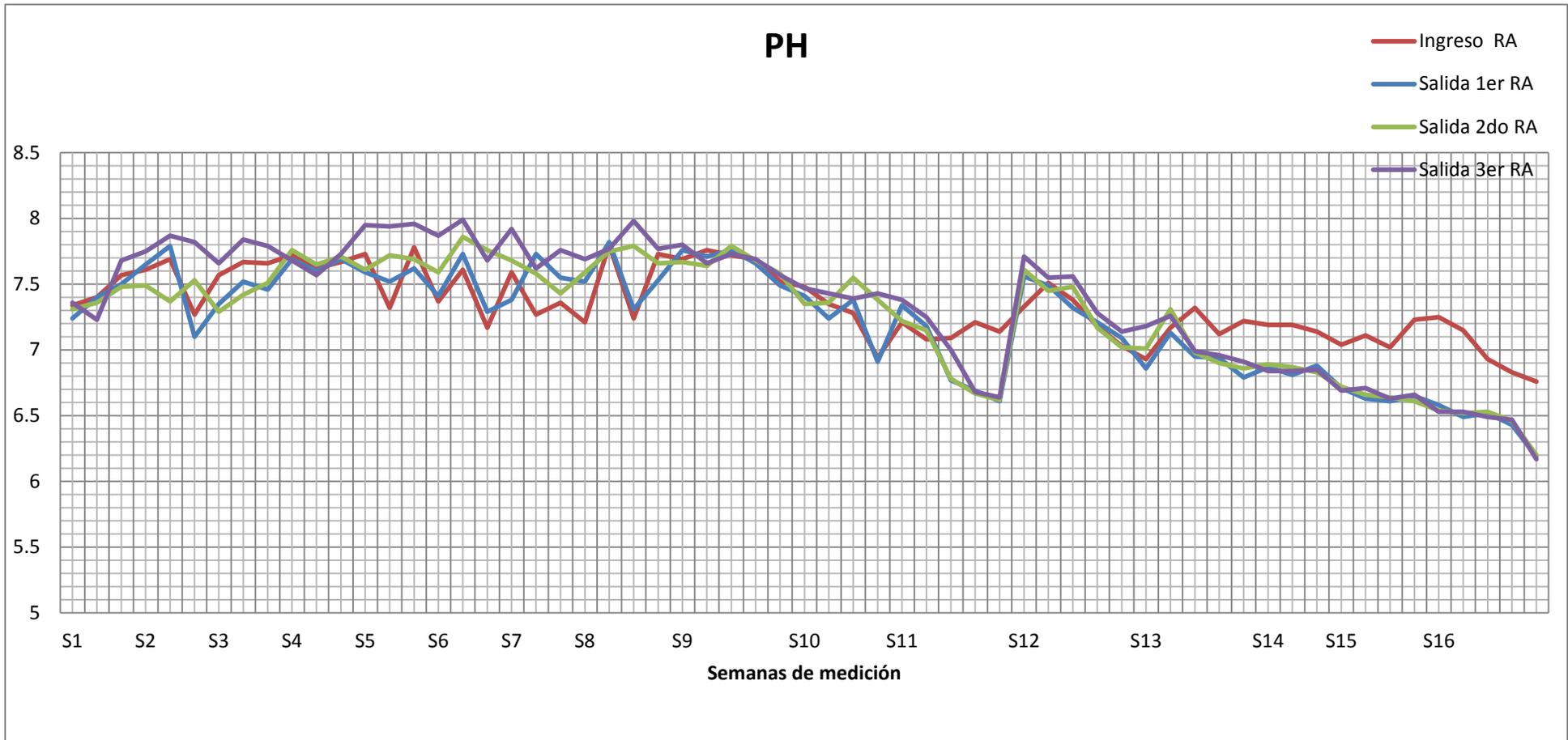
**Gráfica N°8: Variación del potencial de hidrógeno (PH) en el tercer periodo de prueba.**

El pH en los filtros a partir de la semana 14 se encuentra en el rango de 6 a 7. Su mínimo valor se aprecia en la última semana. La gráfica del ingreso al RA casi se mantiene constante y por encima de las demás gráficas que tiende a decrecer.

Tabla N°9: PH – TODOS LOS PERIODOS				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	7,34	7,24	7,31	7,36
	7,4	7,4	7,36	7,23
	7,57	7,5	7,48	7,68
S2	7,61	7,65	7,49	7,75
	7,69	7,79	7,37	7,87
	7,27	7,1	7,53	7,82
S3	7,57	7,35	7,29	7,66
	7,67	7,52	7,42	7,84
	7,66	7,46	7,51	7,79
S4	7,72	7,69	7,76	7,68
	7,62	7,6	7,65	7,57
	7,67	7,69	7,71	7,73
S5	7,73	7,59	7,61	7,95
	7,32	7,52	7,72	7,94
	7,78	7,62	7,69	7,96
S6	7,37	7,41	7,59	7,87
	7,61	7,73	7,86	7,99
	7,17	7,29	7,76	7,68
S7	7,59	7,38	7,68	7,92
	7,27	7,73	7,58	7,62
	7,36	7,55	7,43	7,76
S8	7,21	7,52	7,59	7,69
	7,8	7,82	7,75	7,77
	7,24	7,31	7,79	7,98
	7,73	7,53	7,66	7,77
S9	7,69	7,76	7,67	7,8
	7,76	7,71	7,64	7,66
	7,72	7,76	7,79	7,73
	7,69	7,66	7,68	7,69
	7,52	7,49	7,58	7,57

S10	7,48	7,41	7,35	7,47
	7,35	7,24	7,36	7,43
	7,28	7,38	7,55	7,39
	6,94	6,91	7,38	7,43
S11	7,21	7,34	7,22	7,38
	7,08	7,18	7,15	7,25
	7,09	6,77	6,78	7
	7,21	6,69	6,67	6,68
	7,14	6,61	6,62	6,64
S12	7,33	7,56	7,61	7,71
	7,51	7,49	7,45	7,55
	7,38	7,32	7,48	7,56
	7,18	7,21	7,17	7,28
	7,03	7,09	7,02	7,14
S13	6,93	6,86	7,01	7,18
	7,17	7,13	7,31	7,26
	7,32	6,95	6,98	6,99
	7,12	6,94	6,9	6,96
	7,22	6,79	6,86	6,91
S14	7,19	6,87	6,89	6,84
	7,19	6,81	6,87	6,84
	7,14	6,88	6,83	6,85
S15	7,04	6,71	6,72	6,69
	7,11	6,63	6,66	6,71
	7,02	6,61	6,64	6,63
	7,23	6,65	6,61	6,66
S16	7,25	6,58	6,54	6,53
	7,15	6,49	6,52	6,53
	6,93	6,52	6,53	6,49
	6,83	6,43	6,46	6,47
	6,76	6,19	6,2	6,17
<b>PROMEDIO</b>	7,35	7,22	7,27	7,36
<b>MÁXIMO</b>	7,80	7,82	7,86	7,99
<b>MÍNIMO</b>	6,76	6,19	6,20	6,17
<b>DESV.ESTANDAR</b>	±0.27	±0.42	±0.43	±0.49

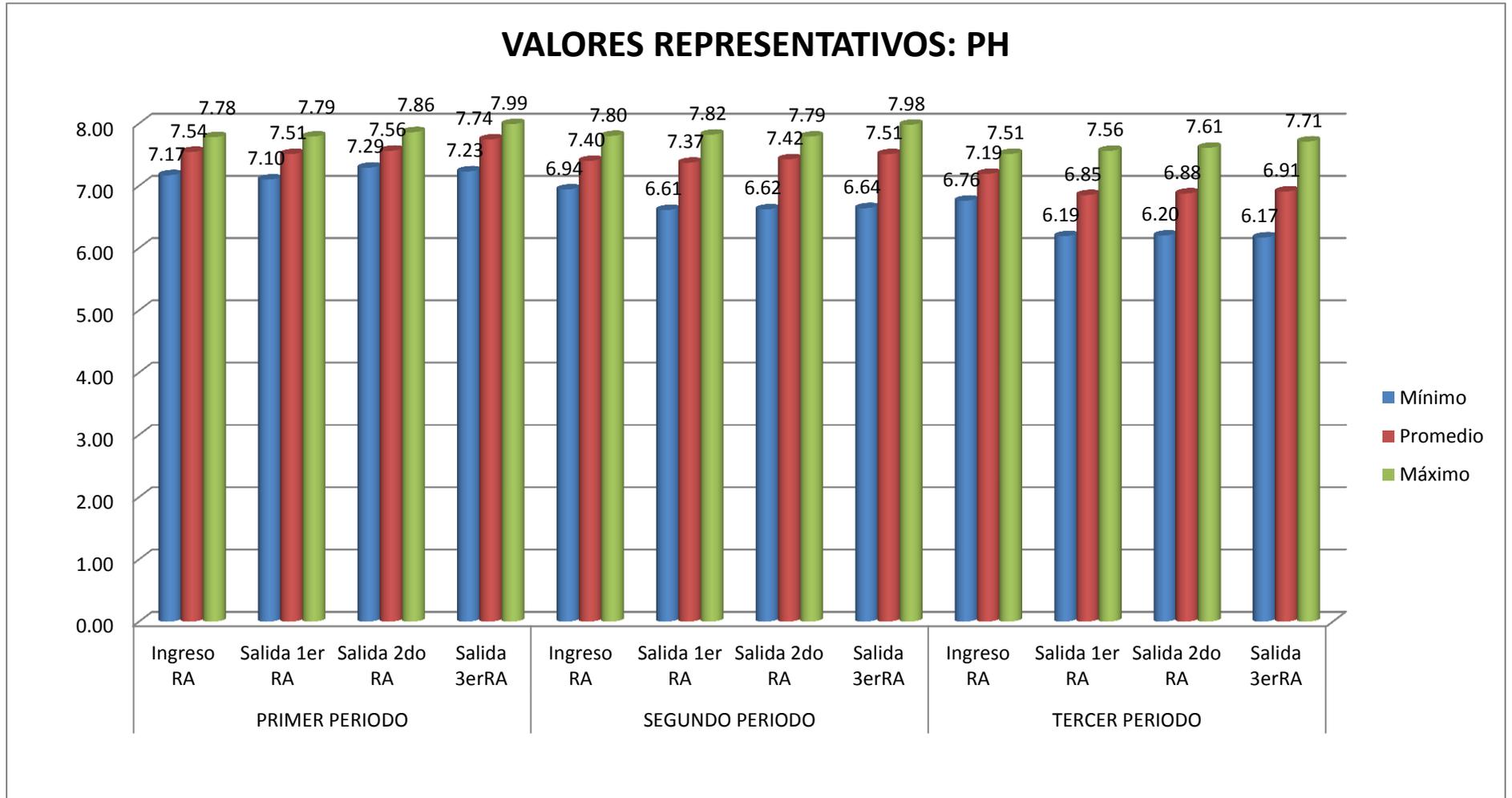
Gráfica N°9: Variación del potencial de hidrogeno (pH) durante los tres periodos de prueba.



El pH en los tres periodos se encuentra entre los valores de 6 y 8. Las gráficas de los reactores tiende a mantenerse horizontal hasta antes de la semana 9, pues a partir de este tiende a ser descendente. Al empezar el periodo 3(semána 12) dichas graficas ascienden tan rápido que luego de llegar a su pico alto, empiezan a descender. Mientras que la gráfica del ingreso al RA mantiene su tendencia a ser horizontal.

Tabla N°10: VALORES REPRESENTATIVOS: PH				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	7.17	7.54	7.78
	Salida 1er RA	7.10	7.51	7.79
	Salida 2do RA	7.29	7.56	7.86
	Salida 3erRA	7.23	7.74	7.99
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	6.94	7.40	7.80
	Salida 1er RA	6.61	7.37	7.82
	Salida 2do RA	6.62	7.42	7.79
	Salida 3erRA	6.64	7.51	7.98
TERCER PERIODO	Ingreso RA	6.76	7.19	7.51
	Salida 1er RA	6.19	6.85	7.56
	Salida 2do RA	6.20	6.88	7.61
	Salida 3erRA	6.17	6.91	7.71

Gráfica N°10: Valores representativos de pH.

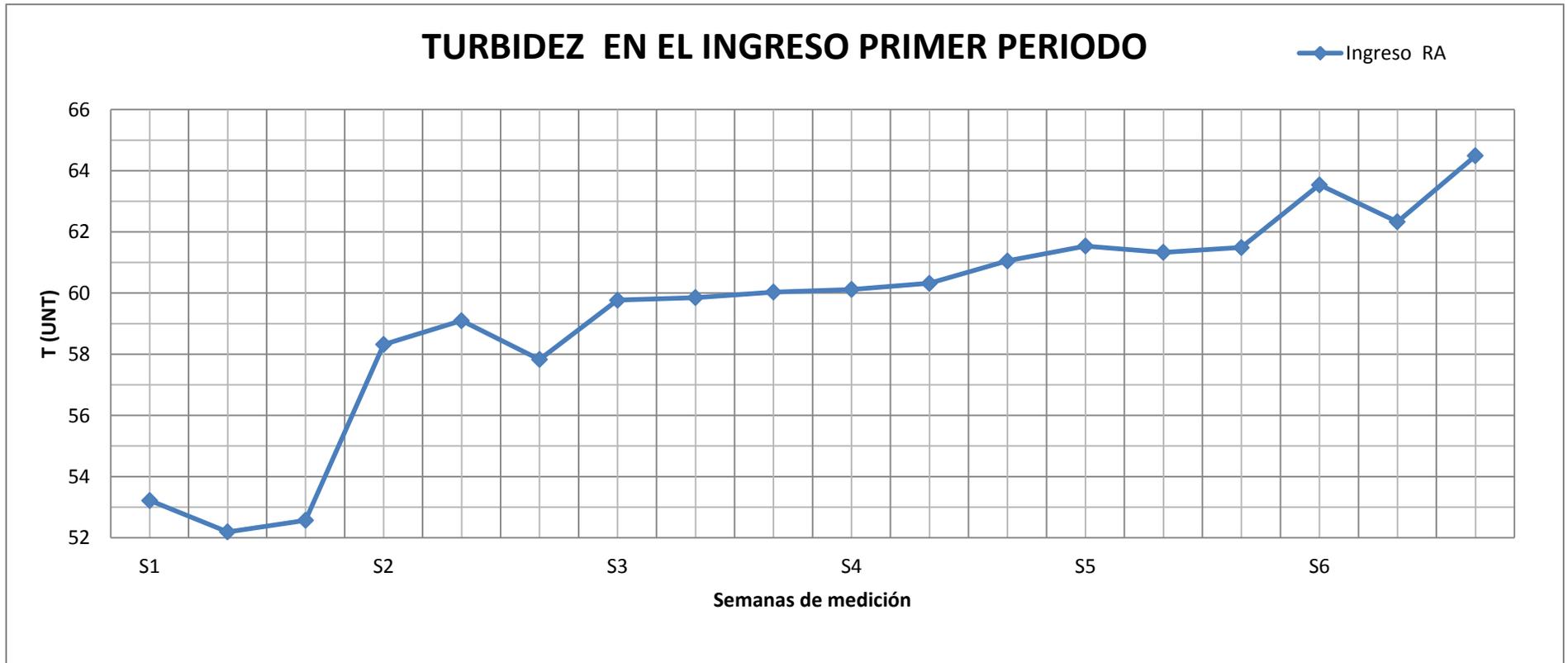


En términos promedio hay una tendencia ligera al aumento en cada periodo pero al pasar de un periodo a otro sufre una disminución. En forma global el promedio del pH tiende a disminuir.

## 7.3 Turbidez (UNT).

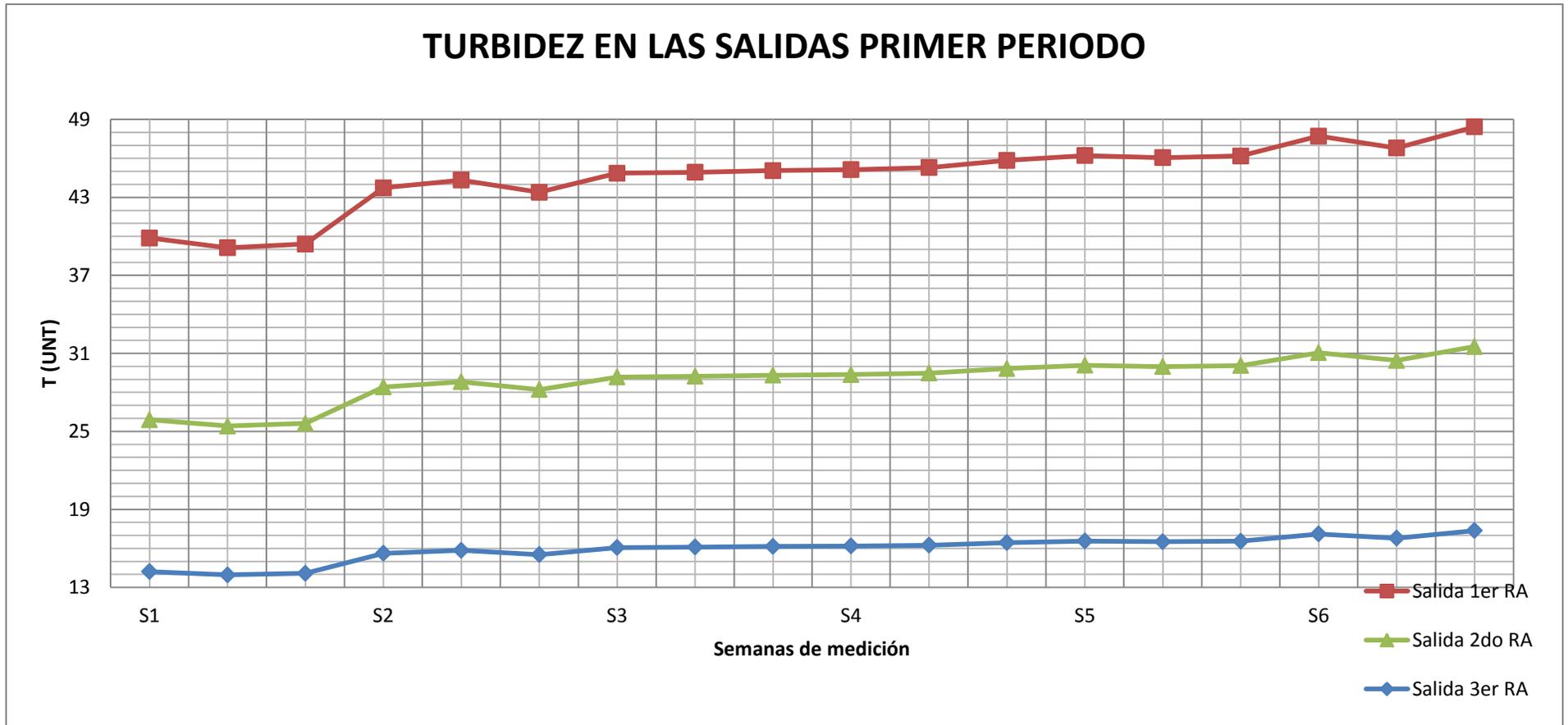
Tabla N° 11: TURBIDEZ - PERIODO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	53.22	39.88	25.90	14.22
	52.19	39.12	25.41	13.96
	52.57	39.41	25.61	14.08
S2	58.32	43.73	28.42	15.62
	59.10	44.33	28.82	15.85
	57.83	43.39	28.22	15.52
S3	59.77	44.86	29.18	16.06
	59.85	44.93	29.24	16.10
	60.03	45.06	29.32	16.15
S4	60.12	45.13	29.37	16.18
	60.32	45.29	29.48	16.24
	61.05	45.84	29.83	16.44
S5	61.54	46.21	30.08	16.57
	61.33	46.05	29.98	16.52
	61.49	46.18	30.06	16.56
S6	63.54	47.71	31.05	17.11
	62.33	46.80	30.46	16.79
	64.49	48.42	31.52	17.37
PROMEDIO	59.39	44.57	29.00	15.96
MÁXIMO	64.49	48.42	31.52	17.37
MÍNIMO	52.19	39.12	25.41	13.96

Gráfica N°11: Variación de la turbidez (UNT) de la muestra de ingreso a la batería en el primer periodo de prueba.



En la semana 6 se presenta el máximo pico de turbidez. La gráfica tiende a crecer a medida que transcurre las semanas.

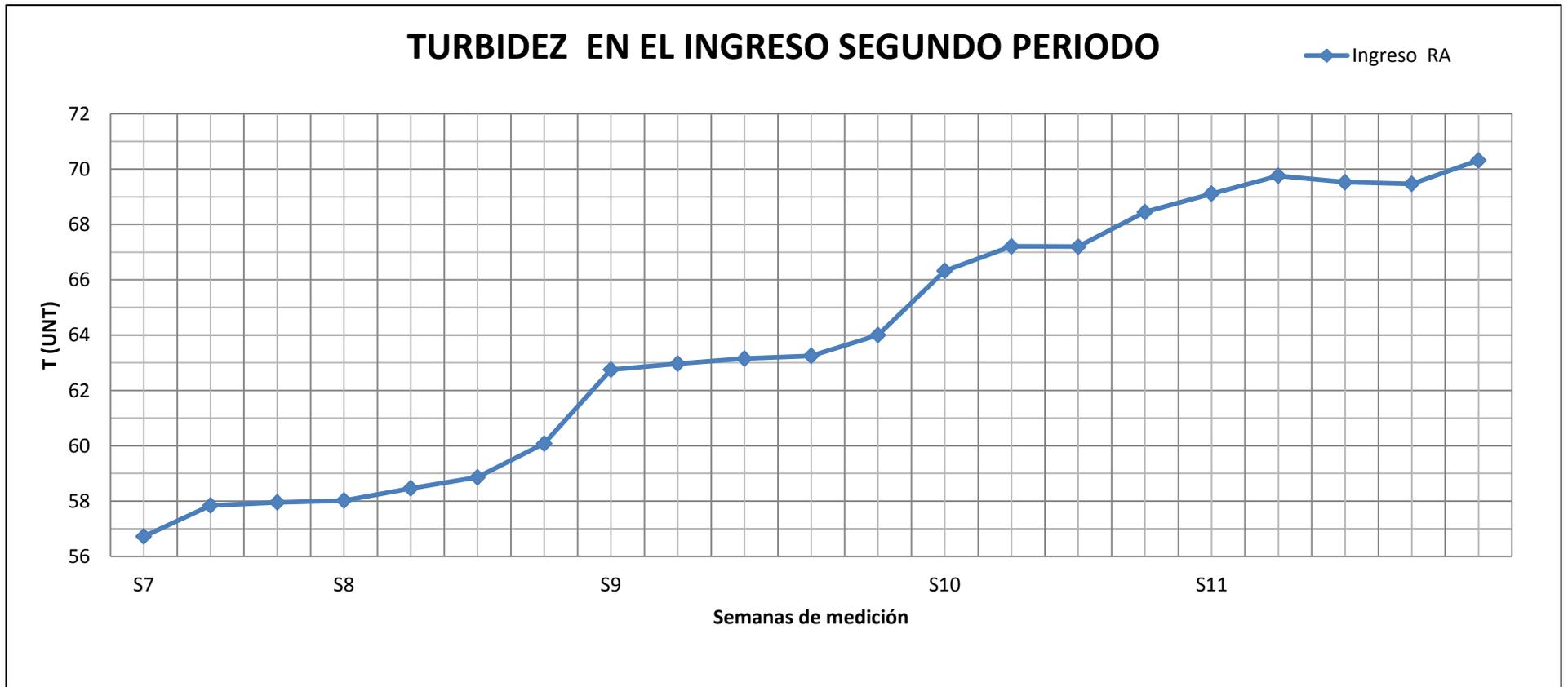
Gráfica N°12: Variación de la turbidez (UNT) de las muestra de salida de los reactores en el primer periodo de prueba.



Las tres gráficas tienen el mismo comportamiento a la gráfica 11, tienen ligera tendencia a crecimiento. La gráfica del primer reactor siempre está por encima de las demás, lo cual quiere decir que siempre tiene mayor turbidez.

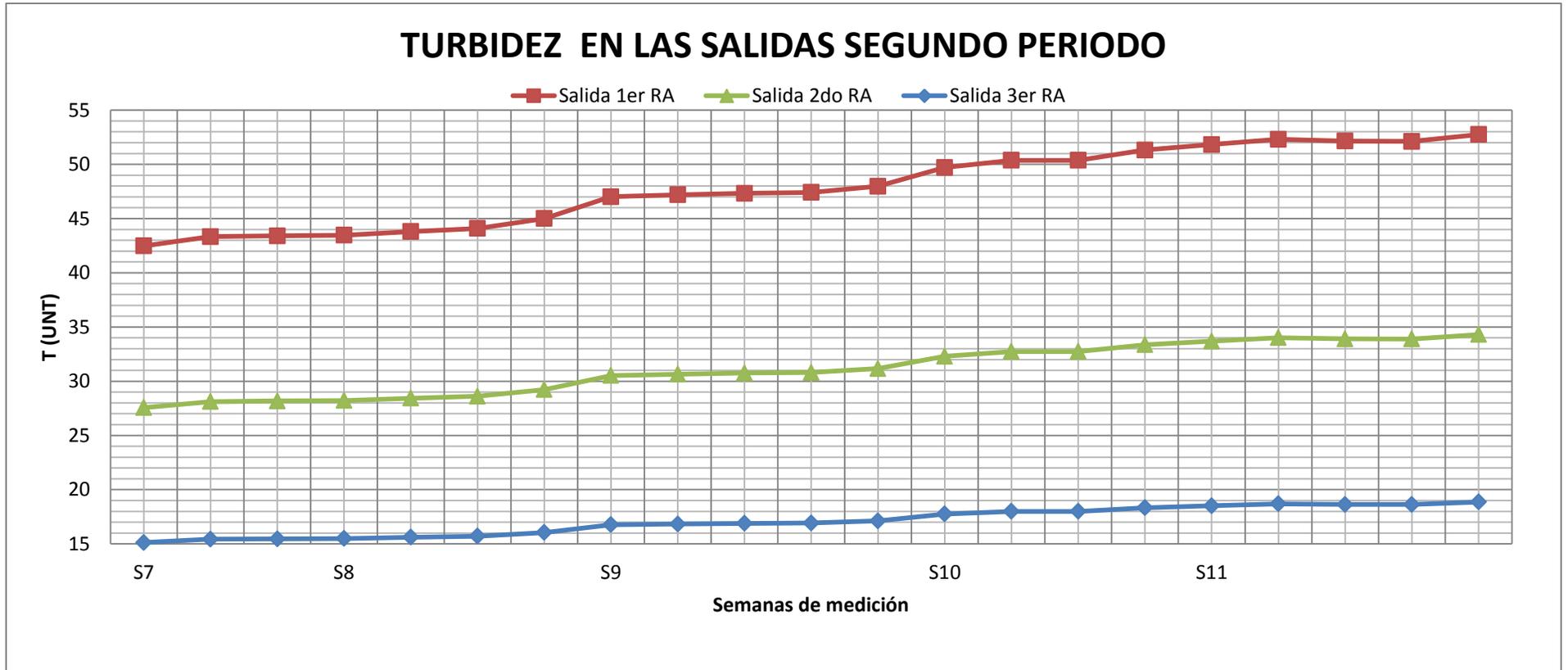
Tabla N° 12 :TURBIDEZ - PERIODO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	56.72	42.48	27.57	15.12
	57.84	43.33	28.12	15.43
	57.95	43.41	28.18	15.46
S8	58.02	43.47	28.22	15.49
	58.46	43.80	28.44	15.61
	58.86	44.09	28.62	15.71
	60.08	45.01	29.23	16.05
S9	62.75	47.02	30.53	16.77
	62.97	47.19	30.65	16.83
	63.15	47.33	30.75	16.89
	63.25	47.41	30.80	16.92
	64.00	47.98	31.17	17.12
S10	66.32	49.71	32.30	17.75
	67.21	50.37	32.74	17.99
	67.20	50.37	32.74	17.99
	68.45	51.32	33.36	18.33
S11	69.11	51.82	33.69	18.51
	69.76	52.31	34.01	18.69
	69.53	52.15	33.91	18.63
	69.47	52.11	33.89	18.63
	70.32	52.75	34.30	18.86
PROMEDIO	63.88	47.88	31.11	17.08
MÁXIMO	70.32	52.75	34.30	18.86
MÍNIMO	56.72	42.48	27.57	15.12

Gráfica N°13: Variación de la turbidez (UNT) de la muestra de ingreso de la batería en el segundo periodo de prueba.



Se observa el pico más alto a finales de la semana 11, la gráfica es creciente con el tiempo. Por tramos es constante.

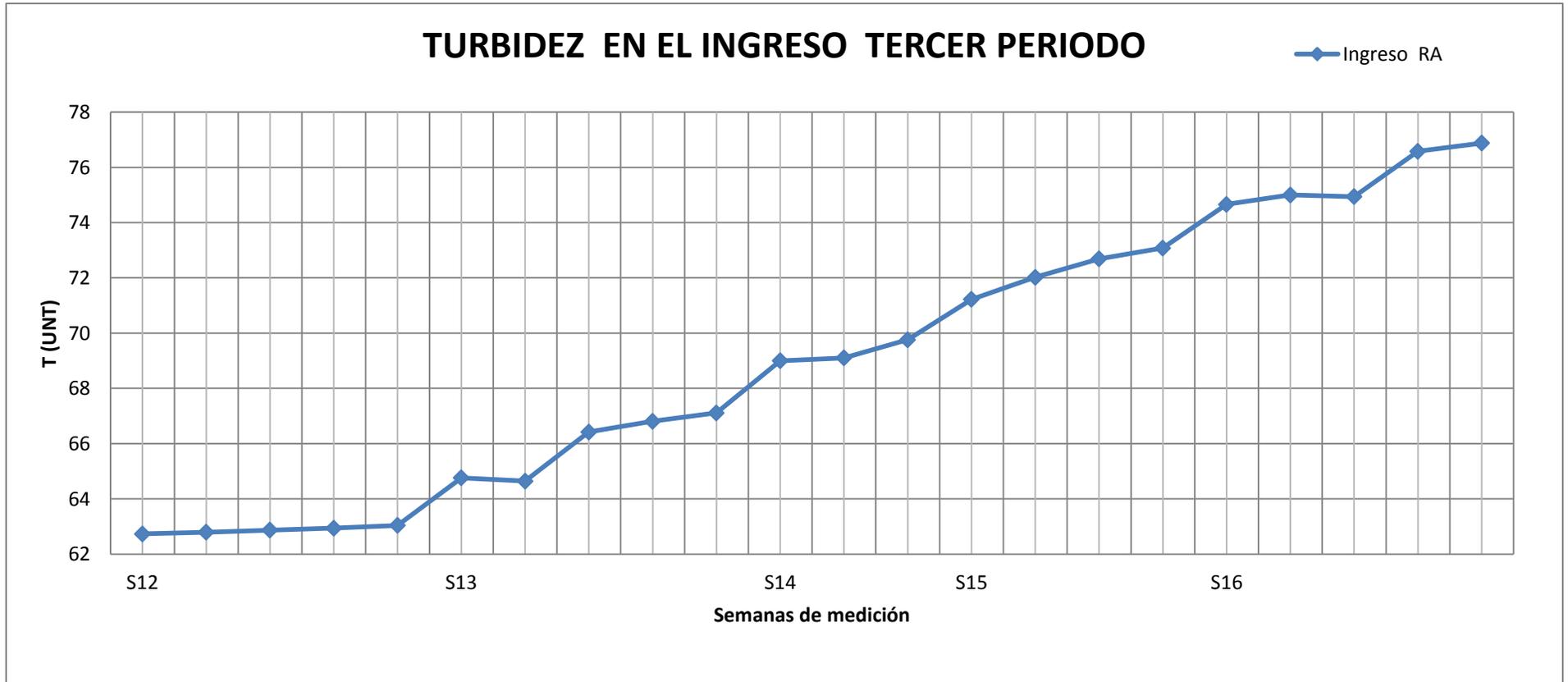
Gráfica N°14: Variación de la turbidez (UNT) de las muestra de salida de los reactores en el segundo periodo de prueba.



La gráfica de la salida del reactor 1(mayor turbidez) siempre está por encima del reactor 2 y este por encima del reactor 3. Estas tres gráficas son crecientes.

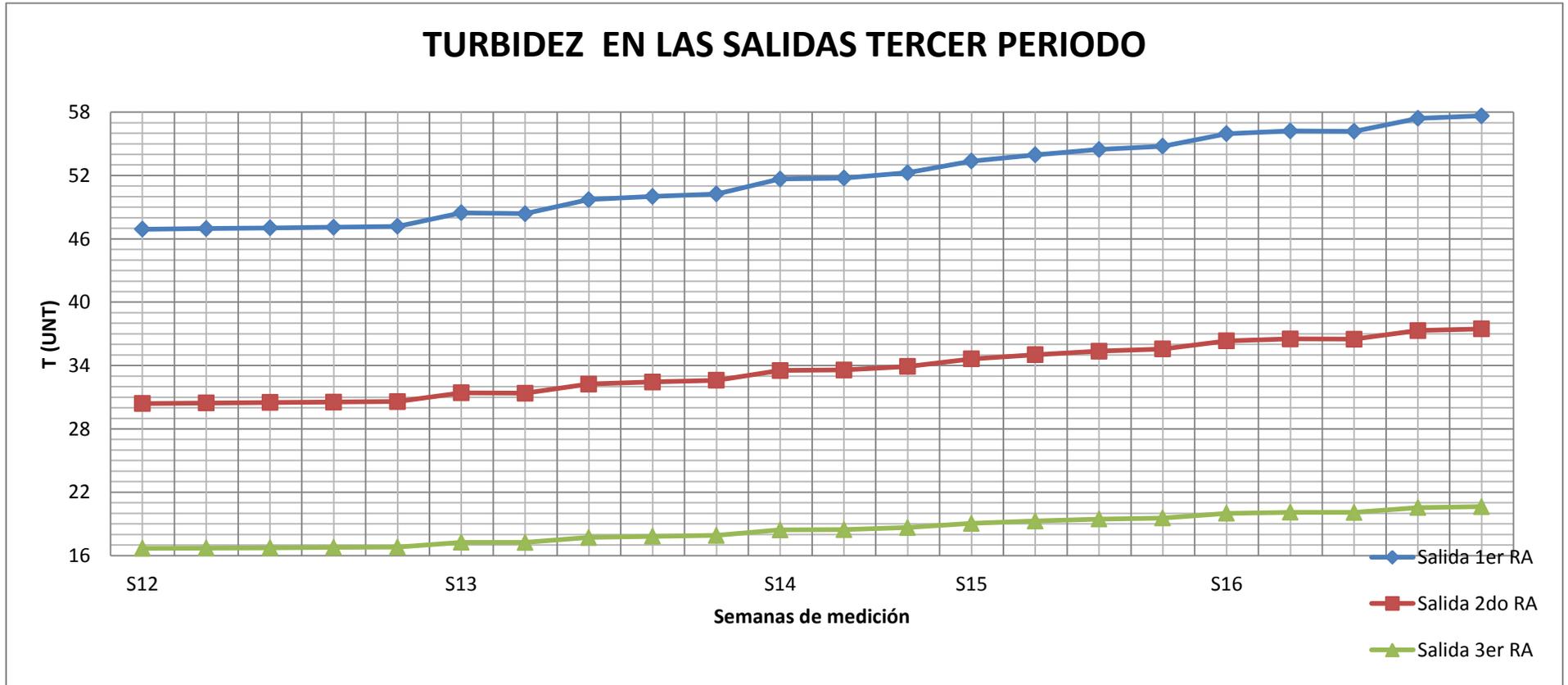
Tabla N° 13 :TURBIDEZ - PERIODO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	62.73	46.92	30.41	16.69
	62.79	46.97	30.45	16.71
	62.87	47.04	30.5	16.74
	62.94	47.1	30.54	16.77
	63.04	47.18	30.59	16.8
S13	64.76	48.47	31.42	17.26
	64.64	48.38	31.38	17.24
	66.42	49.72	32.24	17.71
	66.81	50.02	32.44	17.82
	67.11	50.25	32.6	17.91
S14	69	51.67	33.53	18.43
	69.1	51.76	33.58	18.46
	69.76	52.26	33.91	18.65
S15	71.22	53.36	34.63	19.05
	72.02	53.96	35.03	19.27
	72.69	54.47	35.36	19.45
	73.08	54.77	35.57	19.56
S16	74.66	55.96	36.34	20
	75	56.22	36.52	20.1
	74.94	56.18	36.5	20.09
	76.58	57.42	37.31	20.54
	76.88	57.65	37.47	20.63
PROMEDIO	69.05	51.72	33.56	18.45
MÁXIMO	76.88	57.65	37.47	20.63
MÍNIMO	62.73	46.92	30.41	16.69

Gráfica N°15: Variación de la turbidez (UNT) de la muestra de ingreso a la batería en el tercer periodo de prueba.



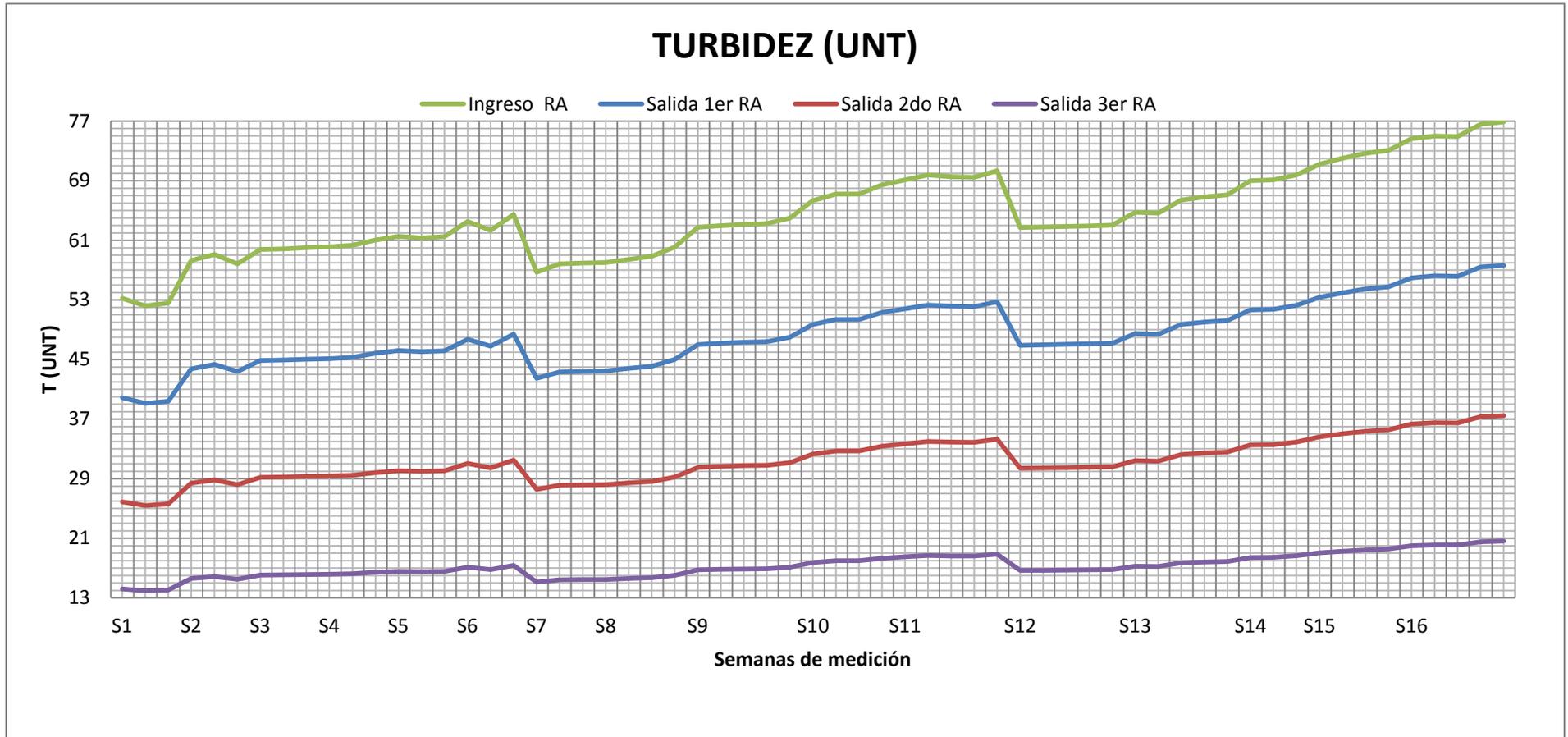
Por ser una gráfica creciente las turbiedades máximas se presentan en la última semana (la semana 16), en la primera semana se mantiene constante.

Gráfica N°16: Variación de la turbidez (UNT) de las muestra de salida de los reactores en el tercer periodo de prueba.



La turbidez en la primera semana de este periodo descendió con respecto a la última semana del periodo anterior debido a que al finalizar la semana 11 se realizó un lavado de los filtros y reservorio elevado. Se mantiene la forma creciente de las gráficas y la posición de una respecto a la otra. La gráfica del primer reactor crece más rápido con respecto al segundo y tercer reactor.

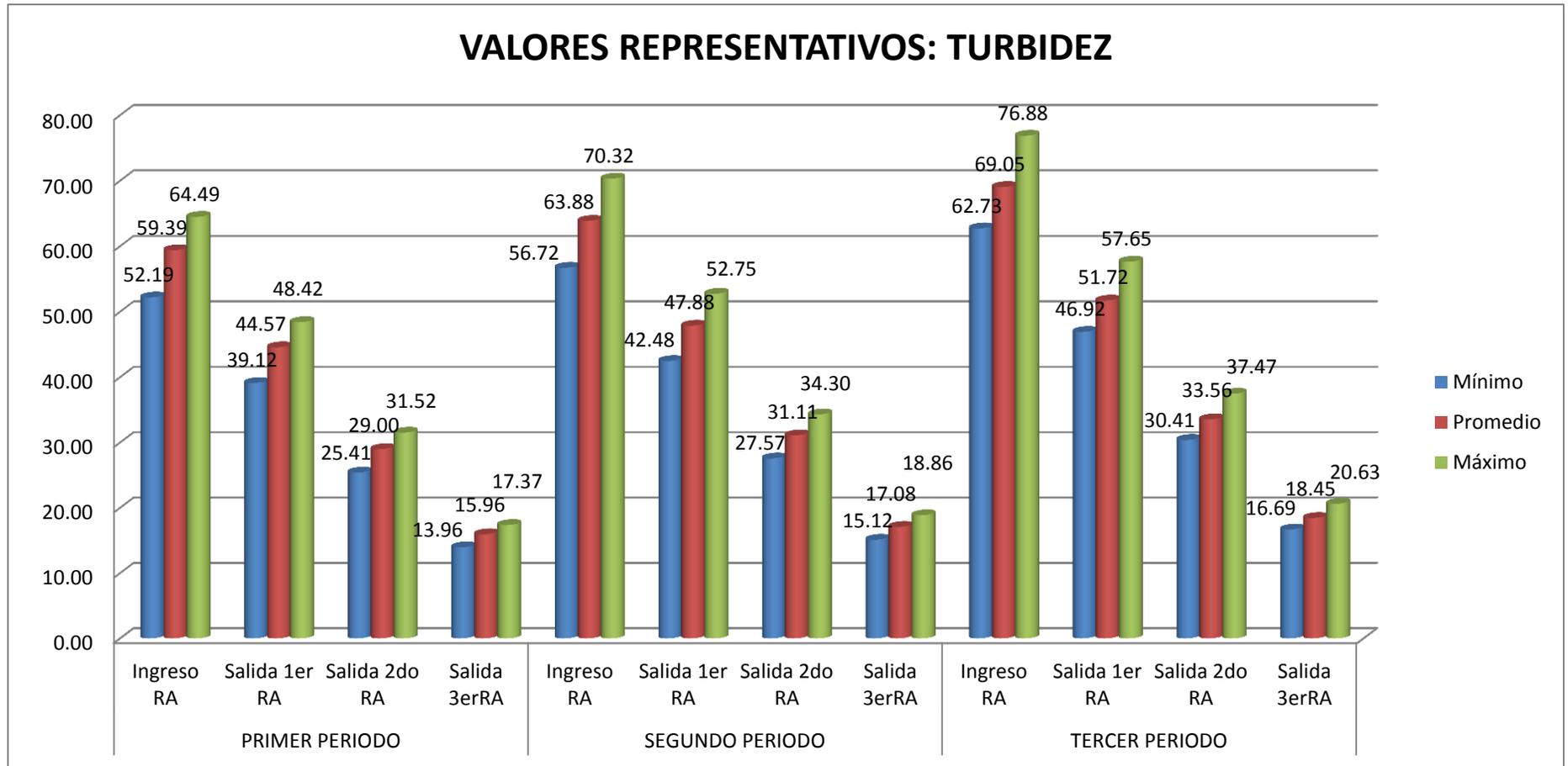
Gráfica N°17: Variación de la turbidez durante los tres periodos de prueba.



La turbidez en los cuatro casos alcanza su máximo valor a finales de la semana 16, se realiza un lavado de la batería de filtros y reservorio elevado a finales de la semana 6 y semana 11. Por esto ocurre que al comenzar la semana 12 se obtiene bajos valores de turbidez. Las gráficas son ligeramente crecientes hasta fin de la semana 6. El reactor 1 que primero recibe agua residual del reservorio elevado (afluente) tiene mayor turbidez que el segundo y este más que el tercero.

Tabla N° 14 : VALORES REPRESENTATIVOS: TURBIDEZ (UNT)				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	52.19	59.39	64.49
	Salida 1er RA	39.12	44.57	48.42
	Salida 2do RA	25.41	29.00	31.52
	Salida 3erRA	13.96	15.96	17.37
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	56.72	63.88	70.32
	Salida 1er RA	42.48	47.88	52.75
	Salida 2do RA	27.57	31.11	34.30
	Salida 3erRA	15.12	17.08	18.86
TERCER PERIODO	Ingreso RA	62.73	69.05	76.88
	Salida 1er RA	46.92	51.72	57.65
	Salida 2do RA	30.41	33.56	37.47
	Salida 3erRA	16.69	18.45	20.63

Gráfica N°18: Valores representativos de Turbidez.

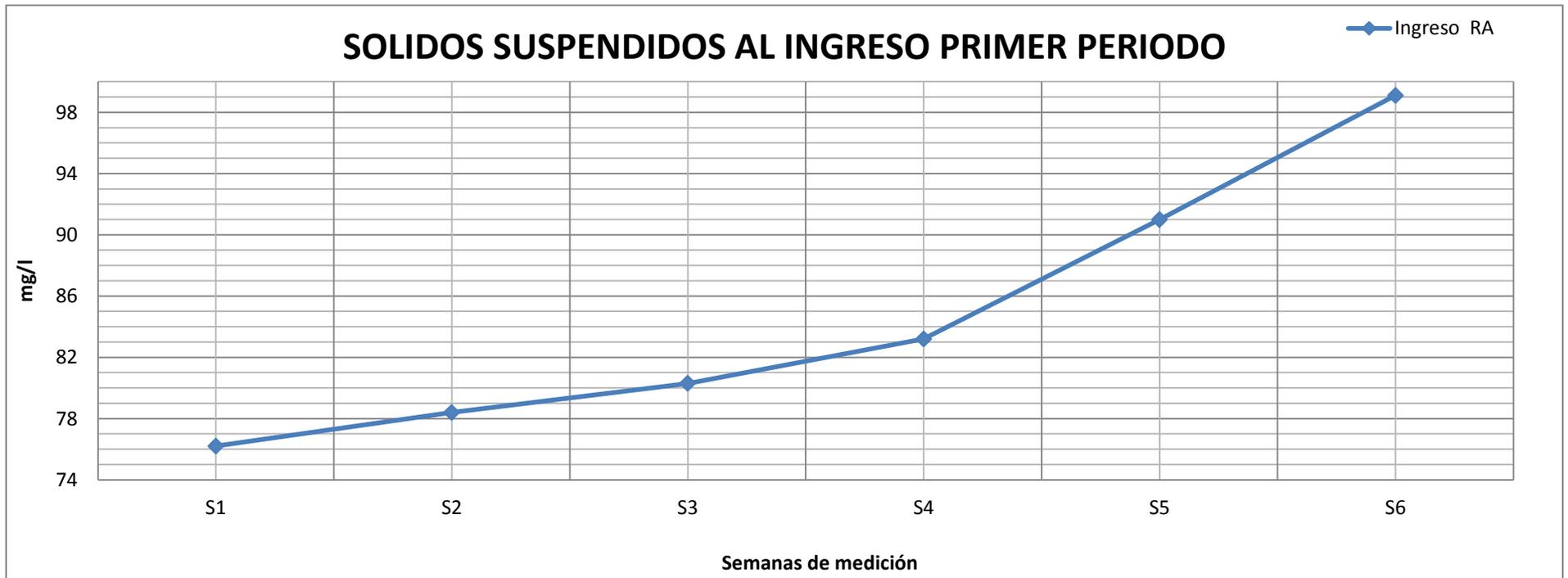


En cada periodo se observa que la turbidez promedio decrece con el transcurso de las semanas, pero que aumenta con el transcurrir de los periodos.

#### 7.4 Sólidos Suspendidos (mg/L).

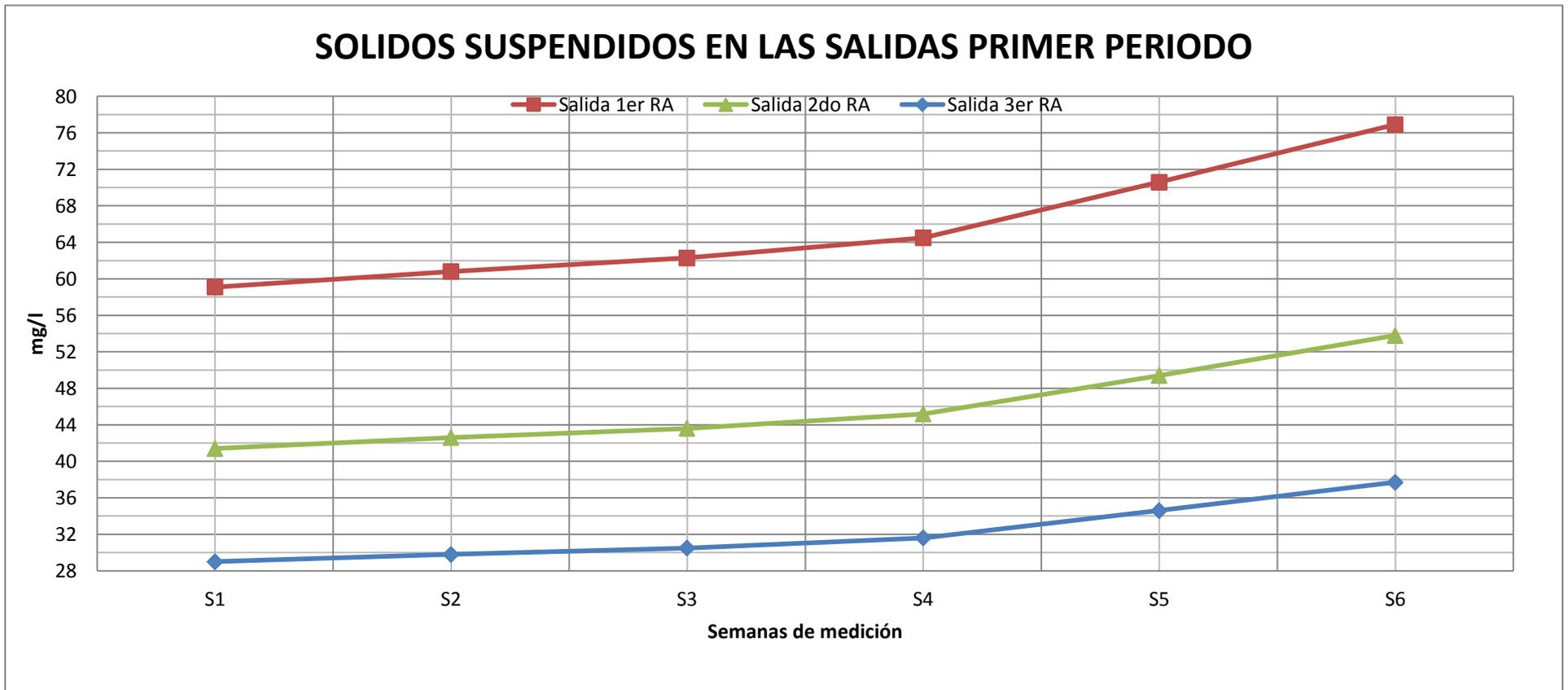
Tabla N°15: SOLIDOS SUSPENDIDOS -PERIODO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	76.2	59.1	41.4	29
S2	78.4	60.8	42.6	29.8
S3	80.3	62.3	43.6	30.5
S4	83.2	64.5	45.2	31.6
S5	91	70.6	49.4	34.6
S6	99.1	76.9	53.8	37.7
PROMEDIO	84.700	65.700	46.000	32.200
MÁXIMO	99.100	76.900	53.800	37.700
MÍNIMO	76.200	59.100	41.400	29.000

Gráfica N°19: Variación de los sólidos suspendidos (mg/L) de la muestra de ingreso de la batería en el primer periodo de prueba.



Hasta finales de la tercera semana la gráfica crece ligeramente, de allí en adelante crece rápido. Esto se debe a que los equipos de ingreso de agua residual empiezan a tener sólidos sedimentables.

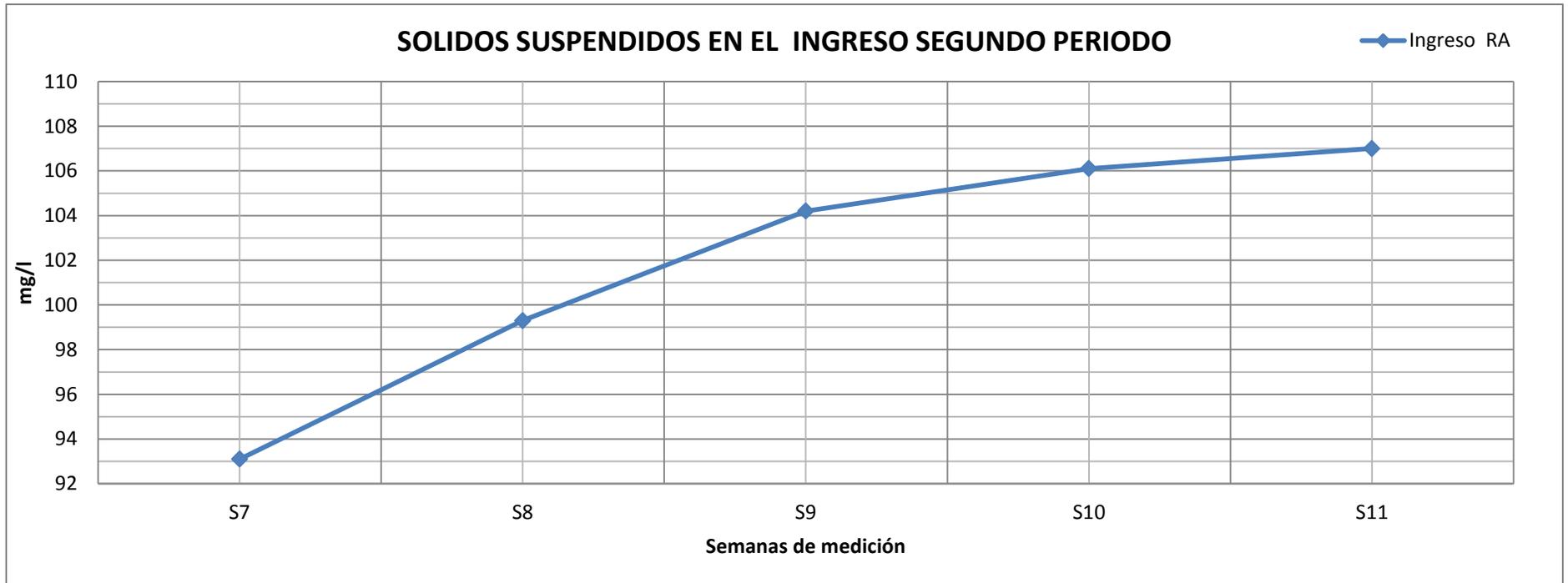
Gráfica N°20: Variación de sólidos suspendidos (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del primer periodo de prueba.



Su crecimiento es ligero hasta inicio de la cuarta semana. A partir de la cuarta semana los filtros empiezan a expulsar bastante sólidos suspendidos en el agua residual tratada.

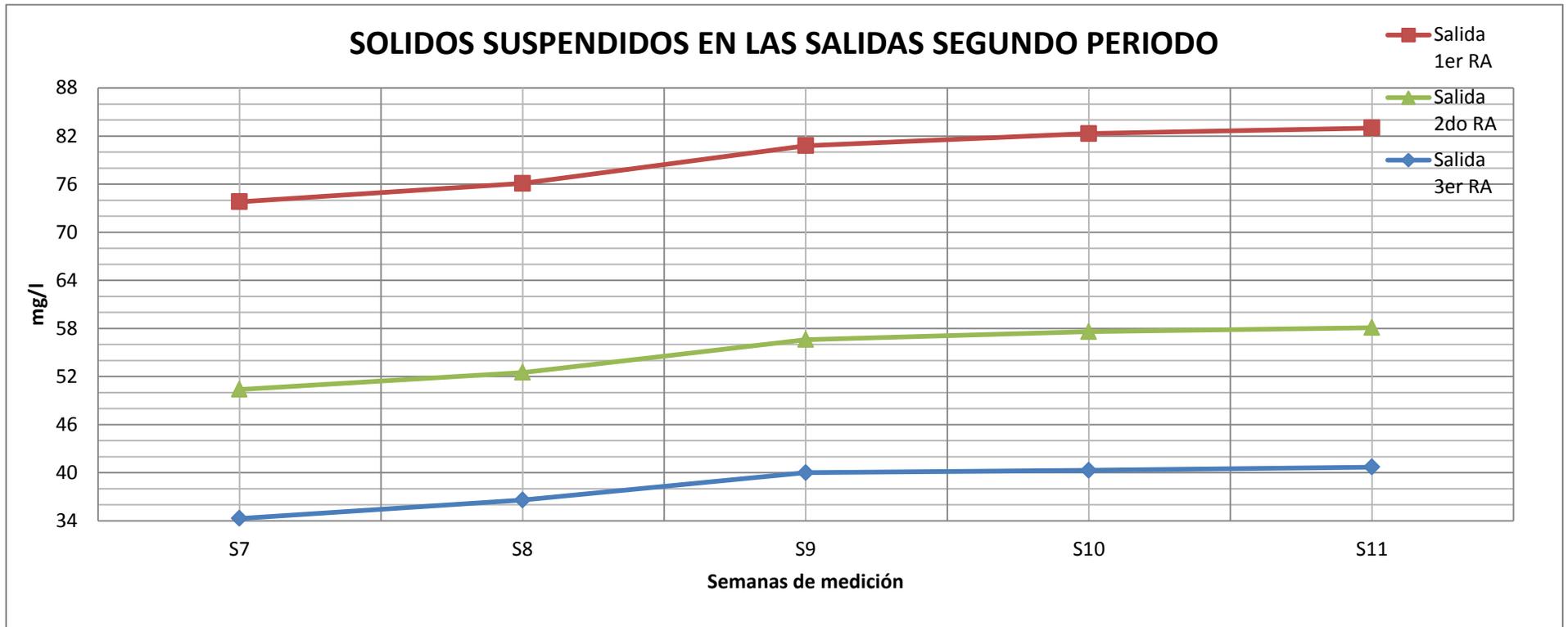
Tabla N°16: SOLIDOS SUSPENDIDOS-PERIDO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	93.1	73.8	50.4	34.3
S8	99.3	76.1	52.5	36.6
S9	104.2	80.8	56.6	40
S10	106.1	82.3	57.6	40.3
S11	107	83	58.1	40.7
PROMEDIO	101.940	79.200	55.040	38.380
MÁXIMO	107.000	83.000	58.100	40.700
MÍNIMO	93.100	73.800	50.400	34.300

Gráfica N°21: Variación de los sólidos suspendidos (mg/L) de la muestra de ingreso de la batería en el segundo periodo de prueba.



Debido al lavado del Reservorio Elevado, los sólidos suspendidos disminuyen a inicio de la semana 7, en comparación a finales de la semana 6.

Gráfica N°22: Variación de sólidos suspendidos (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del segundo periodo de prueba.



Por el lavado de los filtros y Reservorio Elevado a finales del periodo anterior, se observa a inicios de este periodo una ligera baja en los sólidos suspendidos respecto de finales del periodo anterior.

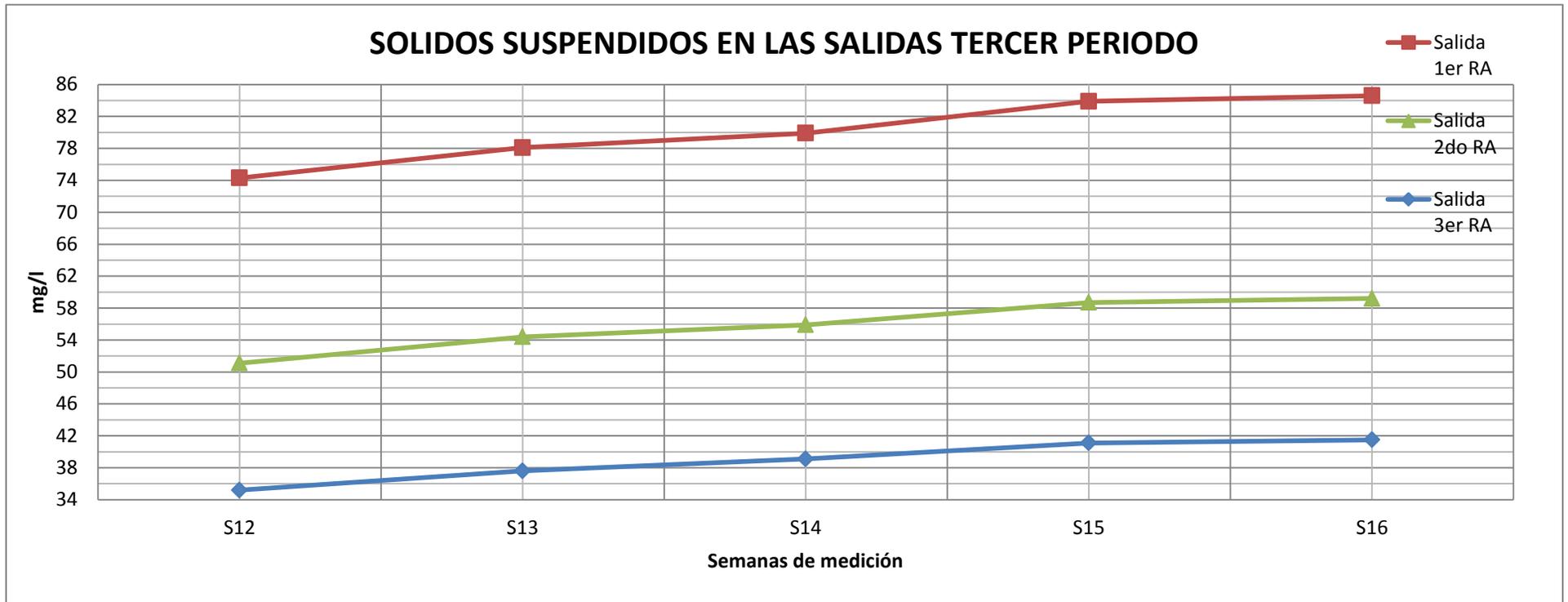
Tabla N°17:SOLIDOS SUSPENDIDOS-PERIODO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	99	74.3	51.1	35.2
S13	102.1	78.1	54.4	37.6
S14	103	79.9	55.9	39.1
S15	108.2	83.9	58.7	41.1
S16	109.1	84.6	59.2	41.5
PROMEDIO	104.280	80.160	55.860	38.900
MÁXIMO	109.100	84.600	59.200	41.500
MÍNIMO	99.000	74.300	51.100	35.200

Gráfica N°23: Variación de los sólidos suspendidos (mg/L) de la muestra de ingreso de la batería en el tercer periodo de prueba.



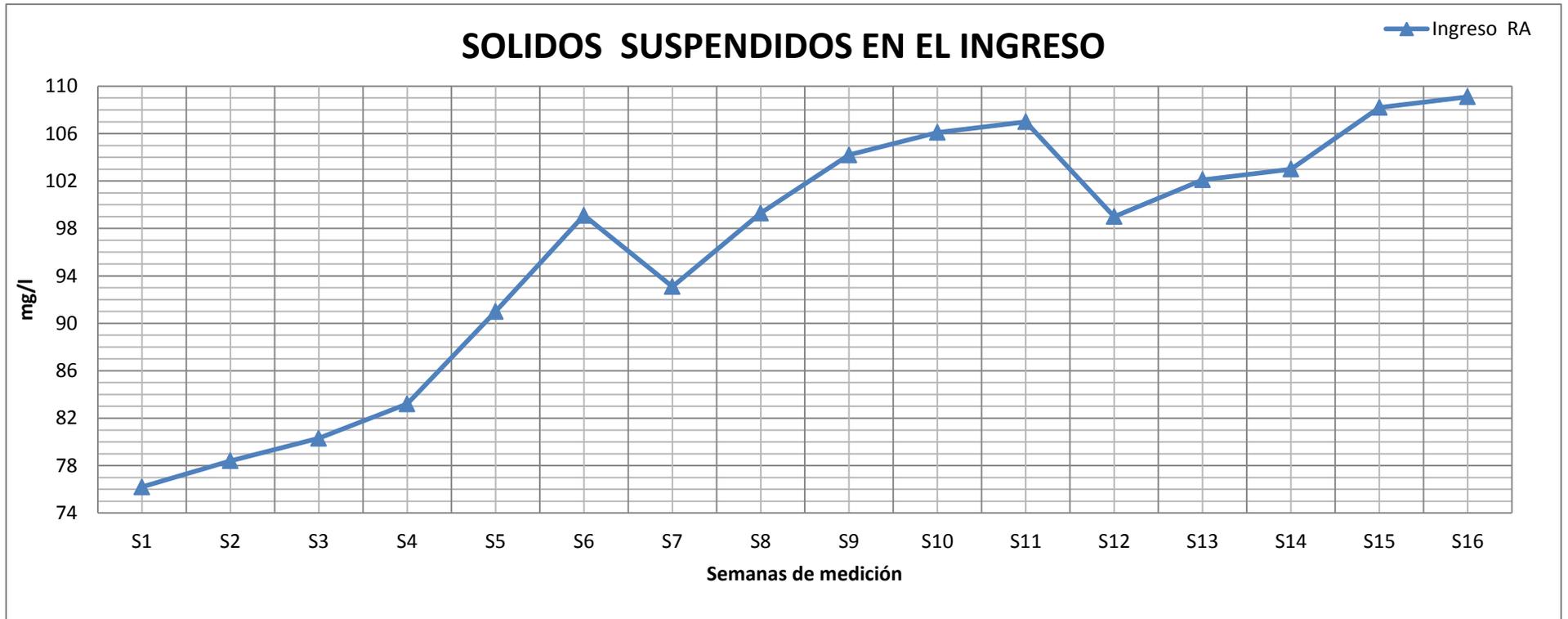
Se observa el valor de sólidos suspendidos en la semana 12 menor al de la semana 11, esto es por realizarse el lavado del Reservorio Elevado a finales del periodo anterior.

Gráfica N°24: Variación de sólidos suspendidos (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del tercer periodo de prueba.



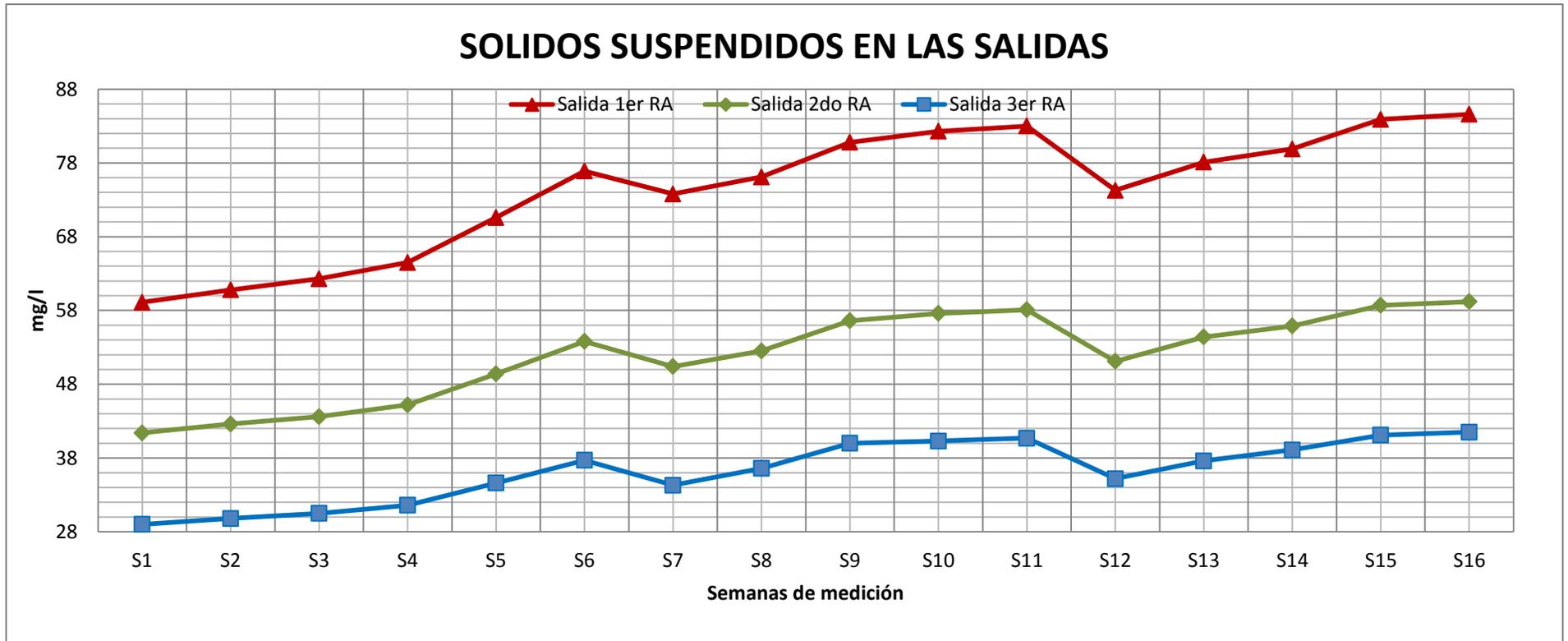
Los sólidos suspendidos a inicios del periodo son menores a los valores finales del periodo anterior; esto por el lavado de los filtros a finales del periodo anterior. Los sólidos suspendidos tienden a aumentar con el transcurso de las semanas, como se puede apreciar en las gráficas.

Gráfica N°25: Variación de sólidos suspendidos (mg/L) de las muestras de ingreso a la batería durante los tres periodos de prueba.



Se observa a nivel general la variación de sólidos suspendidos al ingreso del sistema durante los tres periodos de prueba.

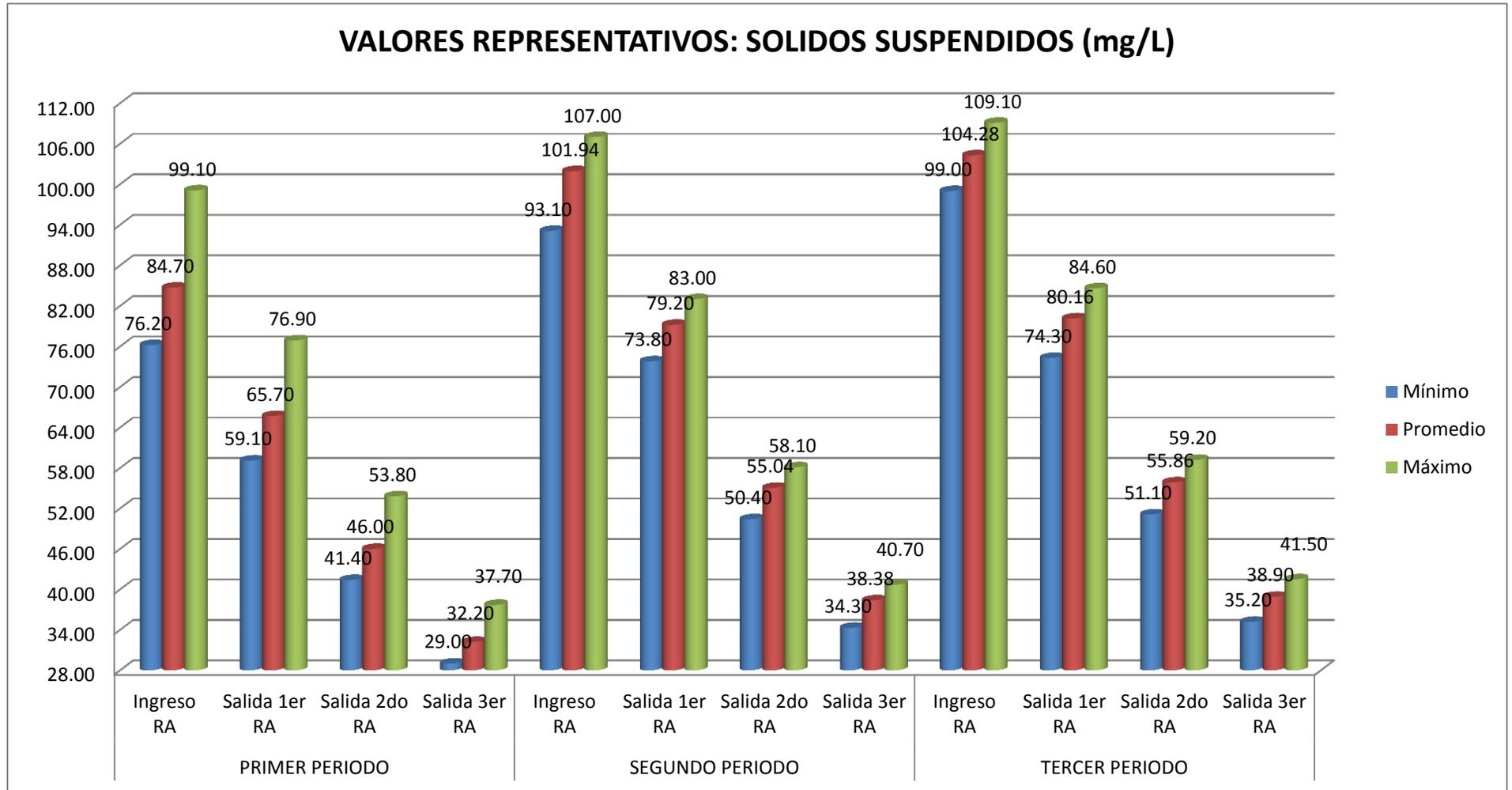
Gráfica N°26: Variación de sólidos suspendidos (mg/L) de las muestras de salida durante los tres periodos de prueba.



Se observa en las tres líneas una tendencia semejante. En la semana 6 y 11 se observan aumentos considerables de la concentración de sólidos suspendidos. Se realizó lavado del Reservorio Elevado y retro lavado de cada filtro al final de cada periodo; por lo que se visualiza una caída en la concentración de sólidos entre la semana 6 y la semana 7, la semana 11 y la semana 12.

Tabla N°18: VALORES REPRESENTATIVOS: SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	76.200	84.700	99.100
	Salida 1er RA	59.100	65.700	76.900
	Salida 2do RA	41.400	46.000	53.800
	Salida 3er RA	29.000	32.200	37.700
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	93.100	101.940	107.000
	Salida 1er RA	73.800	79.200	83.000
	Salida 2do RA	50.400	55.040	58.100
	Salida 3er RA	34.300	38.380	40.700
TERCER PERIODO	Ingreso RA	99.000	104.280	109.100
	Salida 1er RA	74.300	80.160	84.600
	Salida 2do RA	51.100	55.860	59.200
	Salida 3er RA	35.200	38.900	41.500

Gráfica N°27: Valores representativos de sólidos suspendidos (mg/L).

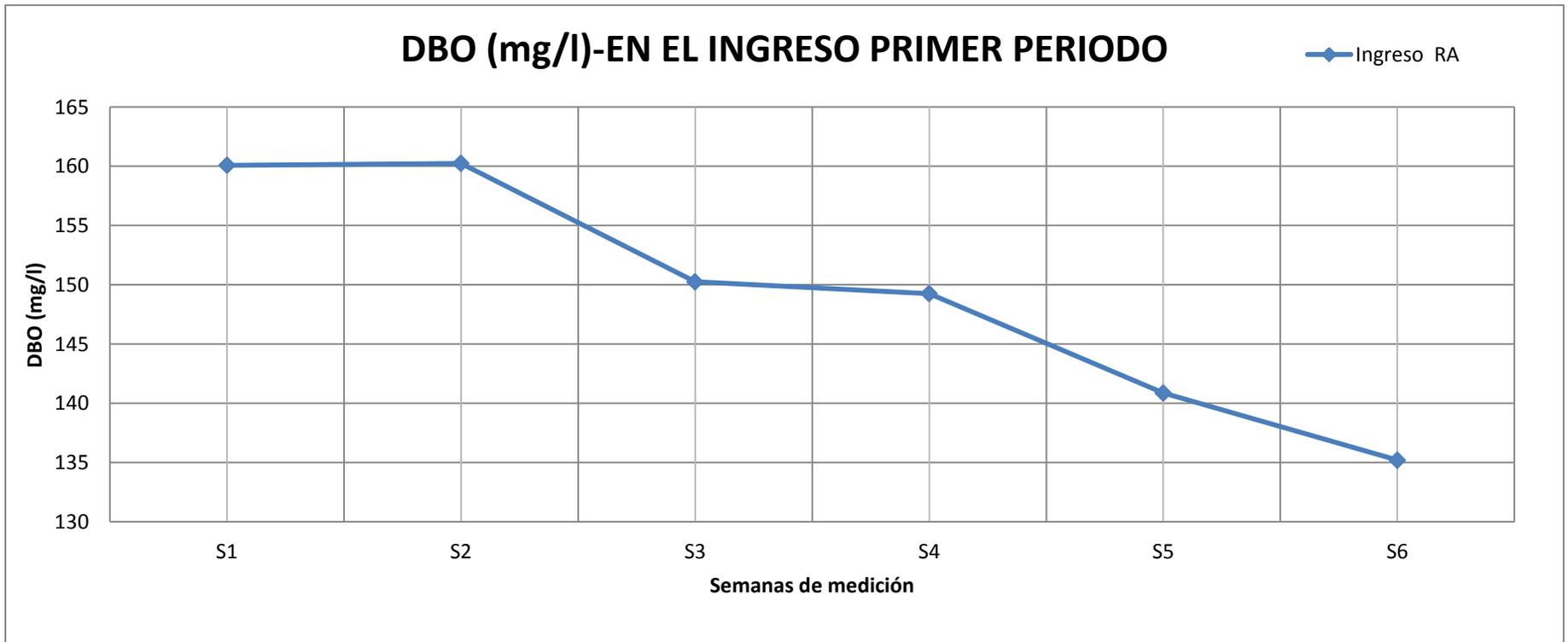


En forma general se observa que la concentración de sólidos suspendidos a la salida del tercer filtro es menor que el segundo y este menor que el primero.

### 7.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO – mg/L).

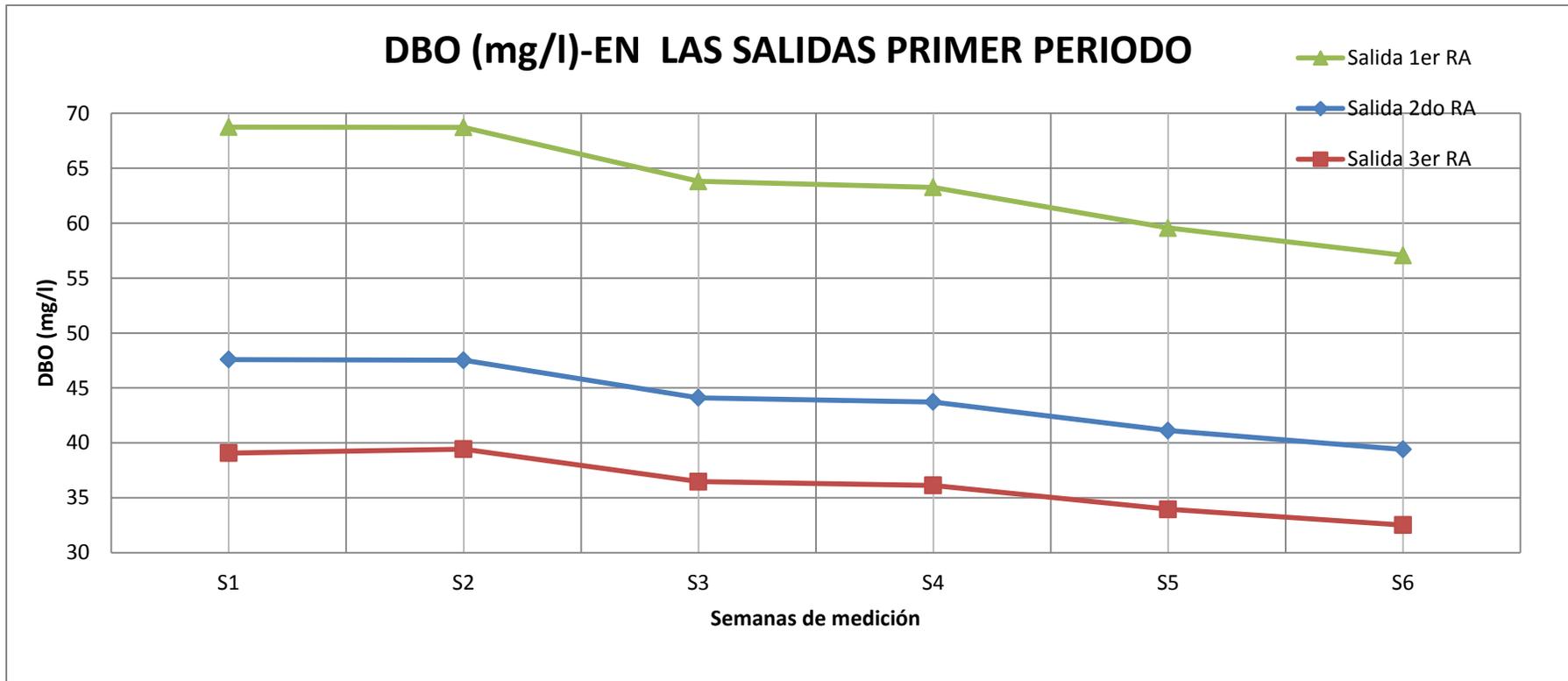
Tabla N° 19 : DBO (mg/l)-PERIODO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	160.08	68.74	47.58	39.07
S2	160.25	68.72	47.52	39.42
S3	150.25	63.8	44.1	36.47
S4	149.26	63.26	43.72	36.12
S5	140.87	59.56	41.12	33.95
S6	135.21	57.07	39.4	32.51
PROMEDIO	149.32	63.53	43.91	36.26
MÁXIMO	160.25	68.74	47.58	39.42
MÍNIMO	135.21	57.07	39.40	32.51

Gráfica N°28 : Variación de DBO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el primer periodo de prueba.



La DBO al ingreso de los filtros muestra una tendencia en decrecimiento desde la primera semana hasta la semana 6, aunque en la semana 1 y 3 presenta ser constante. Este periodo corresponde a una parte de los meses Junio y Julio (Invierno).

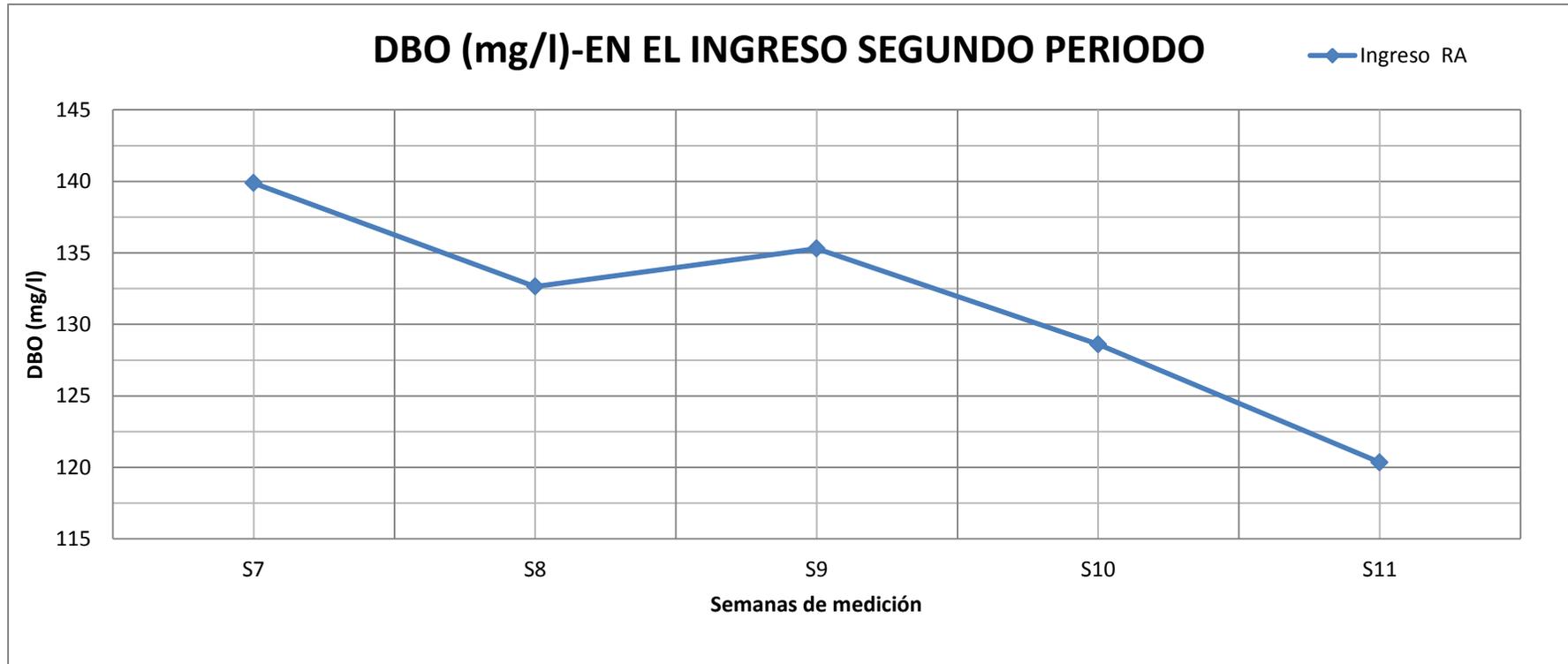
Gráfica N°29: Variación de DBO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del primer periodo de prueba.



Las tres gráficas tienen el mismo comportamiento decreciente. La gráfica del primer reactor siempre está por encima de las demás, lo cual quiere decir que siempre tiene mayor DBO. La gráfica del segundo reactor siempre está por encima de la gráfica del tercer reactor lo cual quiere decir que siempre tiene mayor DBO. El menor valor en este periodo fue de 32.51 mg/L en la salida del tercer reactor anaeróbico.

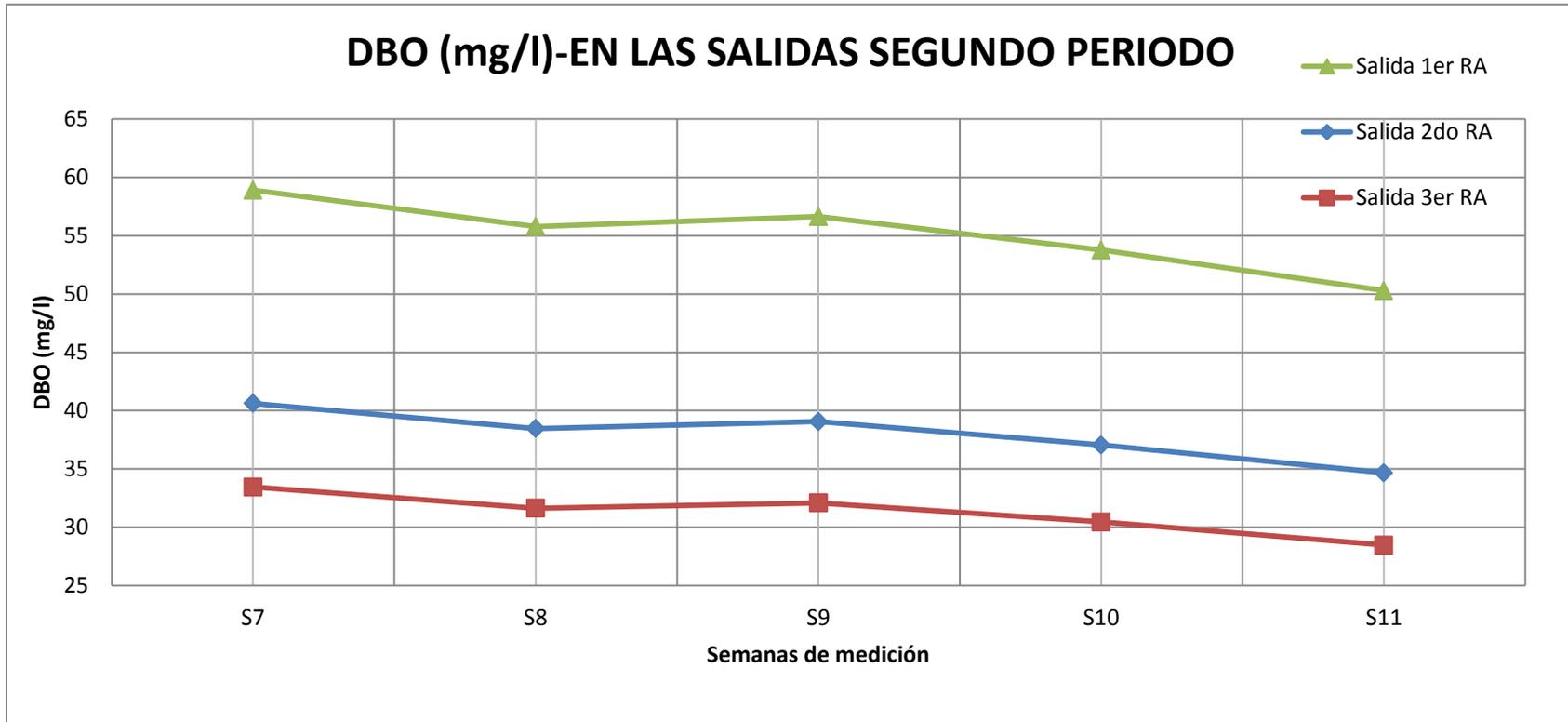
Tabla N° 20: DBO (mg/l)-PERIODO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	139.88	58.9	40.63	33.44
S8	132.65	55.79	38.47	31.63
S9	135.3	56.65	39.06	32.09
S10	128.61	53.77	37.06	30.45
S11	120.35	50.29	34.66	28.46
<b>PROMEDIO</b>	131.36	55.08	37.98	31.21
<b>MÁXIMO</b>	139.88	58.90	40.63	33.44
<b>MÍNIMO</b>	120.35	50.29	34.66	28.46

Gráfica N°30: Variación de DBO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el segundo periodo de prueba.



La gráfica es decreciente. Entre la semana 8 y 9 tiene una ligera tendencia a ser creciente. La DBO promedio en este periodo es menor a la del periodo anterior. Corresponde este periodo a una parte de los meses Julio y Agosto (invierno).

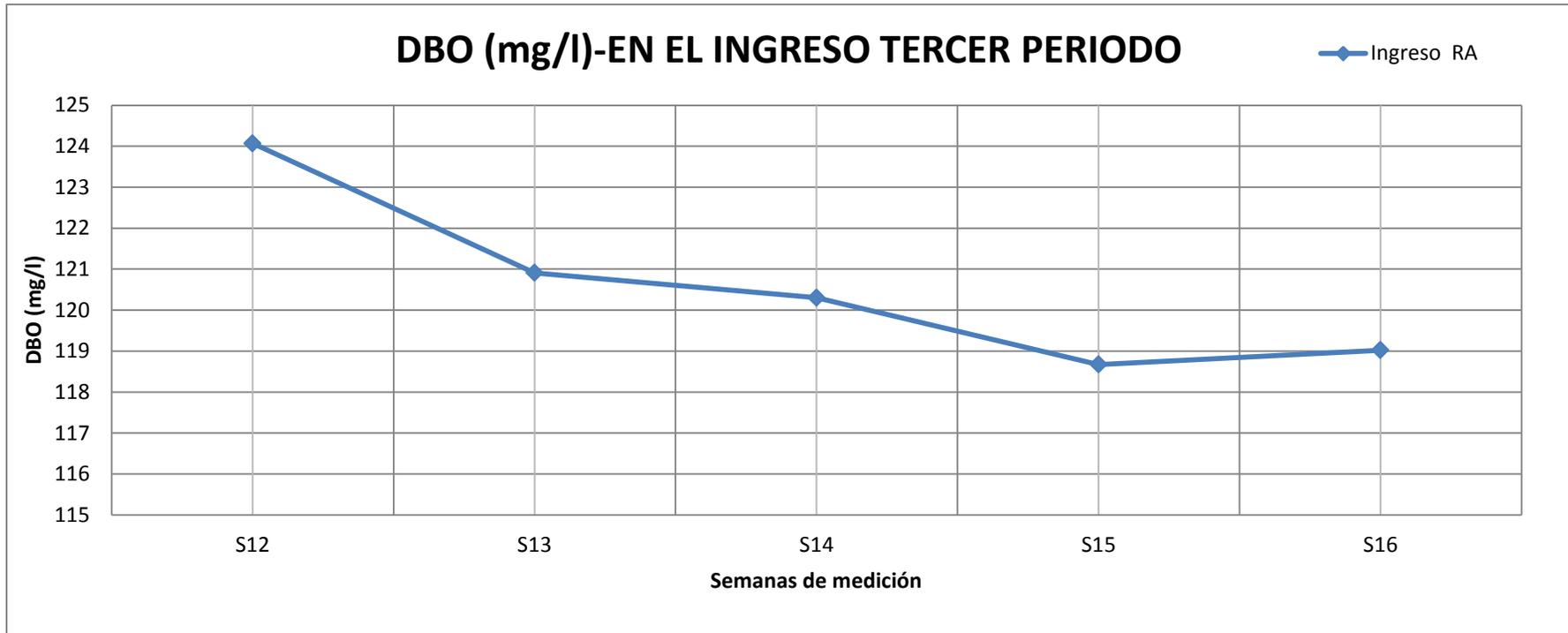
Gráfica N°31: Variación de DBO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del segundo periodo de prueba.



Las tres gráficas tienen el mismo comportamiento, tienen ligera tendencia a decrecimiento. La gráfica del primer reactor siempre está por encima de las demás, lo cual quiere decir que siempre tiene mayor DBO. El menor valor en este periodo fue de 28.46 mg/L.

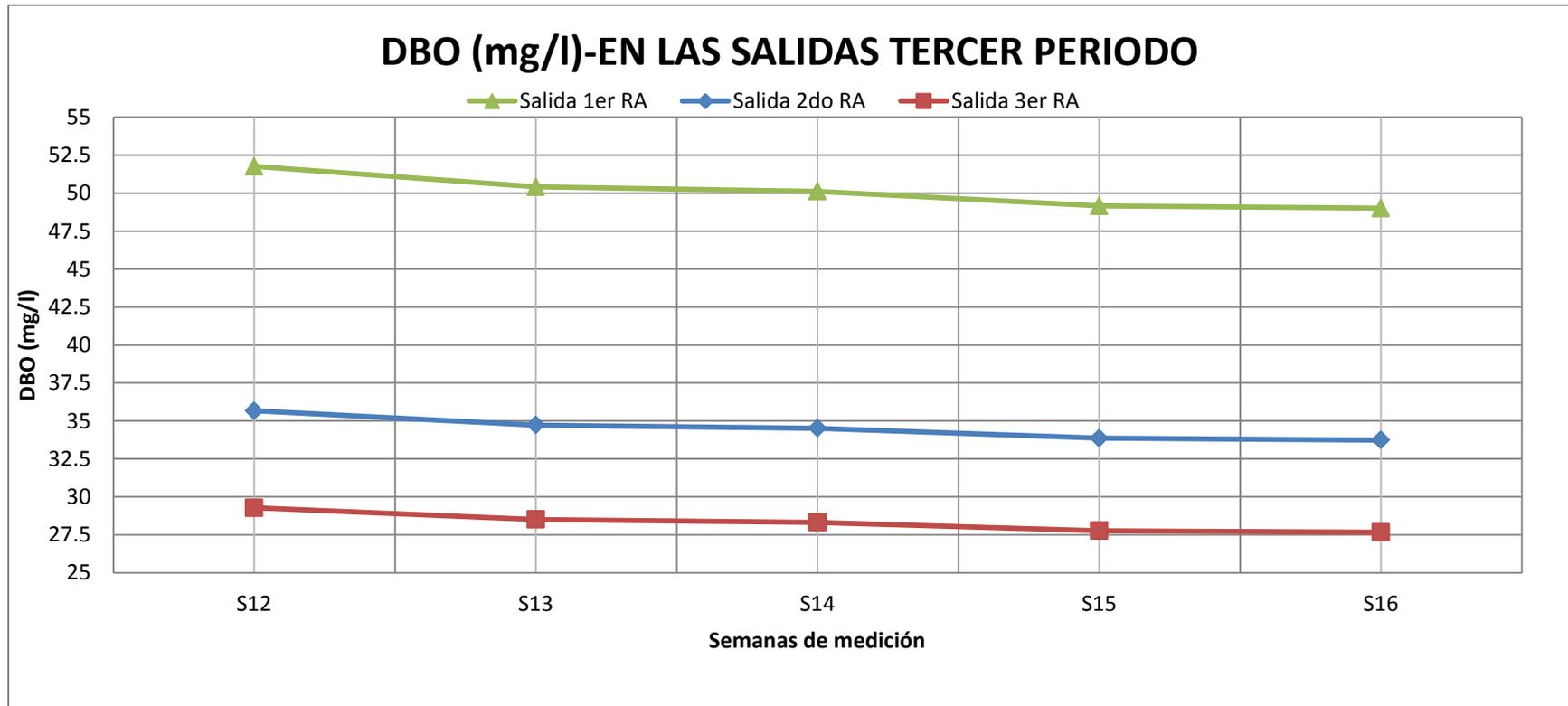
Tabla N° 21: DBO (mg/l)-PERIODO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	124.07	51.76	35.66	29.27
S13	120.91	50.41	34.73	28.51
S14	120.3	50.12	34.52	28.32
S15	118.67	49.16	33.86	27.77
S16	119.02	49.01	33.74	27.66
<b>PROMEDIO</b>	120.59	50.09	34.50	28.31
<b>MÁXIMO</b>	124.07	51.76	35.66	29.27
<b>MÍNIMO</b>	118.67	49.01	33.74	27.66

Gráfica N°32: Variación de DBO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el tercer periodo de prueba.



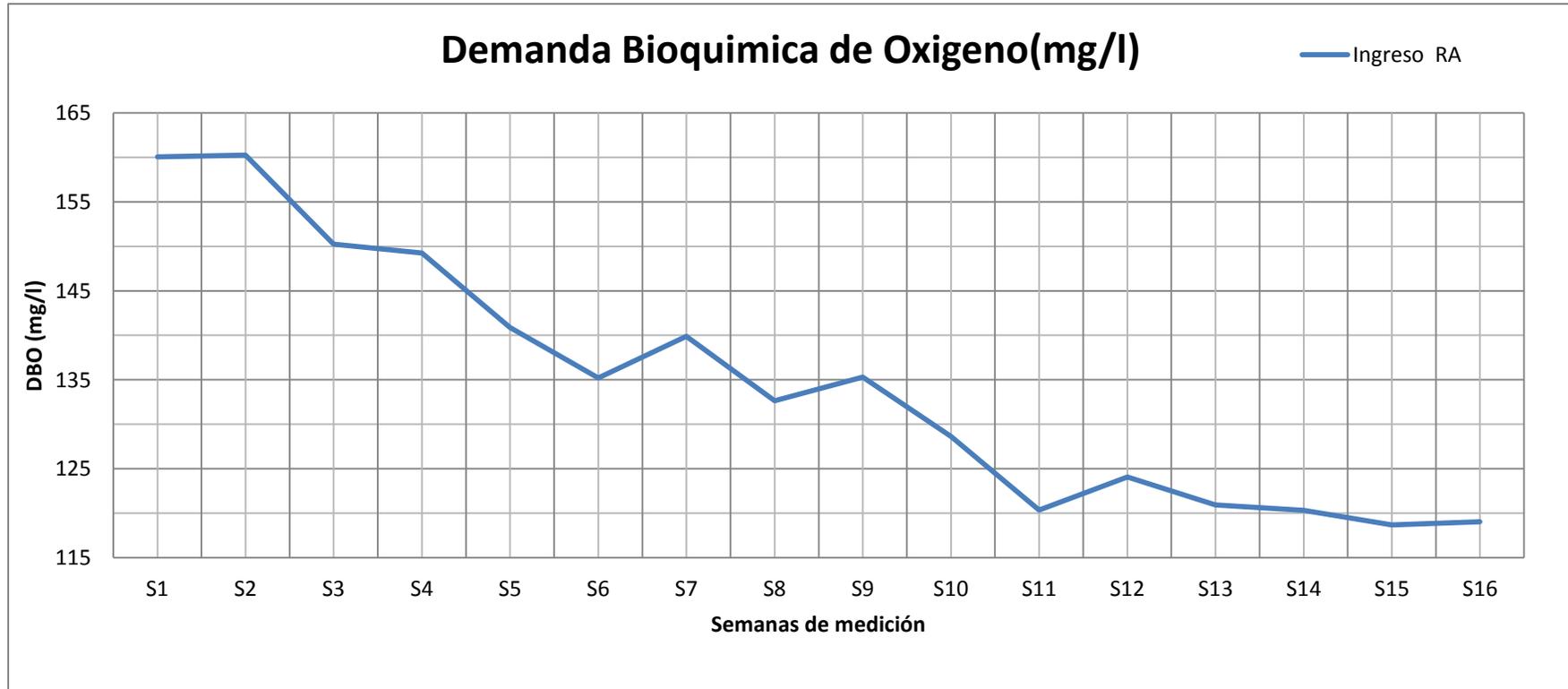
Este último periodo corresponde a parte de los meses de agosto y setiembre (temporada primavera), tiene un ligero creciente DBO entre la semana 15 y 16 , pero en general la DBO decrece como se puede apreciar en la gráfica.

Gráfica N°33: Variación de DBO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del tercer periodo de prueba.



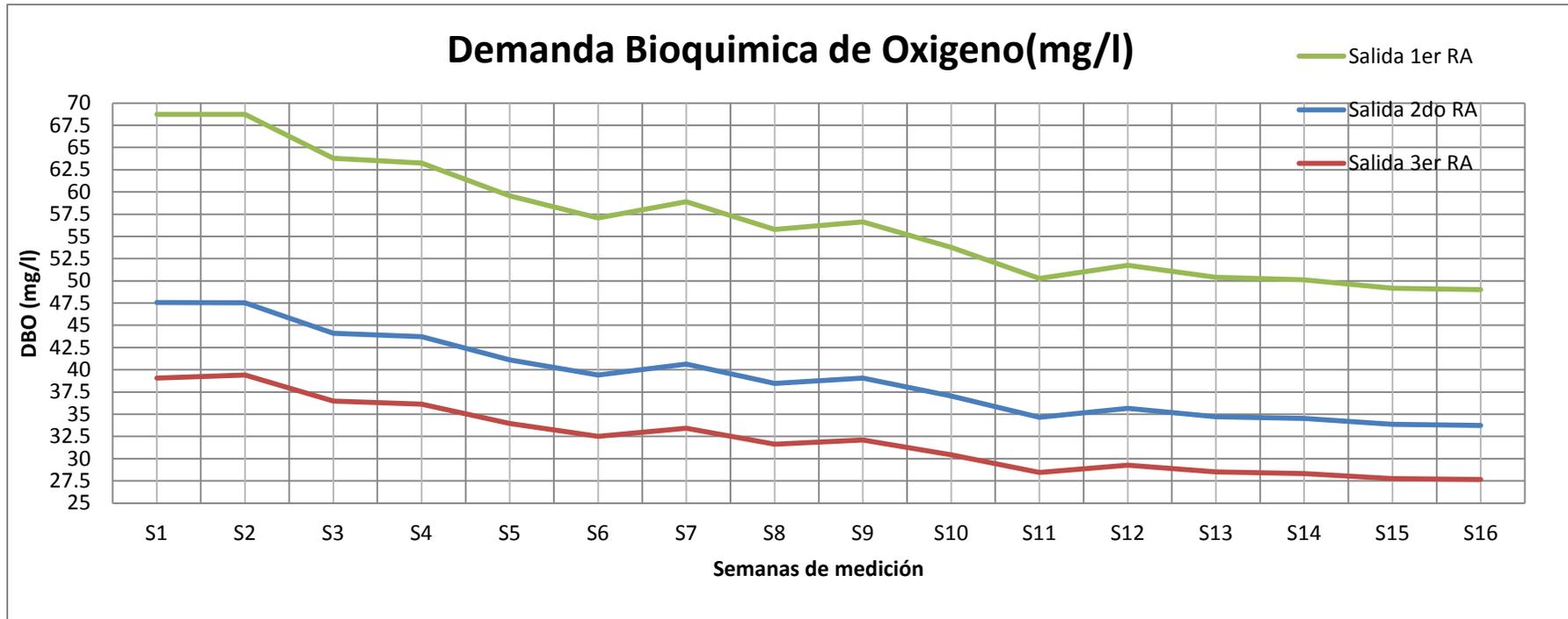
Se observa en general el ligero decrecimiento en los valores de DBO aunque entre la semana 15 y 16 suele ser constante, esto debe a recibir el crecimiento en DBO al ingreso a la batería de filtros entre las semanas 15 y 16. Aquí se obtiene el mínimo valor 27.66 mg/L en DBO de todos los periodos.

Gráfica N°34: Variación de DBO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería durante los tres periodos de prueba.



Se observa un descenso gradual de la DBO durante los tres periodos de prueba; sin embargo, en las semanas 6,8 y 11 se presentan aumentos notorios. Se observa el valor máximo en la semana 1.

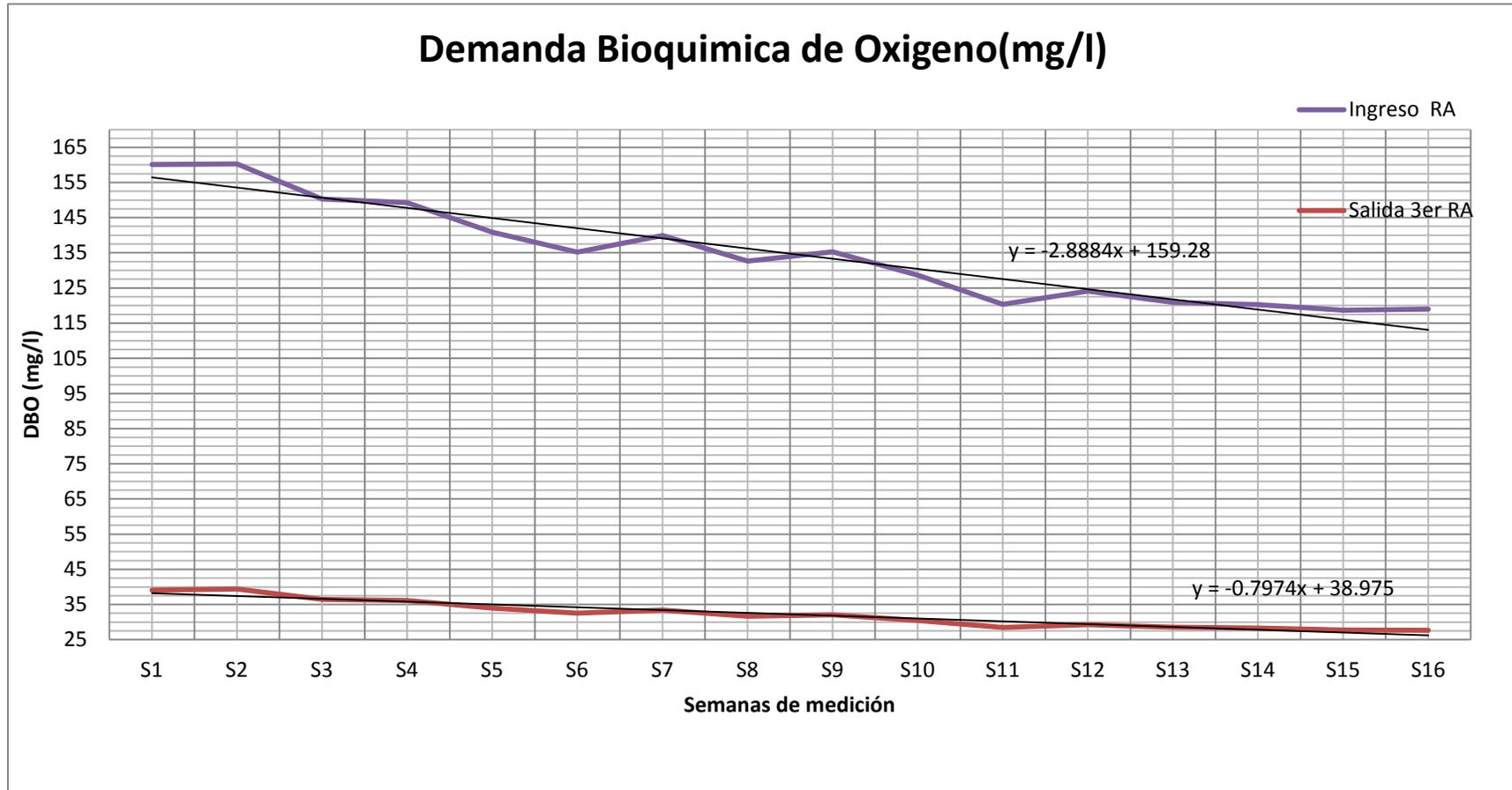
Gráfica N°35: Variación de DBO (mg/L) de las muestras de salida durante los tres periodos de prueba.



Se observa en las tres líneas de salidas de reactores una tendencia semejante al descenso en la DBO. Se inicia el 17 de Junio del año 2013 y acaba el 4 de octubre del mismo año. Del tercer reactor se obtiene menor DBO.

Tabla N° 22: DBO (mg/l)		
Semana	Ingreso RA	Salida 3er RA
S1	160,08	39,07
S2	160,25	39,42
S3	150,25	36,47
S4	149,26	36,12
S5	140,87	33,95
S6	135,21	32,51
S7	139,88	33,44
S8	132,65	31,63
S9	135,3	32,09
S10	128,61	30,45
S11	120,35	28,46
S12	124,07	29,27
S13	120,91	28,51
S14	120,3	28,32
S15	118,67	27,77
S16	119,02	27,66
MÁXIMO	160,25	39,42
PROMEDIO	134,73	32,20
MÍNIMO	118,67	27,66
DESV. ESTANDAR	±14,32	±3,94

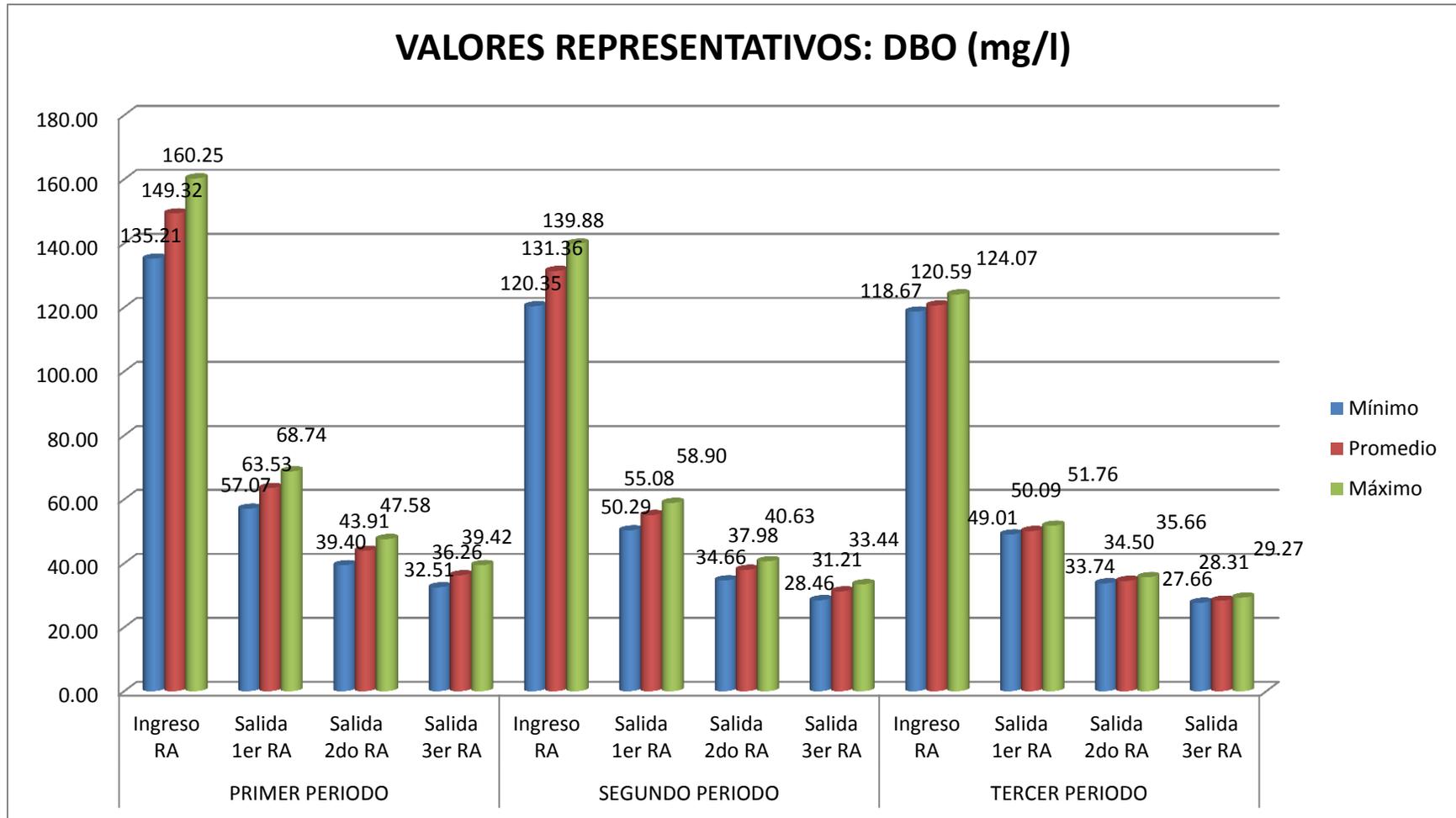
Gráfica N°36: Variación de DBO (mg/L) de las muestras de ingreso y salida en la batería durante los tres periodos de prueba.



Se observa la gráfica DBO, ingreso y salida a la batería en todos los periodos, cada línea con su ecuación respectiva.

Tabla N°23: VALORES REPRESENTATIVOS: DBO (mg/l)				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	135.21	149.32	160.25
	Salida 1er RA	57.07	63.53	68.74
	Salida 2do RA	39.40	43.91	47.58
	Salida 3er RA	32.51	36.26	39.42
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	120.35	131.36	139.88
	Salida 1er RA	50.29	55.08	58.90
	Salida 2do RA	34.66	37.98	40.63
	Salida 3er RA	28.46	31.21	33.44
TERCER PERIODO	Ingreso RA	118.67	120.59	124.07
	Salida 1er RA	49.01	50.09	51.76
	Salida 2do RA	33.74	34.50	35.66
	Salida 3er RA	27.66	28.31	29.27

Gráfica N°37: Valores representativos de DBO (mg/L).

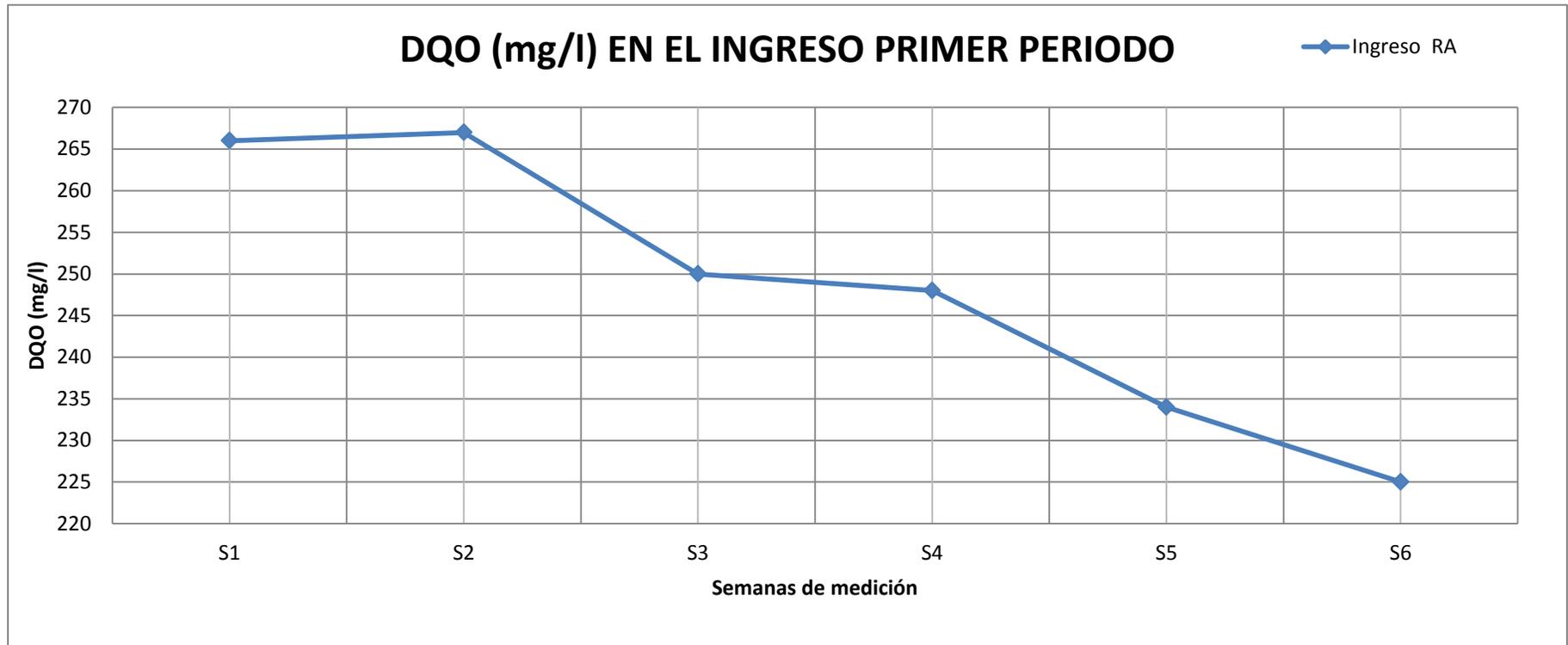


Se observa que las concentraciones promedio de DBO a través de cada periodo de prueba disminuyen. En cada periodo la DBO en el tercer reactor es menor que en el segundo y este menor que en el primero.

### 7.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO – mg/L).

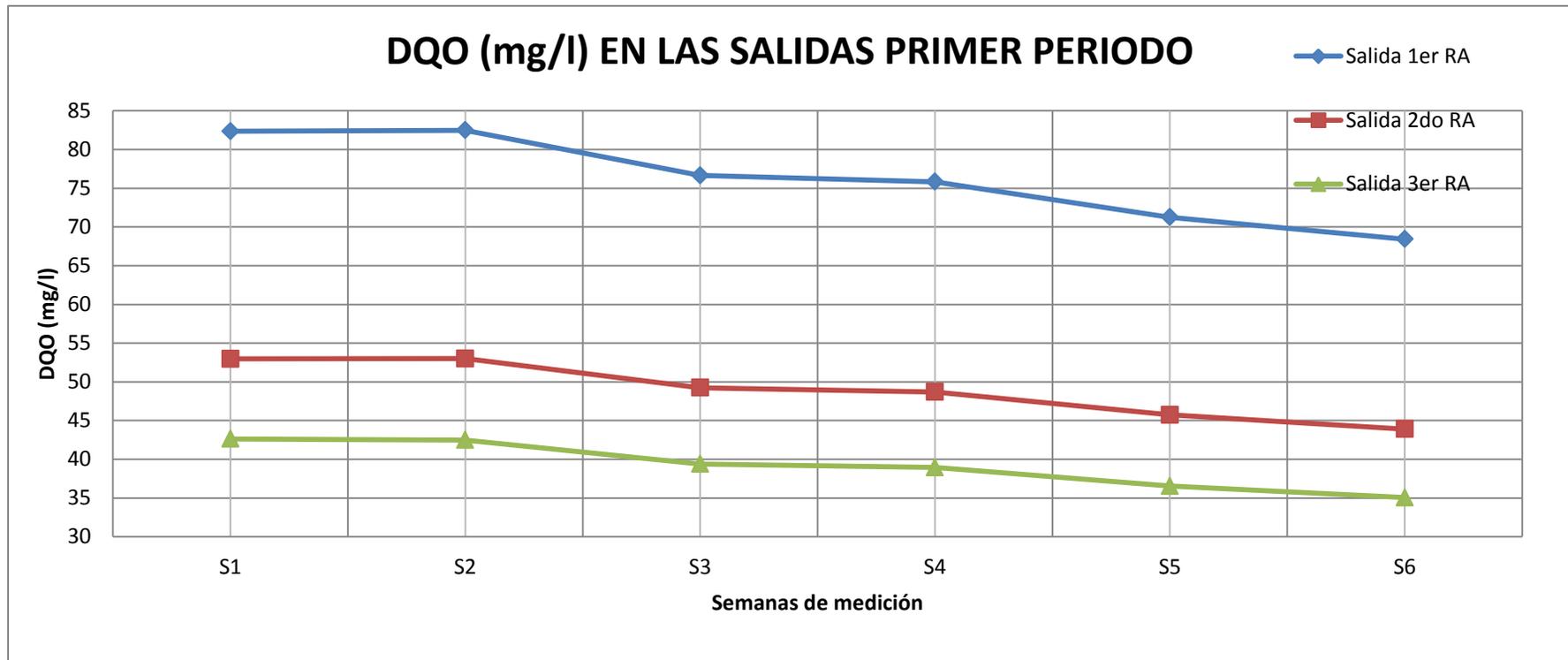
Tabla N° 24: DQO (mg/l)-PERIODO 1				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S1	266	82	53	43
S2	267	82	53	42
S3	250	77	49	39
S4	248	76	49	39
S5	234	71	46	37
S6	225	68	44	35
<b>PROMEDIO</b>	248.33	76.17	48.92	39.17
<b>MÁXIMO</b>	267	82	53	43
<b>MÍNIMO</b>	225	68	44	35

Gráfica N°38: Variación de DQO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el primer periodo de prueba.



La DQO al ingreso de la batería de filtros muestra una tendencia en decrecimiento, pues la carga de la muestra fue alta en los meses de junio y julio (invierno).

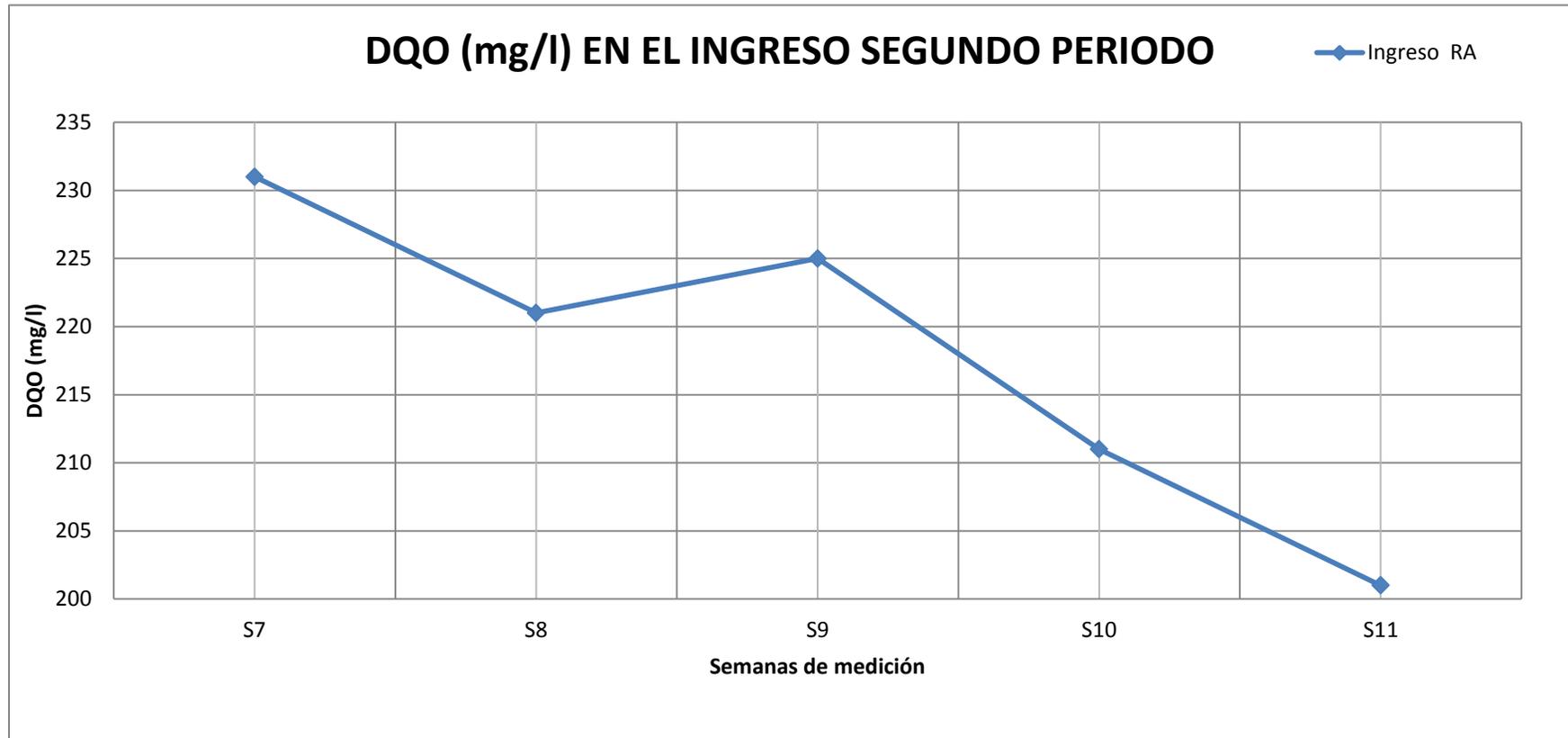
Gráfica N°39: Variación de DQO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del primer periodo de prueba.



La DQO a la salida del tercer filtro es menor que a la salida del segundo filtro y este menor que la salida del primer filtro. La tendencia en el valor DQO obedece o está relacionado a la gráfica anterior de los valores de entrada a la batería de filtros. En este periodo se tiene el mayor valor de DQO en la batería de filtros.

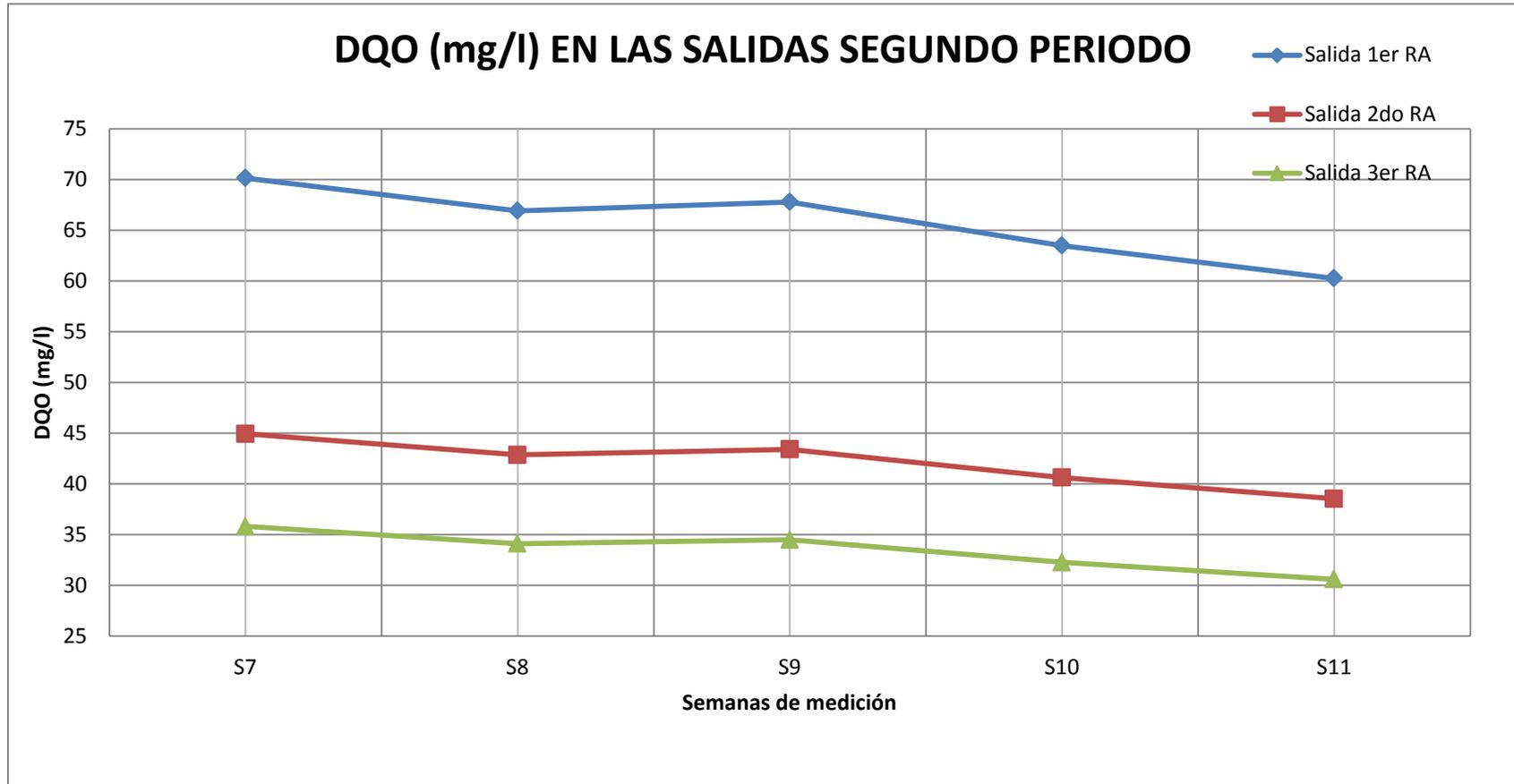
Tabla N° 25: DQO (mg/l)-PERIODO 2				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S7	231	70	45	36
S8	221	67	43	34
S9	225	68	43	34
S10	211	63	41	32
S11	201	60	39	31
<b>PROMEDIO</b>	217.80	65.72	42.07	33.46
<b>MÁXIMO</b>	231	70	45	36
<b>MÍNIMO</b>	201	60	39	31

Gráfica N°40: Variación de DQO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el segundo periodo de prueba.



Este periodo corresponde a parte de los meses julio y agosto. En la semana 8 es creciente la DQO, de allí comienza a decrecer.

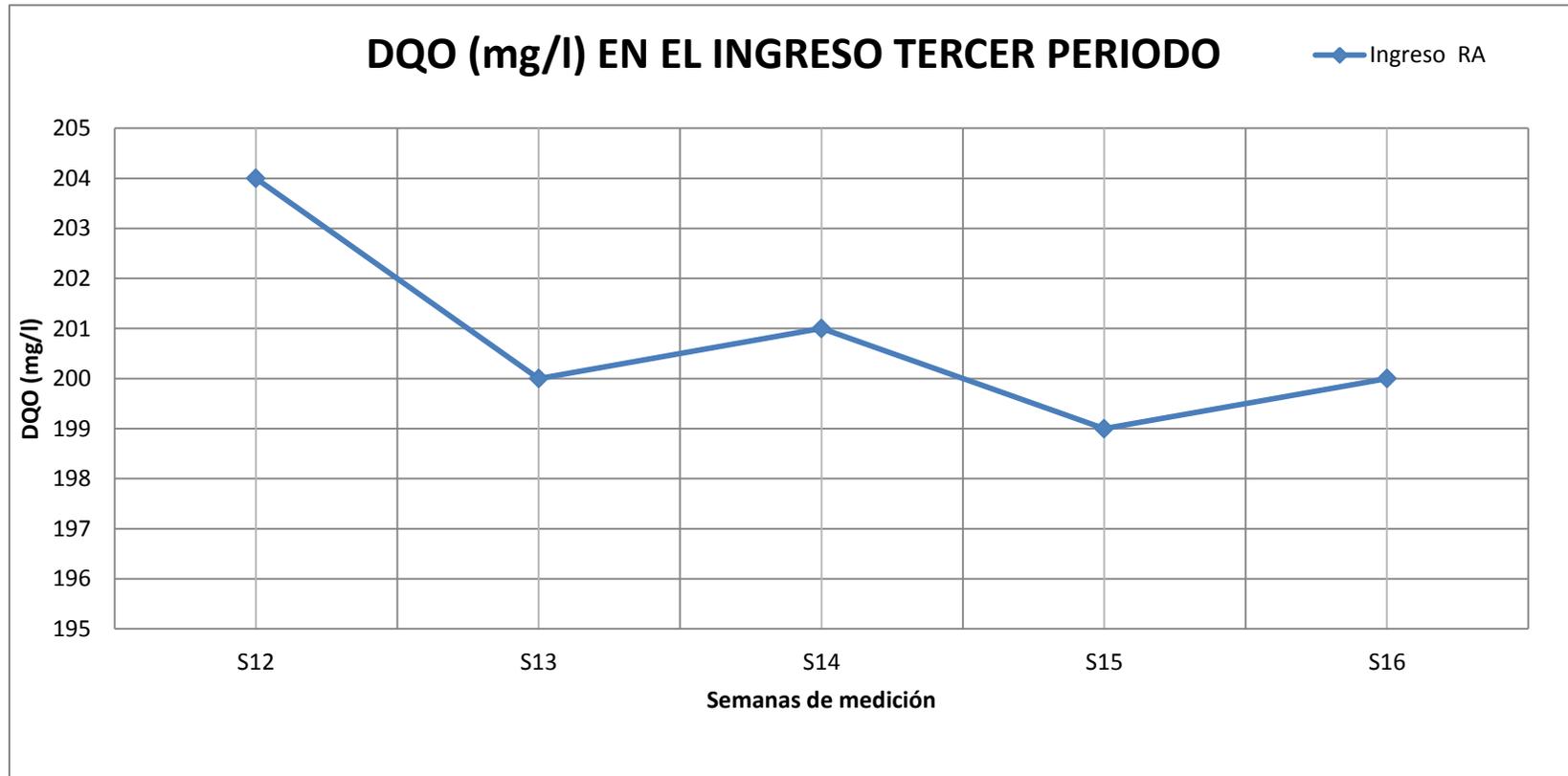
Gráfica N°41: Variación de DQO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del segundo periodo de prueba.



Las tres gráficas tienen el mismo comportamiento y se relaciona de manera directa con la gráfica del ingreso a la batería de filtros, solo cuando la gráfica anterior o de ingreso a la batería es creciente, estas gráficas de salidas tienen tendencia a ser constante, pero cuando la gráfica anterior es decreciente, estas obedecen también a ser decreciente.

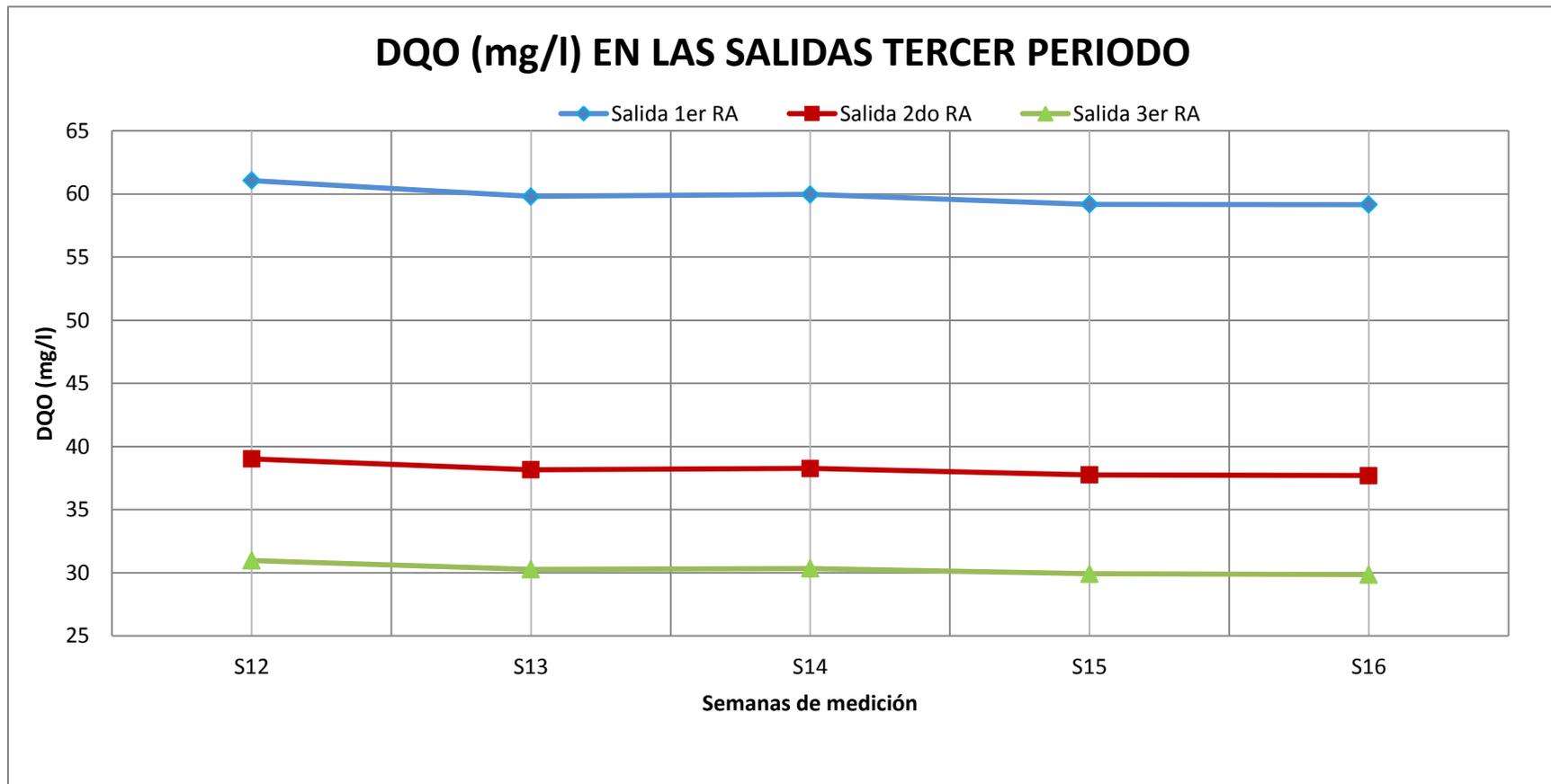
Tabla N° 26: DQO (mg/l)-PERIODO 3				
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA
S12	204	61	39	31
S13	200	60	38	30
S14	201	60	38	30
S15	199	59	38	30
S16	200	59	38	30
<b>PROMEDIO</b>	200.80	59.83	38.18	30.27
<b>MÁXIMO</b>	204	61	39	31
<b>MÍNIMO</b>	199	59	38	30

Gráfica N°42: Variación de DQO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería en el tercer periodo de prueba.



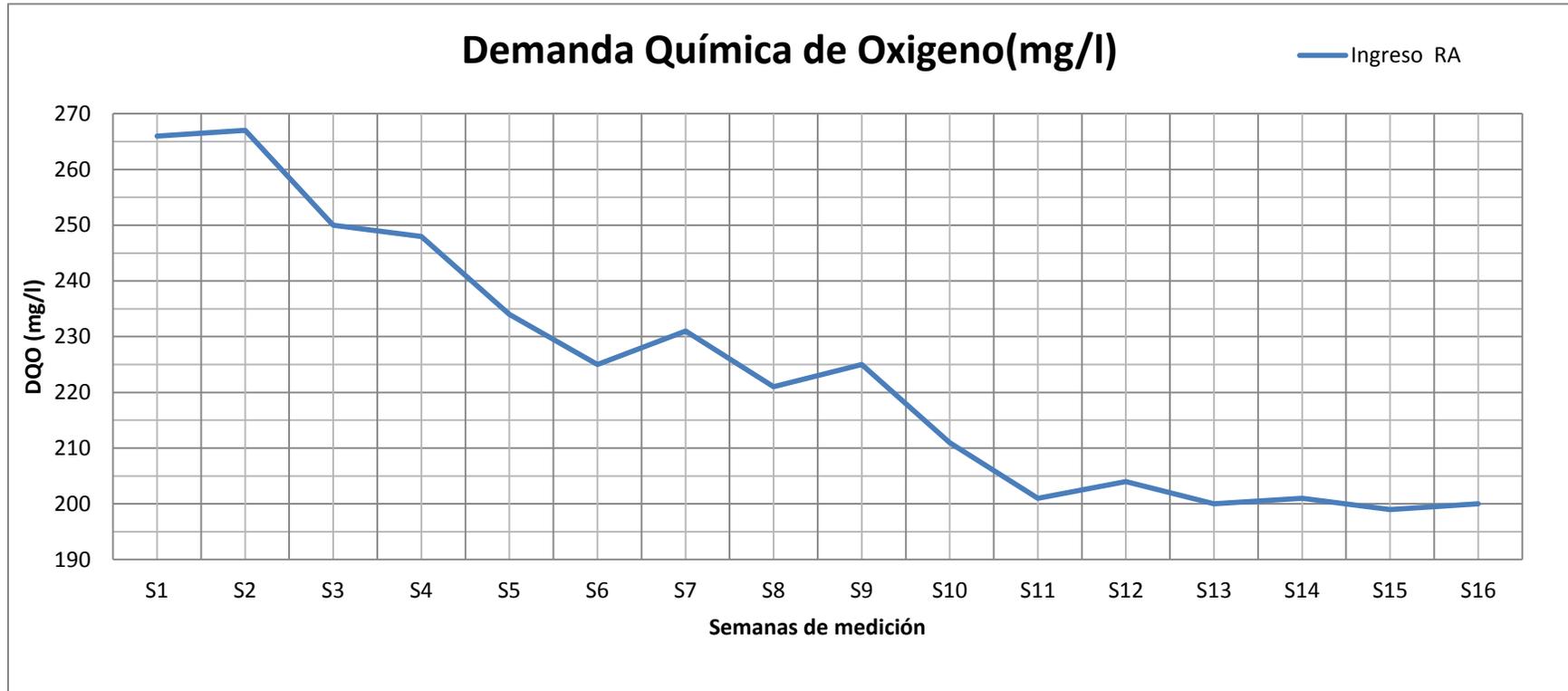
Este periodo corresponde a parte de los meses setiembre y octubre (primavera), se observa que la muestra tiene variaciones mínimas de sube y baja en la concentración DQO. Aquí se da los menores valores DQO de la muestra respecto a los demás periodos.

Gráfica N°43: Variación de DQO (mg/L) de las muestras de agua residual tratada en las salidas de los reactores del tercer periodo de prueba.



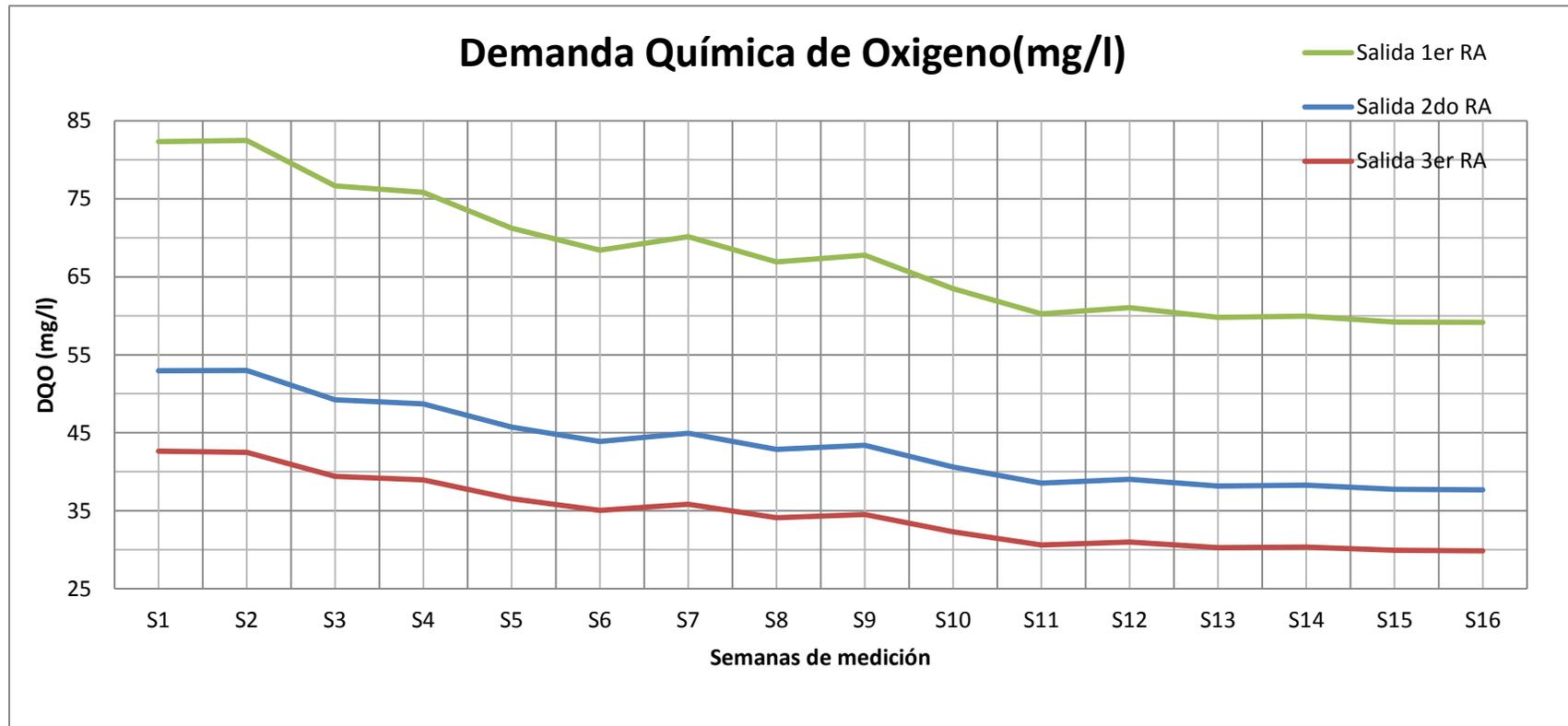
A diferencia de los periodos anteriores, las líneas aquí presentan tendencia a ser horizontal, se tiene el menor valor DQO en la salida del tercer reactor a comparación de los demás periodos.

Gráfica N°44: Variación de DQO (mg/L) de la muestra de ingreso a la batería durante los tres periodos de prueba.



Se observa la variación de la DQO al ingreso del sistema. Esta variación tiende en forma global a ser más decreciente que creciente en pequeños tramos.

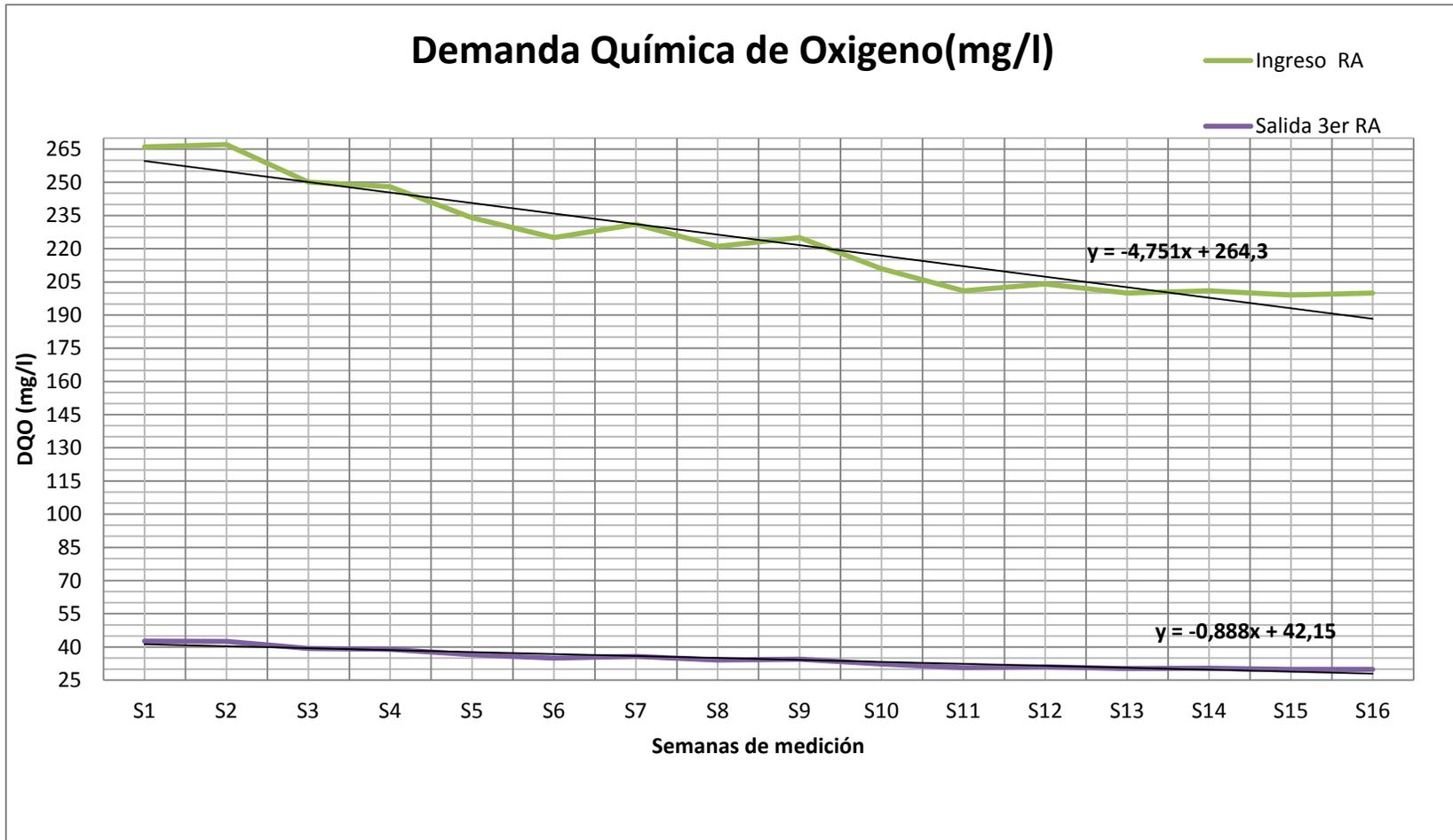
Gráfica N°45: Variación de DQO (mg/L) de las muestras de salida durante los tres periodos de prueba.



Las líneas de tendencia presentan comportamientos semejantes a la línea de ingreso al sistema. Se observa que el valor DQO a la salida del primer reactor es mayor que el valor DQO a la salida del segundo reactor y este mayor que el valor DQO a la salida del tercer reactor.

Tabla N° 27: DQO (mg/l)		
	Ingreso RA	Salida 3er RA
S1	266	43
S2	267	42
S3	250	39
S4	248	39
S5	234	37
S6	225	35
S7	231	36
S8	221	34
S9	225	34
S10	211	32
S11	201	31
S12	204	31
S13	200	30
S14	201	30
S15	199	30
S16	200	30
MÁXIMO	267	43
PROMEDIO	224	35
MÍNIMO	199	30
DESV. ESTANDAR	±24	±4

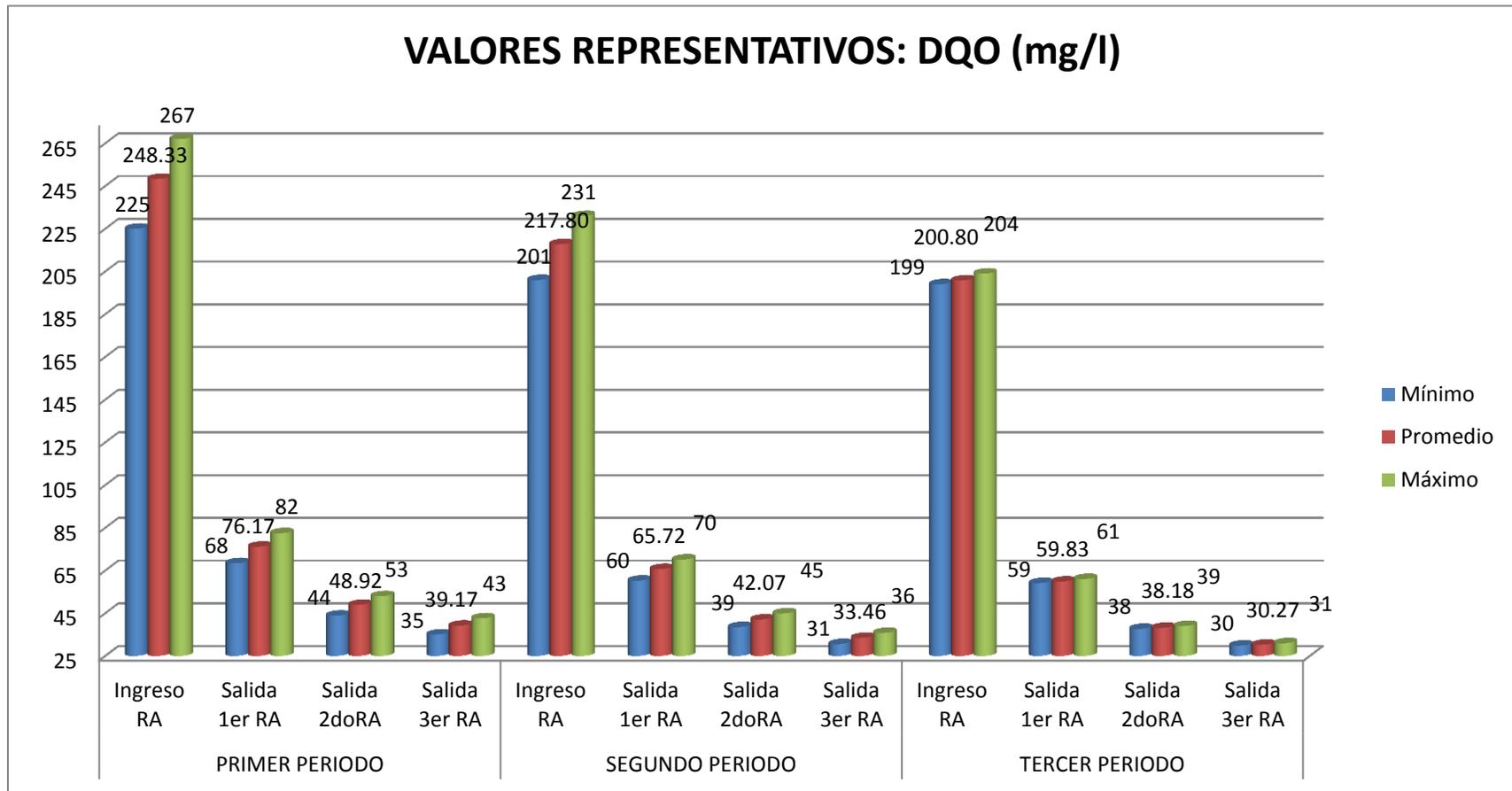
Gráfica N°46: Variación de DQO (mg/L) de las muestras de ingreso y salida en la batería durante los tres periodos de prueba.



Se observa la gráfica DQO, ingreso y salida a la batería en todos los periodos, cada línea con su ecuación respectiva.

Tabla N°28: VALORES REPRESENTATIVOS: DQO (mg/l)				
PERIODO	VALOR	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Ingreso RA	225	248.33	267
	Salida 1er RA	68	76.17	82
	Salida 2doRA	44	48.92	53
	Salida 3er RA	35	39.17	43
SEGUNDO PERIODO	Ingreso RA	201	217.80	231
	Salida 1er RA	60	65.72	70
	Salida 2doRA	39	42.07	45
	Salida 3er RA	31	33.46	36
TERCER PERIODO	Ingreso RA	199	200.80	204
	Salida 1er RA	59	59.83	61
	Salida 2doRA	38	38.18	39
	Salida 3er RA	30	30.27	31

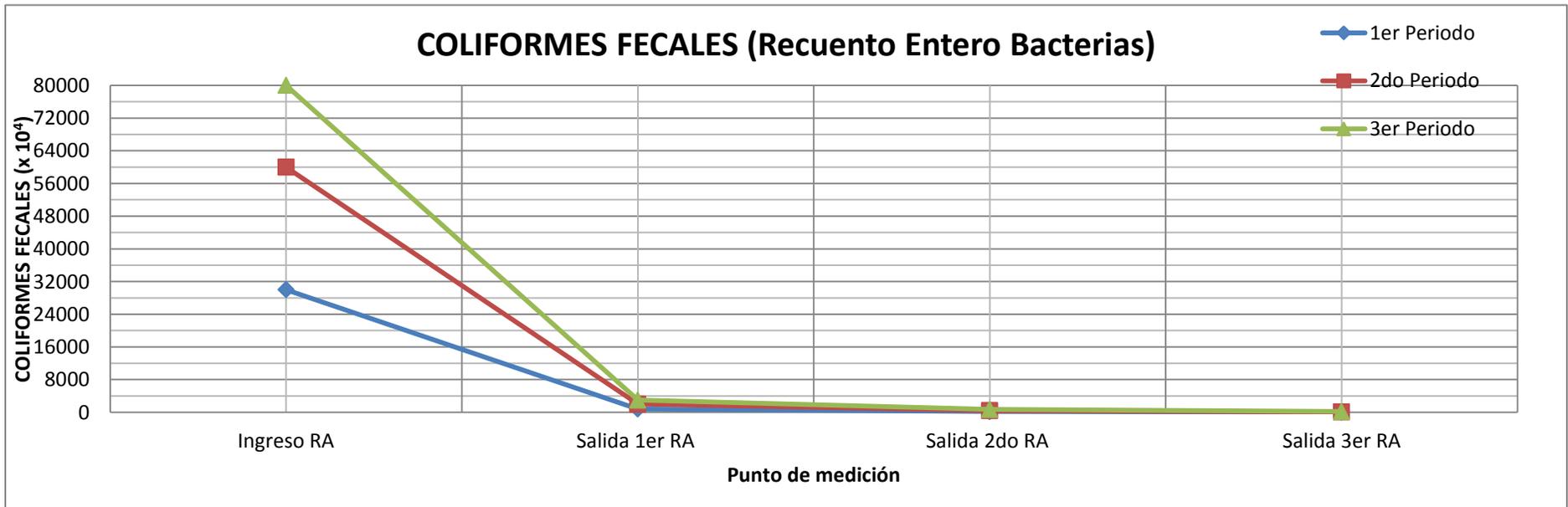
Gráfica N°47: Valores representativos de DQO (mg/L).



En todos los periodos se observa que la DQO promedio obtenida a la salida del primer reactor es mayor que la DQO promedio obtenida a la salida del segundo reactor y este mayor al promedio obtenido a la salida del tercer reactor. Además se observa el descenso progresivo del promedio DQO al ingreso del sistema en cada periodo de prueba.

### 7.7 Coliformes Fecales (Recuento Entero Bacterias).

Tabla N° 29: Coliformes Fecales				
Periodo	Ingreso	Efluente R1	Efluente R2	Efluente R3
1er Periodo	$50 \times 10^7$	$20 \times 10^6$	$70 \times 10^5$	$20 \times 10^5$
1er Periodo	$30 \times 10^7$	$8 \times 10^6$	$20 \times 10^5$	$50 \times 10^4$
2do Periodo	$60 \times 10^7$	$20 \times 10^6$	$40 \times 10^5$	$90 \times 10^4$
3er Periodo	$80 \times 10^7$	$30 \times 10^6$	$70 \times 10^5$	$20 \times 10^5$

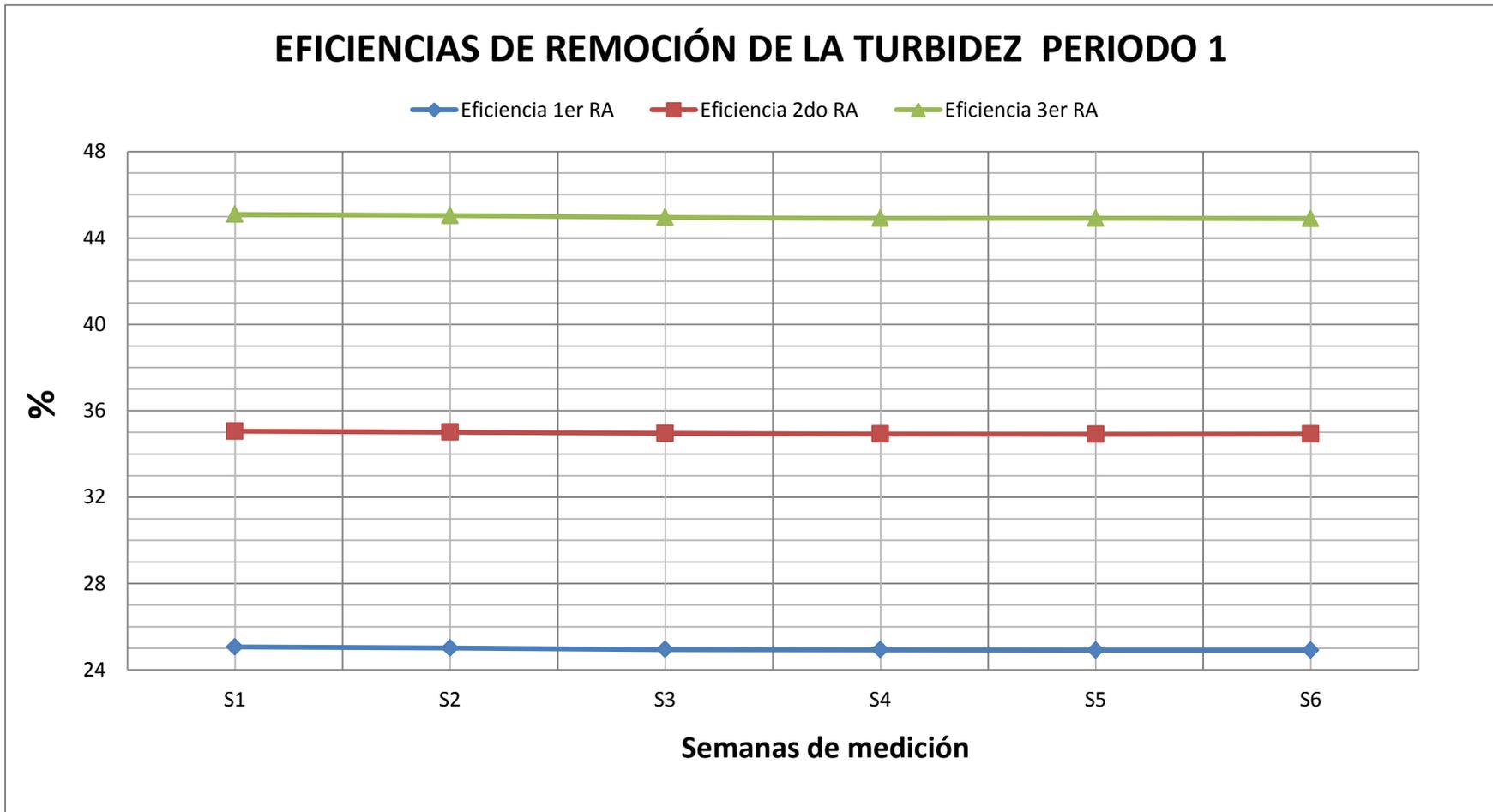


Gráfica N°48: Se observa que los coliformes fecales aumentan al ingreso del sistema con el transcurrir de los periodos, pero son reducidos, en general uno a dos logaritmos a través de los filtro.

## CAPITULO VIII: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN.

### 8.1 Eficiencias de Remoción de Turbidez.

Tabla N° 30: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ - PERIODO 1							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S1	53.2	39.9	25.9	14.2	25.07	35.06	45.10
S2	58.3	43.7	28.4	15.6	25.02	35.01	45.04
S3	59.8	44.9	29.2	16.1	24.95	34.95	44.96
S4	60.1	45.1	29.4	16.2	24.93	34.92	44.91
S5	61.5	46.2	30.1	16.6	24.91	34.91	44.91
S6	63.54	47.71	31.05	17.11	24.91	34.92	44.90
MÁXIMO					25.07	35.06	45.10
PROMEDIO					24.96	34.96	44.97
MÍNIMO					24.91	34.91	44.90

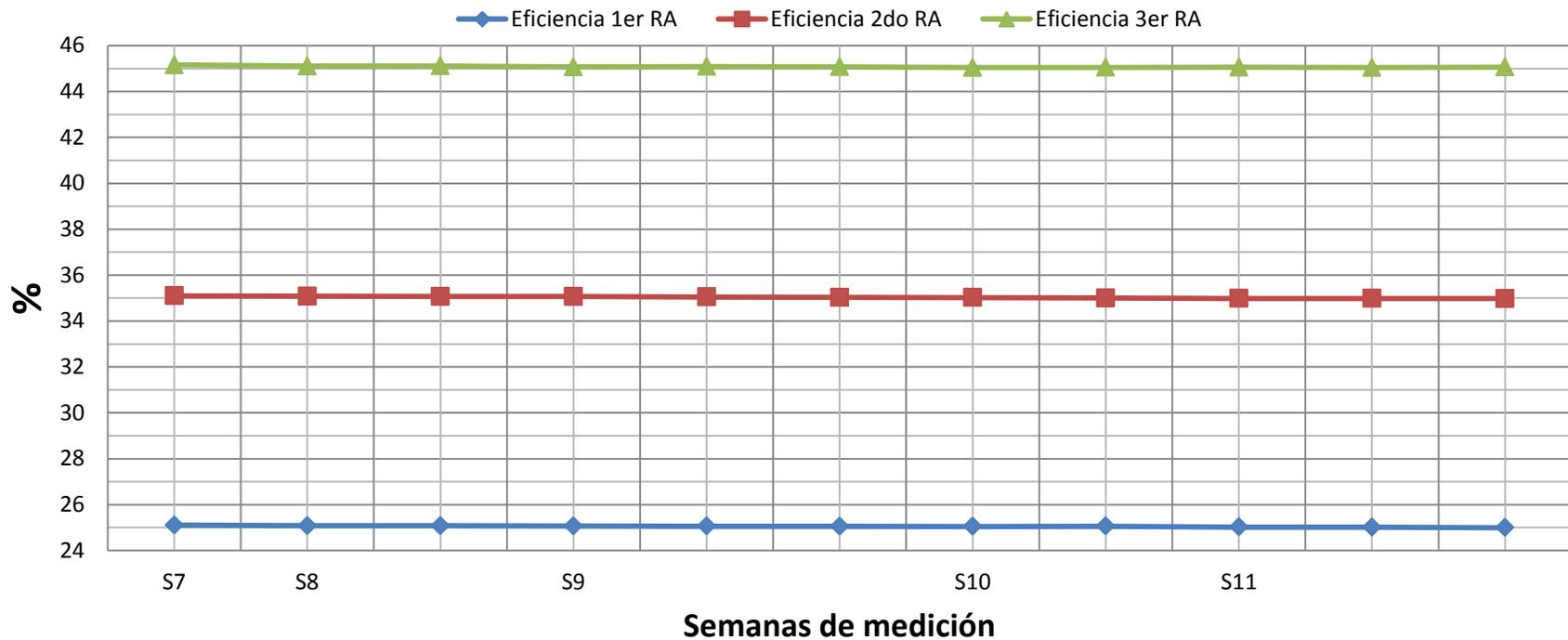


Gráfica N°49:

Se observa que el tercer reactor tiene más eficiencia que el segundo y este más que el primero. La eficiencia con el transcurso de las semanas disminuye ligeramente.

Tabla N° 31: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ - PERIODO 2							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S7	56.72	42.48	27.57	15.12	25.11	35.10	45.16
S8	58.02	43.47	28.22	15.49	25.08	35.08	45.11
	58.46	43.80	28.44	15.61	25.08	35.07	45.11
S9	62.75	47.02	30.53	16.77	25.07	35.07	45.07
	62.97	47.19	30.65	16.83	25.06	35.05	45.09
	63.15	47.33	30.75	16.89	25.05	35.03	45.07
S10	66.32	49.71	32.30	17.75	25.05	35.02	45.05
	67.21	50.37	32.74	17.99	25.06	35.00	45.05
S11	69.11	51.82	33.69	18.51	25.02	34.99	45.06
	69.76	52.31	34.01	18.69	25.01	34.98	45.05
	69.53	52.15	33.91	18.63	25.00	34.98	45.06
MÁXIMO					25.11	35.10	45.16
PROMEDIO					25.05	35.03	45.08
MÍNIMO					25.00	34.98	45.05

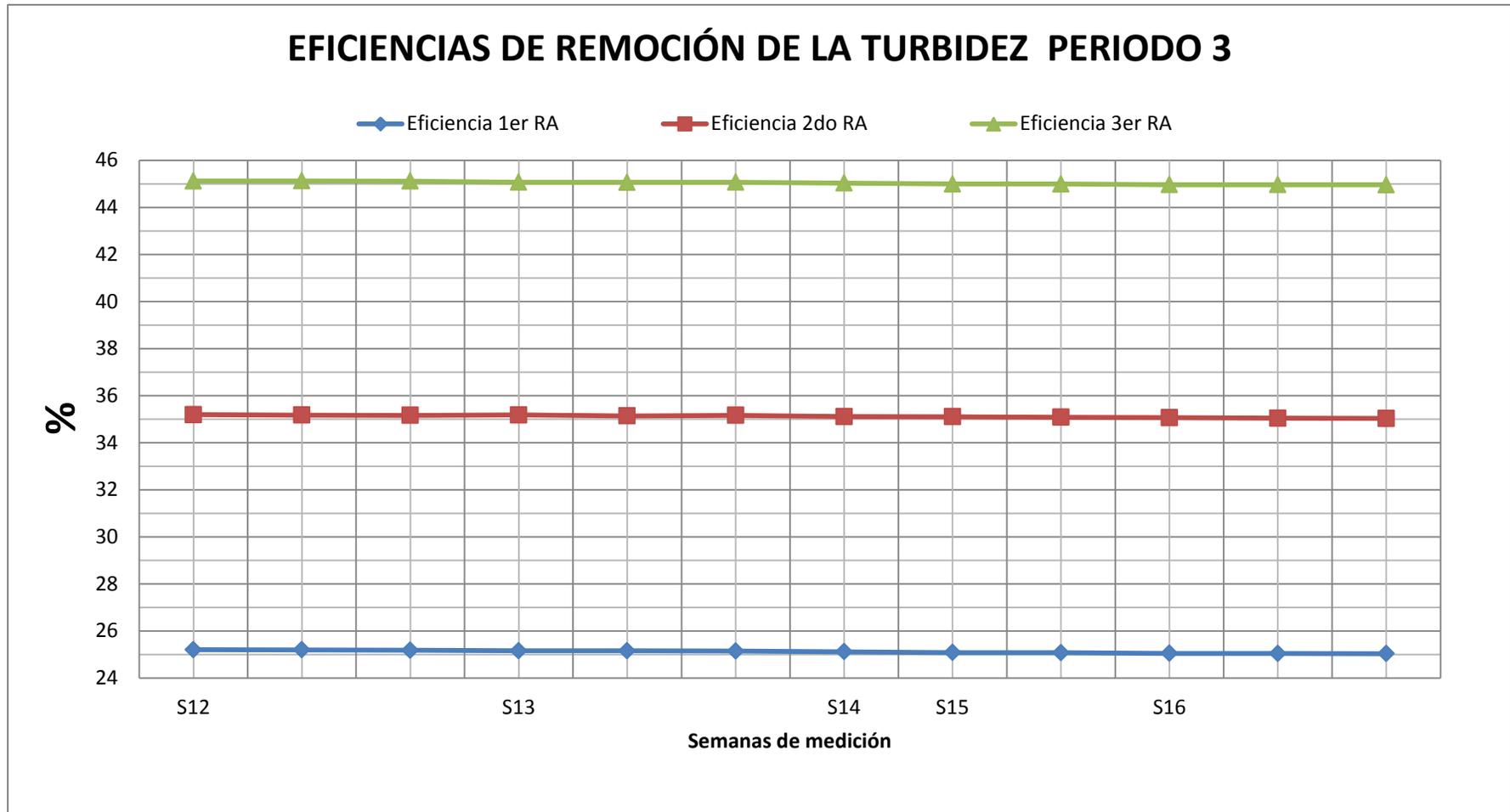
## EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ PERIODO 2



### Gráfica N°50:

Luego del retro lavado de los filtros, se puede apreciar que la eficiencia se recupera a su valor inicial o hasta llega a tener ligeramente un valor más alto que en la primera semana del periodo anterior. También aquí con el pasar de las semanas comienza a disminuir ligeramente la eficiencia. Aquí en la semana 7 se da la máxima eficiencia en el tercer reactor respecto a los demás periodos.

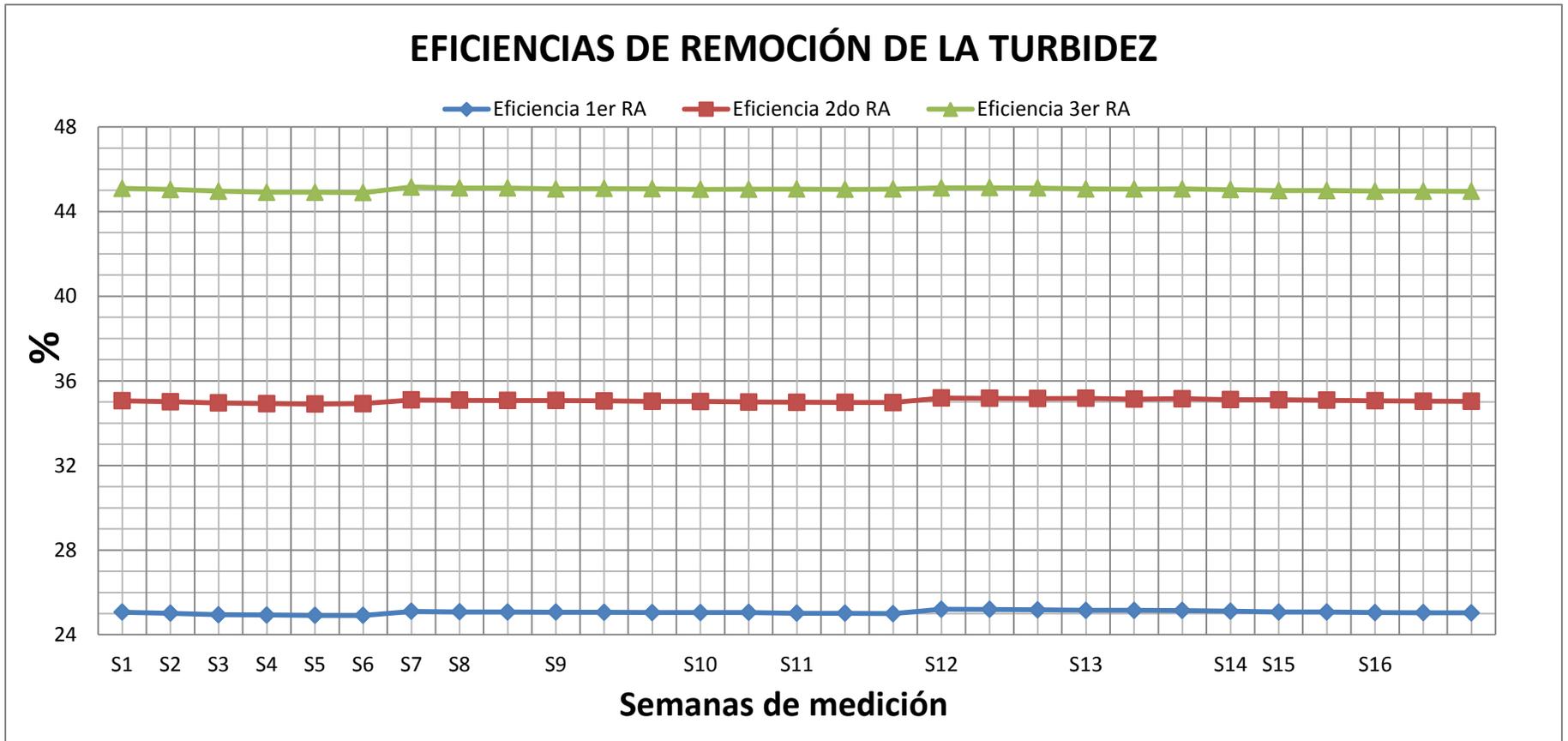
Tabla N° 32: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ - PERIODO 3							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S12	62.73	46.92	30.41	16.69	25.20	35.19	45.12
	62.79	46.97	30.45	16.71	25.20	35.17	45.12
	62.87	47.04	30.5	16.74	25.18	35.16	45.11
S13	64.76	48.47	31.42	17.26	25.15	35.18	45.07
	64.64	48.38	31.38	17.24	25.15	35.14	45.06
	66.42	49.72	32.24	17.71	25.14	35.16	45.07
S14	69	51.67	33.53	18.43	25.12	35.11	45.03
S15	71.22	53.36	34.63	19.05	25.08	35.10	44.99
	72.02	53.96	35.03	19.27	25.08	35.08	44.99
S16	74.66	55.96	36.34	20	25.05	35.06	44.96
	75	56.22	36.52	20.1	25.04	35.04	44.96
	74.94	56.18	36.5	20.09	25.03	35.03	44.96
MÁXIMO					25.20	35.19	45.12
PROMEDIO					25.12	35.12	45.04
MÍNIMO					25.03	35.03	44.96



Gráfica N°51:

Este último periodo tiene semejanza al anterior, pues luego del retro lavado de los filtros aparecen mayores eficiencias, pero que después comienzan a descender con el transcurrir de las semanas. Se observa que el último o tercer reactor produce mayores eficiencias que el resto. El segundo tiene mayor eficiencia que el primer reactor.

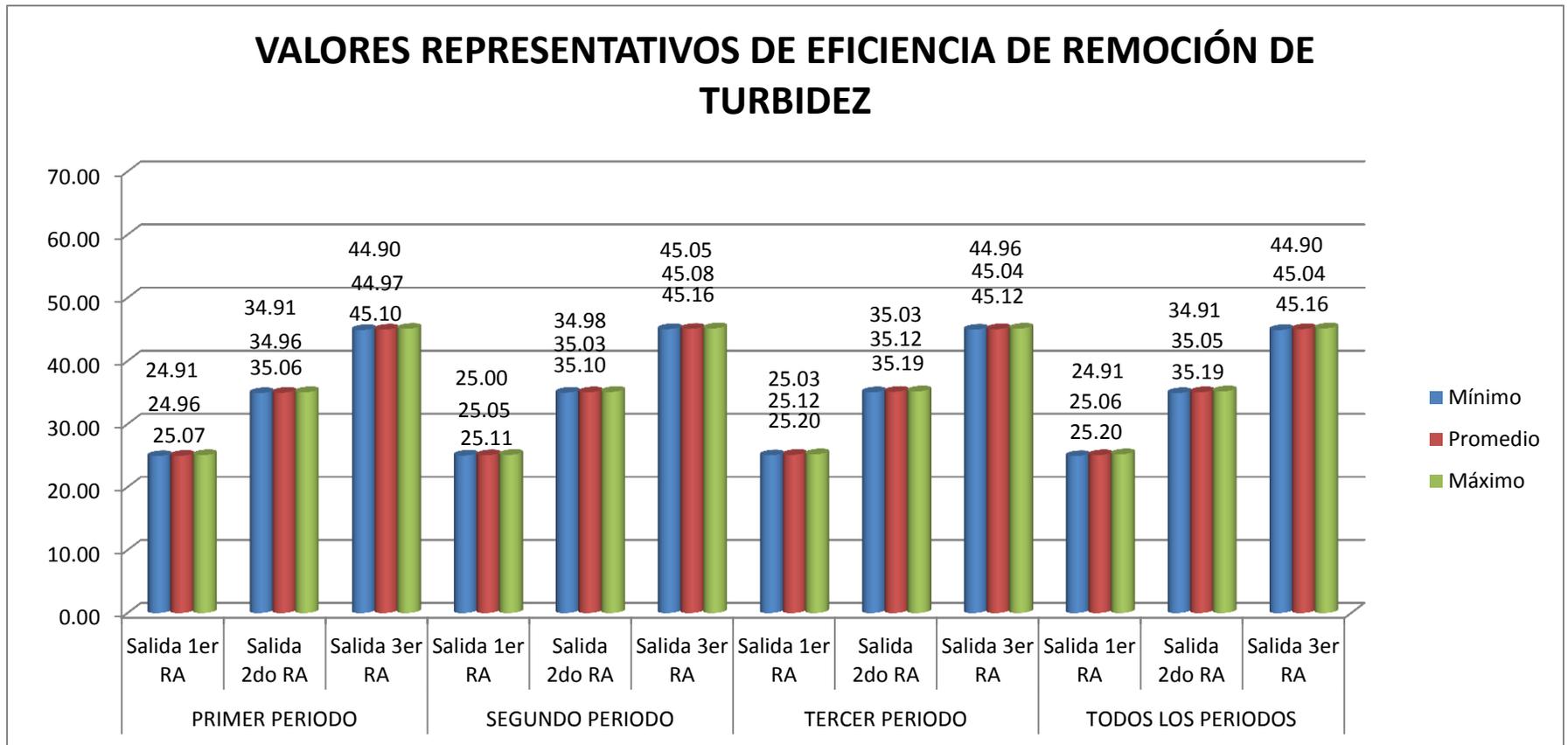
Gráfica N°52: Eficiencias de remoción de turbidez en todos los periodos.



Tenemos la eficiencia de remoción de turbidez en cada reactor durante los tres periodos de prueba. La eficiencia en el tercer reactor en promedio es 45% , en el segundo reactor la eficiencia en promedio es 35% y la eficiencia en el primer reactor en promedio es 25%.

Tabla N° 33: VALORES REPRESENTATIVOS DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) EN TURBIDEZ				
PERIODO	MUESTRA	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Salida 1er RA	24.91	24.96	25.07
	Salida 2do RA	34.91	34.96	35.06
	Salida 3er RA	44.90	44.97	45.10
SEGUNDO PERIODO	Salida 1er RA	25.00	25.05	25.11
	Salida 2do RA	34.98	35.03	35.10
	Salida 3er RA	45.05	45.08	45.16
TERCER PERIODO	Salida 1er RA	25.03	25.12	25.20
	Salida 2do RA	35.03	35.12	35.19
	Salida 3er RA	44.96	45.04	45.12
TODOS LOS PERIODOS	Salida 1er RA	24.91	25.06	25.20
	Salida 2do RA	34.91	35.05	35.19
	Salida 3er RA	44.90	45.04	45.16

Gráfica N°53: Valores representativos de eficiencia de remoción en turbidez.

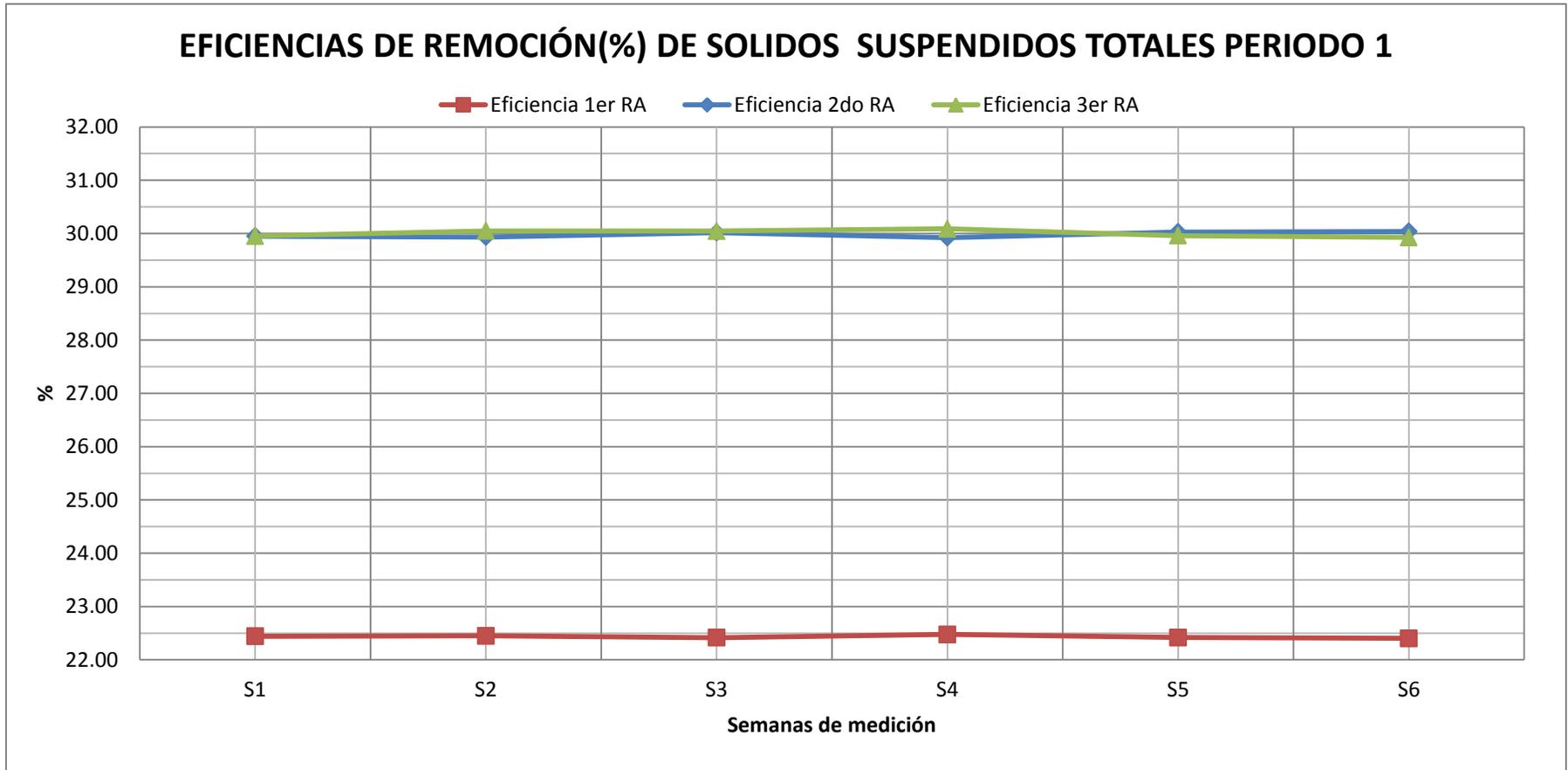


En general se observa que el primer reactor es menos eficiente que el segundo y este menos eficiente que el tercero. Se observa también que no existe mucha variabilidad en la eficiencia de cada reactor durante todo el periodo de evaluación.

Tabla N° 34:%EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ			
Semana	Ingreso RA	Salida 3er RA	Eficiencia de la batería.
S1	53.2	14.22	73.28
S2	58.3	15.62	73.22
S3	59.8	16.06	73.13
S4	60.1	16.18	73.09
S5	61.5	16.6	73.07
S6	63.54	17.11	73.07
S7	56.72	15.12	73.34
S8	58.02	15.49	73.30
	58.46	15.61	73.30
S9	62.75	16.77	73.27
	62.97	16.83	73.27
	63.15	16.89	73.25
S10	66.32	17.75	73.24
	67.21	17.99	73.23
S11	69.11	18.51	73.22
	69.76	18.69	73.21
	69.53	18.63	73.21
S12	62.73	16.69	73.39
	62.79	16.71	73.39
	62.87	16.74	73.37
S13	64.76	17.26	73.35
	64.64	17.24	73.33
	66.42	17.71	73.34
S14	69	18.43	73.29
S15	71.22	19.05	73.25
	72.02	19.27	73.24
S16	74.66	20	73.21
	75	20.1	73.20
	74.94	20.09	73.19
MÁXIMO	75.00	20.10	73.39
PROMEDIO	64.88	17.36	73.25
MÍNIMO	53.22	14.22	73.07
DESV. ESTANDAR	±5.67	±1.53	±0.09

## 8.2 Eficiencias de Remoción de Sólidos Suspendidos.

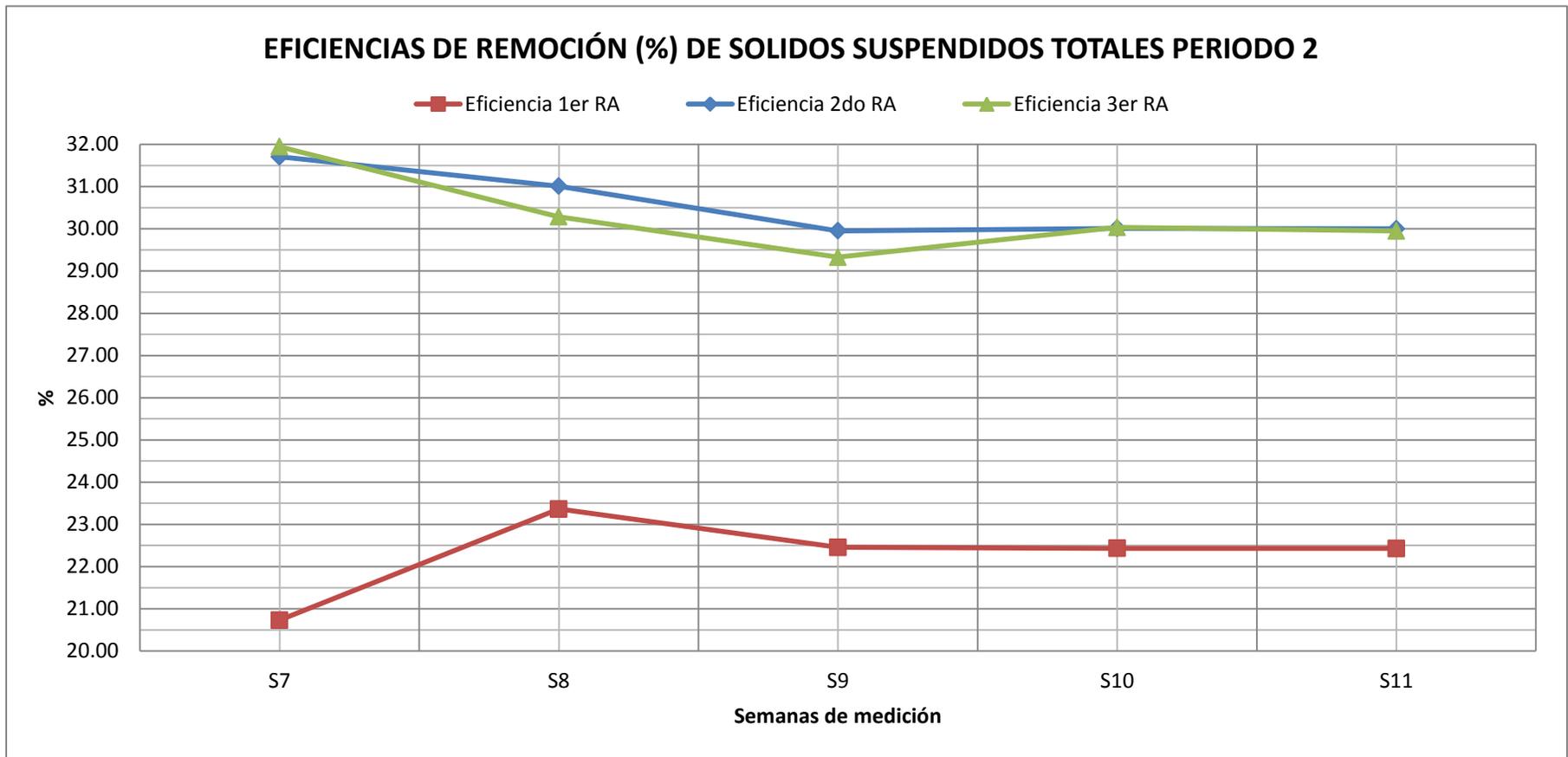
Tabla N° 35: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - PERIODO 1							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S1	76.200	59.100	41.400	29.000	22.441	29.949	29.952
S2	78.400	60.800	42.600	29.800	22.449	29.934	30.047
S3	80.300	62.300	43.600	30.500	22.416	30.016	30.046
S4	83.200	64.500	45.200	31.600	22.476	29.922	30.088
S5	91.000	70.600	49.400	34.600	22.418	30.028	29.960
S6	99.100	76.900	53.800	37.700	22.402	30.039	29.926
MÁXIMO					22.476	30.039	30.088
PROMEDIO					22.434	29.982	30.003
MÍNIMO					22.402	29.922	29.926



Gráfica N°54:

Se observa que la eficiencia del segundo y tercer reactor es casi igual, pero a diferencia del primer reactor, que es menor en eficiencia a los anteriores.

Tabla N° 36: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - PERIODO 2							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S7	93.100	73.800	50.400	34.300	20.730	31.707	31.944
S8	99.300	76.100	52.500	36.600	23.364	31.012	30.286
S9	104.200	80.800	56.600	40.000	22.457	29.950	29.329
S10	106.100	82.300	57.600	40.300	22.432	30.012	30.035
S11	107.000	83.000	58.100	40.700	22.430	30.000	29.948
MÁXIMO					23.364	31.707	31.944
PROMEDIO					22.282	30.536	30.308
MÍNIMO					20.730	29.950	29.329

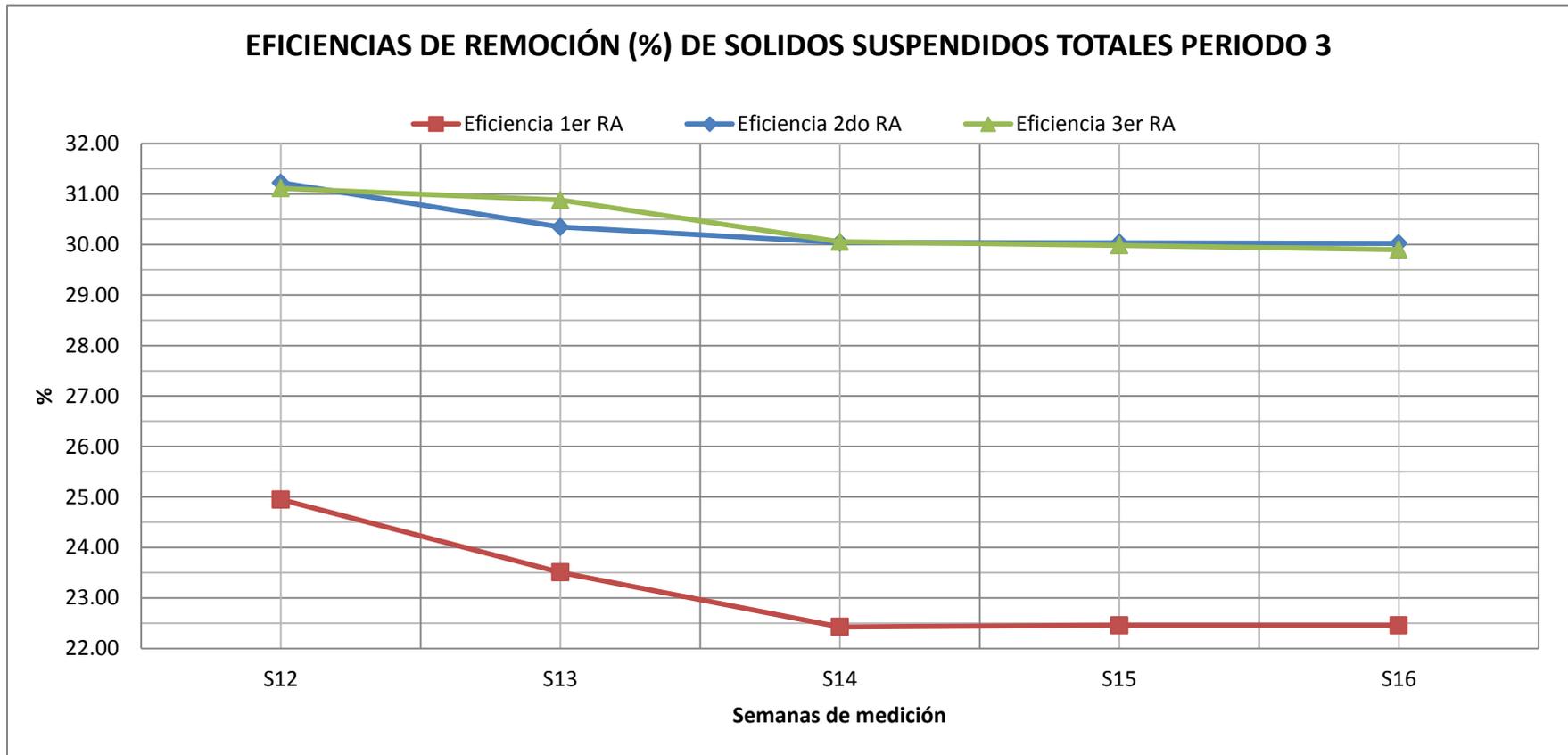


Gráfica N°55:

Se observa que la eficiencia del segundo reactor es mayor a la eficiencia del tercer reactor en las semanas 8 y 9.

En todo el periodo la eficiencia del primer reactor en promedio es 22.282%, menor a la eficiencia del segundo y tercer reactor que en promedio son 30.536% y 30.308% respectivamente.

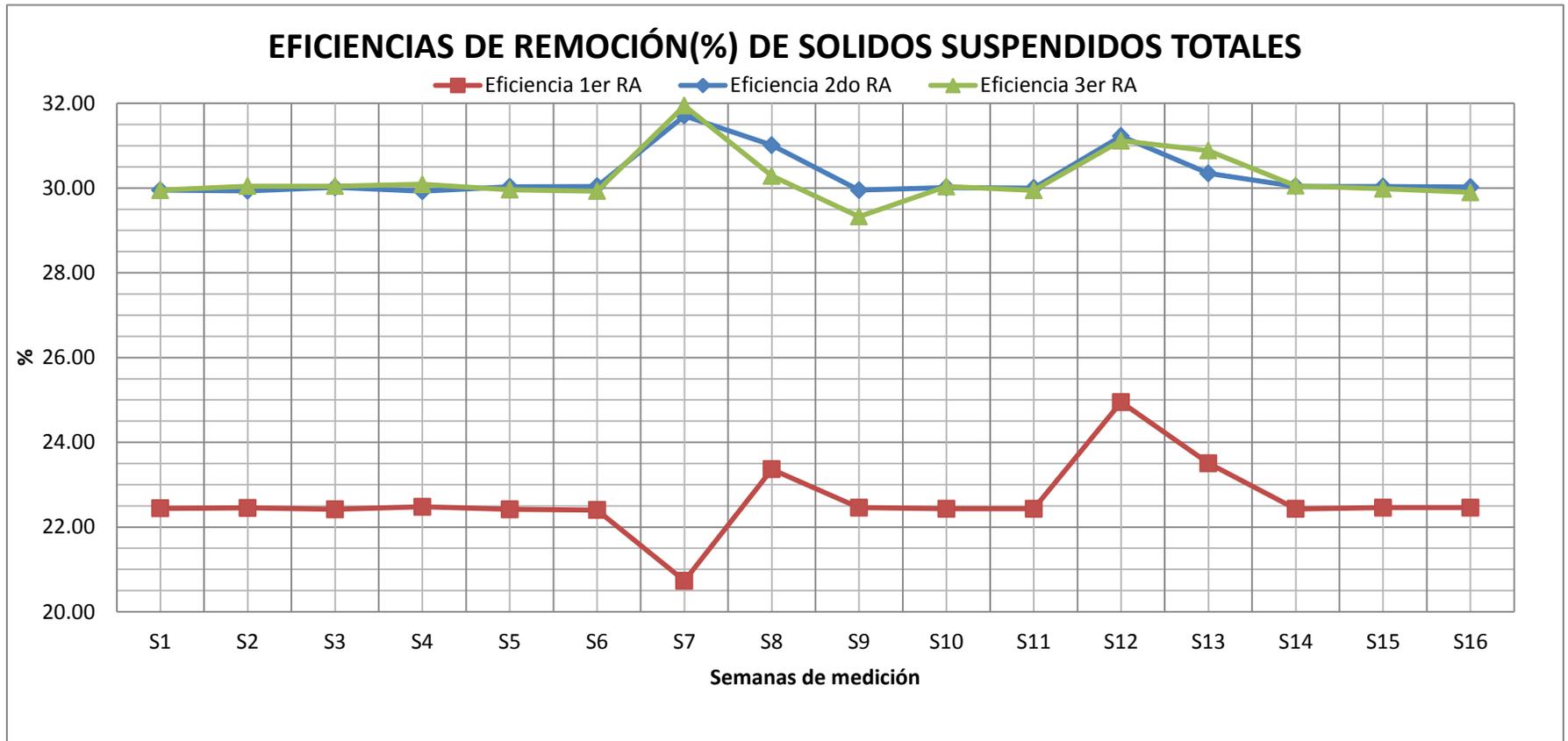
Tabla N° 37: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - PERIODO 3							
Semana	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S12	99.000	74.300	51.100	35.200	24.949	31.225	31.115
S13	102.100	78.100	54.400	37.600	23.506	30.346	30.882
S14	103.000	79.900	55.900	39.100	22.427	30.038	30.054
S15	108.200	83.900	58.700	41.100	22.458	30.036	29.983
S16	109.100	84.600	59.200	41.500	22.456	30.024	29.899
MÁXIMO					24.949	31.225	31.115
PROMEDIO					23.160	30.333	30.387
MÍNIMO					22.427	30.024	29.899



Gráfica N°56:

Las eficiencias de los tres reactores decrecen ligeramente hasta la semana 14, de allí en adelante mantienen ser constante en general. Se observa que al comenzar este periodo las eficiencias de los tres reactores es mayor que las eficiencias al final del periodo anterior. La eficiencia del primer reactor en promedio es 23.16%, menor que la eficiencia del segundo reactor que en promedio es 30.33% y este menor que la eficiencia del tercer reactor que en promedio es 30.38%.

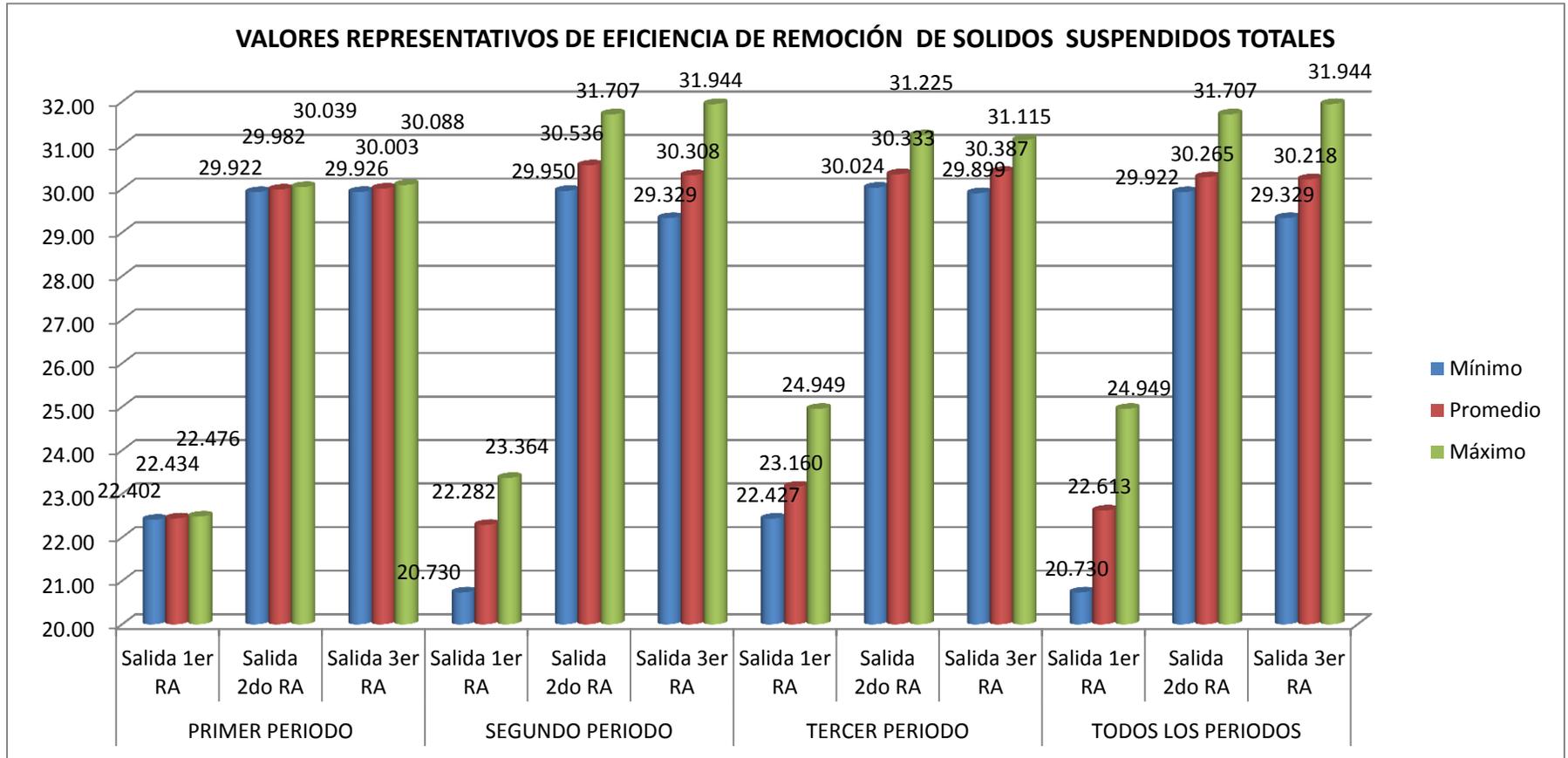
Gráfica N°57: Eficiencias de remoción de sólidos suspendidos en todos los periodos.



Se observa que la eficiencia de los tres reactores aumenta al pasar de un periodo a otro, este cambio se debe a que al final de cada periodo se realizó el retro lavado de los filtros. En todos los periodos la eficiencia del primer reactor es menor que la eficiencia de los demás reactores.

Tabla N° 38: VALORES REPRESENTATIVOS DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS				
PERIODO	MUESTRA	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Salida 1er RA	22.402	22.434	22.476
	Salida 2do RA	29.922	29.982	30.039
	Salida 3er RA	29.926	30.003	30.088
SEGUNDO PERIODO	Salida 1er RA	20.730	22.282	23.364
	Salida 2do RA	29.950	30.536	31.707
	Salida 3er RA	29.329	30.308	31.944
TERCER PERIODO	Salida 1er RA	22.427	23.160	24.949
	Salida 2do RA	30.024	30.333	31.225
	Salida 3er RA	29.899	30.387	31.115
TODOS LOS PERIODOS	Salida 1er RA	20.730	22.613	24.949
	Salida 2do RA	29.922	30.265	31.707
	Salida 3er RA	29.329	30.218	31.944

**Gráfica N°58: Valores representativos de eficiencia de remoción en sólidos suspendidos.**

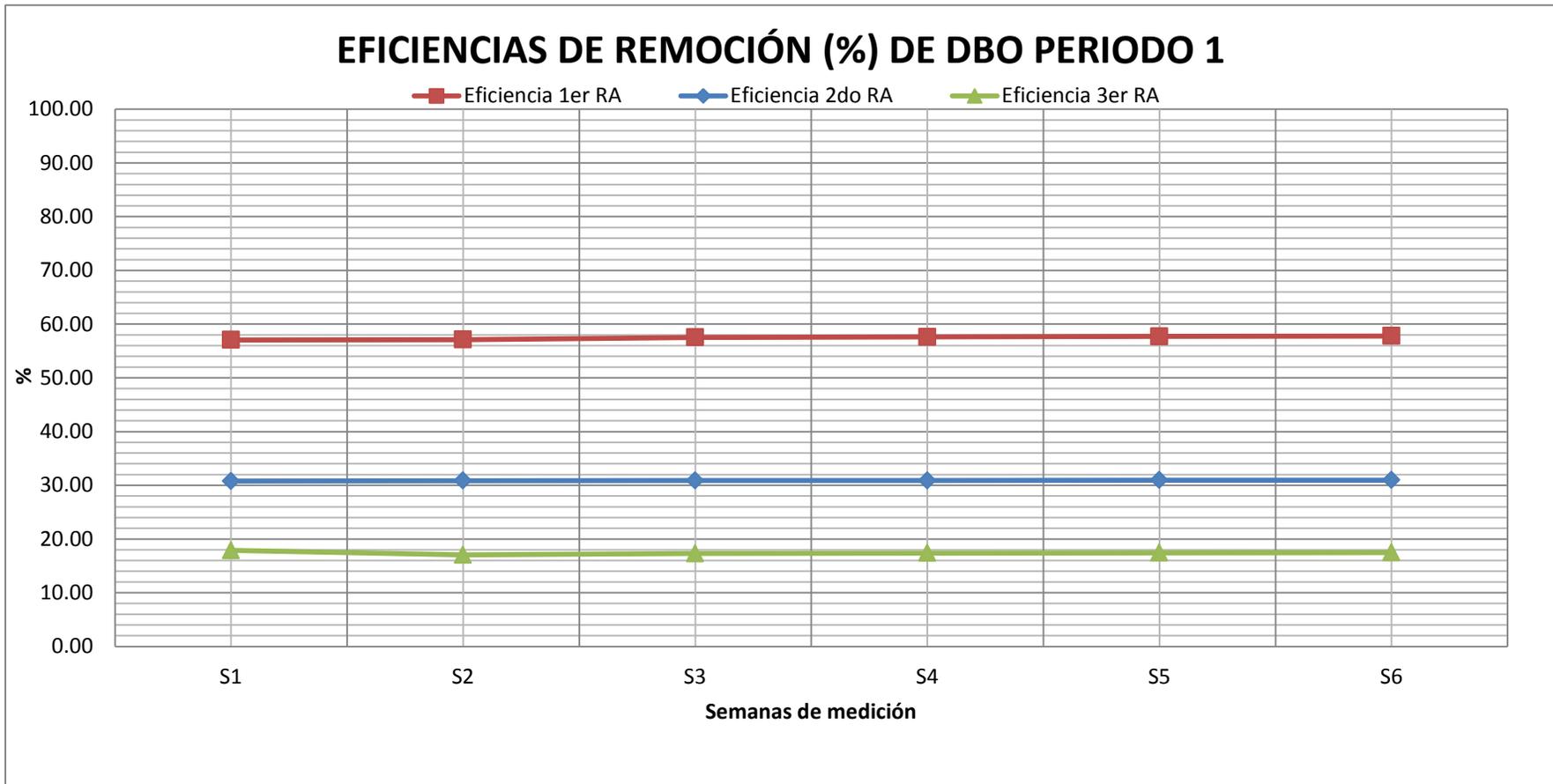


De los valores máximos y mínimos se observa que a partir del segundo periodo se presenta mayor variabilidad en cuanto a eficiencia de sólidos suspendidos, mientras que en el primer periodo en los reactores presenta poca variación entre el valor máximo y mínimo de eficiencia.

Tabla N° 39: % EFICIENCIAS DE REMOCIÓN SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES			
Semana	Ingreso RA	Salida 3er RA	Eficiencia de la batería
S1	76.20	29.00	61.942
S2	78.40	29.80	61.990
S3	80.30	30.50	62.017
S4	83.20	31.60	62.019
S5	91.00	34.60	61.978
S6	99.10	37.70	61.958
S7	93.10	34.30	63.158
S8	99.30	36.60	63.142
S9	104.20	40.00	61.612
S10	106.10	40.30	62.017
S11	107.00	40.70	61.963
S12	99.00	35.20	64.444
S13	102.10	37.60	63.173
S14	103.00	39.10	62.039
S15	108.20	41.10	62.015
S16	109.10	41.50	61.962
MÁXIMO	109.10	41.50	64.444
PROMEDIO	96.206	36.225	62.339
MÍNIMO	76.20	29.00	61.612
DESV. ESTANDAR	±11.17	±4.24	±0.74

### 8.3 Eficiencias de Remoción de Demanda Bioquímica De Oxígeno.

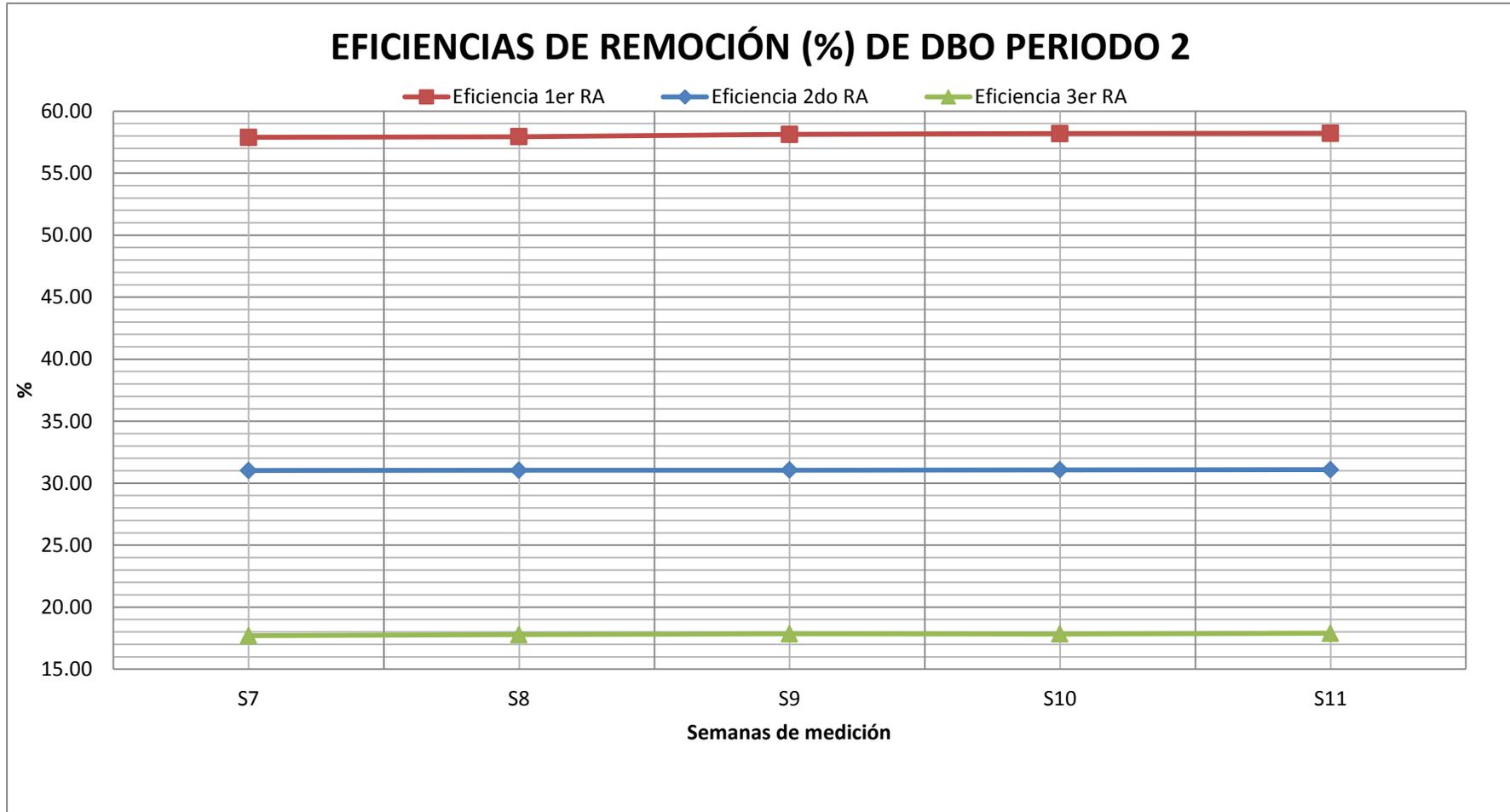
Tabla N° 40: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DBO - PERIODO 1							
DBO (mg/l)					EFICIENCIAS DE REMOCIÓN		
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S1	160.08	68.74	47.58	39.07	57.06	30.78	17.89
S2	160.25	68.72	47.52	39.42	57.12	30.85	17.05
S3	150.25	63.8	44.1	36.47	57.54	30.88	17.30
S4	149.26	63.26	43.72	36.12	57.62	30.89	17.38
S5	140.87	59.56	41.12	33.95	57.72	30.96	17.44
S6	135.21	57.07	39.4	32.51	57.79	30.96	17.49
MÁXIMO					57.79	30.96	17.89
PROMEDIO					57.47	30.89	17.42
MÍNIMO					57.06	30.78	17.05



Gráfica N°59:

Se observa que la eficiencia en el primer reactor en promedio es 57.47%, mayor a la eficiencia del segundo reactor que en promedio es 30.89%, y este a su vez mayor a la eficiencia del tercer reactor que en promedio es 17.42%. Las eficiencias en cada reactor tienden a ser constante como se puede apreciar en la gráfica.

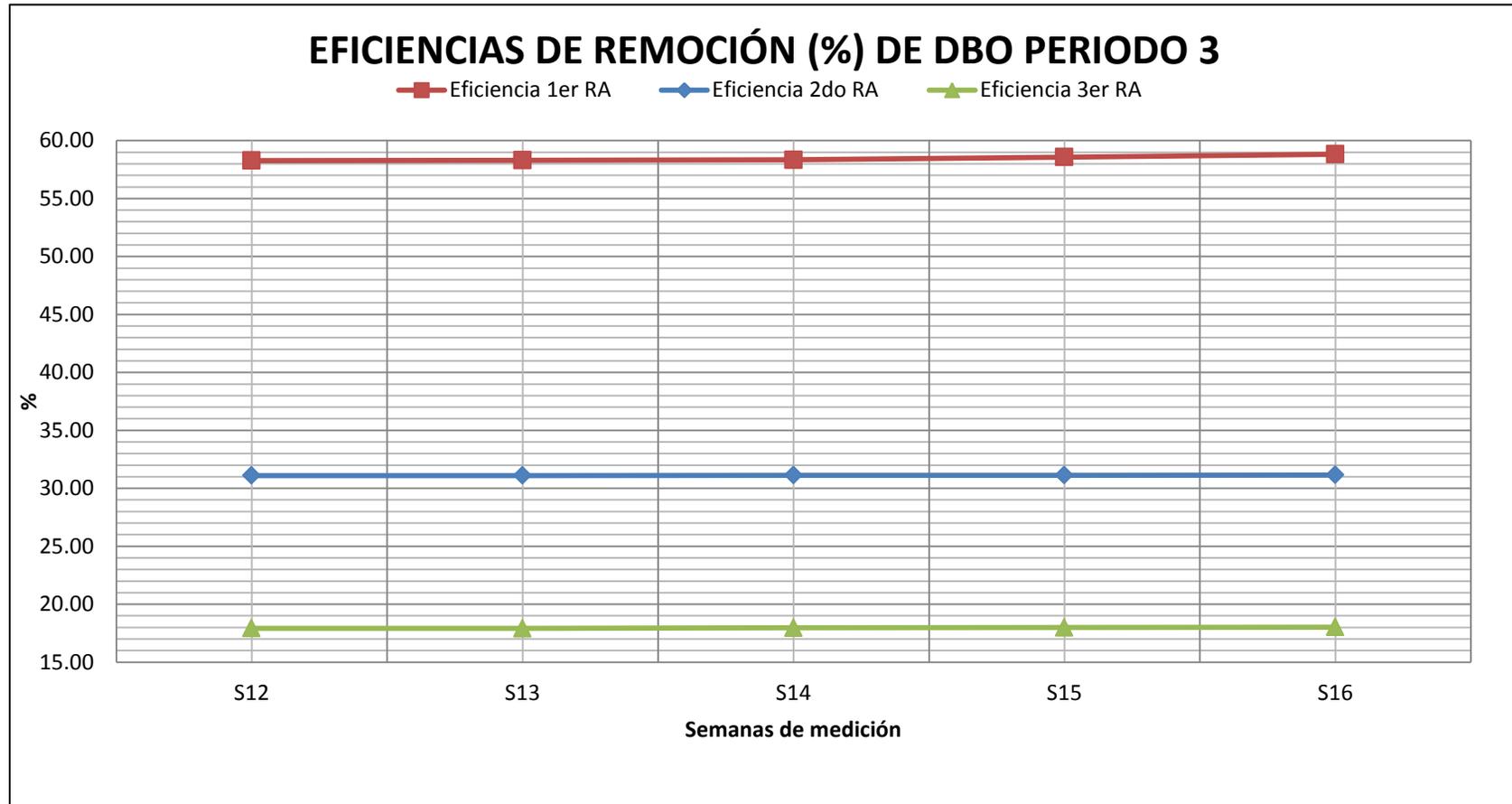
Tabla N° 41: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DBO - PERIODO 2							
DBO (mg/l)				EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S7	139.88	58.9	40.63	33.44	57.89	31.02	17.70
S8	132.65	55.79	38.47	31.63	57.94	31.04	17.78
S9	135.3	56.65	39.06	32.09	58.13	31.05	17.84
S10	128.61	53.77	37.06	30.45	58.19	31.08	17.84
S11	120.35	50.29	34.66	28.46	58.21	31.08	17.89
MÁXIMO					58.21	31.08	17.89
PROMEDIO					58.07	31.05	17.81
MÍNIMO					57.89	31.02	17.70



**Gráfica N°60:**

Se observa que la eficiencia de cada reactor va ligeramente en aumento, no sufre mucha variación en el paso del tiempo. Al inicio de este periodo la eficiencia es mayor que al final del periodo anterior, esto se debe al retro lavado que se realiza al final del periodo anterior. Aquí sucede lo contrario en sólidos suspendidos, pues la eficiencia va descendiendo con el paso de los filtros; es decir la eficiencia en el primer reactor, es mayor que el segundo y este mayor que el tercero.

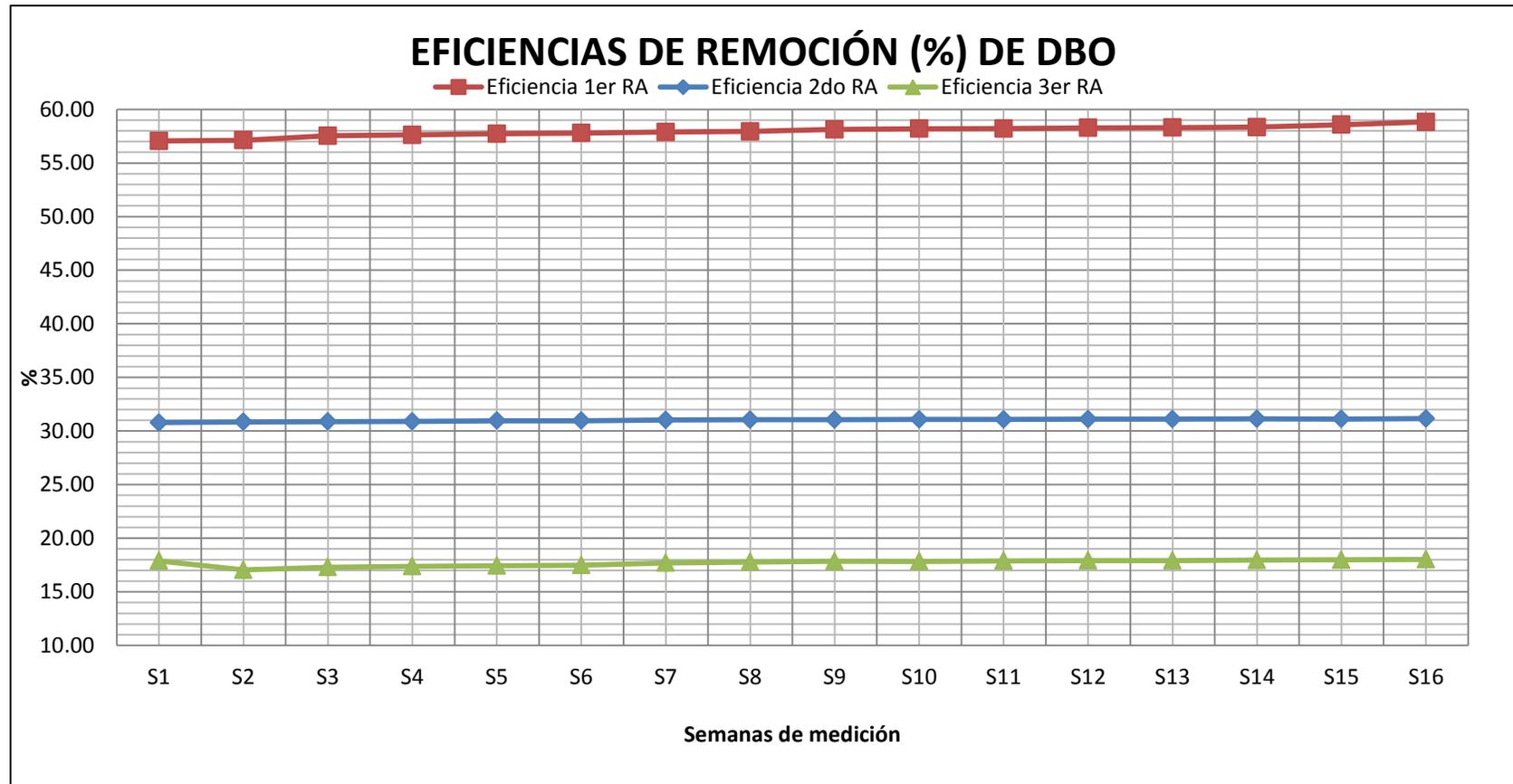
Tabla N° 42: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DBO - PERIODO 3							
DBO (mg/l)					EFICIENCIAS DE REMOCIÓN		
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S12	124.07	51.76	35.66	29.27	58.28	31.11	17.92
S13	120.91	50.41	34.73	28.51	58.31	31.10	17.91
S14	120.3	50.12	34.52	28.32	58.34	31.13	17.96
S15	118.67	49.16	33.86	27.77	58.57	31.12	17.99
S16	119.02	49.01	33.74	27.66	58.82	31.16	18.02
MÁXIMO					58.82	31.16	18.02
PROMEDIO					58.46	31.12	17.96
MÍNIMO					58.28	31.10	17.91



Gráfica N°61:

En este periodo se da la máxima eficiencia de remoción en DBO y lo realiza el primer reactor en la semana 16. Aquí en promedio la eficiencia del primer reactor es 58.46% mayor que la eficiencia promedio del segundo 31.12%, este a su vez mayor que la eficiencia promedio del tercer reactor 17.96%.

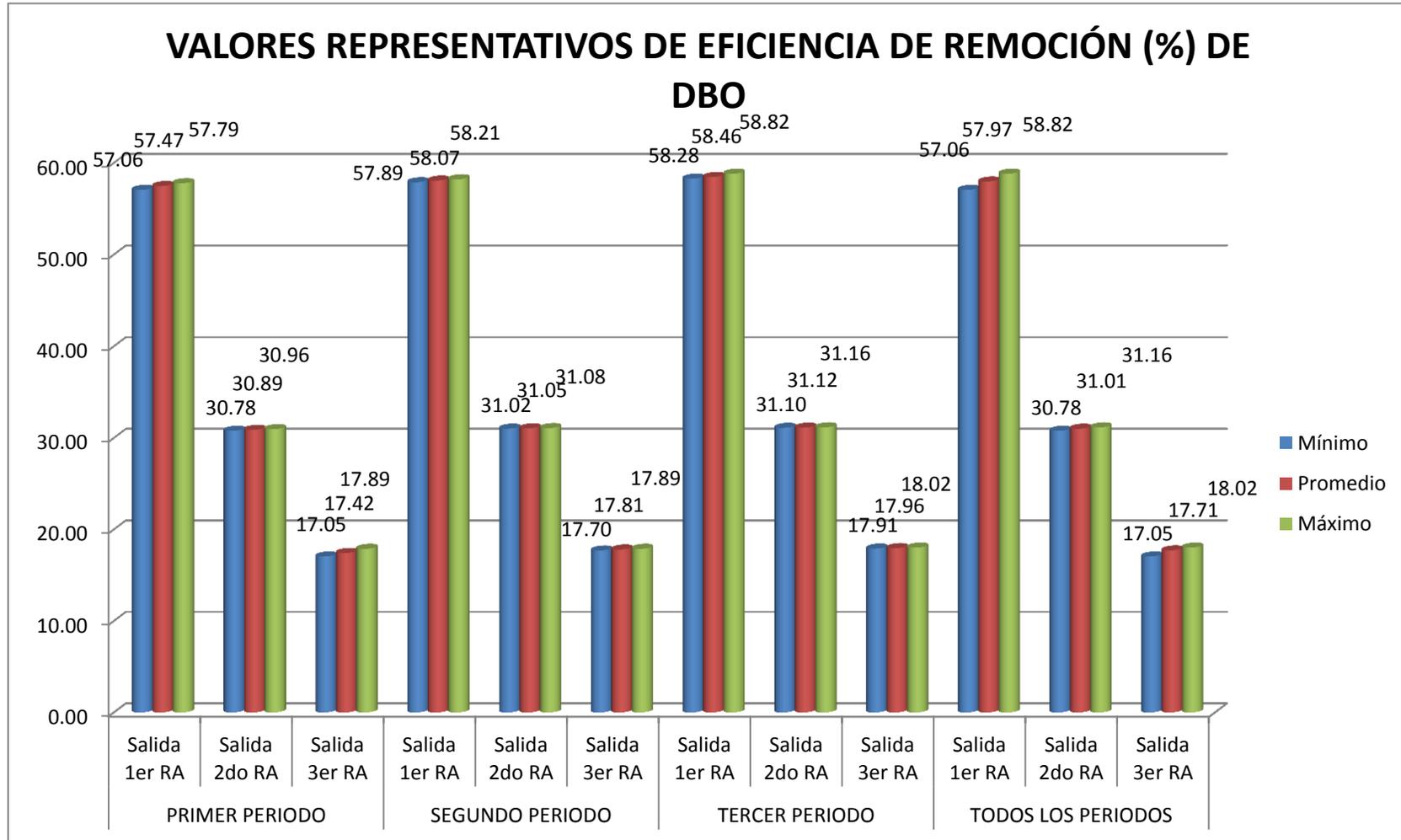
**Gráfica N°62: Eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno en todos los periodos.**



En todos los periodos vemos que el primer reactor es el que tiene mayor eficiencia, le sigue el segundo y culmina con el tercero que lleva la menor eficiencia de los tres reactores. La eficiencia en cada reactor tiene un ligero aumento durante todo el periodo.

Tabla N° 43: VALORES REPRESENTATIVOS DE				
EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) DE DBO				
PERIODO	MUESTRA	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Salida 1er RA	57.06	57.47	57.79
	Salida 2do RA	30.78	30.89	30.96
	Salida 3er RA	17.05	17.42	17.89
SEGUNDO PERIODO	Salida 1er RA	57.89	58.07	58.21
	Salida 2do RA	31.02	31.05	31.08
	Salida 3er RA	17.70	17.81	17.89
TERCER PERIODO	Salida 1er RA	58.28	58.46	58.82
	Salida 2do RA	31.10	31.12	31.16
	Salida 3er RA	17.91	17.96	18.02
TODOS LOS PERIODOS	Salida 1er RA	57.06	57.97	58.82
	Salida 2do RA	30.78	31.01	31.16
	Salida 3er RA	17.05	17.71	18.02

Gráfica N°63: Valores representativos de eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno.

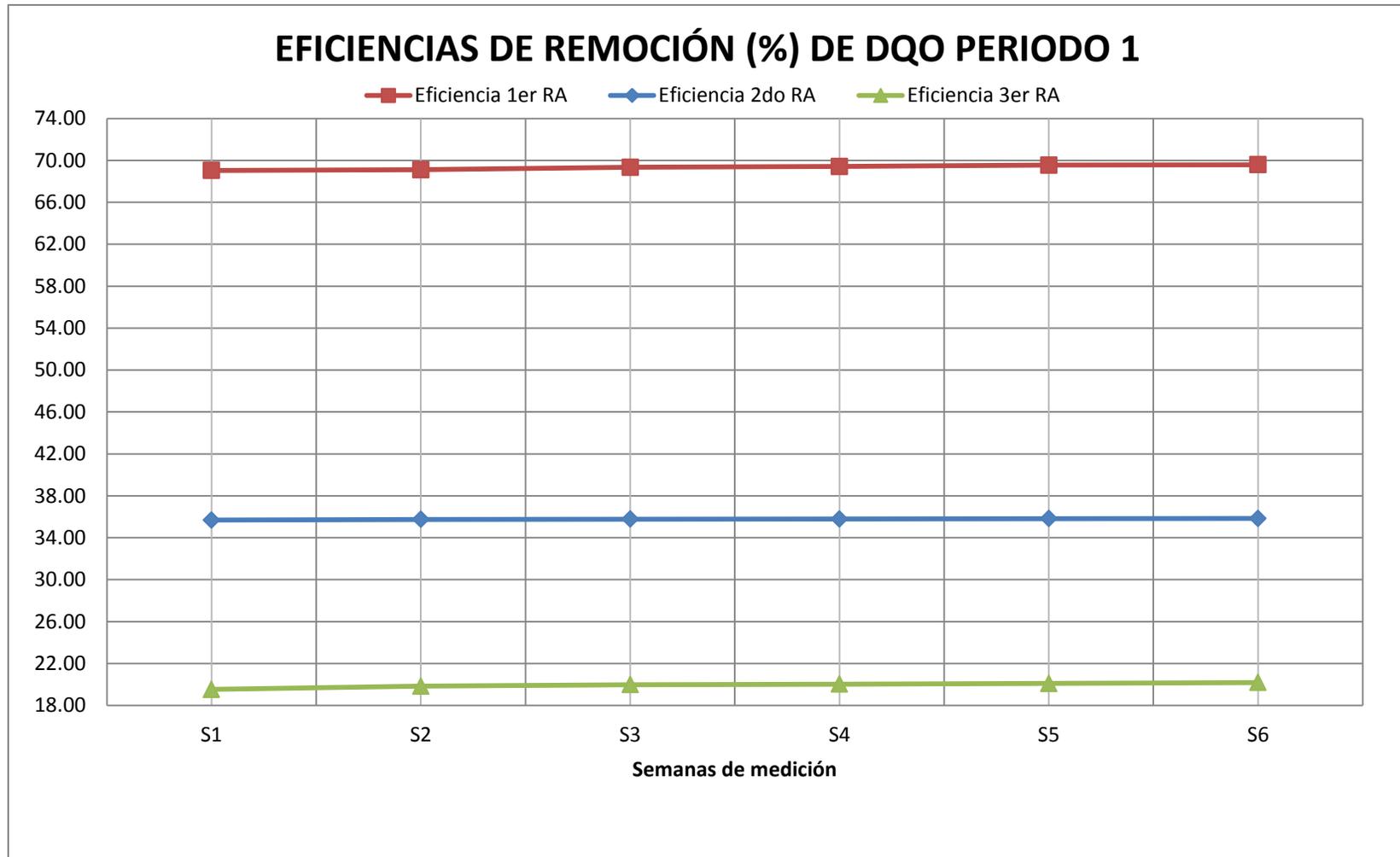


Se puede apreciar en el gráfico que no hay mucha diferencia entre la máxima y mínima eficiencia de remoción en DBO. Las barras más grandes corresponden al de mayor eficiencia que es el primer reactor, le sigue el segundo reactor en tamaño y termina con el tercero que tiene la menor eficiencia en remoción de DBO.

Tabla N° 44: % EFICIENCIAS DE REMOCIÓN EN DBO			
Semana	Ingreso RA	Salida 3er RA	%Eficiencia de batería.
S1	160.08	39.07	75.59
S2	160.25	39.42	75.40
S3	150.25	36.47	75.73
S4	149.26	36.12	75.80
S5	140.87	33.95	75.90
S6	135.21	32.51	75.96
S7	139.88	33.44	76.09
S8	132.65	31.63	76.16
S9	135.3	32.09	76.28
S10	128.61	30.45	76.32
S11	120.35	28.46	76.35
S12	124.07	29.27	76.41
S13	120.91	28.51	76.42
S14	120.3	28.32	76.46
S15	118.67	27.77	76.60
S16	119.02	27.66	76.76
MÁXIMO	160.25	39.42	76.76
PROMEDIO	134.73	32.20	76.14
MÍNIMO	118.67	27.66	75.40
DESV. ESTANDAR	±14.32	±3.94	±0.38

#### 8.4 Eficiencias de Remoción de Demanda Química De Oxígeno.

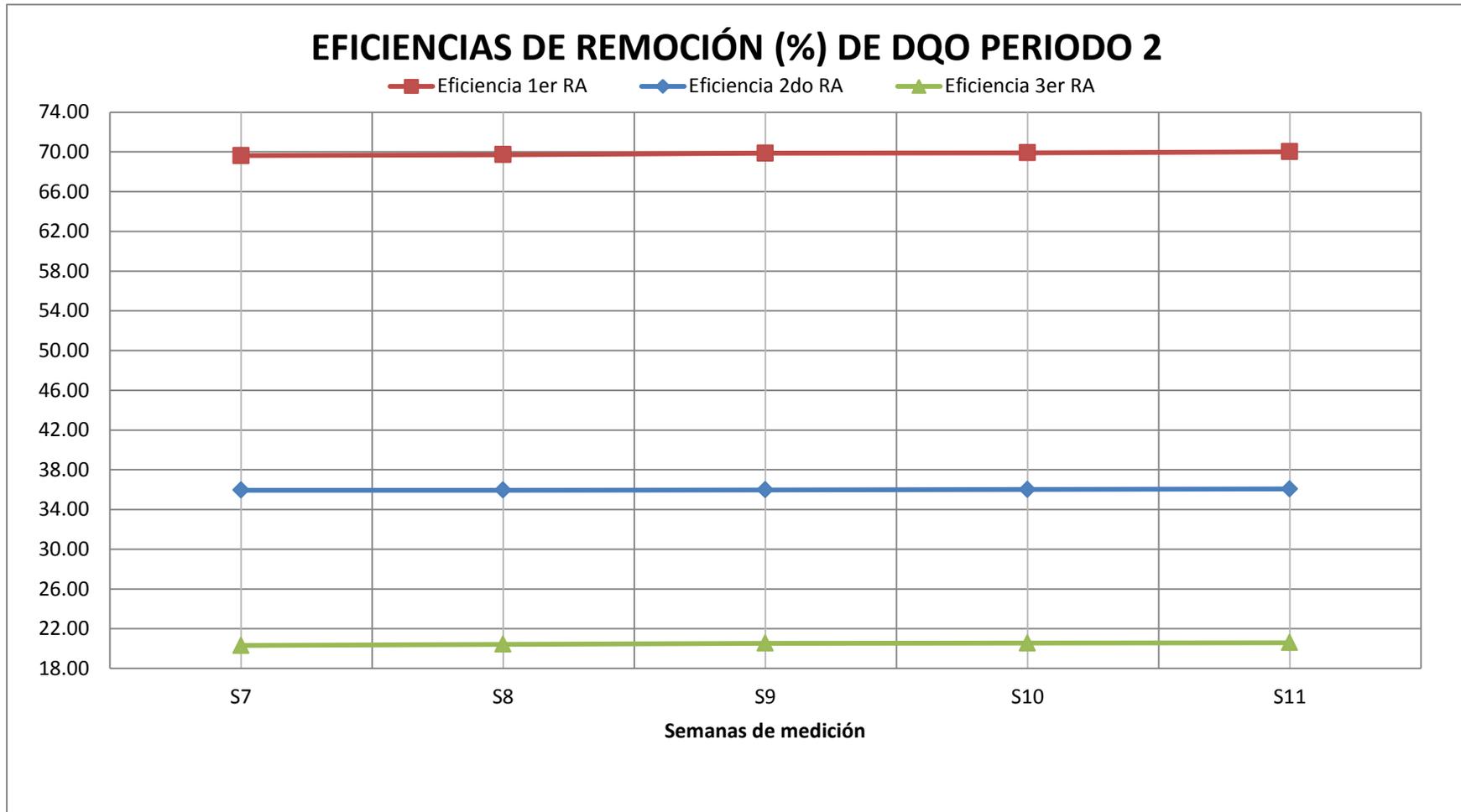
Tabla N° 45:EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DQO - PERIODO 1							
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S1	266	82	53	43	69.04	35.68	19.53
S2	267	82	53	42	69.11	35.74	19.84
S3	250	77	49	39	69.34	35.77	19.98
S4	248	76	49	39	69.42	35.79	20.03
S5	234	71	46	37	69.55	35.82	20.10
S6	225	68	44	35	69.59	35.84	20.18
MÁXIMO					69.59	35.84	20.18
PROMEDIO					69.34	35.77	19.94
MÍNIMO					69.04	35.68	19.53



Gráfica N°64:

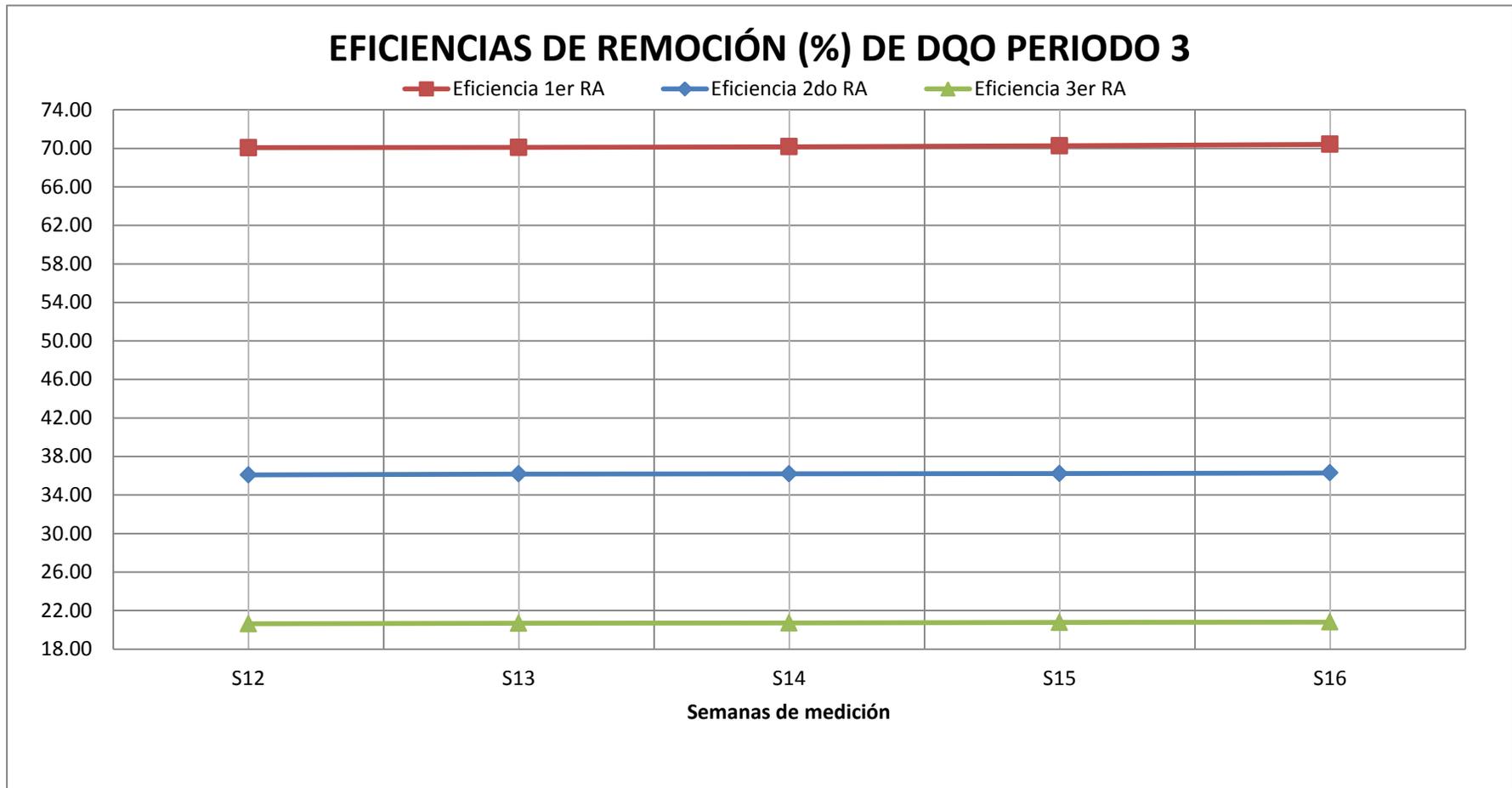
Se observa que tiene mejor eficiencia de remoción de DQO el primer reactor con promedio de 69.34%, le sigue el segundo reactor con una eficiencia promedio 35.77% y por último el tercer reactor con su eficiencia promedio de 19.94%.

Tabla N° 46: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DQO - PERIODO 2							
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S7	231	70	45	36	69.63	35.94	20.31
S8	221	67	43	34	69.72	35.95	20.42
S9	225	68	43	34	69.87	35.97	20.53
S10	211	63	41	32	69.91	36.01	20.55
S11	201	60	39	31	70.02	36.06	20.59
MÁXIMO					70.02	36.06	20.59
PROMEDIO					69.83	35.99	20.48
MÍNIMO					69.63	35.94	20.31



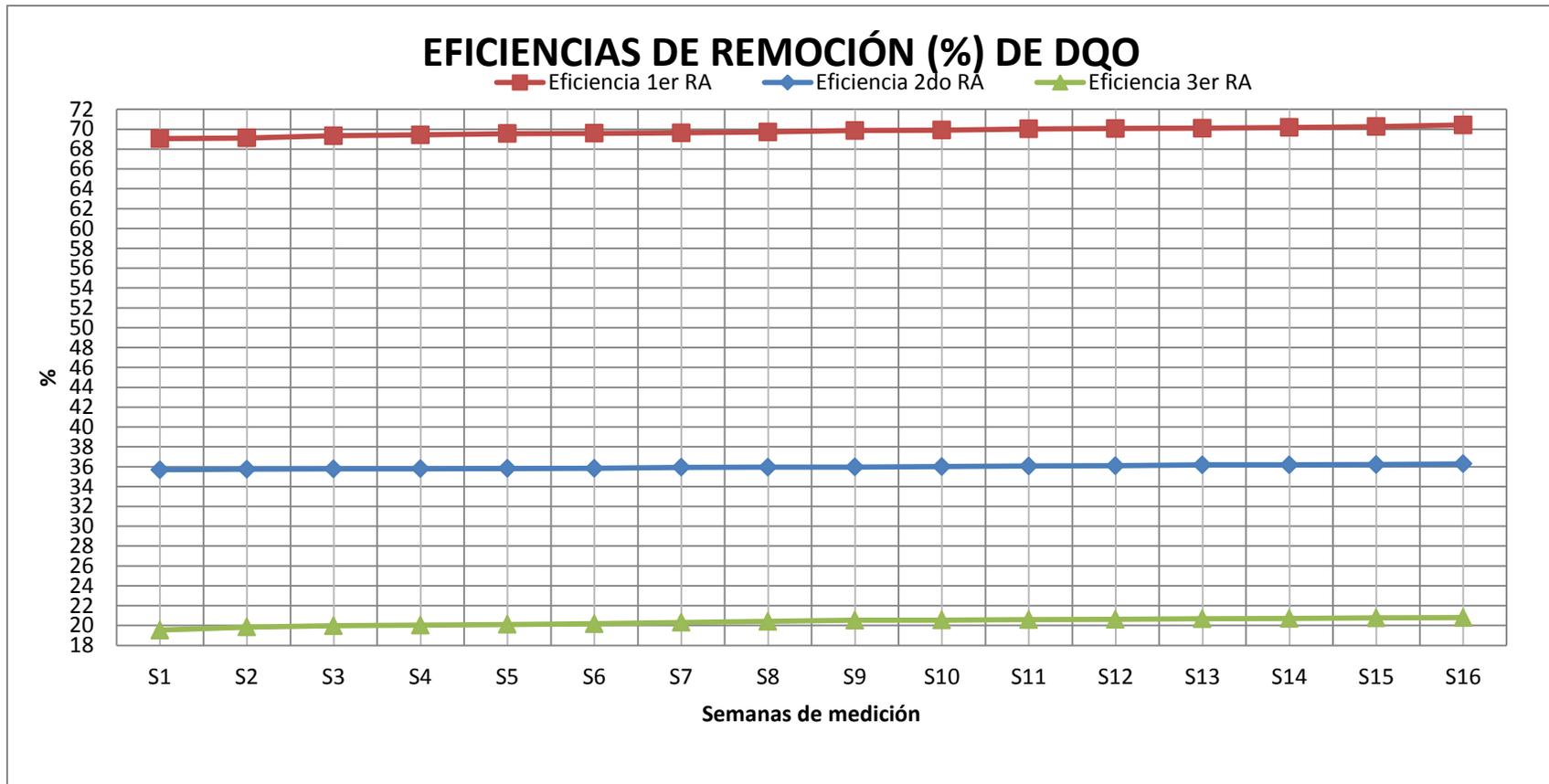
Gráfica N°65: Las eficiencias de los reactores al comienzo de este periodo son ligeramente mayores a las eficiencias de la última semana del periodo anterior. Tienen un ligero aumento las eficiencias a medida que transcurre las semanas. También aquí la eficiencia promedio del primer reactor 69.83% es mayor a la eficiencia promedio del segundo 35.99% y este mayor a la eficiencia promedio del tercero 20.48%.

Tabla N° 47: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DQO - PERIODO 3							
	Ingreso RA	Salida 1er RA	Salida 2do RA	Salida 3er RA	Eficiencia 1er RA	Eficiencia 2do RA	Eficiencia 3er RA
S12	204	61	39	31	70.07	36.09	20.62
S13	200	60	38	30	70.10	36.18	20.68
S14	201	60	38	30	70.17	36.19	20.71
S15	199	59	38	30	70.26	36.22	20.76
S16	200	59	38	30	70.42	36.29	20.80
MÁXIMO					70.42	36.29	20.80
PROMEDIO					70.20	36.19	20.71
MÍNIMO					70.07	36.09	20.62



Gráfica N°66:

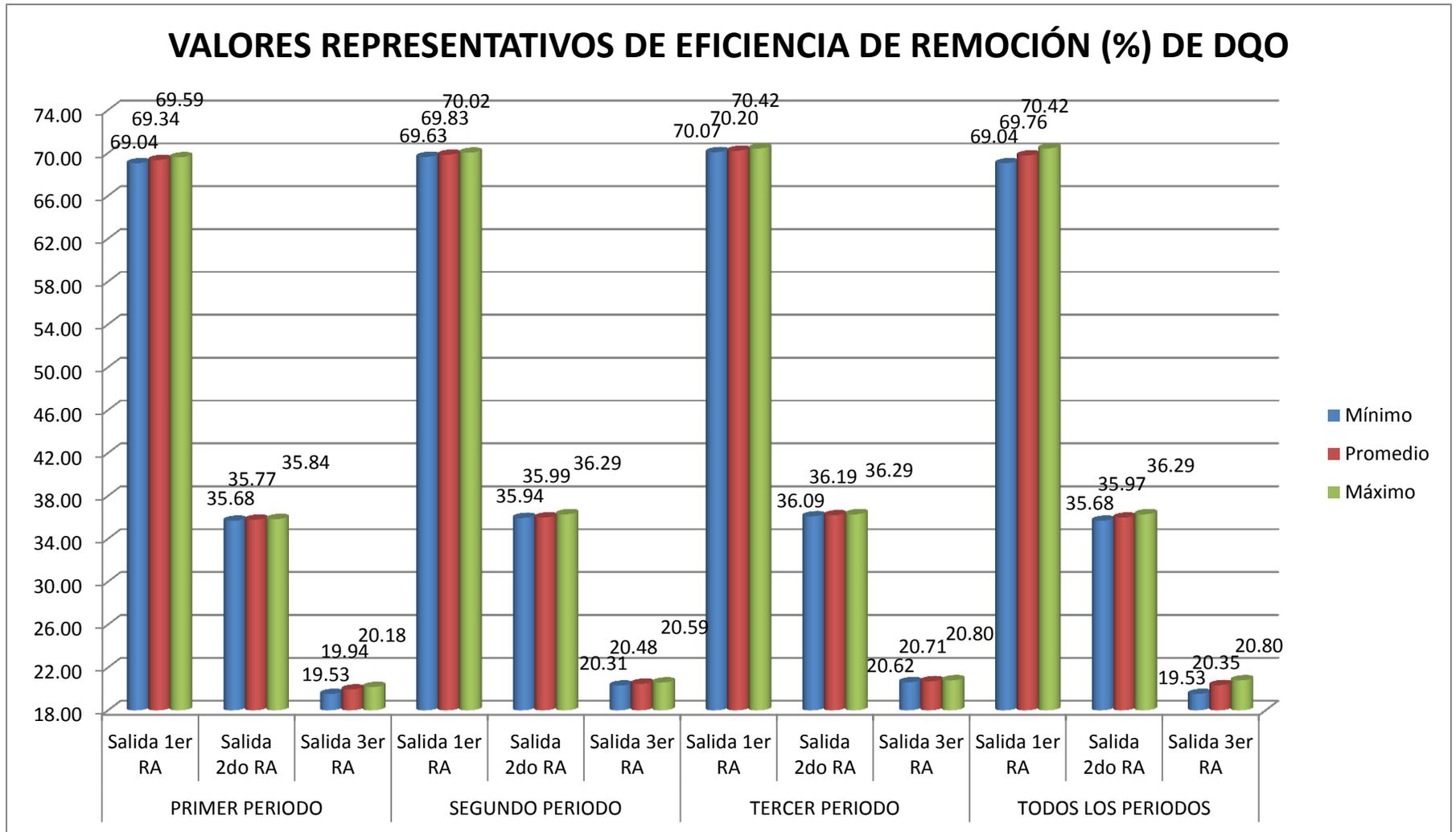
En este periodo se obtiene la máxima eficiencia de 70.42% y se da en el primer reactor en la semana 16. La eficiencia del primer reactor es mayor a las demás eficiencias de reactores. La eficiencia promedio del segundo reactor (36.19%) supera a la eficiencia promedio del tercer reactor (20.71%).

**Gráfica N°67: Eficiencias de remoción de Demanda Química de Oxígeno en todos los periodos.**

Se observa la eficiencia de remoción de DQO durante los tres periodos de prueba, notándose la similitud de las líneas de tendencia y que el primer reactor es más eficiente, le sigue el segundo reactor en tener más eficiencia.

Tabla N° 48: VALORES REPRESENTATIVOS DE EFICIENCIA				
DE REMOCIÓN (%) DE DQO				
PERIODO	MUESTRA	Mínimo	Promedio	Máximo
PRIMER PERIODO	Salida 1er RA	69.04	69.34	69.59
	Salida 2do RA	35.68	35.77	35.84
	Salida 3er RA	19.53	19.94	20.18
SEGUNDO PERIODO	Salida 1er RA	69.63	69.83	70.02
	Salida 2do RA	35.94	35.99	36.29
	Salida 3er RA	20.31	20.48	20.59
TERCER PERIODO	Salida 1er RA	70.07	70.20	70.42
	Salida 2do RA	36.09	36.19	36.29
	Salida 3er RA	20.62	20.71	20.80
TODOS LOS PERIODOS	Salida 1er RA	69.04	69.76	70.42
	Salida 2do RA	35.68	35.97	36.29
	Salida 3er RA	19.53	20.35	20.80

Gráfica N°68: Valores representativos de eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno.



Se observa una diferencia entre los promedios de eficiencia de remoción de la DQO de los tres reactores. La eficiencia promedio mayor es 69.76% y corresponde al primer reactor, le sigue el segundo reactor con una eficiencia promedio 35.97% y termina con el tercero que llega a obtener una eficiencia promedio de 20.35%.

Tabla N° 49:% EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DQO (mg/l)			
Semana	Ingreso RA	Salida 3er RA	%Eficiencia de la batería
S1	266	43	83.98
S2	267	42	84.09
S3	250	39	84.24
S4	248	39	84.30
S5	234	37	84.39
S6	225	35	84.43
S7	231	36	84.50
S8	221	34	84.57
S9	225	34	84.67
S10	211	32	84.70
S11	201	31	84.78
S12	204	31	84.82
S13	200	30	84.86
S14	201	30	84.91
S15	199	30	84.97
S16	200	30	85.07
MÁXIMO	267	43	85.07
PROMEDIO	223.94	34.60	84.58
MÍNIMO	199	30	83.98
DESV. ESTANDAR	±23.71	±4.40	±0.32

## CAPITULO IX: RESULTADOS DE FACTORES FÍSICOS DEL PROCESO METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

### 9.1 Tasa de aplicación superficial.

$$q_s = Q/A \quad \dots\dots\dots(1)$$

$q_s$  : Tasa de aplicación hidráulica superficial ( $m^3/m^2d$ )

Q: Caudal medio afluente al filtro anaerobio ( $m^3/d$ )

A: Área de la superficie libre del medio soporte ( $m^2$ )

$$Q = 0.085m^3/d. \quad A = \pi(d/2)^2 \times (1-P). \quad \dots\dots\dots(2)$$

Se conoce el diámetro: 0.2 m. Porosidad (P): 55%.

Remplazando en (2):  $A = 0.014m^2$

Por lo tanto en (1):  $q_s = 6.013m^3/m^2d$

### 9.2 Carga orgánica volumétrica.

$$C_v = Q \cdot S_0 / V$$

Donde:

$C_v$  : carga orgánica volumétrica (kg DBO /  $m^3 d$ )

Q: caudal medio afluente al filtro anaerobio ( $m^3/d$ )

$S_0$  :concentración de DBO del agua residual afluente al filtro anaerobio (kg DBO/ $m^3$ )

V: volumen ocupado por el medio soporte ( $m^3$ ).

Q (m3/d)	Vol.(m3)	So(KgDBO/m3)	Cv(kgDBO/m3 d)
0.085	0.0283	0.160	0.48
0.085	0.0283	0.160	0.48
0.085	0.0283	0.150	0.45
0.085	0.0283	0.149	0.45
0.085	0.0283	0.141	0.42
0.085	0.0283	0.135	0.41
0.085	0.0283	0.140	0.42
0.085	0.0283	0.133	0.40
0.085	0.0283	0.135	0.41
0.085	0.0283	0.129	0.39
0.085	0.0283	0.120	0.36
0.085	0.0283	0.124	0.37
0.085	0.0283	0.121	0.36
0.085	0.0283	0.120	0.36
0.085	0.0283	0.119	0.36
0.085	0.0283	0.119	0.36

Tabla N° 50: Carga orgánica volumétrica

### 9.3 Velocidad superficial.

$$V_s = Q/A_u \quad \dots\dots\dots (1)$$

Se conoce:

Q: Caudal, 0.004 m<sup>3</sup>/h.

Au: Área útil.  $A_u = \pi(d/2)^2 \times \text{Porosidad}$ . Porosidad: 55% Diámetro: 0.2 m.

$$A_u = 0.0173 \text{m}^2.$$

Remplazando valores en la ecuación (1), se obtiene:

$$V_s = 0.23 \text{ m/h.}$$

$$V_s = 0.064 \text{ mm/seg.}$$

#### 9.4 Comparación con la Eficiencia de Van Haandel & Lettinga.

$$E = 100(1 - 0.87 T^{-0.5}) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

E: eficiencia de filtro anaerobio (%).

T: tiempo de retención hidráulica (h);

0.87: constante empírica (coeficiente del sistema).

0.5: constante empírica (coeficiente del medio soporte).

Para: T = 8 horas.

Reemplazando en la ecuación (1) , se obtiene:

$$E = 69.24\%$$

Este valor es la eficiencia de un filtro anaerobio con similar característica a nuestro filtro o reactor estudiado:

En DBO el primer módulo obtuvo una eficiencia promedio de 57.97%, el segundo un 31.01% y el tercer módulo una eficiencia promedio de 17.71%. Resultando la batería de filtros la eficiencia promedio de 76.14%.

En DQO el primer módulo obtuvo una eficiencia promedio de 69.76%, el segundo un 35.97% y el tercer módulo una eficiencia promedio de 20.35%. Resultando la batería de filtros la eficiencia promedio de 84.58%.

## CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 10.1 Conclusiones:

- a) Respecto a remoción de DBO, se pudo comprobar que el primer reactor es 27 y 40% en promedio más eficiente que el segundo y tercer reactor respectivamente.
- b) Respecto a remoción de DQO, se pudo comprobar que el primer reactor es 34 y 49% en promedio más eficiente que el segundo y tercer reactor respectivamente.
- c) En sólidos suspendidos, el primer reactor es 8 % en promedio menos eficiente, en reducir la concentración que el segundo y tercer reactor.
- d) En Turbidez, el primer reactor es 10 y 20 % en promedio menos eficiente, en reducir la concentración que el segundo y tercer reactor respectivamente.
- e) La batería de filtros tiene en promedio una eficiencia de 76.14% en remoción de DBO, eficiencia promedio de 84.58% en remoción de DQO, eficiencia promedio de 62.34% en remoción de sólidos suspendidos y eficiencia promedio de 73.25% en remoción de turbidez.
- f) Limitada reducción en coliformes fecales, presenta la batería de filtros anaerobio, reduce en promedio dos logaritmos a los coliformes fecales.
- g) El pH en la entrada y salida de la batería tuvo un valor promedio de 7.35  $\pm$ 0.27, entre neutra y ligeramente alcalina, en todo el periodo de prueba, cumpliéndose según Rodier (1986) un pH óptimo para el tratamiento mediante procesos biológicos.

- h)** La temperatura estuvo variando entre 17.6 a 21.6°C, en todo el periodo de prueba, temporada de invierno a primavera.
- i)** La formación de la capa zoogleal en los filtros anaerobios, fue de dos semanas.
- j)** Se cumplió en no exceder la velocidad superficial de 0.4 m/h a fin de evitar pérdidas de sólidos a la salida de la batería de filtros, de tener una tasa de aplicación superficial del orden 6 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d y se obtuvo la carga orgánica volumétrica en el rango de 0.25 a 0.75 kg DBO/m<sup>3</sup>d.
- k)** La relación DBO<sub>5</sub>/DQO al ingreso de la batería fue en promedio 0.6 ±0.004 y a la salida de la batería fue en promedio 0.93 ±0.013.
- l)** Se cumplió la hipótesis, el objetivo general y los específicos en la investigación; que respecto a hipótesis, indica la batería de Filtros Biológicos Anaerobios, instalados para el pos tratamiento del efluente del reactor anaerobio, realiza una reducción mayor al 50% en la DBO y DQO.

## 10.2 Recomendaciones:

Para una nueva investigación bajo el mismo procedimiento se recomienda:

- a) Realizar análisis de huevos de helmintos, para ver si remueve a estos parásitos el sistema de filtros.
- b) Analizar el sistema de filtros con un material filtrante de mayor porosidad como por ejemplo trozos de plástico corrugado.
- c) Mantener en el sistema de filtros temperaturas entre 20 y 25°C, pues en este rango de temperatura la materia orgánica degradada por los microorganismos será mayor.
- d) Realizar desinfección al agua efluente de la batería de filtros para reducir los microorganismos patógenos.
- e) Regular las válvulas siempre al aforar para obtener el mismo caudal de entrada y salida de la batería de filtros.
- f) Para evitar cortocircuitos en la capa inferior del módulo, se debe tener la tapa inferior del módulo con una pendiente adecuada.
- g) Dar mantenimiento oportuno a las unidades del equipo de investigación.
- h) Instalar un equipo quemador de gas, que tenga conexión en el tapón superior de cada módulo o reactor.

**Fuentes de información:**

- 1.- Romero Rojas, Jairo (2004.). Tratamiento de Aguas Residuales: teoría y principios de diseño. 4 ed. Escuela colombiana de Ingeniería, Santa Fe de Bogotá, p.233, 706,707, 659.
- 2.- INDECOPI (2008) NTP 400.011.
- 3.- Zarela García (2012).Investigación “Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, Lima.
- 4.- Ximena Pedraza, Gloria (1994).Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria, Colombia.
- 5.- VALDERRAMA L.T. (2005). “Evaluación del Efecto del Tratamiento con Plantas Acuáticas en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domésticas”. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia, Pág.3-7.
- 6.- Parra Rodríguez, Lina Marcela (2006).Tesis “Operación de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente hasta alcanzar el estado estable”, Colombia.
- 7.- De Lemos Ch. Carlos A. (2007), Principios del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Brasil.
- 8.- PINTO, J.D; CHERNICHARO, C. A. (1996). Escoria de alto horno. Una nueva alternativa de medio soporte para filtros anaerobios. In: Análisis do III simposio Ítalo – Brasileiro de Ingeniería Sanitaria e ambiental, Brasil.
- 9.- Torres, Patricia; Rodríguez A. Jenny (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio, Colombia.

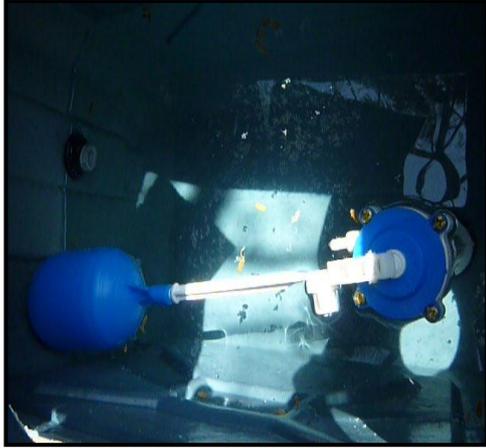
10.- MADUEÑO HUARUCO R.J. y SALVADOR TIXE J.C. (2009). "Evaluación del uso de la Planta acuática Lemna para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la planta CITRAR", Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Pág. 123 – 125.

11.- Espinoza, Jairo (2003). Texto de Tratamiento de Aguas Residuales, Colombia.

12.- APHA American Public Health Association. 19<sup>th</sup> Ed (1998) Standard Methods for the examination of water and wastewater. EEUU.

13.- Segura Orozco, Daniel (2011). Investigación. "Evaluación comparativa del tratamiento secundario de aguas residuales de un matadero mediante uso de un lecho horizontal con aireación artificial y presencia de plantas con respecto a un lecho horizontal con aireación artificial sin presencia de plantas, Lima.

**Panel Fotográfico:**



*Fig. N°50: Accesorios dentro de la Cámara Reguladora de carga hidráulica.*



*Fig. N°51: Vista dentro de la Unidad de Recolección, llega el agua del tercer filtro y sale mediante conexión hacia la red de alcantarillado .*



*Fig. N°52: Vista Perfil de la rejilla de soporte para la granulometría.*



*Fig. N°53: Tabla de Base para la Batería de Filtros.*



*Fig. N°54: Para evitar paso de la luz y el crecimiento de algas al interior del Reservorio y cámara de regulación, se procedió en cubrir con plástico de color negro.*



*Fig. N°55: Coliformes fecales a la salida del primer y segundo reactor.*

Semana	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	DBO/DQO
S1	160.08	266	0.60
S2	160.25	267	0.60
S3	150.25	250	0.60
S4	149.26	248	0.60
S5	140.87	234	0.60
S6	135.21	225	0.60
S7	139.88	231	0.61
S8	132.65	221	0.60
S9	135.3	225	0.60
S10	128.61	211	0.61
S11	120.35	201	0.60
S12	124.07	204	0.61
S13	120.91	200	0.60
S14	120.3	201	0.60
S15	118.67	199	0.60
S16	119.02	200	0.60
Promedio			0.60
Desviación Estándar			±0.004

Tabla N° 51: Relación DBO vs. DQO de las muestras de agua residual al ingreso de la batería de filtros.

Semana	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	DBO/DQO
S1	39.07	43	0.91
S2	39.42	42	0.94
S3	36.47	39	0.94
S4	36.12	39	0.93
S5	33.95	37	0.92
S6	32.51	35	0.93
S7	33.44	36	0.93
S8	31.63	34	0.93
S9	32.09	34	0.94
S10	30.45	32	0.95
S11	28.46	31	0.92
S12	29.27	31	0.94
S13	28.51	30	0.95
S14	28.32	30	0.94
S15	27.77	30	0.93
S16	27.66	30	0.92
Promedio			0.93
Desviación Estándar			±0.013

Tabla N° 52: Relación DBO vs. DQO de las muestras de agua residual a la salida de la batería de filtros.