

# TRABAJO FINAL DE GRADO

---

*Metodología para el seguimiento y análisis de aguas residuales procedentes de distintos orígenes: control anual y trimestral.*

ANDREU PÉREZ MIRÓ  
DIRECTOR: ANTONIO ARQUÉS SANZ

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



## ÍNDICE

RESUMEN .....	3
RESUM.....	4
ABSTRACT .....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Origen aguas residuales .....	6
1.2. Contaminación actual del agua .....	6
1.3. Contaminantes del agua.....	8
1.3.1. Clasificación de los contaminantes del agua.....	9
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	12
2.1. Objetivos generales.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	13
3.1. Material utilizado .....	13
3.1.1. Kit de Cloruros.....	13
3.1.2. Nitrógeno Kjeldahl.....	14
3.1.3. pHmetro .....	15
3.1.4. Conductímetro .....	16
3.1.5. DBO <sub>5</sub> .....	17
3.1.6. DQO .....	18
3.1.7. Espectrofotómetro .....	19
3.1.8. Sólidos en Suspensión .....	20
3.1.9. Termómetro .....	21
3.2. Procedimiento experimental .....	23
3.2.1. Cloruros.....	23
3.2.2. Nitrógeno Kjeldahl.....	25



3.2.3.	pH .....	26
3.2.4.	Conductividad.....	27
3.2.5.	Fósforo Total .....	28
3.2.6.	DBO <sub>5</sub> .....	30
3.2.7.	DQO .....	33
3.2.8.	Sólidos en Suspensión .....	36
3.2.9.	Amonio .....	39
3.2.10.	Nitrógeno nítrico .....	41
3.2.11.	Sulfatos.....	43
3.2.12.	Boro disuelto .....	46
3.2.13.	Temperatura “in situ” .....	48
4.	RESULTADOS .....	49
4.1.	Resultados Anuales .....	50
4.2.	Resultados Trimestrales I .....	58
4.3.	Resultados Trimestrales II .....	62
4.4.	Resultados Trimestrales III .....	66
5.	CONCLUSIONES .....	72
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	73
6.1.	Libros y artículos .....	73
6.2.	Referencias Web .....	74
7.	ANEXOS .....	75
7.1.	Resultados Parámetros Anuales.....	75
7.2.	Resultados Parámetros Trimestrales I .....	76
7.3.	Resultados Parámetros Trimestrales II .....	76
7.4.	Resultados Parámetros Trimestrales III .....	77



## RESUMEN

El trabajo realizado consiste en la obtención de una metodología de seguimiento de distintos efluentes, provenientes de distintos puntos concretos y con labores funcionales distintas.

Para ello se han recogido una serie de muestras, tanto anuales como trimestrales, con el fin de medir los distintos tipos de parámetros necesarios para elegir el procedimiento analítico a emplear y poder realizar el tratamiento a las aguas residuales.

Con todo ello, se evaluará la peligrosidad de estas aguas residuales, para poder ser vertidas según los límites establecidos por la legislación. Si alguna de las aguas analizadas supera los límites, esta deberá someterse a un tratamiento previo antes de ser vertida.

Finalmente, se recogerán todos los datos obtenidos de los distintos parámetros necesarios para analizar los efluentes, y se representaran gráficamente con el fin de observar si superan dichos límites, o están dentro de los límites establecidos.

**Palabras clave:** Efluentes, parámetros, tratamiento, aguas residuales, peligrosidad.



## RESUM

El treball realitzat consta en l'obtenció d'una metodologia de seguiment de distints efluents, provinents de diferents punts concrets i amb tasques funcionals distintes.

Per aquesta tasca s'han recollit una sèrie de mostres, tant anuals com trimestrals, amb la fi de mesurar diferents tipus de paràmetres necessaris per elegir el procediment analític a emprar i poder realitzar el tractament a les aigües residuals.

Amb tot això, s'avaluarà la perillositat d'aquestes aigües residuals, per poder ser vessades segons els límits establerts per la legislació. Si alguna de les aigües analitzades supera els límits, aquesta deurà sotmetre's a un tractament previ abans de ser vessada.

Finalment, es recolliran totes les dades obtingudes de distints paràmetres necessaris, per poder analitzar els efluents, i es representaran gràficament amb la fi d'observar si superen els límits, o estan dins d'aquests límits establerts.

**Paraules clau:** Efluents, paràmetres, tractament, aigües residuals, perillositat.



## ABSTRACT

The work done consists of obtaining a different methodology for monitoring effluents from various specific points and with different functional tasks.

For that reason, we have registered a long series of samples quarterly and annually, in order to measure different types of parameters that are necessary to choose the analytical procedure to be used and therefore be able to perform the waste-water treatment.

In addition, the dangerousness of this waste-water –preferably discharged– will be assessed according to the limits established by law. If some of the analysed water exceeds the limits, it will have to undergo a pre-treatment before being discharged.

Finally, all the data from the different parameters that are necessary to analyse the effluents will be registered. They will also be represented with the aim of observing if they exceed such limits or if they are placed within the established limits.

**Keywords:** Effluents, parameters, treatment, residual water, dangerousness.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Origen aguas residuales

La disponibilidad de agua de calidad y en cantidad suficiente resulta imprescindible para la vida en general, y para el ser humano en particular, como prueba el hecho de que todas las civilizaciones antiguas del mundo se han desarrollado en torno al agua, ya que esta sustancia brindaba las condiciones indispensables para el desarrollo de la agricultura, el comercio, el transporte y los sistemas de defensa. [1]

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido que hierve a 100°C (a una atmósfera de presión) y se congela a 0°C. Esta molécula de agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Los átomos de hidrógeno presentes en la molécula se localizan en el mismo lado del átomo de oxígeno, formando un ángulo de 105°. Esto se debe a que los átomos de hidrógeno presentan carga positiva y los átomos del oxígeno presentan carga negativa.

## 1.2. Contaminación actual del agua

La contaminación del agua, abarca muchos ámbitos a los que tratar, desde contaminación natural hasta contaminación antropogénica del agua, pasando por el ciclo hidrológico del agua. Por ello es muy complicado obtener una definición óptima y general. Por lo cual se define contaminación del agua como:

*“La contaminación consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural”* (Carta del Agua, Consejo de Europa, 1968). [2]

*“Un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para uno o todos los usos a que va destinada, para los que sería apta en su calidad natural”* (C.E.E de las naciones unidas, 1961) [2]

Durante el ciclo del agua, es donde se dan variaciones de las concentraciones de los constituyentes comunes del agua, en ciertas partes de este ciclo confluyen distintos compartimentos humanos y ambientales y es en estos puntos, donde se altera la calidad del agua. Las principales vías de entrada de contaminantes son aguas urbanas, industriales y las de origen agrícola y ganadero. La importancia de cada tipo de contaminación dependerá del nivel de depuración natural que experimenten.

A continuación se muestra el ciclo del agua donde se puede observar el camino que siguen los contaminantes a lo largo de su vida:

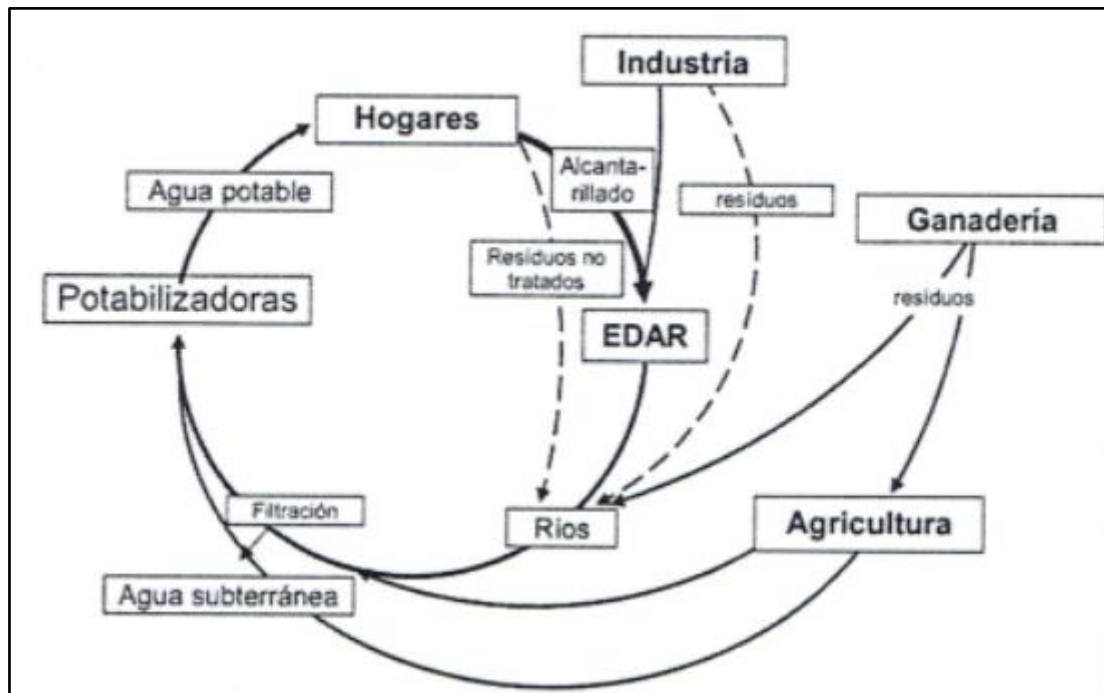


Figura 1. Contaminantes en el ciclo del agua.





Actualmente la tecnología está mejorando de manera muy notoria, por eso los científicos son capaces de detectar más elementos contaminantes en el agua, y en cantidades más reducidas, en los depósitos de agua dulce de la Tierra. Todos nuestros lagos, ríos, arroyos y depósitos subterráneos contienen un cóctel químico de todo tipo de desechos humanos que se vierten al agua de manera descontrolada.

Además de la contaminación sintética que presenta el agua en la actualidad, el agua es el punto final de nuestros desperdicios biológicos, en forma de agua residuales, excrementos animales, y agua de lluvia mezclada con fertilizantes ricos en nutrientes provenientes de jardines y granjas. Todos esos nutrientes y contaminantes presentes se abren camino a través de los ríos hacia los mares, en ocasiones creando zonas sin oxígeno y por ello sin vida en las zonas costeras de los océanos, y causando que la conexión entre tierra y mar sea dolorosamente obvia.

En el mundo desarrollado, la regulación ha restringido el vertido de contaminantes a la industria y a los procesos agrícolas en los lagos, arroyos y ríos. La tecnología también ha ofrecido soluciones como costosas filtraciones y plantas de tratamiento que convierten nuestra agua no potable en agua para su consumo saludable. Pero podemos observar otra realidad en partes del mundo subdesarrollado, donde existe menos infraestructura política, económica y técnica para tratar el aluvión de amenazas contaminantes para el agua dulce y todas las especies que dependen de ella.

### **1.3. Contaminantes del agua**

Se denomina contaminación (polución) a la introducción de contaminantes en el medio ambiente. La contaminación es la presencia de sustancias no deseadas en el ambiente, como consecuencia de procesos o actividades naturales o antropogénicas, en concentraciones o tiempos suficientes como para la alteración de la comodidad, la salud o el bienestar de los seres vivos o perjudicar al medio.

Como bien se ha comentado con anterioridad, la contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o antropogénicas. Las fuentes de contaminación de

agua naturales, son muy dispersas y no provocan alteraciones muy notables en el medio, exceptuando zonas muy concretas.

La contaminación de origen humano, se concentra en zonas concretas y son las zonas más peligrosas. Existen cuatro focos principales de contaminación antropogénica, que son:

- Origen industrial
- Vertidos urbanos
- Origen naval
- Actividades agrícolas y ganaderas

### **1.3.1. Clasificación de los contaminantes del agua**

La clasificación que se ha seguido para la amplia variedad de contaminantes depende de las características químicas y/o biológicas:

#### ***a. Sustancia químicas inorgánicas***

Dentro de este grupo están los ácidos, sales y metales tóxicos. Las cantidades elevadas de estas sustancias pueden dañar de manera notoria a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer la maquinaria. El gran problema que muchos de estos micronutrientes son necesarios para la vida, pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en concentraciones mayores a las partes por millón (ppm) permitidos se convierte en sustancias tóxico-peligrosas.

Algunos de estos metales se acumulan en la cadena trófica, y aunque se encuentren en concentraciones muy bajas en el ambiente, su concentración en las plantas o animales llega a provocar daños en la salud.

Los metales suelen acumularse principalmente en los suelos debido a su movilidad y biodisponibilidad, y a través de él se llega a contaminar aguas subterráneas.



### ***b. Microorganismos patógenos***

Este grupo recoge a lo diferentes tipos de bacterias, hongos, virus, parásitos mayores, protozoos y otros organismos. Estos microorganismo aquí nombrados no solo son capaces de dañar de forma directa, sino también de forma indirecta, contaminando a los seres vivos que habitan en un ambiente acuoso, y provocando con ello la enfermedad de aquellos que consuman estos seres vivos.

### ***c. Sustancias radiactivas***

En este grupo de contaminantes están presentes los isotopos radiactivos solubles en el agua, pudiéndose acumular a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más elevadas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

### ***d. Sólidos sedimentables***

Los sólidos sedimentables son líquidos o sólidos insolubles de origen natural, o artificial que afectan al aspecto del agua, alterando la flora y la fauna cuando estos se sedimentan o flotan en el agua. Las consecuencias más notables de estos sólidos son: la disminución de la profundidad del cuerpo del agua, la eutrofización de las aguas en caso de contener materia biodegradable, la adsorción de sustancias tóxicas o grasas, etc.

### ***e. Compuestos orgánicos***

Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos naturales y sintetizados de manera antropogénica. Dentro de este grupo existen muchas moléculas orgánicas como las contenidas en el petróleo, gasolina, disolventes, detergentes, etc. que permanecen en el agua por largos periodos de tiempo, por ser refractarios a la degradación microbiológica.



También incluyen a los compuestos tóxicos generados por reacción de la materia orgánica presente en las aguas con los desinfectantes y sus derivados añadidos con la finalidad de la eliminación de microorganismo patógenos.

Por otra banda, también existen desechos orgánicos que recogen al conjunto de residuos biodegradables producidos por los seres humanos, ganado, etc. Con la existencia de estos compuestos orgánicos en exceso, existe la proliferación de bacterias aeróbicas, pudiendo producir el “agotamiento” del oxígeno disuelto. Con esta circunstancia comentada, la existencia de vida en las aguas se hace cada vez más complicada, llamándose este fenómeno eutrofización de las aguas. Al no existir oxígeno en esta agua, las bacterias anaeróbicas pueden llegar a colonizar las aguas, produciendo compuestos tóxicos y con un olor desagradable como pueden ser el amonio, aminas, sulfuros y metano.

Existe un gran número de contaminantes orgánicos, pudiéndolos clasificar de acuerdo a sus usos, su pertenencia a diferentes familias de grupos químicos y/o a sus propiedades físicas particulares, de los cuales destacaremos:

- Plaguicidas
- Insecticidas
- Herbicidas
- Dioxinas y furanos
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- PCB (bifenilos policlorados)
- Toxinas naturales
- Trihalometanos
- Compuestos orgánicos volátiles(VOCs)
- Productos de síntesis industrial
- Productos de cuidado personal y farmacéuticos (PPCPs)

## 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

### 2.1. Objetivos generales

Los objetivos del siguiente trabajo es la obtención de una metodología de seguimiento de distintos tipos de aguas residuales procedentes de distintos puntos concretos y con labores funcionales distintas. Para ello se seleccionaran los parámetros a analizar y se elegirá el método analítico a emplear. El procedimiento se aplicará a cuatro tipos distintos de efluentes con distintos orígenes. Con todo ello, y los resultados obtenidos se podrá evaluar la peligrosidad de los vertidos así como su variación estacional. Finalmente se analizará la necesidad de poder verter estos efluentes o si existe la necesidad de someterlos a procesos posteriores con el fin de poder ser vertidos.

### 2.2. Objetivos específicos

En cuanto a los objetivos específicos de este trabajo son:

1. Evaluación de todos los parámetros necesarios para la detección de anomalías en las aguas residuales tanto en el control anual como trimestral.
2. Evaluación de la peligrosidad de dichos vertidos así como la variación estacional que presentan todos los contaminantes.
3. Representación de dichos resultados y comparación con la legislación vigente con la finalidad de saber si pueden ser vertidas o deben de ser tratadas.
4. Realización de análisis de viabilidad industrial y viabilidad económica.

## 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 3.1. Material utilizado

En el siguiente apartado se va a especificar todo el material necesario para la medida de los parámetros necesarios para el tratamiento anual y el tratamiento trimestral. Se especificara de manera general, para no repetir conceptos.

#### 3.1.1. Kit de Cloruros

Para la medición y la obtención de los cloruros en las aguas residuales analizadas, se utiliza un sistema más sencillo y rápido que el tradicional. Consiste en un kit donde las disoluciones de los reactivos ya vienen preparadas y tan solo hay que añadirlas a la disolución problema y comparar colores, con la tabal estándar, para obtener la cantidad de cloruros presentes en ella.



Figura 2. Kit medida de Cloruros.

### 3.1.2. Nitrógeno Kjeldahl

Para la determinación de nitrógeno orgánico el método utilizado más comúnmente es el llamado método Kjeldahl, que se basa en una volumetría ácido-base. El procedimiento es directo, el material necesario es muy simple, y es fácilmente adaptable al análisis rutinario de un gran número de muestras. Es el método estándar para la determinación del contenido proteico en grano, harinas, carnes, y en general, en materiales biológicos.



Figura 3. Equipo medida Nitrógeno Kjeldahl.

### 3.1.3. pHmetro

El pHmetro es un dispositivo electrónico que sirve para medir la acidez o basicidad de una disolución, en unas unidades llamadas pH. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio durante el pH.



Figura 4. pHmetro.



### 3.1.4. Conductímetro

El conductímetro es un equipo capaz de medir la conductividad eléctrica de los presentes en una disolución. Para ello se aplica un campo eléctrico entre dos electrodos y mide la resistencia eléctrica de la disolución. Para evitar cambios en las sustancias, efectos de capa sobre los electrodos, etc., se aplica una corriente alterna. Las unidades de medida habituales son los S/cm.

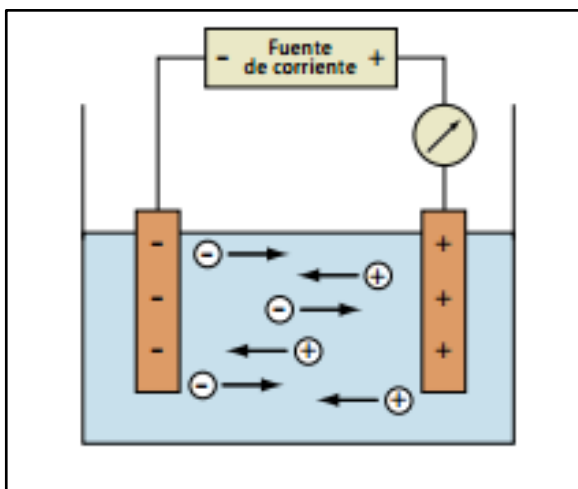


Figura 5. Funcionamiento interno conductímetro.



Figura 6. Conductímetro.

### 3.1.5. DBO<sub>5</sub>

Es una prueba empírica que se utiliza para determinar los requerimientos relativos de O<sub>2</sub> de las aguas residuales. Mide el O<sub>2</sub> utilizado durante un periodo de incubación especificado ( 5 días ) para la degradación bioquímica de materia orgánica y de forma menos importante el gastado en la oxidación de los compuestos inorgánicos como sulfuros, ion ferroso, etc., y también el utilizado para oxidar compuestos reductores de N<sub>2</sub>, a no ser que se adicione un inhibidor.

Se refiere a la determinación de la degradación de sustancias principalmente orgánicas por microorganismos. Para llevar a cabo esta degradación, las bacterias toman oxígeno del medio y liberan CO<sub>2</sub>. Para calcular la cantidad de O<sub>2</sub> gastado se hace mediante medidas de presión y el CO<sub>2</sub> formado lo eliminamos absorbiéndolo con NaOH.



Figura 7. Botella de medida de DBO<sub>5</sub>.

### 3.1.6. DQO

Es una medida del  $O_2$  equivalente a la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra que es susceptible de oxidarse en presencia de un oxidante químico fuerte. El método utilizado para realizar esta determinación es el de reflujado cerrado al dicromato y está basado en la elevada capacidad oxidante de este ion.



**Figura 8. Termoreactor.**

### 3.1.7. Espectrofotómetro

La espectrofotometría Uv-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para poder realizar este tipo de medidas, se utiliza un equipo determinado, el espectrofotómetro, en el que se pueden seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por la solución y medir la absorbancia por la misma.



Figura 9. Espectrofotómetro.

Este equipo se utiliza para la medida del fósforo total, el amonio, sulfatos y boro disuelto. Cada uno de los nombrados se prepara con una serie de reactivos distintos, los cuales después de reaccionar permiten la medida concreta en el espectrofotómetro.

### 3.1.8. Sólidos en Suspensión

La materia puede encontrarse en el agua disuelta o en suspensión. Se define como sólidos totales la materia que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en la estufa a 110°C. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales (la parte de los sólidos que quedan retenidos en un filtro) y los sólidos disueltos totales (los que atraviesan el filtro). Por lo tanto para la obtención de los sólidos en suspensión el material requerido para su medida sería un equipo de secado, es decir una estufa a 110°C, antes un mechero bunsen para la evaporación de todo el líquido y finalmente y una balanza de laboratorio para el pesado final de la muestra.



Figura 10 .Mechero Bunsen.



Figura 11. Balanza de Laboratorio.



Figura 12. Estufa a 110°C.

### 3.1.9. Termómetro

Un termómetro es un instrumento utilizado para medir la temperatura con un alto nivel de exactitud. Puede ser parcial o totalmente inmerso en la sustancia que se está midiendo. Esta herramienta está conformada por un tubo largo de vidrio con un bulbo en uno de sus extremos.

Algunos metales se dilatan cuando son expuestos al calor, y el mercurio es sensible a la temperatura del ambiente. Por ello, los termómetros están generalmente fabricados con mercurio (Hg), ya que éste se dilata cuando está sujeto al calor y ello nos permite medir su dilatación en una escala graduada de temperatura (la escala puede ser Celsius

o Fahrenheit). El mercurio es una sustancia líquida dentro del rango de temperaturas de  $-38,9\text{ °C}$  a  $356,7\text{ °C}$ . Cuando el mercurio en el interior del termómetro recibe calor, éste experimenta una dilatación que hace que recorra el tubo del termómetro en el que está contenido. Así, cuando el mercurio atraviesa la escala numérica, podemos medir la temperatura.



Figura 13. Termómetro de sonda.

## 3.2. Procedimiento experimental

En este apartado se va a explicar los procesos experimentales de los parámetros tanto anuales como trimestrales ya que muchos de ellos se repiten para el seguimiento de las aguas, y con ello en el siguiente apartado de resultados ya se especificara en cada tratamiento anual y trimestral que parámetros se han medido.

### 3.2.1. Cloruros

Las aguas naturales tienen contenidos muy variables en cloruros dependiendo de las características de los terrenos que atraviesen pero, en cualquier caso, esta cantidad siempre es menor que las que se encuentran en las aguas residuales, ya que el NaCl es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo.

El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar. En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias. En último caso, el aumento de cloruros puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales.

Los contenidos en cloruros de las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50-60 mg/l. El contenido en cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo.

Para la determinación de los cloruros se midieron 100 ml de muestra en un balón aforado, y este fue vertido a un Erlenmeyer de 250 ml, y se le añadió 1 ml de cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ). Esta muestra es valorada con Nitrato de plata ( $AgNO_3$ ) a 0.01 N.

El viraje de la muestra va de amarillo chillón a marrón pardo.





- La reacción de valoración es:
  - $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$
- La reacción indicadora es:
  - $\text{Ag}_2\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 + \text{K}_2\text{NO}_3$ ; en esta reacción el nitrato de plata tiene que estar en exceso.

Como normalmente la medida de los cloruros es en mg/l para obtenerlos se debe hacer el siguiente cálculo:

$$\text{ppm Cl}^- = \left\{ \frac{[(A - B) \cdot N \cdot 35.45]}{V} \right\} \cdot 1000$$

Dónde:

- A= mi valoración de la muestra
- B= mi valoración del blanco
- N= normalidad de  $\text{AgNO}_3$
- V= volumen de muestra utilizado (L)

### 3.2.2. Nitrógeno Kjeldahl

En este método que vamos a explicar de obtención de proteínas, por una parte la muestra en cuestión se somete a proceso de descomposición o digestión previa con ácido sulfúrico concentrado al 97%, en presencia de un catalizador, normalmente es HgO, pero también puede ser de cobre o de selenio. Por otra parte la mezcla también contiene Sulfato Potásico ( $K_2SO_4$ ) que la única función es el incremento del punto de ebullición. Toda esta mezcla es sometida a un periodo de calor, en el termoreactor, llegando a los 400°C durante un tiempo de dos horas.

Con el tratamiento previo explicado se desprende todo el nitrógeno de la muestra y queda en forma de ion  $NH_4^+$ . Finalmente este tratamiento se somete a un proceso posterior que consiste en añadirle una base fuerte, normalmente NaOH i sulfuro para la eliminación de Hg(II), y se libera  $NH_3$ , que es destilado y recogido sobre una disolución patrón de ácido.

Evidentemente, con el procedimiento explicado, se determina la cantidad total de nitrógeno presente en la muestra problema. Para ello existe una relación de nitrógeno y el contenido de proteínas de la muestra. Normalmente se sabe que el contenido de nitrógeno en la mayor parte de las proteínas es del 16%. Por eso es aceptado el proceso de conversión del porcentaje de nitrógeno en porcentaje proteico es de  $100/16=6.25$ .

Finalmente para algunos alimentos concretos se aceptan otros factores de conversión como por ejemplo, 5.70 para los cereales, 6.38 para los lácteos o 6.68 para los huevos.

### 3.2.3. pH

La medición del pH se realiza mediante el pHmetro que es un instrumento que utiliza dos electrodos para medir la diferencia de potencial existente entre la disolución cuyo pH se desea conocer y una disolución patrón de pH conocida. La diferencia de potencial está relacionada con el pH de la disolución “problema”. El pH medido se lee directamente en el display del equipo.

Para la calibración del equipo deben seguirse unos pasos establecidos, con el fin de que el equipo lea bien el valor de pH en cuestión. Los pasos son los siguientes:

1. Limpieza y secado del electrodo, después de quitarle la protección de solución de almacenamiento.
2. Con una disolución buffer de pH conocido (pH=4), se sumerge el electrodo en esta disolución conocida.
3. Ajustado del equipo para la lectura de pH=4.
4. Una vez leída la primera disolución patrón el mismo equipo te pide las disoluciones siguientes estándar, que son a pH=7 y a pH=9, realizando el mismo procedimiento de limpieza y secado.
5. Una vez se han hecho las tres mediciones de pH, el equipo ya está calibrado y pudiendo ser utilizado.

Se miden 200 ml de muestra problema para medir el pH de la disolución. Previamente el electrodo debe ser limpiado con agua destilada y secado con un papel. Este electrodo ya limpio se sumerge en la disolución problema, con agitación y se obtiene la medida de pH de la disolución.

### 3.2.4. Conductividad

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores. Por el contrario, moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas (ej. aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres conductores de una corriente eléctrica.

La conductancia (G, recíproco de resistencia R) de una solución se mide utilizando dos electrodos químicamente inertes y fijos espacialmente. La conductancia de una solución es directamente proporcional al área superficial del electrodo A, (cm<sup>2</sup>), e inversamente proporcional a distancia entre los electrodos L, (cm). La constante de proporcionalidad, k (conductividad) es una propiedad característica de la solución localizada entre dos electrodos

$$G = k \cdot \left(\frac{A}{L}\right)$$

En el caso en concreto la conductividad tenía una variación notable a la hora de la medida de aguas residuales o aguas de red normales. En el caso de aguas residuales se medía a 25°C mientras que las aguas de red normales se medían a 20°C. Este cambio de temperatura en el conductímetro es debido a la constante de solubilidad aplicada en cada caso, variando el valor final notoriamente.

### 3.2.5. Fósforo Total

Este método está basado en reacciones específicas para el ion ortofosfato, y dependiendo del pretratamiento que se le realiza a la muestra, se pueden determinar diversas formas de fósforo. Las formas de fósforo más comúnmente medidas son fósforo y ortofosfato total y disuelto; el fósforo hidrolizable se encuentra solamente en muestras de aguas residuales.

Debido a que el fósforo puede estar presente en combinación con materia orgánica, para determinar el fósforo total, debe de disponerse de un método de digestión que oxide la materia orgánica efectivamente para liberar el fósforo en forma de ortofosfato.

Para la realización del procedimiento de la determinación del fósforo total se siguen diversos pasos que se van a detallar:

- **Filtración preliminar:** para la medida del fósforo disuelto total, se debe realizar una filtración a través de membranas de 0.45 mm de diámetro de poro. Se ha de tener en cuenta que los filtros pueden contener cantidades considerables de fósforo, y para evitar que este fósforo se tenga en cuenta, se deben lavar los filtros previamente con agua destilada, y luego secar en un desecador.
- **Digestión con ácido sulfúrico-ácido nítrico:** en un balón micro-kjeldahl se coloca 100 ml de muestra problema, y se le añade 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de ácido nítrico concentrado. Se realiza la digestión hasta que se obtenga un volumen aproximado de 1 ml, y seguidamente se continúa con la digestión hasta que la disolución pierda el color, siendo este el indicador de que el ácido nítrico se ha consumido.



Una vez realizado este procedimiento se deja enfriar la muestra y se le agrega 20 ml de agua destilada y una o dos gotas de fenolftaleína, y aproximadamente unos 80 ml de peróxido de sodio (NaOH) 1 N cambiando el color de la disolución a un coloro rosado.

- **Determinación de fósforo:** para la determinación del fósforo se añade a un tubo de ensayos 50 ml de muestra, añadiendo una gota de fenolftaleína; si la disolución en cuestión se vuelve más rojiza se la añaden unas gotas de ácido sulfúrico de una concentración 5 N hasta que desaparezca este color. Seguidamente se le añaden 8 ml de reactivo combinado y se lleva hasta la homogenización. Luego, se deja reaccionar 10 minutos y se mide la absorbancia de cada muestra a una longitud de onda de 880 nm.

Para los cálculos y obtención de los mg de fósforo total en mg/L se sigue la siguiente expresión:

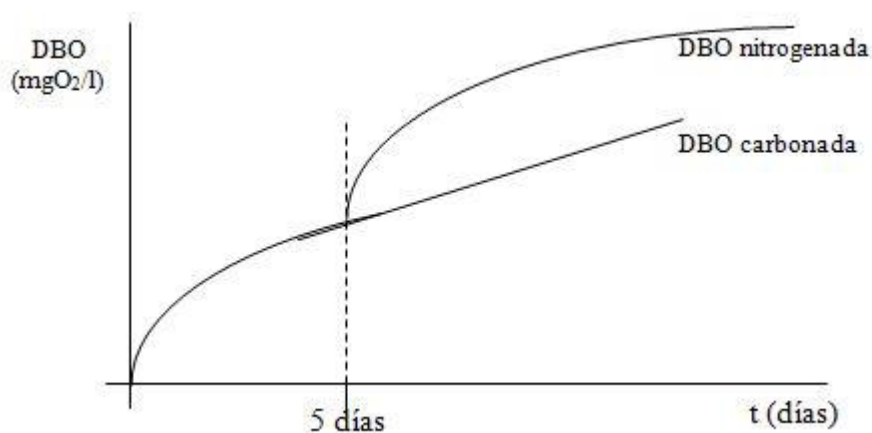
$$\left(\frac{mg}{L}\right) P = \left(\frac{mg P (en aprox. 58 mL de volumen final) \cdot 1000}{Volumen muestra (mL)}\right)$$

### 3.2.6. DBO<sub>5</sub>

La DBO<sub>5</sub> expresa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica presente en el agua residual, por medio de los microorganismos presentes en ella, durante 5 días. Por lo tanto, es un método que mide la materia orgánica biodegradable y permite apreciar la carga orgánica biodegradable del agua y su poder autodepurador. Esta medida de 5 días viene dada por el tiempo en el que el agua del río Tamesis tarda en llegar al mar desde que nace.

La DBO<sub>5</sub>, se mide a una temperatura de 20 °C, durante 5 días y en la oscuridad. Debido a que las reacciones bioquímicas son muy lentas, se tiende a poner estos 5 días, que corresponde a una degradación de la materia orgánica biodegradable entre el 60 y el 70% de la materia orgánica biodegradable total en aguas residuales urbanas. La oscuridad, se utiliza para evitar que la presencia de algas microscópicas produzca oxígeno adicional por la fotosíntesis y alteren el resultado.

Si en las aguas residuales hay microorganismos capaces de oxidar la materia nitrogenada a nitratos, esto ocasiona un aumento en la DBO<sub>5</sub>. A partir del 5 o 6 día y aparece este aumento que se denomina DBO nitrogenada.



Gráfica 1. Degradación microorganismos a nitratos.



En aguas residuales con una  $DBO_5$  muy alta, es indicativo de una alta contaminación y está relacionada con procesos de anaerobiosis, haciendo que conforme esta sea más alta, se consuma el oxígeno del agua y puedan darse procesos anaerobios y en consecuencia producción de malos olores en la red de alcantarillado, desprendimiento de gases peligrosos, etc. La  $DBO_5$  se emplea mucho para las instalaciones de aguas residuales, siendo uno de los parámetros más importantes junto con la DQO.

La oxidación de la materia orgánica no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación, ya que hay que añadir la oxidación de los nitritos y sales amoniacales a nitratos, así como el consumo de los procesos de asimilación y de formación de nuevas células. Por tanto, en la medida de este parámetro, se producen variaciones según los microorganismos presentes en el medio, de su concentración y edad, según la presencia o no de bacterias nitrificantes y de los protozoos consumidores de oxígeno y que se alimentan de bacterias. También varía según el pH, salinidad, etc., haciendo que el método tenga un error que puede llegar hasta el 15%, pero sigue siendo uno de los ensayos más importantes en aguas residuales.

El método de análisis realizado es llamado el método de dilución, consiste en depositar la muestra en unos frascos de 300 ml solamente con el agua residual a medir y a distintos volúmenes con agua de dilución, a la cual se agregan unos estabilizantes como son el cloruro cálcico, el cloruro férrico, sulfato de magnesio, etc. La disolución se lleva a pH 7.2 y se tapa procurando que no quede aire dentro del frasco. Se hace una estandarización con el agua de dilución solamente y se mide el oxígeno disuelto en cada frasco. Luego se deja incubar a 20 °C, en la oscuridad, durante 5 días. Cuando han pasado los 5 días se vuelve a medir la concentración de oxígeno disuelto, comparándolo con el estándar para calcular la  $DBO_5$  en  $mgO_2/l$ .



En la siguiente representación se puede observar como es el montaje para la medida de la  $DBO_5$  mediante el lector magnético:

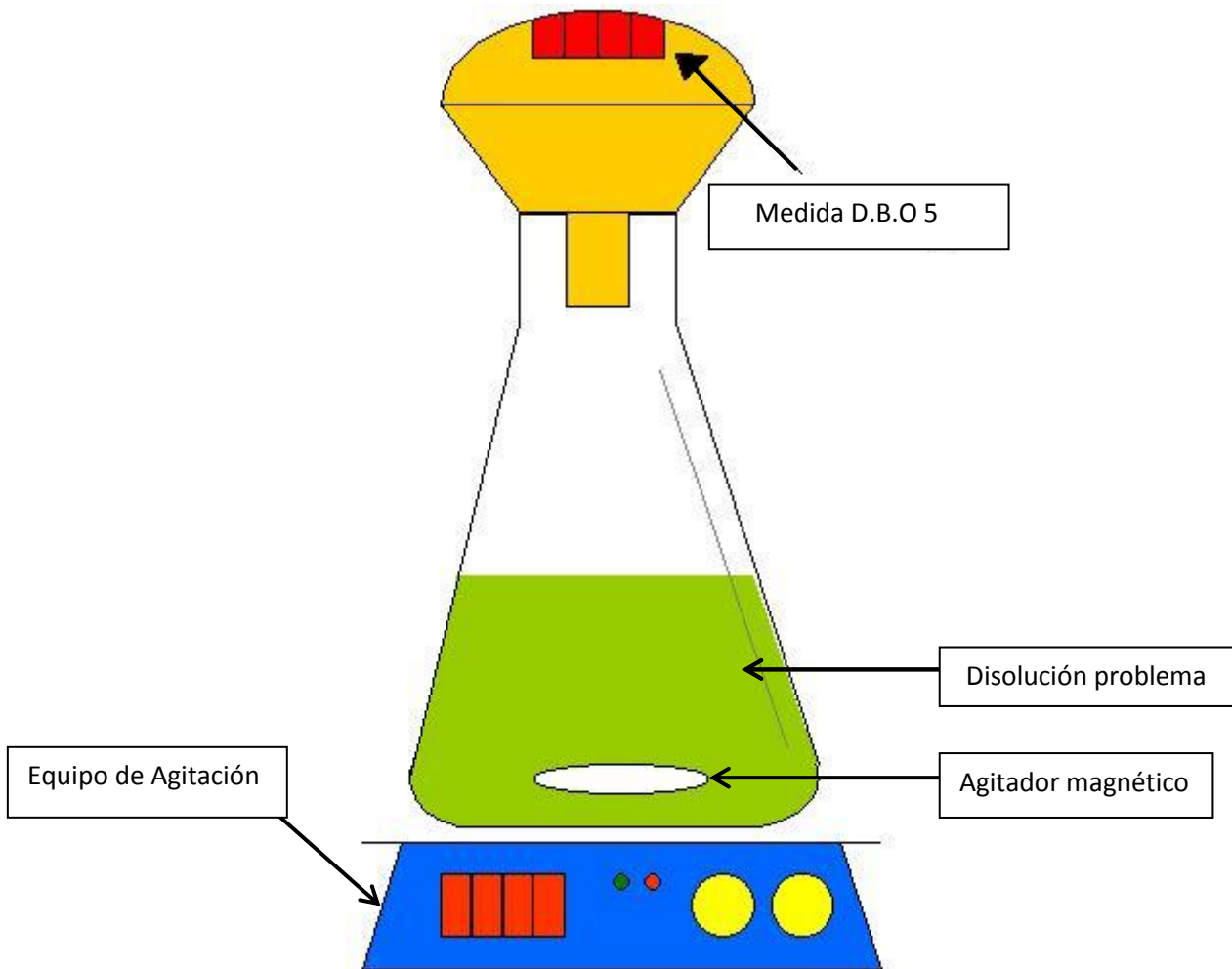


Figura 14. Esquema medida  $DBO_5$ , mediante lector magnético.

### 3.2.7. DQO

La demanda química de oxígeno (DQO), del agua es la demanda teórica de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno consumido para la oxidación total de los constituyentes orgánicos a productos inorgánicos.

Principalmente la muestra problema se tiene que llevar a ebullición, a reflujo, en presencia de sulfato de mercurio (II), de una cantidad conocida de dicromato potásico y de un catalizador de plata, en un medio fuertemente ácido, durante un tiempo determinado, en el cual una parte del dicromato potásico es reducido por las materias oxidables presentes. El exceso de dicromato se valora con una disolución de sulfato de hierro (II) y amonio. Se calcula finalmente la DQO a partir del dicromato potásico reducido.

Para la realización de este proceso es necesario preparar previamente diversas disoluciones patrones que son:

- **Preparación de la disolución patrón de dicromato potásico 0.040 mol/l:** se disuelven 2.942 g de dicromato potásico (previamente desecados 105°C durante 2 horas) en agua, añadiendo con máxima precaución 25 ml de ácido sulfúrico y se enrasa hasta 250 ml.
- **Preparación de disolución patrón de sulfato de hierro (II) y amonio 0.12 mol/l:** se disuelven 11.75g de sulfato de hierro (II) y amonio en agua. Se añaden seguidamente 5 ml de ácido sulfúrico, se deja enfriar y se enrasa hasta 250 ml.
- **Preparación de la disolución de sulfato de plata en ácido sulfúrico:** se disuelven 4 g de sulfato de plata en 10 ml de agua, y se añaden 240 ml de ácido sulfúrico.
- **Preparación del indicador de ferroina:** se disuelven 0.174 g de sulfato de hierro (II) heptahidratado en agua destilada, se añaden 0.296 g de 1-10 fenantrolina monohidratada, se agita hasta disolución y se enrasa a 25 ml.

- **Preparación de disolución patrón de ftalato ácido de potasio 2.0824 mmol/l:**

se disuelven 0.042 g de ftalato ácido de potasio (previamente desecado a 105°C) en agua y se enrasa la disolución hasta 100 ml. Esta disolución en concreto es aconsejable que se mantenga a 4°C, porque si no pierde propiedades a temperatura ambiente.

Se realiza en cada medida de la DQO un ensayo en blanco al mismo tiempo que la determinación, siguiendo el mismo proceso de preparación y determinación que las muestras, pero utilizando en lugar de estas muestras 10 ml de agua destilada.

Una vez se han realizado la preparación de todas las muestras patrones anteriormente detalladas, el siguiente paso es la determinación de la DQO.

Para ello se colocan 10 ml de la muestra a analizar en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, añadiéndole a este 0.4 g de sulfato de mercurio (II) y al mismo tiempo se mantiene una agitación cuidadosa. A esta disolución se le añaden 5 ml de solución patrón de dicromato potásico y se homogeneiza.

Una vez se ha homogeneizado se le añaden 15 ml de sulfato de plata-ácido sulfúrico, manteniendo una agitación constante y cuidadosa y enfriando la disolución con agua o en un baño de hielo para evitar la pérdida de sustancias volátiles orgánicas.

A continuación se deja hervir a reflujo durante un tiempo de 2 horas, dejándolo enfriar hasta temperatura ambiente después de las dos horas. Seguidamente la disolución se diluye con 75 ml de agua destilada y dejándola enfriar hasta temperatura ambiente.

Finalmente se valora el exceso de dicromato de potasio con la solución patrón de sulfato de hierro (II) y amonio en presencia de unas gotas del indicador de ferroina. El viraje de la muestra va de un color verde azulado al rojo violeta.



Finalmente los cálculos a realizar, en la cual la DQO es expresa en miligramos de oxígeno por litro, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$DQO = \left( \frac{8000 \cdot C \cdot (V_1 - V_2)}{V_0} \right)$$

- C = concentración en mol/l de la disolución de sulfato de hierro (II) y amonio.
- $V_1$  = volumen en ml de la disolución de sulfato de hierro (II) y amonio utilizada en el ensayo en blanco.
- $V_2$  = volumen en ml de la disolución de sulfato de hierro (II) y amonio utilizada para la determinación.
- $V_0$  = volumen en ml de la muestra utilizada.

### 3.2.8. Sólidos en Suspensión

Los sólidos en suspensión, es la medida de los sólidos sedimentables y de los que no sedimentan, que son retenidos en un sistema de filtración por un filtro en concreto. Cuando estos sólidos son de consistencia floculante y poco densa y su vertido tiene lugar en zonas donde las aguas residuales del alcantarillado receptor fluyen a buena velocidad, son sólidos sin peligro de causar depósitos.

Estos sólidos en suspensión incrementan la turbidez del agua y producen el color aparente en las aguas y disminuyen el paso de radiación solar, lo que conlleva consigo la disminución de la fotosíntesis y muerte de las plantas de lagos y ríos, ya que no les llega la misma radiación.

El procedimiento que se sigue para la medida de los sólidos en suspensión siempre es la misma. Como la muestra se tiene que mantener a 4°C, primero se debe sacar del refrigerador, y dejarla hasta temperatura ambiente. Durante este tiempo el filtro que se va a utilizar de 45  $\mu\text{m}$  tiene que ser secado previamente entre 103-105°C, luego se mantiene en un desecador para preservarlo de la humedad y finalmente es pesado en la balanza antes del filtrado. El filtro se coloca en un embudo de porcelana y se le añade un volumen conocido de 100 ml de muestra, filtrándolo al vacío como se muestra en el siguiente esquema:

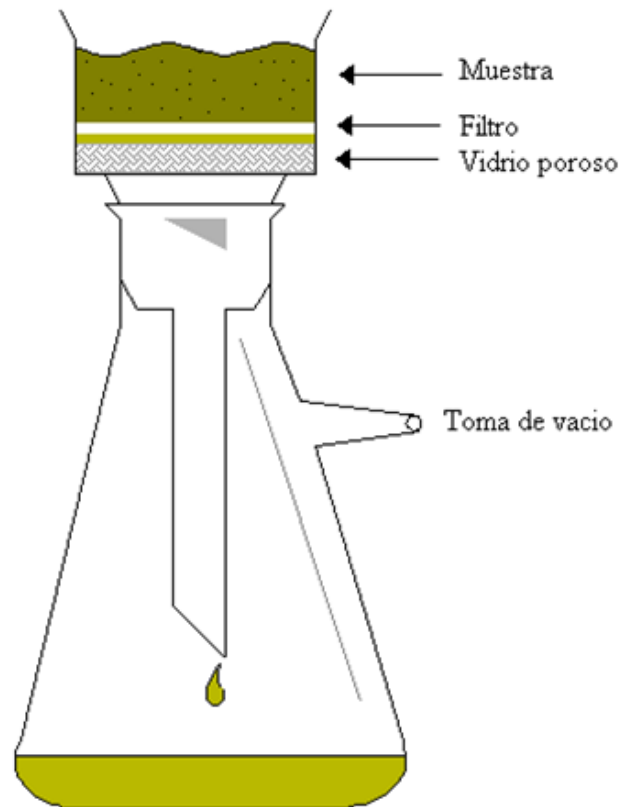


Figura 15. Esquema filtración Sólidos en suspensión.

Una vez filtrado todo el volumen de agua, el filtro con los sólidos retenidos se lleva a la estufa para la evaporación de toda la humedad que contenga, y se deja en el desecador hasta temperatura ambiente, pesándose luego en la balanza.

La expresión con la que se calculan los sólidos en suspensión es la siguiente:

$$SS \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( \frac{(A - B) \cdot 1000}{V} \right)$$

- A = Peso del filtro con los sólidos en suspensión, en gramos.
- B = Peso del filtro antes del filtrado, en gramos.
- V = Volumen de la muestra, en litros.



Finalmente, los sólidos en suspensión de la muestra diluida se calculan mediante la siguiente expresión:

$$A = \left( \frac{C \cdot V}{V'} \right)$$

- C = sólidos en suspensión de la muestra diluida, en gramos.
- V = volumen de la muestra, en litros.
- V' = volumen de muestra tomado para la dilución, en litros.

### 3.2.9. Amonio

Para la determinación del amonio presente en las disoluciones problemas se realizará por el método del reactivo de Nessler. Este reactivo de Nessler, en presencia de los iones amoniaco, se descompone formando el yoduro de dimercuriamonio que permite la determinación colorimétrica de los iones amonio. Primeramente de debe realizar un análisis cualitativo, y en el caso de que exista amonio se realizara el análisis cuantitativo.

Debemos tener en cuenta que al añadir el reactivo de Nessler, pueden ocurrir algunas interferencias, que la más habitual es la aparición de turbidez, dificultando con ello la lectura espectrofotométrica, por lo que hay que realizar diversos pasos para que los iones precipiten y pudiendo con ello eliminarlos y poder añadir el reactivo de Nessler sin ningún problema. Los pasos a seguir son:

1. Limpieza previa del material a utilizar con HCl diluido.
2. Se pipetea 50 ml de la muestra problema y se le añaden:
  - 0.5 ml de  $ZnSO_4$  (10%) y se homogeneiza la muestra.
  - 0.25 ml de NaOH 6N, y se homogeneiza de nuevo para que reaccionen.
3. Se tapa bien la muestra para evitar la aparición de impurezas, y se deja decantar la muestra, para la aparición del precipitado con un tiempo mínimo de 2 horas.
4. Finalmente se recoge el sobrenadante (25 ml), que debe de ser transparente e incoloro, y se puede proceder a realizar el análisis cuantitativo.

Previamente a realizar el análisis cuantitativo, se tiene que preparar diversos reactivos necesarios para poder realizar el análisis. Estos reactivos van a ser detallados seguidamente:

- **Solución de Sulfato de zinc:** Disuélvase 100 g de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  y dilúyase hasta 1 L de agua destilada.
- **Solución de NaOH 6N:** 120 g de NaOH en 500 ml de agua destilada.



- **Reactivo de Nessler (Yodomercuriato potásico alcalino):**

- Solución A: Disolver 160 g de NaOH en 500 ml de agua destilada. Conservar en la oscuridad.
- Solución B: Disolver 70 g de IK anhidro en un pequeño volumen de agua destilada y añadir 100 g de HgI<sub>2</sub>. Homogeneizar y diluir con agua destilada hasta 500 ml. Conservar en la oscuridad.

El reactivo de Nessler se consigue disolviendo a partes iguales la solución A y la solución B.

- **Solución madre de Cloruro de Amonio (NH<sub>4</sub>Cl):** se disuelven 3.819 g de NH<sub>4</sub>Cl anhidro, secado a 100°C, en agua destilada y se tiene que enrasar hasta 1000 ml. Esta disolución preparada contiene una concentración de 1290 ppm de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.
- **Solución patrón de amonio:** se tiene que disolver 10 ml de disolución madre de amonio en 1000ml de agua destilada. Esta disolución preparada contiene una concentración de 12.90 ppm de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.
- **Solución de Tartrato de Sodio y Potasio (Sal de La Rochela) :** se disuelven 50 g de Tartrato doble de sodio y potasio tetrahidratado en 100 ml de agua. Se tiene que hervir la disolución hasta que se pierdan unos 30 ml de disolución. Luego se deja enfriar hasta temperatura ambiente, y se diluye el sobrante en 100 ml. Esta disolución que se obtiene es estabilizadora que impide la precipitación de Ca y Mg con el reactivo de Nessler.

Una vez que se han preparado todas las disoluciones se procede al análisis cuantitativo que consisten en tomar 25 ml del sobrenadante una vez se ha realizado el precipitado para la eliminación de las interferencias. Ha esta disolución se le añaden 0.05 ml de Tartrato de Sodio y Potasio y se mezcla adecuadamente. Luego se le agrega 0.5 ml de reactivo de Nessler y se mezcla cuidadosamente. Finalmente el color desarrollado se mide en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 425 nm.

### 3.2.10. Nitrógeno nítrico

La utilización de fertilizantes en exceso con nitrógeno para enriquecer el suelo, puede provocar que distintos tipos de agua, ya sea agua de lluvia, de riego u otro tipo de aguas superficiales pueden traspasar los nitratos a través del suelo y llevarlos hasta acuíferos de agua subterránea. Los nitratos también pueden afectar de manera más notoria al agua de los pozos si estos son poco profundos, si no están bien construidos o su ubicación no es la idónea. Estas condiciones descritas, podrían permitir la entrada de las aguas contaminadas con exceso de nitrógeno al sistema de reparto de agua de red.

Las disoluciones y reactivos necesarios para realizar este método son los siguientes:

- **Solución madre de nitratos:** se tiene que secar una cantidad de nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) en una estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante un tiempo de 24 horas, y luego dejar enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador. Luego, se pesa 0.7218 g de nitrato potásico anhidro y se diluye en 1000 ml de agua destilada. Se tiene que conservar con 2 ml de cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ). Esta solución tiene 100 mg/L de nitrógeno de nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ).
- **Solución patrón de nitrato:** se diluyen 50 ml de solución madre de nitratos en 500 ml de agua destilada, esta solución tendrá una concentración de 10mg/L de  $\text{N-NO}_3$ .
- **Solución de Ácido clorhídrico (densidad  $1.19 \text{ g/cm}^3$ ) 1N:** se tiene que diluir 83 ml de ácido clorhídrico concentrado ( $\text{HCl}$ ) en 1000 ml de agua destilada.

Para la realización de este procedimiento se va a tomar previamente una curva patrón, y seguidamente se harán las medidas de cada una de las muestra mediante el espectrofotómetro.

La concentración de nitratos de las muestras problemas de agua residual se determinan midiendo la absorbancia en la región ultravioleta a 220 nm y comparándola con la curva de calibración previamente realizada. La relación que existe entre la absorbancia y concentración es lineal hasta una concentración de 11 mg/L, y el mínimo que se puede detectar es de 0.01 mg/L.

1. El primer paso es la preparación de la curva de calibración, la cual se va a recoger en una tabla explicita donde se observa más claro. Se diluyen los siguientes volúmenes de la solución patrón y se aforan hasta 50 ml con agua destilada.

Volumen de la solución patrón ( 10 mg/L)	Aforar hasta 50 ml con agua destilada	Concentración mg/L	Volumen de HCl (1N)
0	-----	Blanco	1
0.1	-----	0.02	1
3	-----	0.6	1
7	-----	1.4	1
10	-----	2	1
15	-----	3	1
20	-----	4	1
35	-----	7	1

Tabla 1. Curva calibración Nitrógeno nítrico.

2. Al añadir el ácido clorhídrico agitar vigorosamente.
3. Al mismo tiempo, se toman 50 ml de muestra, y si esta presenta materia orgánica visible, filtrarla con papel de poro fino. Luego, se le añade 1 ml de HCl y agitar vigorosamente.
4. Para la recta de calibrado se leen todas las muestra a una longitud de onda de 220 nm. Se tienen que leer en cubetas de cuarzo, y obtenemos con ello la recta de calibrado y la concentración en mg/L de N-NO<sub>3</sub>.
5. Finalmente, se obtienen la absorbancia de las muestras a 275 nm, pero debemos de tener en cuenta que si el valor de la lectura realizado es mayor del 10% de la lectura a 220 nm, este método utilizado no es muy confiable.

### 3.2.11. Sulfatos

Los sulfatos se encuentran presentes en las aguas naturales en una gran variedad de intervalo de concentraciones. En los vertidos de las industrias y sobretodo la industria minera presenta una gran cantidad de sulfatos. Los niveles máximos permitidos para el agua de red pública tienen ciertos límites, ya que valores superiores pueden presentar una acción purgante para el ser humano. Los límites de concentración, son de [400-600] ppm para el sulfato de magnesio, y de [250-400] ppm para el sulfato de calcio.

Los métodos más óptimos para la determinación del ion sulfato en aguas naturales y residuales son:

- El método gravimétrico, con un ámbito de aplicación de 10 a 100 mg/L de concentración del ion sulfato
- El método turbidimétrico, con un ámbito de aplicación de 10 a 60 mg/L, aplicado sobre todo para la determinación rápida y rutinaria de aguas industriales.

En el caso en concreto se va a utilizar el método gravimétrico, que consiste en hacer precipitar el ion sulfato, se pesa como sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) después de eliminar la sílice y material insoluble.

Para este método gravimétrico es necesario diversas disoluciones y reactivos que son necesarios para la determinación de dicho parámetro. Estas disoluciones y reactivos son:

- **Solución indicadora de rojo de metilo**: Disolver 100 mg de sal sódica de rojo de metilo en agua destilada y diluir hasta los 100ml.
- **Solución de ácido clorhídrico** : se podrá la misma cantidad de ácido clorhídrico que de agua destilada, a partes iguales.(1:1)
- **Solución de cloruro de bario**: Disolver 100 g de cloruro de bario dihidratado en un litro de agua destilada, filtrar a través de un filtro de membrana o un filtro
-

de papel antes de usar, 1 ml de esta solución es capaz de precipitar aproximadamente 40 mg de sulfato.

- **Reactivo de nitrato de plata:** Disolver 8.5 g de nitrato de plata y 0.5 ml de ácido nítrico concentrado en 500 ml de agua destilada.

El procedimiento para la determinación del ion sulfato por el método gravimétrico consta de varios pasos que se van a detallar a continuación:

1. El primer paso a seguir es la eliminación del sílice, que consta de cuatro pasos:
  - Si la concentración de sílice excede de 25 mg/L la muestra tiene que ser evaporada hasta su completa sequedad en una capsula de platino o porcelana en un baño de vapor.
  - Luego, se le añade 1 ml de ácido fluorhídrico concentrado, y rotar la capsula hasta conseguir que el ácido este en contacto por completo con todo el residuo.
  - Se continúa secando la muestra, completando el secado en un horno a 180°C y si está presente la materia orgánica, se carboniza la muestra con llama de un mechero bunsen.
  - Se deja enfriar y se humedece el residuo con 2 ml de agua destilada y 1 ml de ácido fluorhídrico, se vuelve a evaporar hasta la sequedad con un baño de vapor. Se añaden 2 ml ácido fluorhídrico y el residuo se solubiliza con agua caliente y luego se filtra. Se realizan varios filtrados y lavados del residuo.
2. En caso de que la muestra tuviera una concentración menor de 25 mg/L de sílice, efectuar el procedimiento anterior sin la adición de ácidofluorhídrico. Se pasa directamente por la llama del mechero o una mufla a 800°C durante una hora.
3. Transferir con pipeta volumétrica a un vaso de precipitados, un volumen de muestra clarificada que contenga no más de 50 mg de ion sulfato y ajustar a un volumen de 250 ml.



4. La disolución tiene que tener un pH de entre 4-5, para ello se debe utilizar la disolución de ácido clorhídrico, usando un pH-metro para su ajuste.
5. Luego, se añaden de 1 a 2 ml de la disolución de ácido clorhídrico, y a continuación se tiene que calentar hasta llegar a la ebullición y agitando lentamente, más tarde se le añade lentamente la solución de cloruro de bario caliente hasta que la precipitación sea completa. Si se observa que la precipitación no es total, se pueden añadir hasta una cantidad de 5 ml de cloruro de bario.
6. Digerir el precipitado a 80°C - 90°C durante 10 a 12 horas y no menos de 2 horas.
7. Mezclar una pequeña cantidad de la pulpa del papel filtro de cenizas conocidas con el precipitado de sulfato de bario y filtrar a temperatura ambiente. La filtración de la pulpa facilita y reduce la tendencia del precipitado a separarse.
8. Se lava el precipitado en porciones pequeñas de agua caliente, para que los lavados estén libres de cloruros. Se le pueden añadir hasta 10 ml de agua de lavado hasta que produzca turbiedad, es entonces cuando se le añaden 1 ml del reactivo de nitrato de plata.
9. Finalmente el papel de filtro y precipitado se seca en una estufa, y posteriormente se lleva a una mufla a 800°C durante una hora. Se enfría la muestra en un desecador y se pesa.

Definitivamente la cantidad de ion sulfato en mg /L presente se conoce mediante la siguiente expresión:

$$mg\ de\ \frac{SO_4^{-2}}{L} = \left( \frac{A \cdot 0.4115 \cdot 1000}{B} \right)$$

- A = Peso del sulfato de bario en mg
- B= Volumen de la muestra original en ml
- mg de BaSO<sub>4</sub> = 0.4115 mg de SO<sub>4</sub>

### 3.2.12. Boro disuelto

El boro disuelto es esencial para el crecimiento de las plantas, pero un exceso de este boro en el agua de riego afecta al desarrollo y crecimiento de las plantas. El agua potable contiene concentraciones muy bajas de boro que son consideradas inocuas para el ser humano. Sin embargo, cuando se ingieren cantidades altas de boro por un tiempo prolongado, el sistema nervioso central puede verse afectado, ocasionando un síndrome que en medicina se denomina borismo. Las concentraciones de boro pueden aumentar de manera notoria debido a los desechos de productos de limpieza e industriales.

Los reactivos y patrones necesarios para la medida de este parámetro en agua residuales son los siguientes:

- **Disolución patrón de boro:** por una parte deben de secarse alrededor de 10 g de ácido bórico en un desecador durante unas 24 horas para quitar toda la humedad presente. Una vez seco se pesan 5.719 g de ácido bórico seco y se afora hasta 1 L de agua destilada. La disolución de debe guardar en un envase libre de boro.
- **Disolución intermedia de boro:** se toma una alícuota de 10 ml de disolución patrón de boro, y se transfiere a un matraz volumétrico de 1 L y se afora con agua destilada. La disolución de debe guardar en un envase libre de boro.
- **Disolución de curcumina:** se pesan aproximadamente 40 mg de curcumina y 5 g de ácido oxálico, y se diluye dicha mezcla con 80 ml de alcohol isopropílico o alcohol etílico. Finalmente se le adicionan 4 ml de ácido clorhídrico concentrado y se afora hasta 100 ml con alcohol isopropílico o alcohol etílico. Esta disolución es estable varios días si se mantiene a 4°C.
- **Disolución de ácido clorhídrico:** para la preparación de dicha disolución se pipetea 5 ml de ácido clorhídrico y afora hasta 100 ml con agua destilada.



Las interferencias que pueden darse en este método son que las concentraciones de nitratos superen concentraciones de 20 mg/L, ya que un valor más elevado que este, interfieren con este método. También los niveles de dureza total, cercanos a 100 mg/L producen resultados altos a causa de la turbiedad que provocan. Finalmente si existe color en la muestra, este afecta a las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro.

Una vez se han preparado todas las disoluciones y se tienen en cuenta las interferencias, el procedimiento de este método es el siguiente:

1. Filtrado de la muestra a través de un filtro de poro fino, tan pronto como sea posible después del muestreo.
2. Para muestras que se encuentren entre [0.1-1.0] mg/L, se toma una alícuota de 1 ml de muestra y se coloca en una cápsula de evaporación. Se adicionan 4 ml de disolución de curcumina a cada muestra y se homogeneiza los contenidos.
3. Colocar las cápsulas de evaporación en un baño de agua caliente que esté controlado entre 55°C con un error de 2°C más o menos. Se dejan pasar 15 minutos, antes de remover. Luego se deja enfriar a temperatura ambiente.
4. Seguidamente, se adicionan 10 ml de alcohol isopropílico o alcohol etílico a cada capsula y agitar con una varilla, para asegurar la completa disolución del complejo de color rojo. Luego de la homogeneización de transfiere este líquido a un matraz volumétrico de 25 ml. Aforar hasta los 25 ml con alcohol isopropílico o alcohol etílico y mezclar completamente.
5. Finalmente, la muestra sí parece estar un poco turbia se vuelve a filtrar con un filtro de poro fino antes de leer la absorbancia de la muestra. Lectura de la muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.





### 3.2.13. Temperatura “in situ”

La temperatura del agua tiene gran importancia en el análisis de los parámetros tanto físicos como químicos de las aguas. Este parámetro afecta a la vida acuática de manera directa, a las reacciones que suceden dentro de la vida acuática y a los posteriores usos del agua.

Normalmente el agua residual tiene una temperatura superior al agua de red normal, debido al uso de aguas calientes en diferentes actividades, ya sean industriales como cotidianas. Este aumento de la temperatura del agua, da lugar a una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua y con ello un aumento en la velocidad de las reacciones químicas, produciendo con ello una disminución del oxígeno disuelto en el agua. Esta disminución del oxígeno disuelto a causa del aumento de la temperatura puede poner en peligro la supervivencia de la vida acuática.

La medida de la temperatura se realiza “in situ” porque es un parámetro que varía rápidamente con el tiempo o las condiciones. Este parámetro es muy sencillo de medir, introduciendo el termómetro digital de sonda en la muestra recogida, y directamente se obtiene el valor de la temperatura.

## 4. RESULTADOS

En este apartado de resultados se pueden observar los distintos parámetros analizados de las muestras de aguas residuales anuales. En estas representaciones hay diversas factores que pueden afectar, ya sea, como el mes en el que se miden, ya que la estación meteorológica cambia los valores, o los mínimos o máximos que permite la legislación para que esta agua pueda ser vertida sin un tratamiento previo. Los límites que establecen son los siguientes, que se resumen en la siguiente tabla:

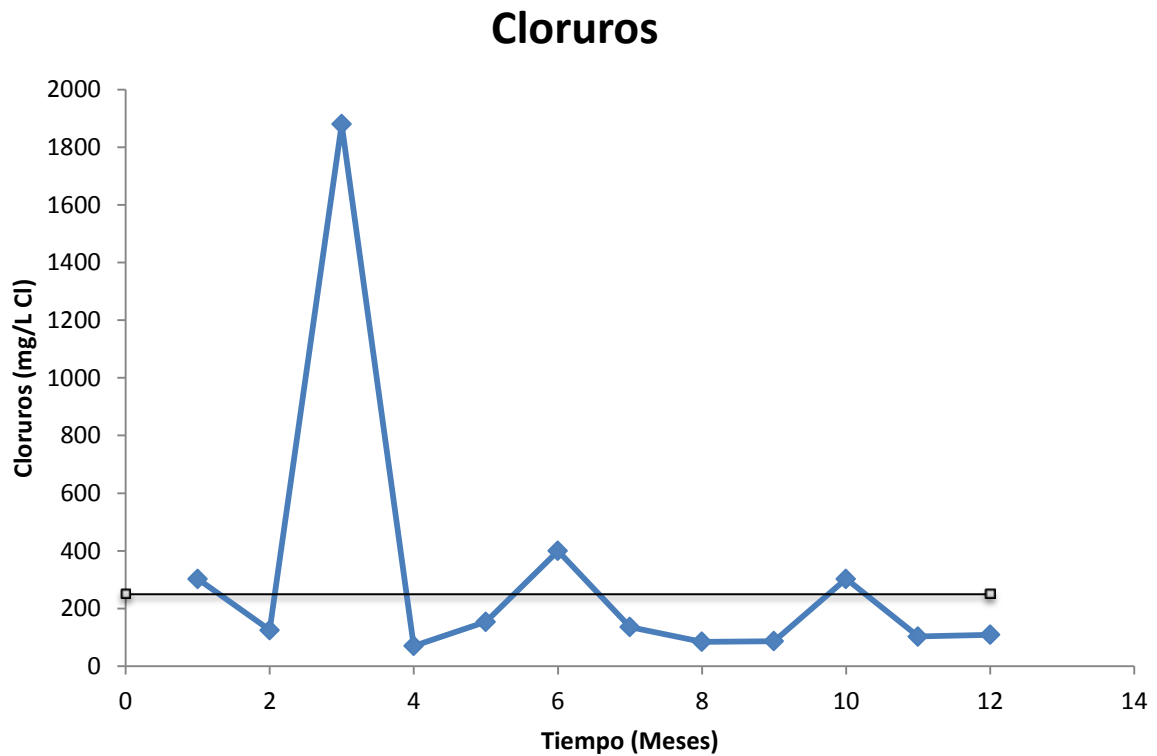
Parámetro	Límite permitido	Unidades
Sólidos Totales	50	mg/L
Sólidos en Suspensión Totales	30	mg/L
Sólidos disueltos totales	20	mg/L
DBO5, 20°C	30	mg/L
DQO	200	mg/L
Nitrógeno total	50	mg/L
Amonio	30	mg/L
Nitrógeno Nítrico	5	mg/L
Nitrógeno Kjeldahl	20	mg/L
Cloruros	250	mg/L
Sulfatos	250	mg/L
pH	6.5-8.5	mg/L
Boro disuelto	1	mg/L
Fosforo total	1.5	mg/L
Conductividad	1500	Us/cm
Turbidez	5	UNT
Temperatura "in situ"	25	°C

Tabla 2. Límites de los parámetros medios

Estos límites resumidos en la tabla, están representados en cada una de las gráficas de los resultados, mediante un fina línea negra, así se observa mejor si los valores obtenidos sobrepasan los límites, o están dentro de la legislación.

## 4.1. Resultados Anuales

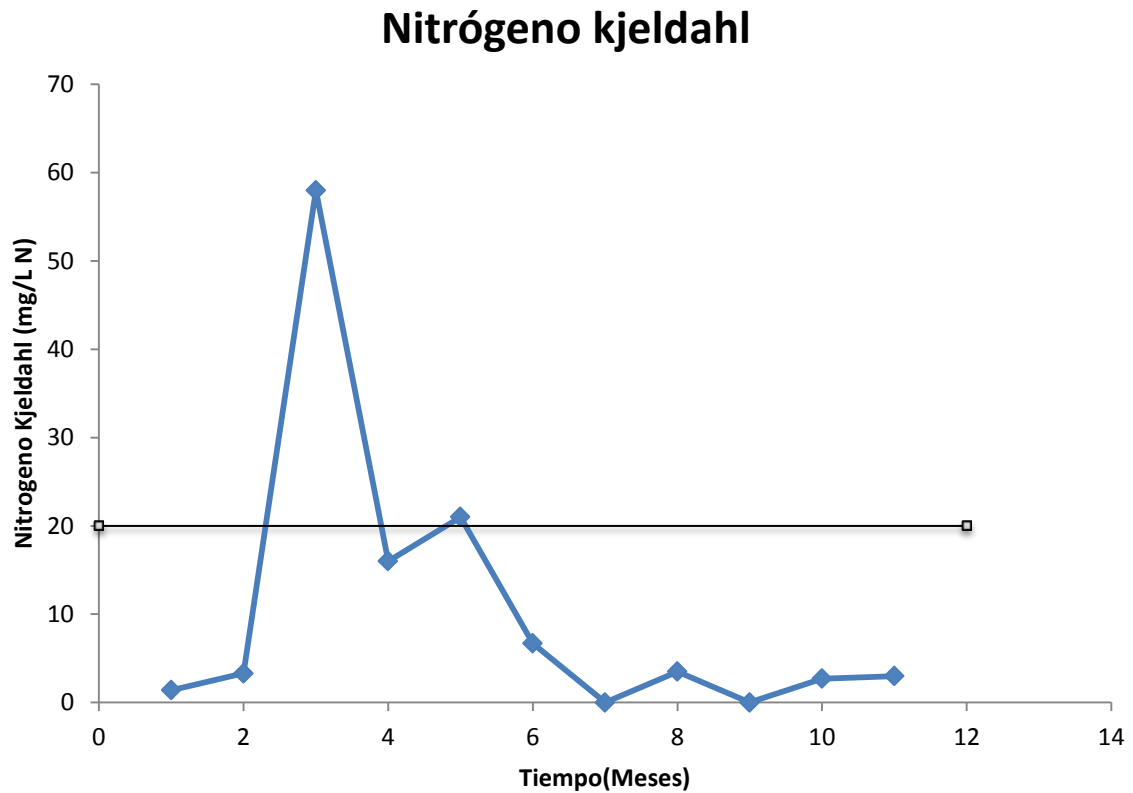
### 4.1.1. Cloruros



Gráfica 1. Medida anual Cloruros.

En la siguiente gráfica observamos que los cloruros medidos en las aguas residuales anuales, están dentro de los límites establecidos por la ley (línea negra de la gráfica), menos en el mes de marzo, junio y octubre que se observa una anomalía. Pero es en el mes de marzo donde se puede observar un pico de concentraciones de cloruros llegando casi a los 1900 mg/L de cloruros. El mes de junio y octubre, están tan solo un poco por encima del marco legal.

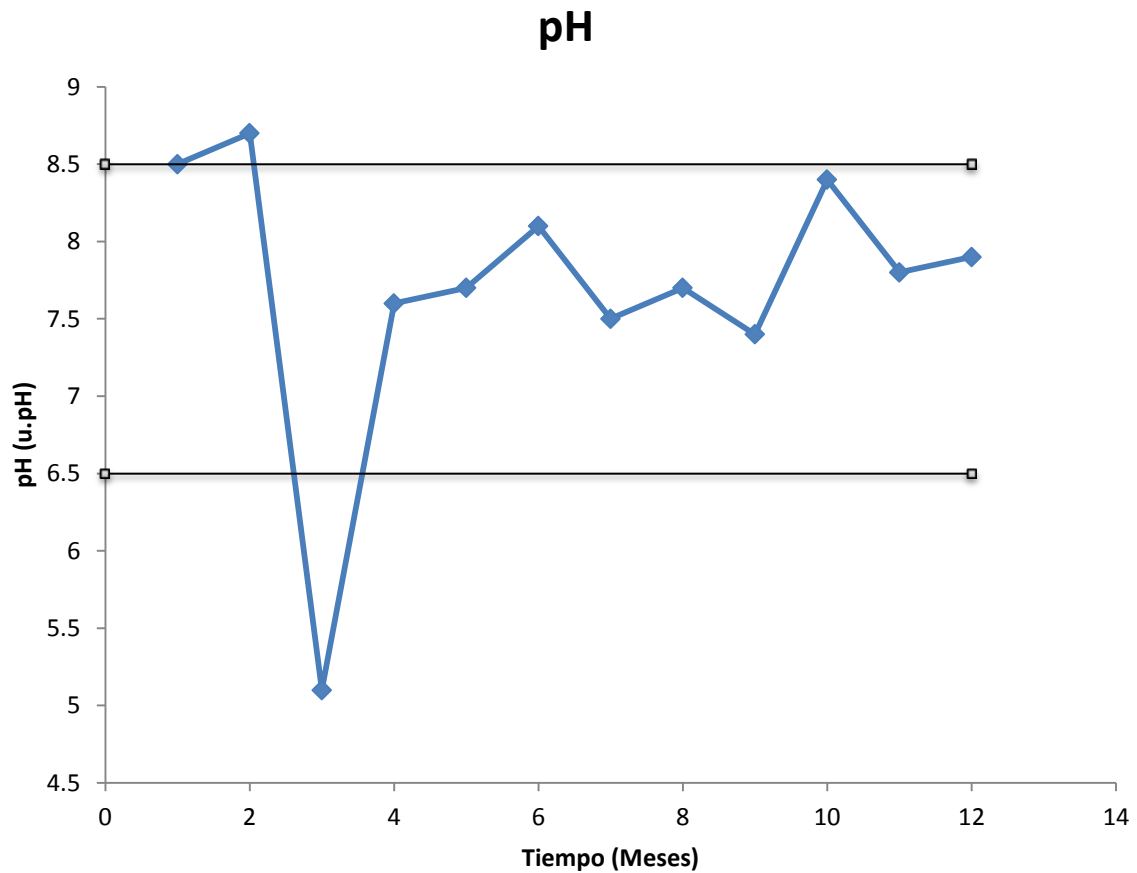
#### 4.1.2. Nitrógeno Kjeldahl



Gráfica 2. Medida anual Nitrógeno Kjeldahl.

El nitrógeno Kjeldahl medido en las aguas residuales en el periodo anual, no sobrepasa los límites de vertido, exceptuando en el mes de marzo, el cual se observa un pico muy pronunciado en el que las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl aumentan de manera muy notoria, respecto al resto del año. También es en el mes de mayo donde el valor obtenido es un poco superior al límite.

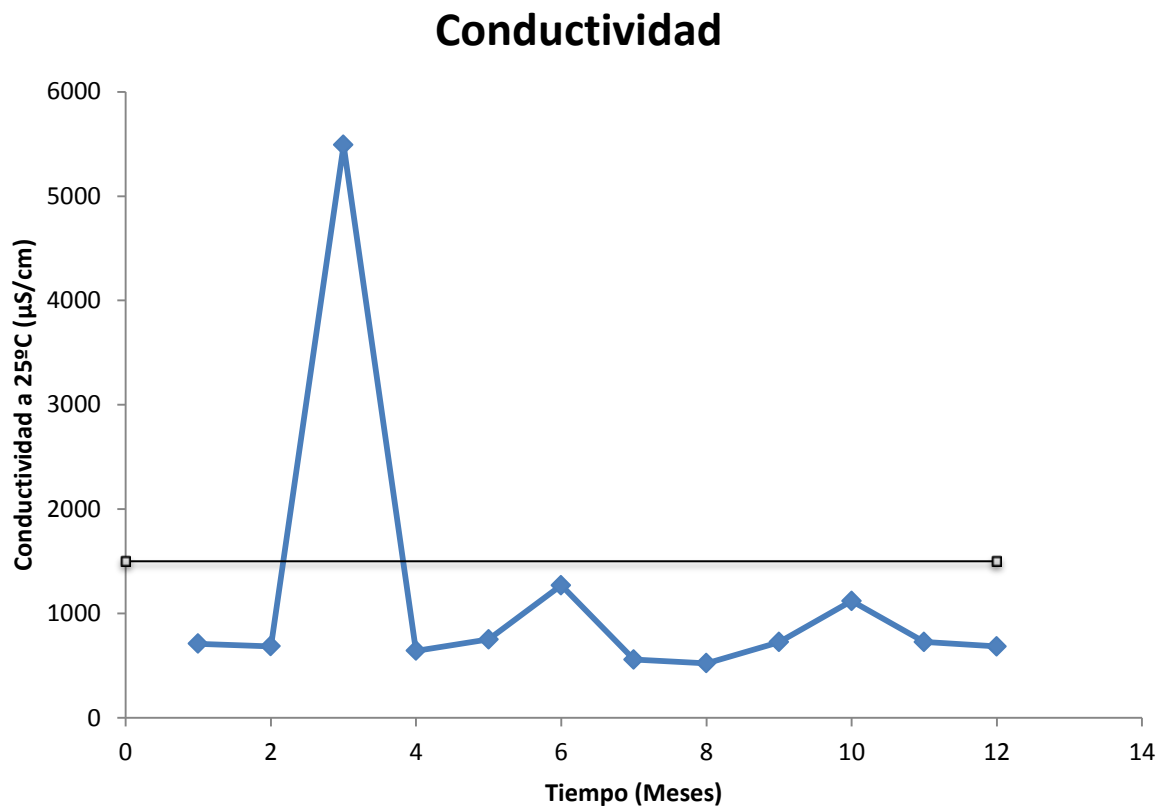
### 4.1.3. pH



**Gráfica 3. Medida anual pH.**

El pH de las aguas residuales presenta dos límites para que el agua en cuestión pueda ser vertida sin ningún problema. El agua en cuestión tratada se mantiene durante todo el año dentro de los parámetros legales. Pero es en el mes de marzo en el que se observa un pico descendente de los valores, llegando a ser un agua bastante ácida a  $\text{pH} = 5$ .

#### 4.1.4. Conductividad

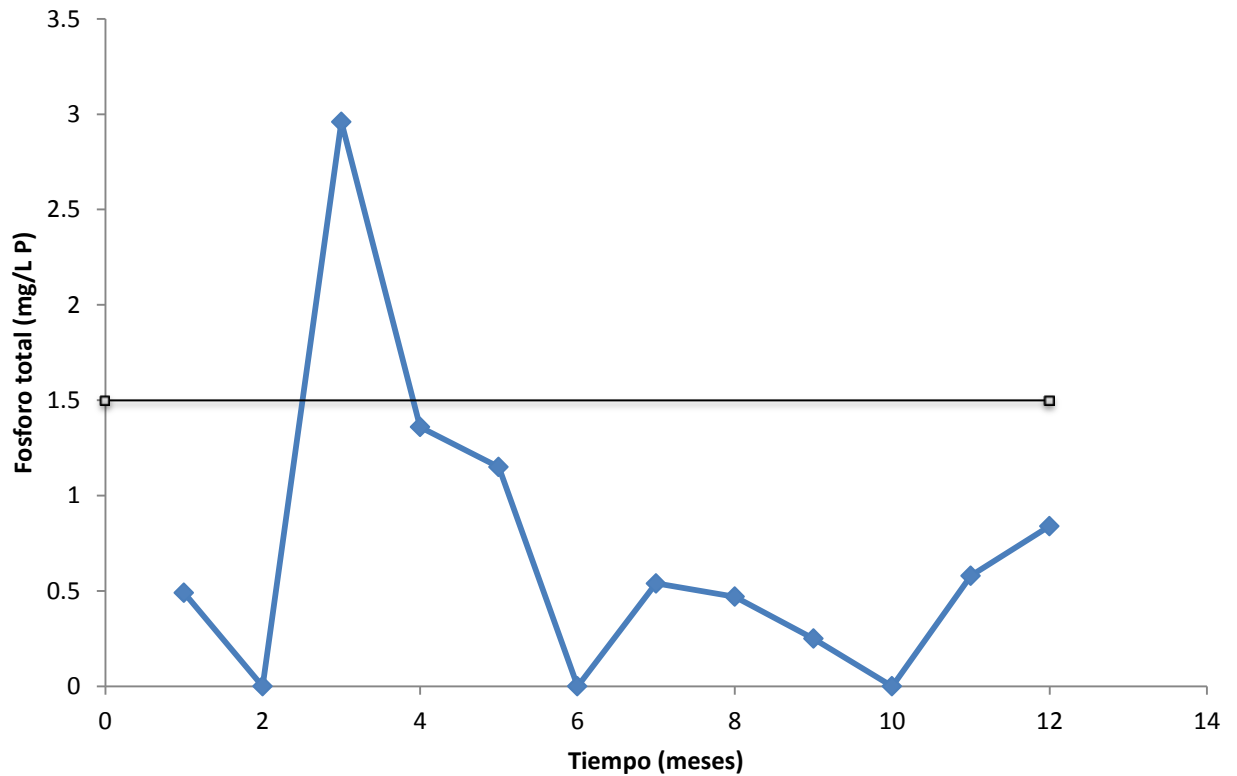


Gráfica 4. Medida anual Conductividad.

Como en todos los parámetros anteriores, el agua residual se mantiene dentro de los valores establecidos como límites. En el caso de la conductividad, eso se cumple también, pero en el mes de marzo vuelve a aparecer un pico muy pronunciado, llegando a tener valores de 5500 uS/cm de conductividad.

#### 4.1.5. Fósforo Total

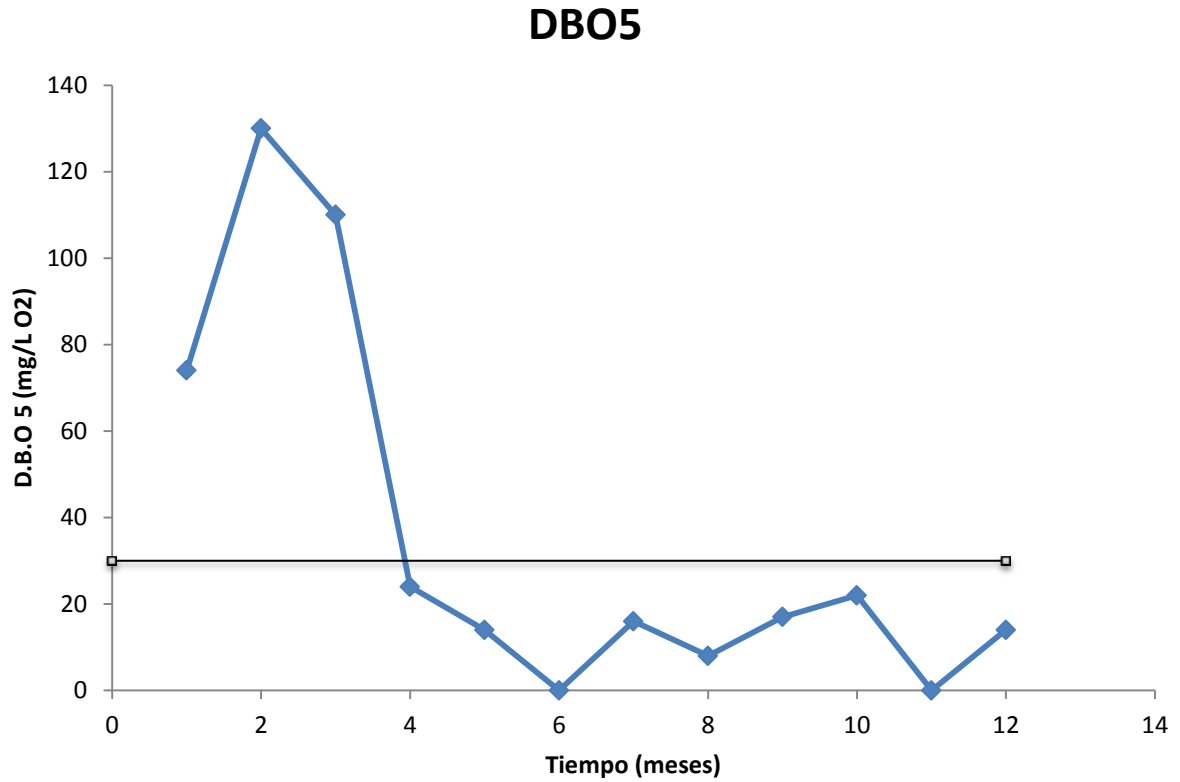
### Fósforo total



Gráfica 5. Medida anual Fósforo Total

Como sucede en todos los parámetros, en el fósforo total también sucede, en el mes de marzo existe un pico elevado, creando una anomalía porque sobrepasa los límites. También cabe destacar que en diversos meses, el fósforo total presente en el agua residual es nulo.

#### 4.1.6. $DBO_5$

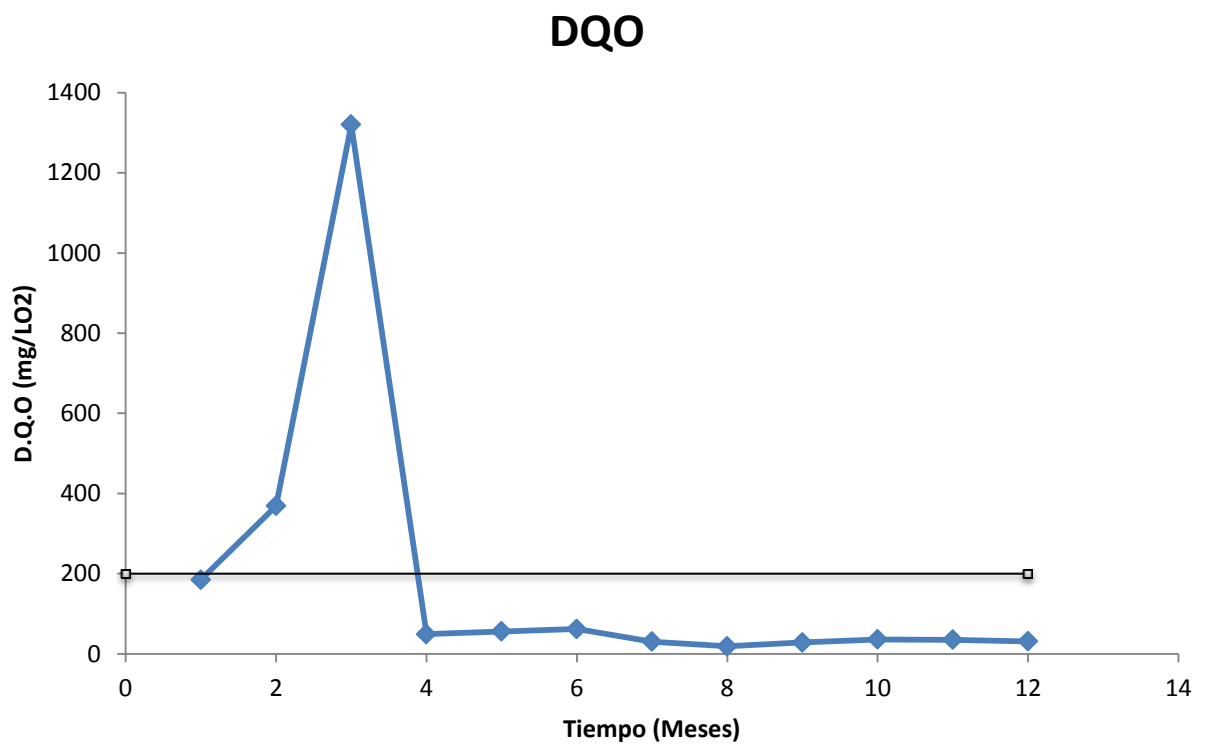


Gráfica 6. Medida anual  $DBO_5$ .

En el caso de la  $DBO_5$  se puede observar que es en los primeros meses cuando hay una gran demanda biológica de oxígeno, pero es a partir de abril cuando se normaliza los valores de  $DBO_5$  estando todo el año restante por debajo de los límites.



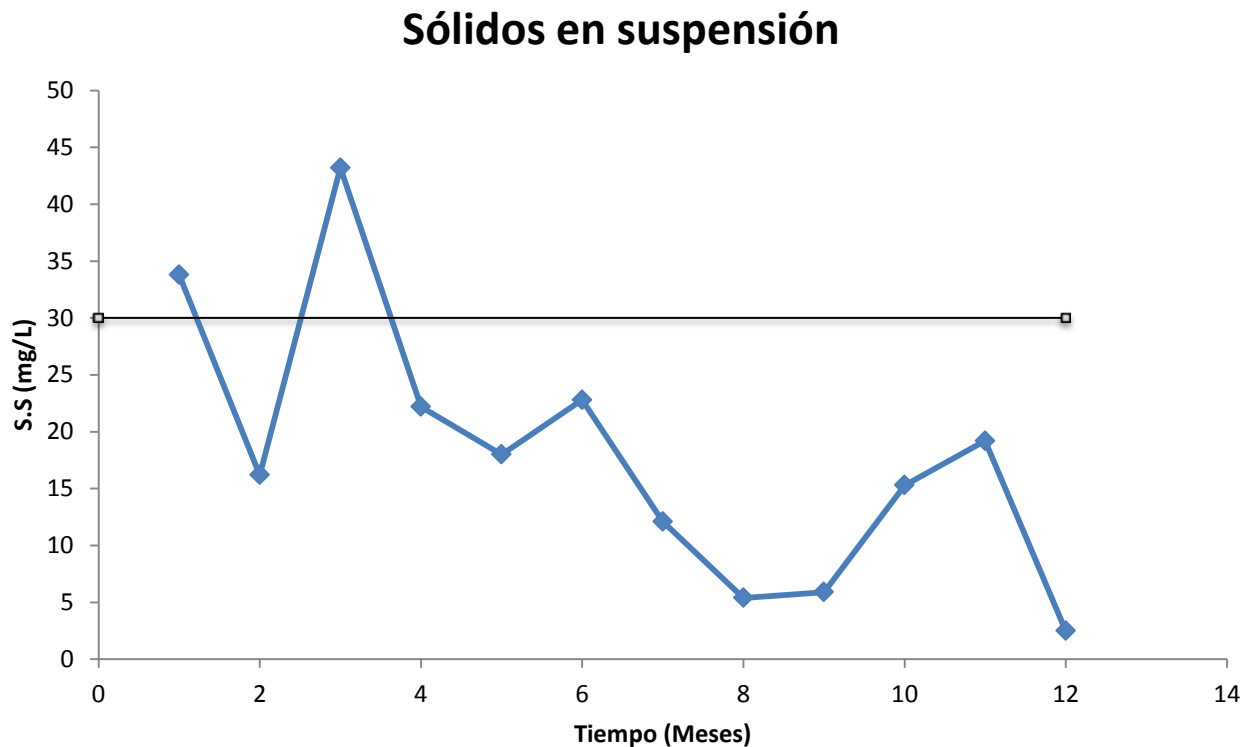
#### 4.1.7. DQO



Gráfica 7. Medida anual DQO.

En el caso de la DQO sucede lo mismo que en la  $DBO_5$ , es a partir del mes de abril cuando se observa una normalización de los valores de la demanda química de oxígeno, por debajo de los límites.

#### 4.1.8. Sólidos en suspensión



Gráfica 8. Medida anual Sólidos en Suspensión.

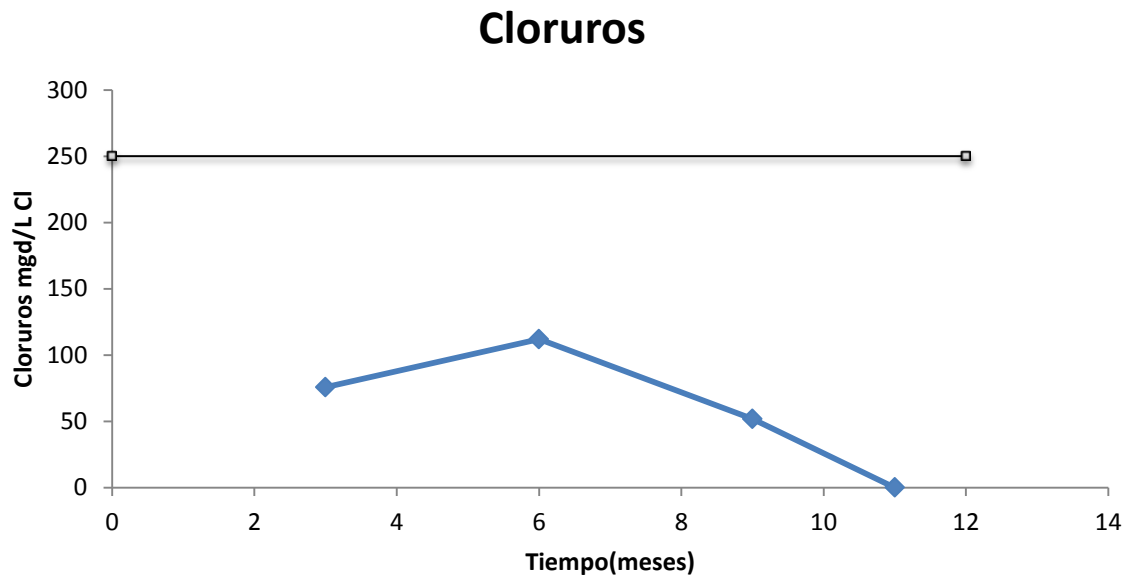
Finalmente en los sólidos en suspensión, sucede lo mismo, es en el mes de marzo cuando existe la anomalía, pero durante el resto del año, los valores están dentro de los límites.

En esta tratamiento de resultados, vemos que en el mes de marzo ha sucedido algo extraño, o en la toma de las muestras, o ha habido algún vertido contaminado en este mes, que nos indica que todos los parámetros se disparan en dicho mes.

También hay que destacar que solo se toma una muestra al mes, siendo insuficiente para la verificación de los datos. Se deberían de tomar más muestras al mes, para asegura los datos registrados.

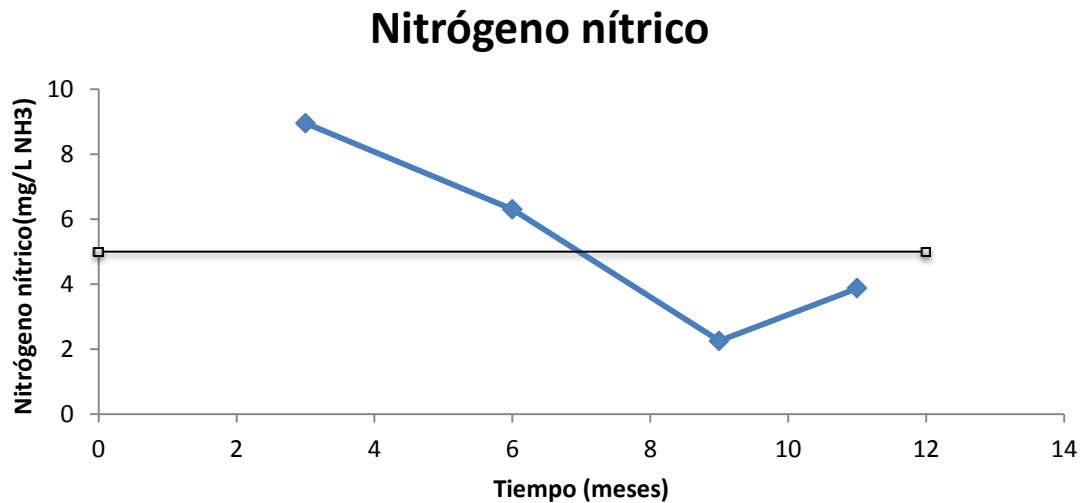
## 4.2. Resultados Trimestrales I

### 4.2.1. Cloruros



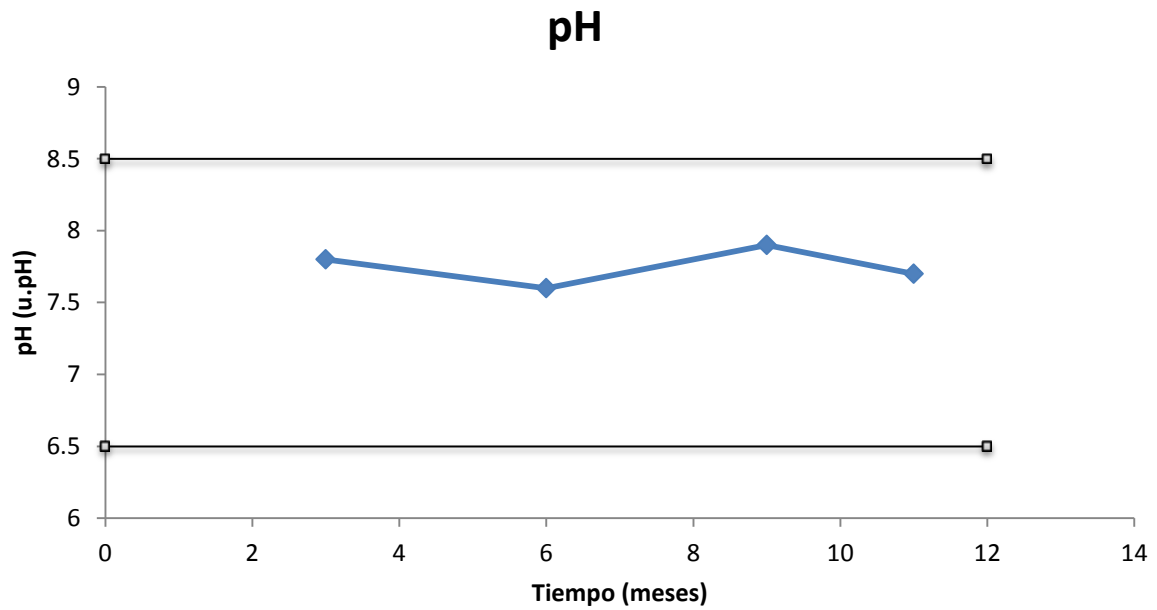
Gráfica 9. Medida trimestral I de Cloruros

### 4.2.2. Nitrógeno Nítrico



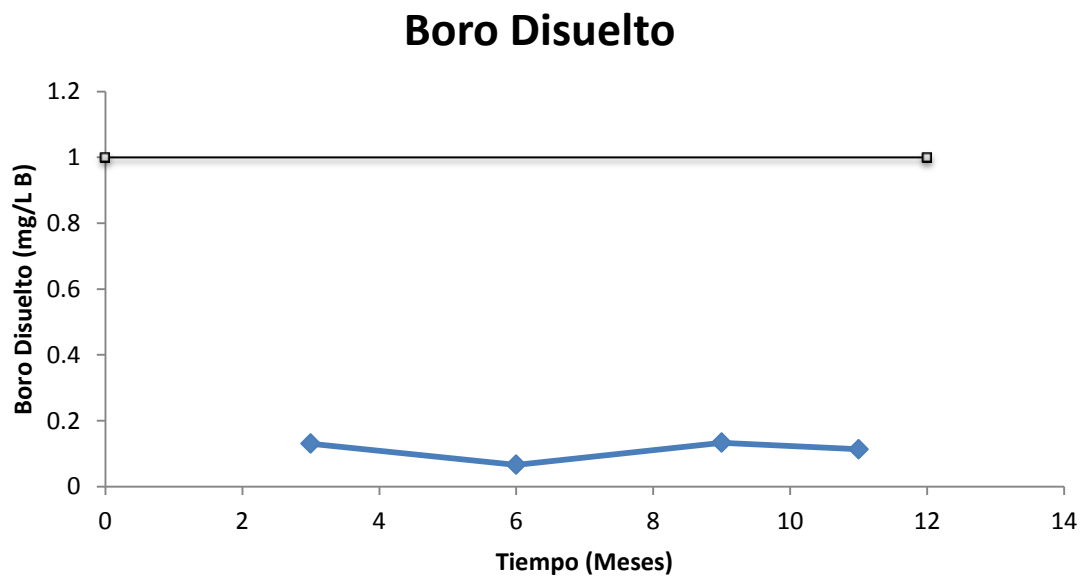
Gráfica 10. Medida trimestral I de Nitrógeno Nítrico.

### 4.2.3. pH



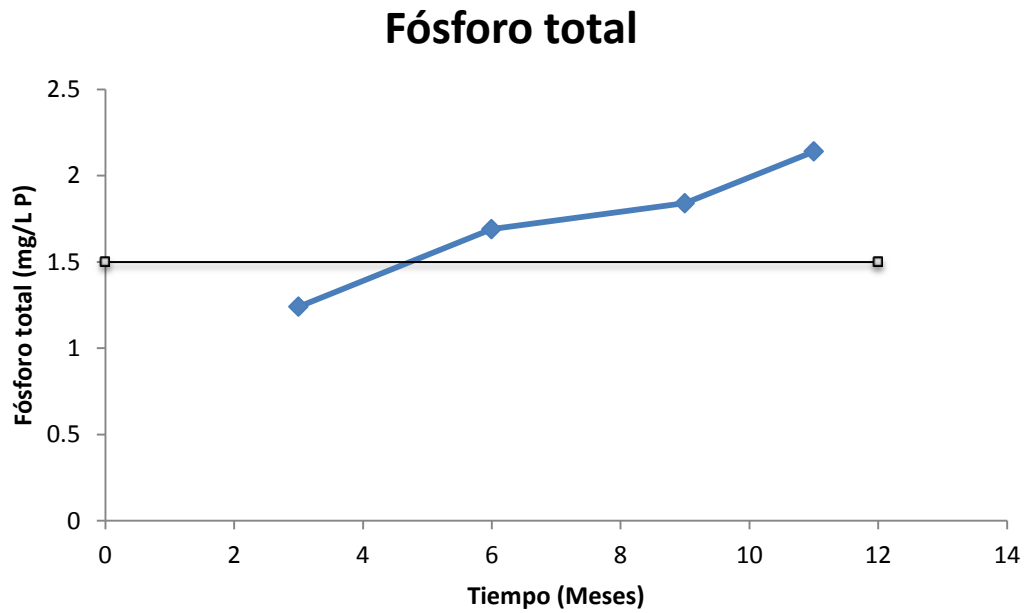
Gráfica 11. Medida trimestral I de pH.

### 4.2.4. Boro disuelto



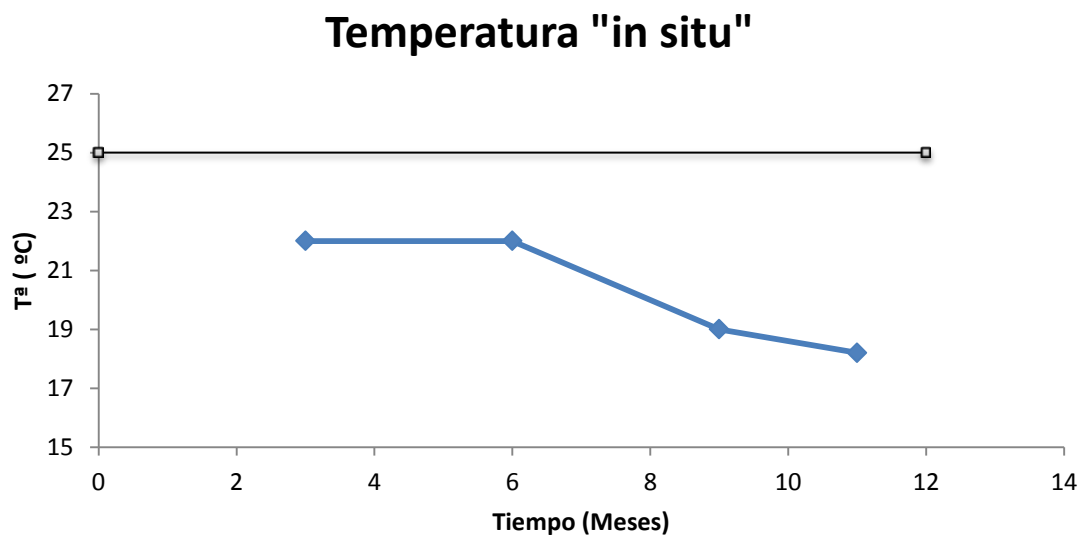
Gráficas 12. Medida trimestral I de Boro Disuelto.

#### 4.2.5. Fósforo total



Gráfica 13. Medida trimestral I de Fósforo total.

#### 4.2.6. $T^{\circ}$ "in situ"



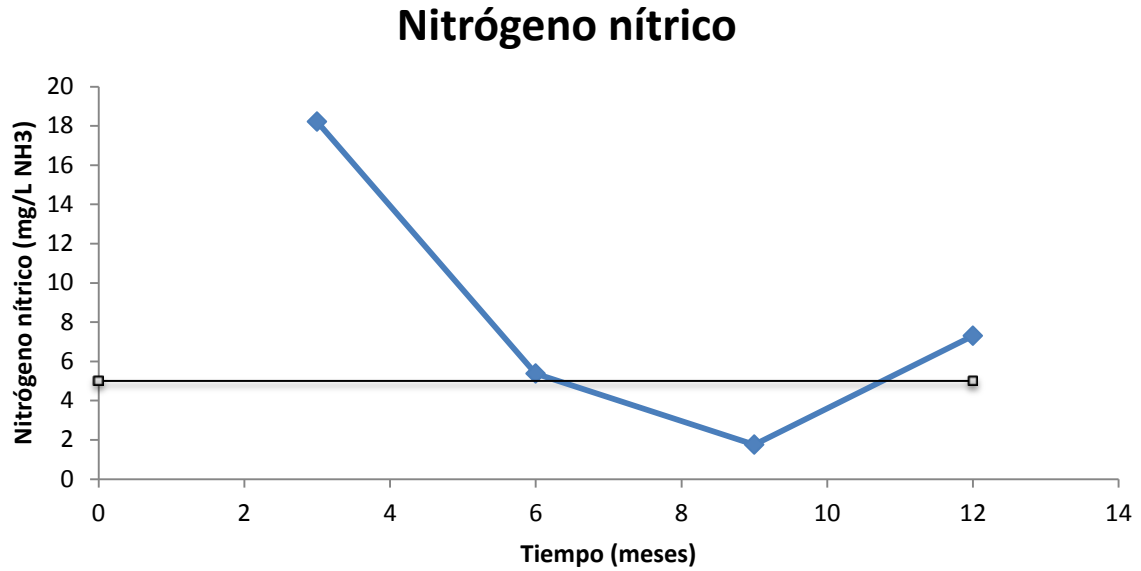
Gráfica 14. Medida trimestral I de  $T^{\circ}$  "in situ".



En la secuencia de resultados de los parámetros trimestrales I, se observa que exceptuando, el fósforo total y el nitrógeno nítrico, todos los parámetros se mantienen dentro de los límites establecidos por la ley, para que las aguas residuales puedan ser vertidas.

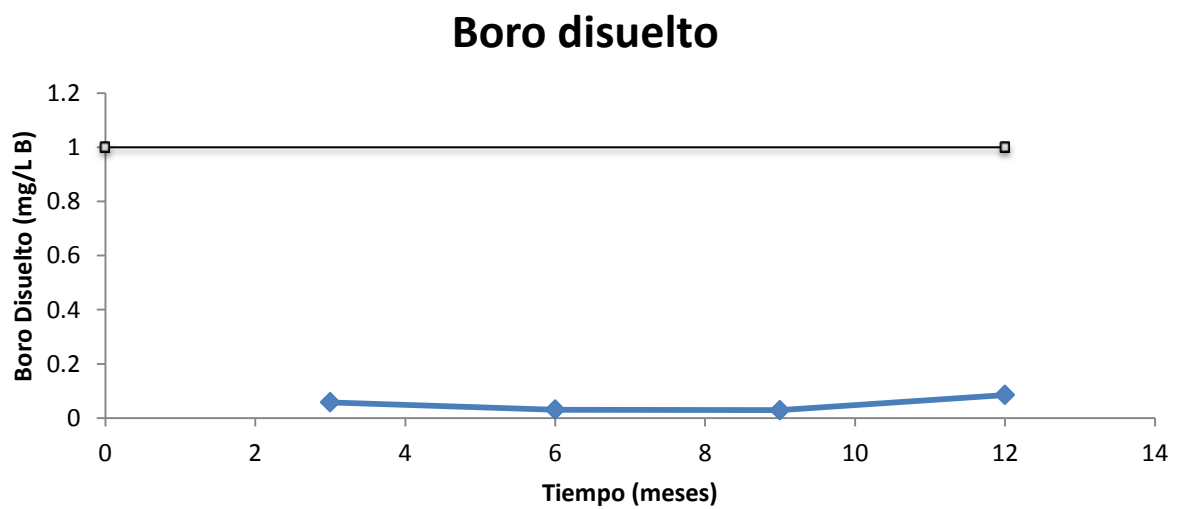
### 4.3. Resultados Trimestrales II

#### 4.3.1. Nitrógeno Nítrico



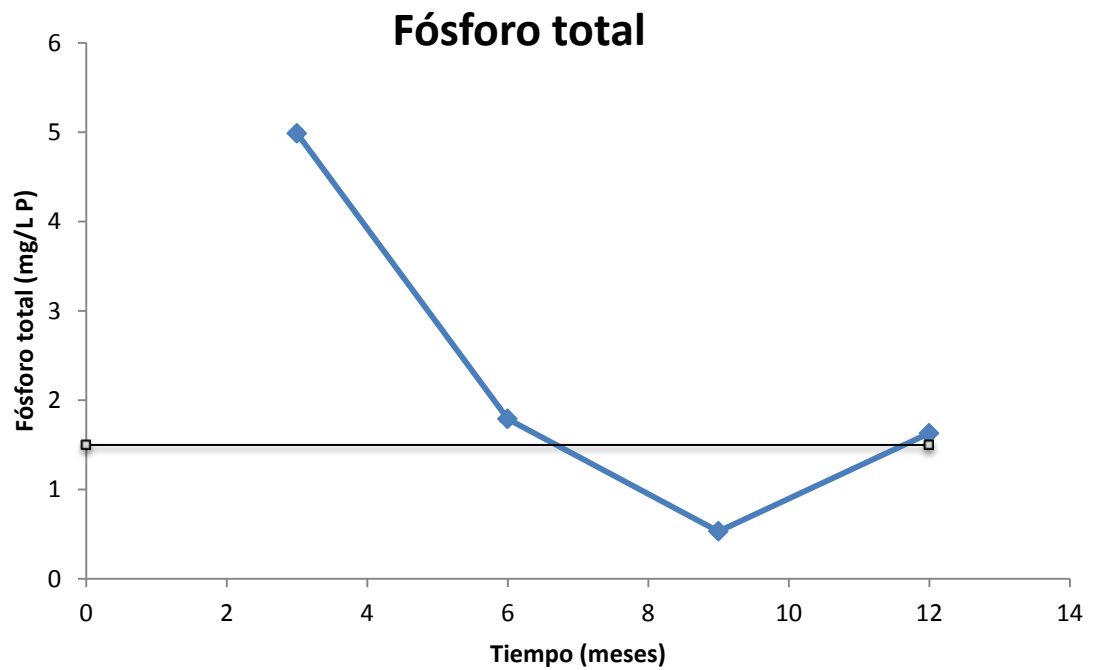
Gráfica 15. Medida trimestral II de Nitrógeno nítrico.

#### 4.3.2. Boro Disuelto



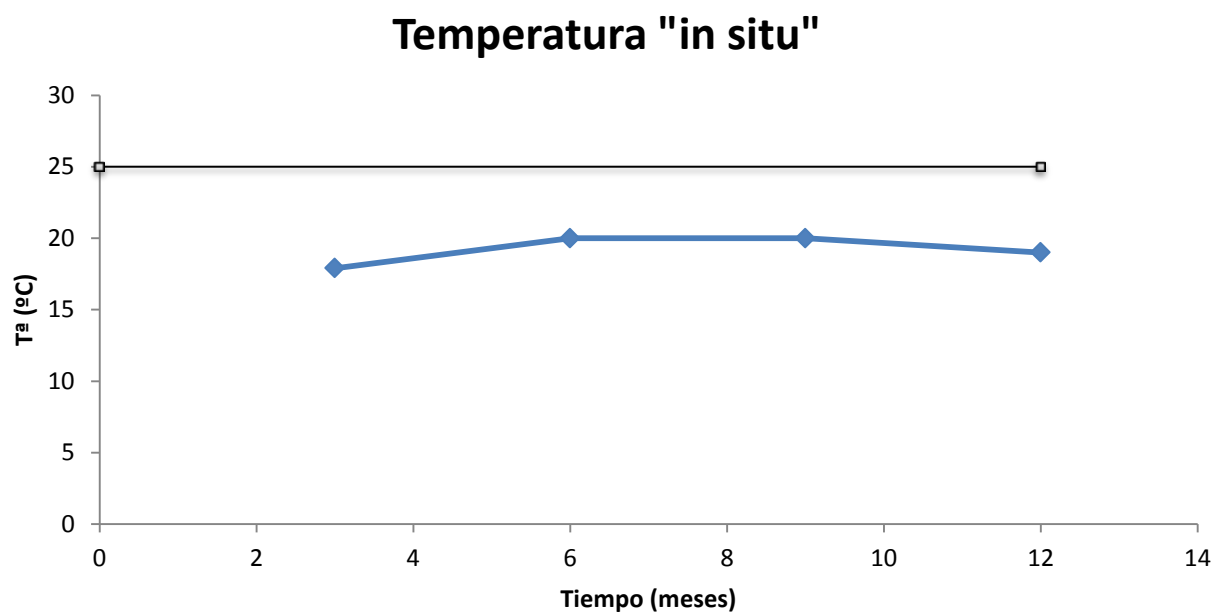
Gráfica 16. Medida trimestral II de Boro disuelto.

#### 4.3.3. Fósforo total



Gráfica 17. Medida trimestral II de Fósforo total.

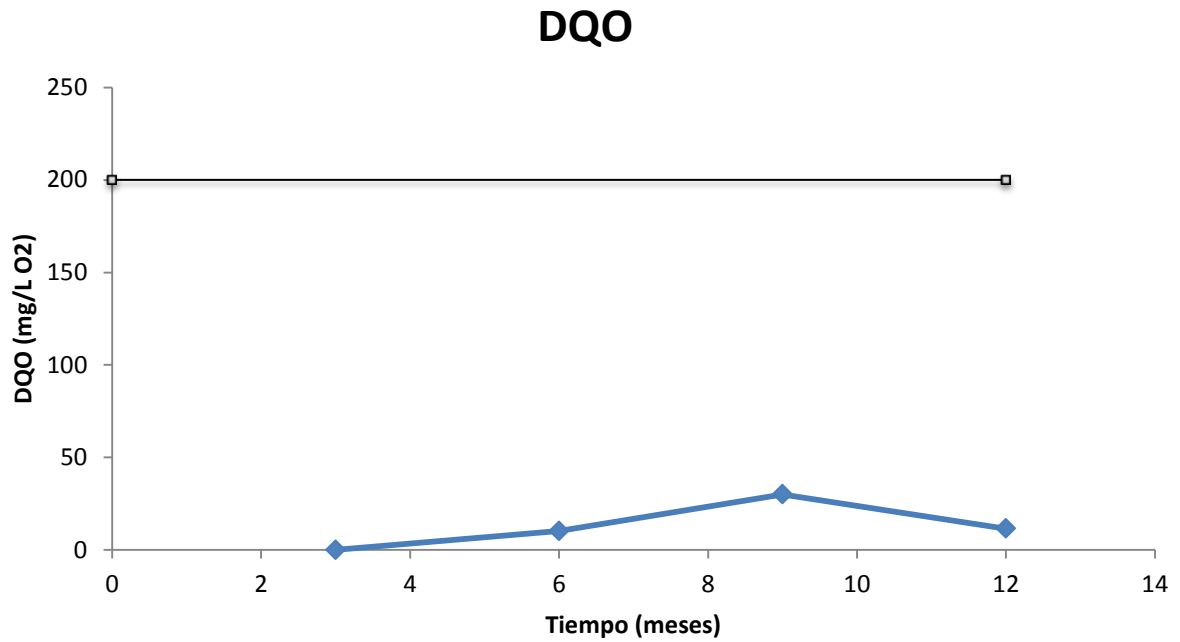
#### 4.3.4. $T^{\circ}$ "in situ"



Gráfica 18. Medida trimestral II de Temperatura "in situ".

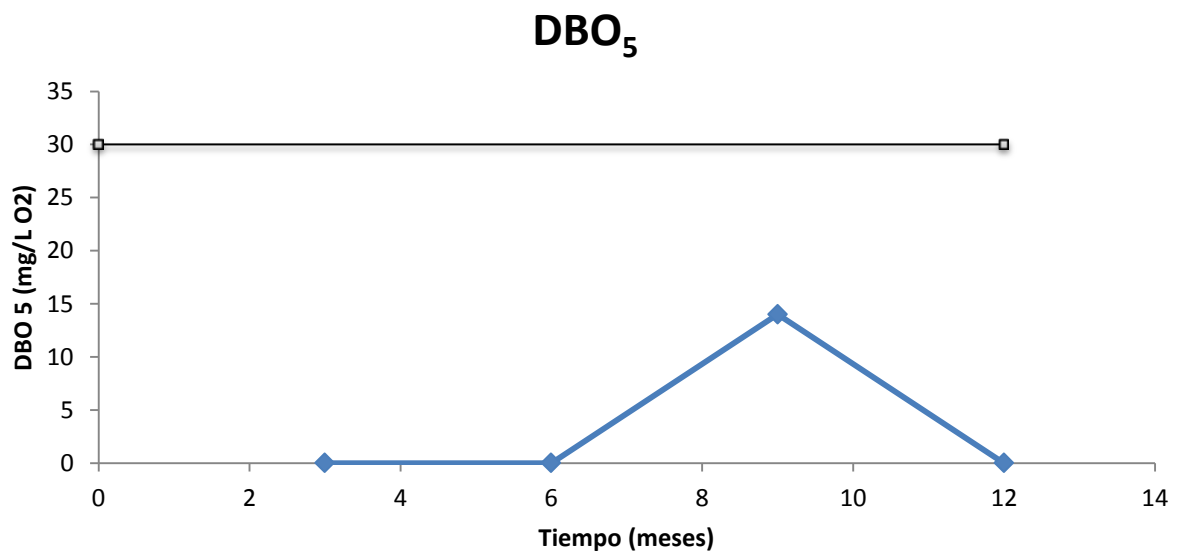


#### 4.3.5. DQO



Gráfica 19. Medida trimestral II de DQO.

#### 4.3.6. DBO<sub>5</sub>



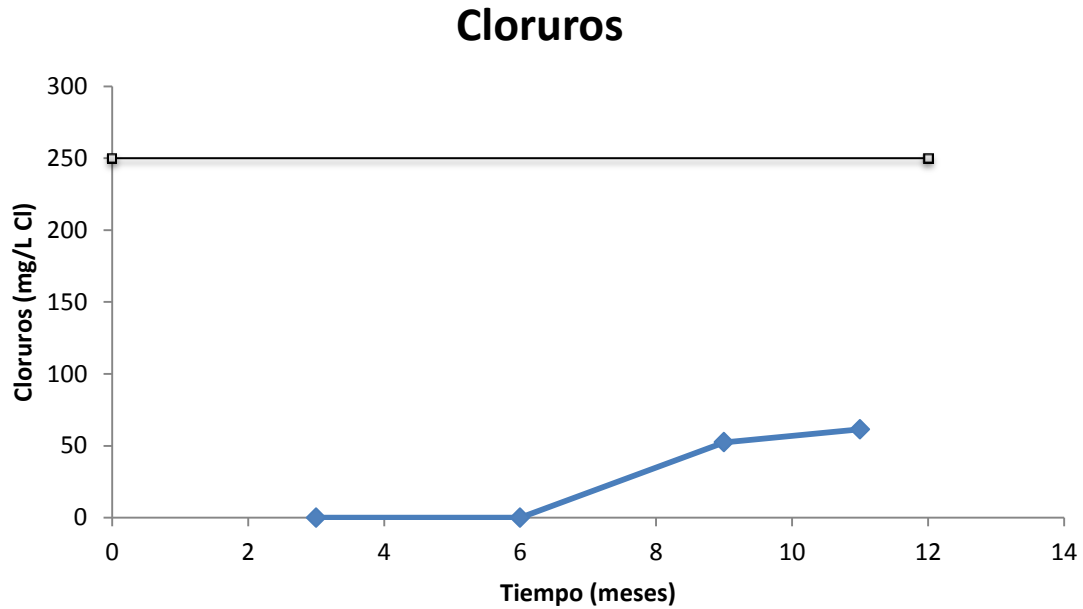
Gráfica 20. Medida trimestral II de DBO<sub>5</sub>.



En los resultados obtenidos de los parámetros de los datos de las aguas residuales del trimestral II, sucede lo mismo que en el trimestral I, todos los valores de los parámetros están dentro de los límites legales de vertido, exceptuando el fósforo total, y el nitrógeno nítrico.

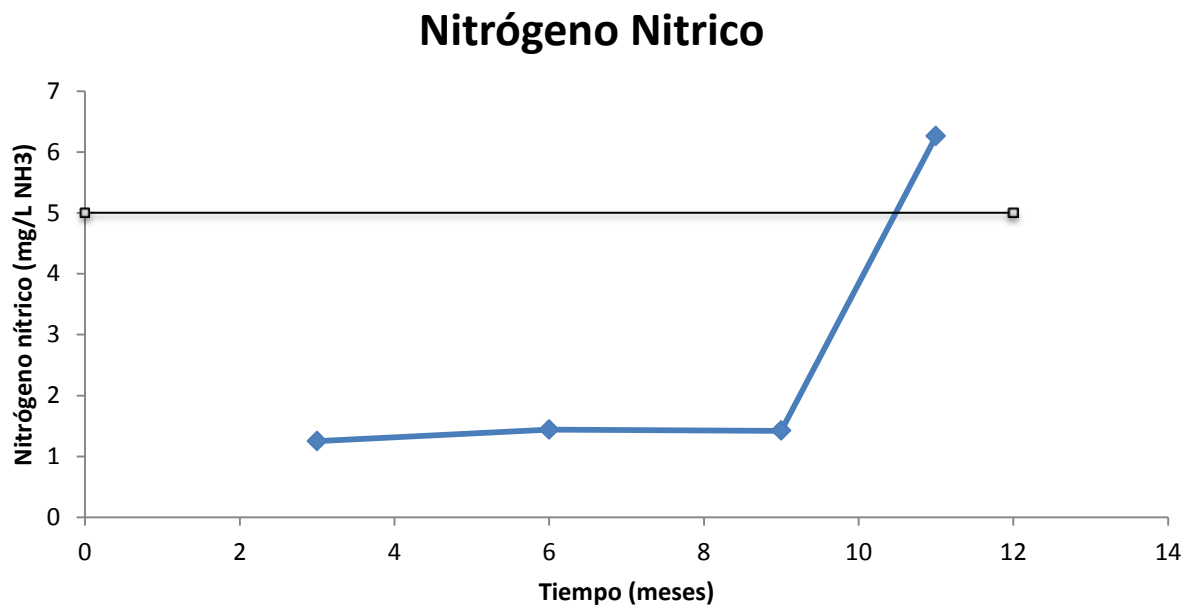
## 4.4. Resultados Trimestrales III

### 4.4.1. Cloruros



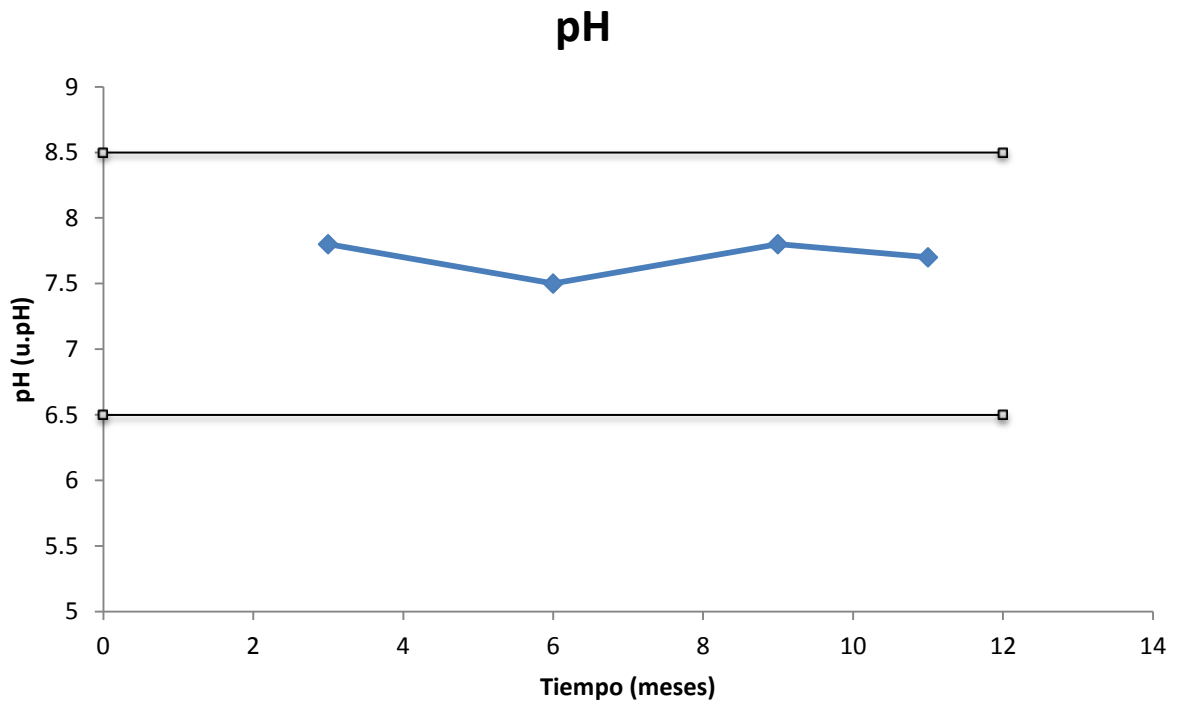
Gráfica 21. Medida trimestral III de Cloruros.

### 4.4.2. Nitrógeno nítrico



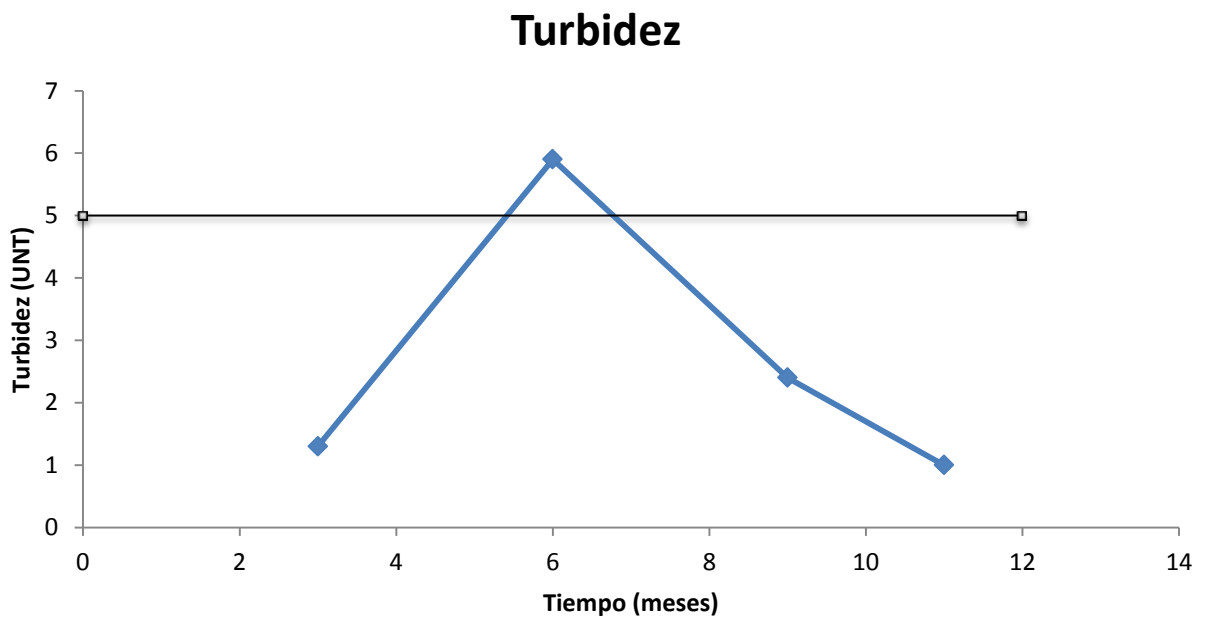
Gráfica 22. Medida trimestral III de Nitrógeno Nítrico.

#### 4.4.3. pH



Gráfica 23. Medida trimestral III de pH.

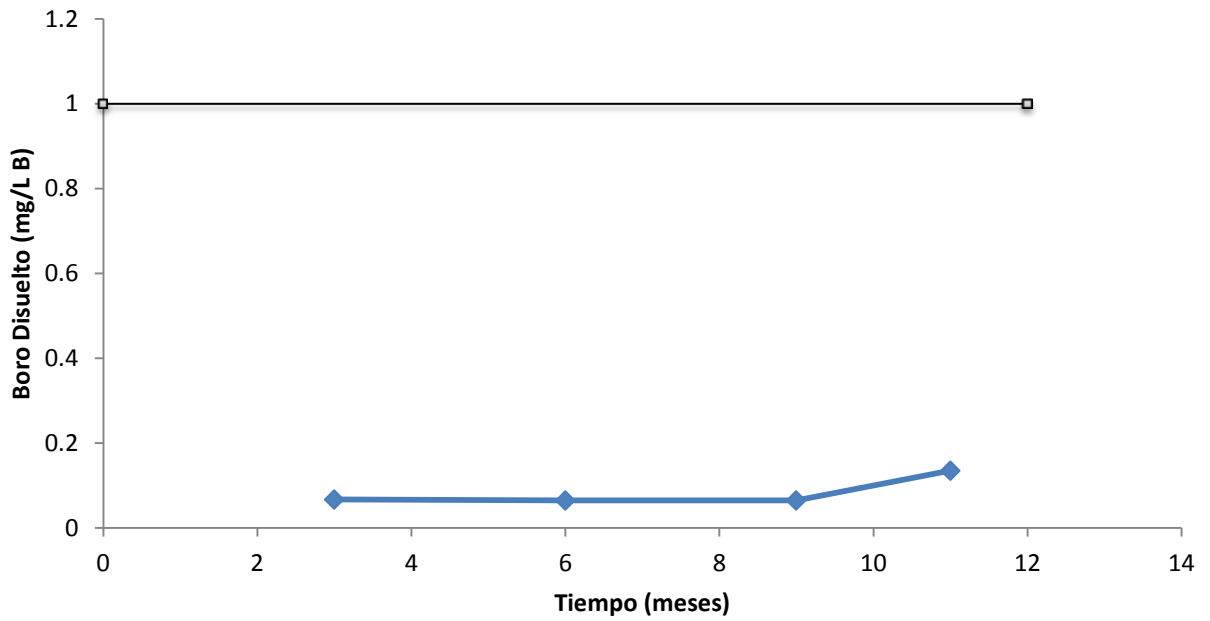
#### 4.4.4. Turbidez



Gráfica 24. Medida trimestral III de Turbidez.

#### 4.4.5. Boro Disuelto

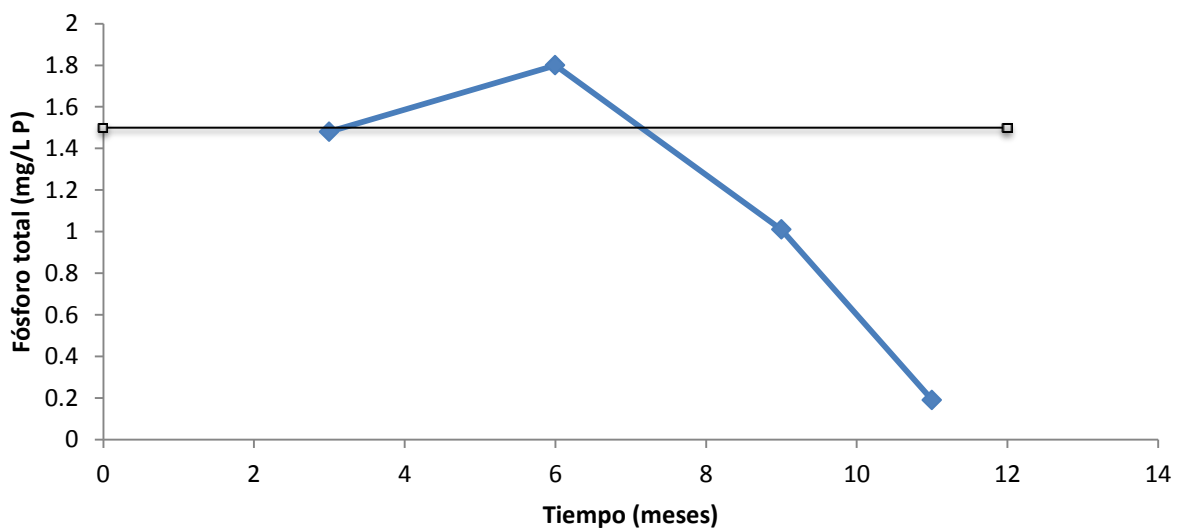
### Boro disuelto



Gráfica 25. Medida trimestral III de Boro disuelto.

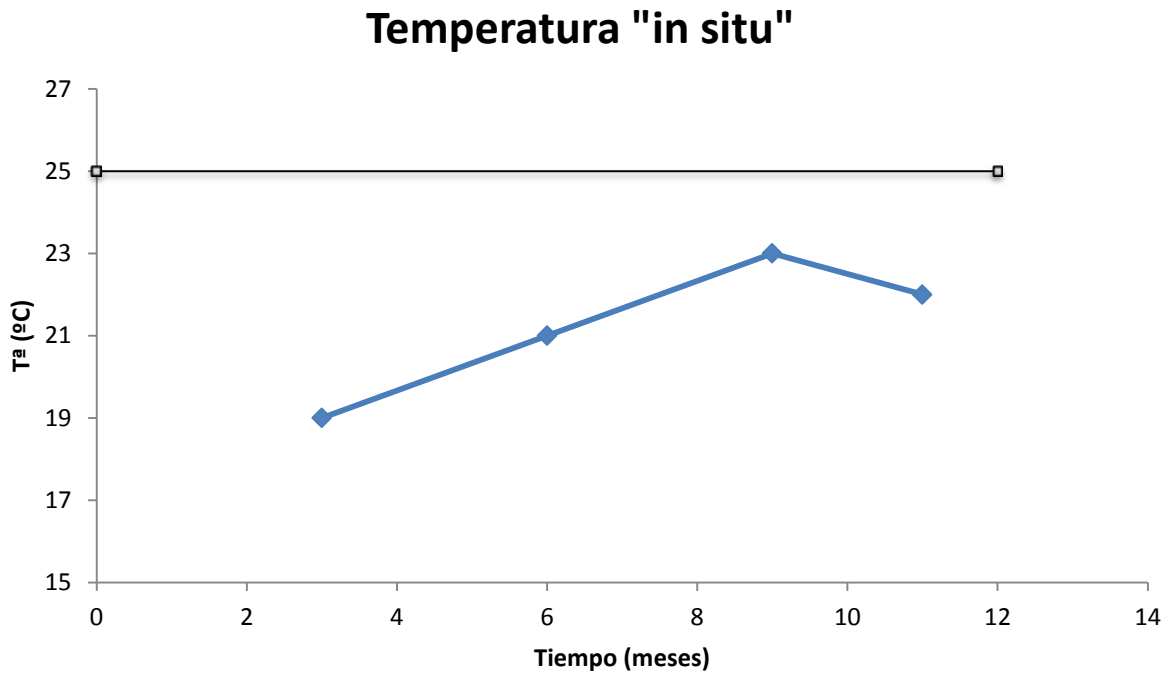
#### 4.4.6. Fósforo total

### Fósforo total



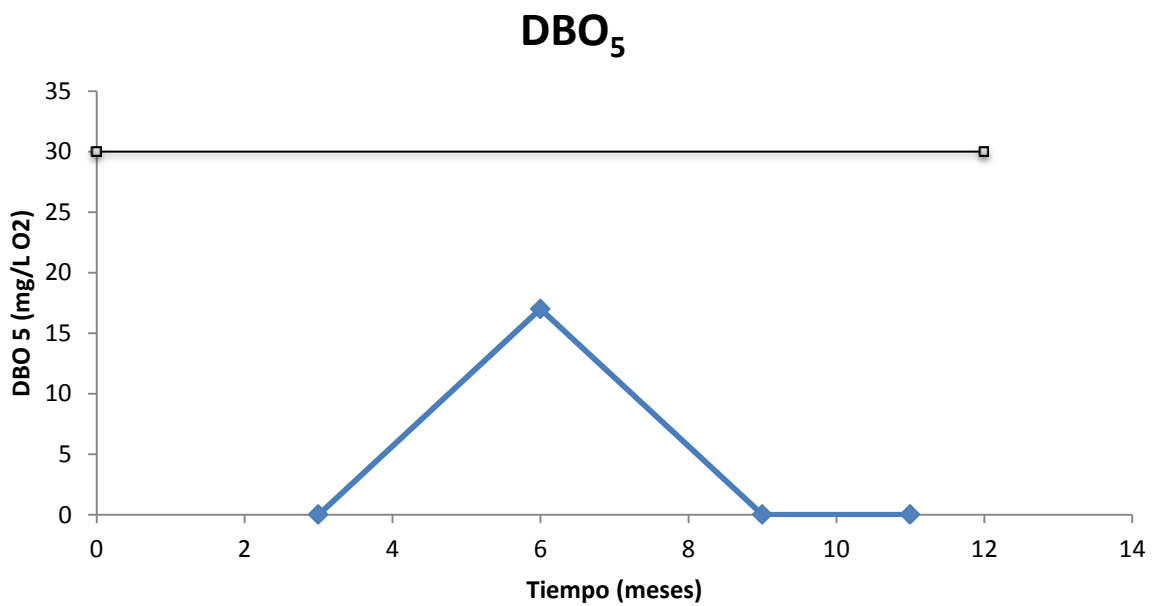
Gráfica 26. Medida trimestral III de Fósforo total.

#### 4.4.7. Temperatura "in situ"



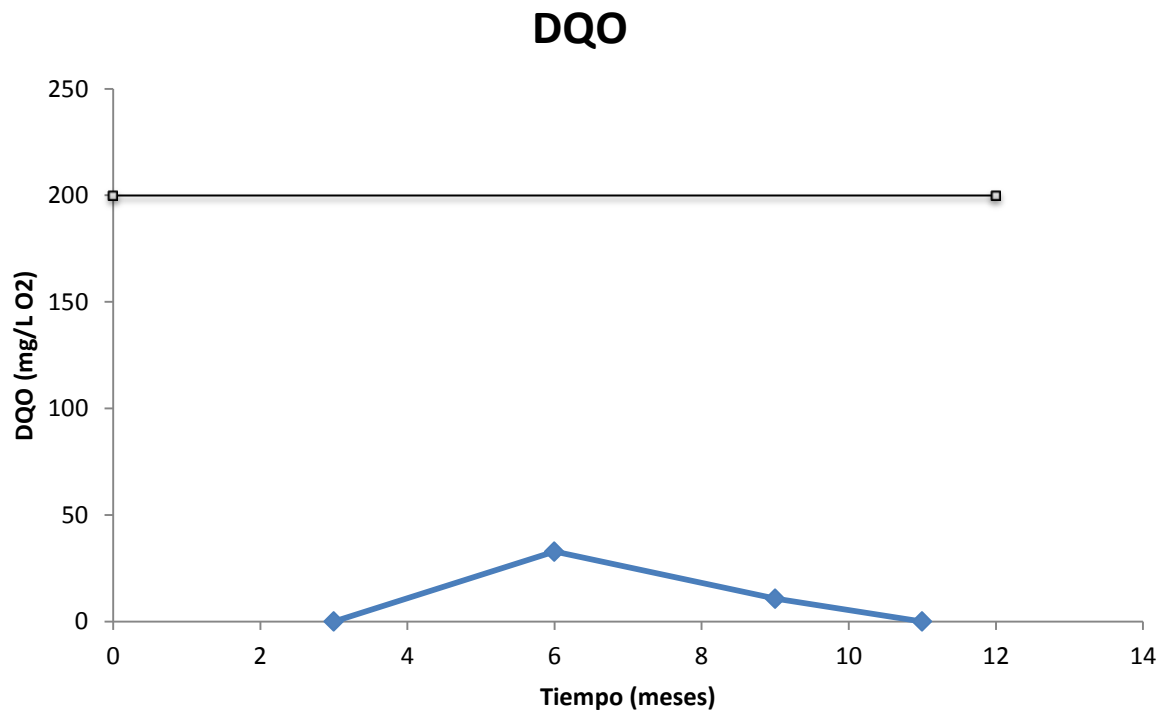
Gráfica 27. Medida trimestral III de Temperatura "in situ".

#### 4.4.8. DBO<sub>5</sub>



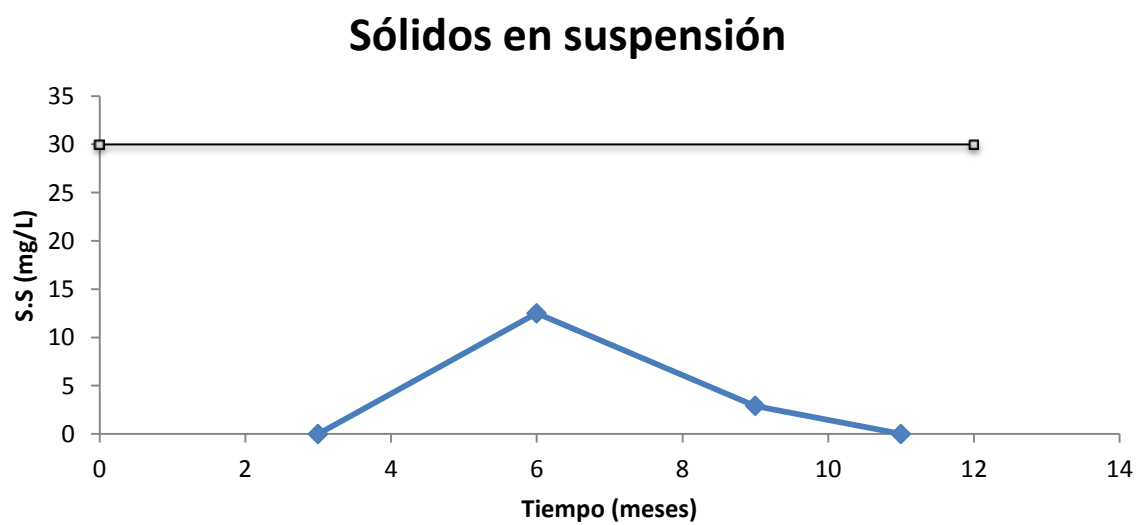
Gráfica 28. Medida trimestral III de DBO<sub>5</sub>.

#### 4.4.9. DQO



Gráfica 29. Medida trimestral III de DQO.

#### 4.4.10. Sólidos en suspensión



Gráfica 30. Medida trimestral III de Sólidos en suspensión.



En los resultados de los parámetros del trimestral III, sucede lo mismo que con los dos anteriores. En este caso todos los parámetros medidos están dentro del marco legal de la legislación exceptuando el nitrógeno nítrico, el fósforo total y en este caso también la turbidez.

Con ello, se ha podido observar que los tratamientos trimestrales solo desvarían dos parámetros comunes en todas ellas, que son el fósforo total y el nitrógeno nítrico, pero como bien se ha comentado con anterioridad, la toma de muestra trimestral es muy poco eficaz, debido a que durante el periodo de tres meses, puede ocurrir diversos casos que modifiquen las condiciones de las aguas, pero como solo se tomó una muestra cada tres meses, estas anomalías se subsanan con el resto de los días que el agua no sufre ninguna variación. El resto de parámetros medidos en las aguas trimestrales siguen una continuidad, sin ninguna variación, dentro de los límites.

En cuanto a los parámetros medidos en el agua anual, sucede algo diferente, ya que todos los parámetros se mantienen dentro de los límites establecidos, pero es concretamente en el mes de marzo, cuando todos los valores se disparan. Esto no sabemos a qué hace referencia, pero se puede suponer que en marzo ha habido algún vertido inusual al resto del año con lo que todos los valores se disparan.



## 5. CONCLUSIONES

Concluyendo cabe destacar que:

- En la medida de los parámetros anuales, se observa claramente como en el mes de marzo ha sucedido una anomalía al resto del año. Los demás puntos están dentro de los límites establecidos o sobrepasan muy poco el límite.
- En cuanto a los resultados obtenidos de los parámetros trimestrales, se encuentran todos los parámetros dentro del marco legal, exceptuando el nitrógeno nítrico, el fósforo total y la turbidez. Estos parámetros varían con mucha facilidad, por eso, su debida complicación de medida y su desviación de la legalidad.
- Tendríamos que repetir los ensayos de aquellos parámetros que les han surgido alguna anomalía. También destacamos la falta de tomas de muestras ya que el error que se comete es bastante elevado, teniendo que coger más muestras, con la finalidad de analizarlas y con ello subsanar la anomalía aparecida.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

### 6.1. Libros y artículos

[1] Arques Sanz, Antonio. *Procesos químicos y fotoquímicos ambientalmente benignos para la degradación de efluentes acuosos industriales*, 1ª edición, 2009.

[2] Orozco Barrenetxea, Carmen. *Contaminación Ambiental; Una visión desde la Química*, Editorial Thomson, 2003.

[3] Norma UNE 77/004/89. Calidad del agua. Determinación de la demanda química de oxígeno. Método del dicromato.

[4] Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) por el método del dicromato. PNT nº2 (revisión 2); [05/04/2010]

[5] Alba Rojo, Susana. *Memoria de Prácticas de Empresa*. Facultad de Biología, Universidad de Salamanca, 2006.

[6] Standard methods for the examination of water and wastewater publicado por la APHA, 1995. pp 2-53 a 2-5.

[7] Ing. J. Trinidad Ojeda Suarez. *Manual de análisis de aguas*. Instituto Tecnológico superior Bioquímico de Irapuato (ITESI).

[8] Ronald J. Gillespie, Aurelio Beltrán. *Química, Volumen 2*. Editorial Reverté, S.A.

[9] Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia. *Fósforo total, Método del Ácido Ascórbico*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.



## 6.2. Referencias Web

[10] NATIONAL GEOGRAPHIC. Contaminación del agua.

<<http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/aguas-dulces/contaminacion-agua>>

[Consulta: 21 de mayo de 2015]

[11]INFOAGRO .Medidores de Cloro.

<[http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/categoria\\_medidor.asp?k=4](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/categoria_medidor.asp?k=4)>

[Consulta: 28 de mayo de 2015]

[12]AMBIENTUM. Determinación de cloruros.

<[http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/Determinacion\\_de\\_cloruro.asp](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_de_cloruro.asp)> [Consulta: 6 de Junio de 2015]

[14]PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS: CONDUCTIVIDAD. Segunda parte.

<<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-conductividad.pdf>>

[Consulta: 23 de Junio de 2015]

## 7. ANEXOS

### 7.1. Resultados Parámetros Anuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	
<b>Cloruros</b>	303	125	1880	70	154	400	
<b>Nitrógeno Kjeldahl</b>	1.4	3.3	58	16	21	6.7	
<b>pH</b>	8.5	8.7	5.1	7.6	7.7	8.1	
<b>Conductividad a 25°C</b>	710	686	5490	642	751	1270	
<b>Fosforo total</b>	0.49	>0.16	2.96	1.36	1.15	-----	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	74	130	110	24	14	<5	
<b>DQO</b>	185	369	1320	49	55.9	61.8	
<b>Sólidos en Suspensión</b>	33.8	16.2	43.2	22.2	18	22.8	
	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Unidades</b>
	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	
	136	84.8	86.9	303	103	109	mg/L CL
	<1	3.5	<1	2.7	3	4.6	mg/L N
	7.5	7.7	7.4	8.4	7.8	7.9	u. pH
	559	523	726	1120	727	684	μS/cm
	0.54	0.47	0.25		0.58	0.84	mg/L P
	16	8	17	22	<5	14	mg/L O <sub>2</sub>
	30.2	18.6	28.5	36	35	31.2	mg/L O <sub>2</sub>
	12.1	5.4	5.9	15.3	19.2	2.5	mg/L

Tabla 3. Valores de los parámetros de medida anual.

## 7.2. Resultados Parámetros Trimestrales I

	Marzo	Junio	Septiembre	Noviembre	Unidades
Parámetros	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	
Amoniaco	<1	<1	10.4	<1	mg/L NH <sub>3</sub>
Cloruros	75.7	112	51.8	<50	mg/L Cl
Nitrógeno Nítrico	8.95	6.3	2.25	3.87	mg/L NH <sub>3</sub>
Sulfatos	<150	<150	<150	<150	mg/L SO <sub>4</sub>
pH	7.8	7.6	7.9	7.7	u.pH
Color, apreciación "in situ"	incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	
boro disuelto	0.13	0.066	0.133	0.113	mg/L B
Fósforo total	1.24	1.69	1.84	2.14	mg/L P
Temperatura "in situ"	22	22	19	18.2	°C
DBO <sub>5</sub>	<5	<5	<5	<5	mg/L O <sub>2</sub>
DQO	<10	<10	16.5	25.9	mg/L O <sub>2</sub>
Sólidos en suspensión	<2	<2	10.4	<2	mg/L

Tabla 4. Valores de los parámetros de medida trimestral I.

## 7.3. Resultados Parámetros Trimestrales II

	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre	Unidades
Parámetros	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	
Amoniaco	<1	<1	<1	<1	mg/L NH <sub>3</sub>
Cloruros	<50	<50	<50	55	mg/L Cl
Nitrógeno Nítrico	18.2	5.37	1.75	7.3	mg/L NH <sub>3</sub>
Sulfatos	<150	<150	300	<150	mg/L SO <sub>4</sub>
pH	7.5	7.8	7.7	7.8	u.pH
Color, apreciación "in situ"	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	
Sólidos Gruesos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	
boro disuelto	0.058	0.031	0.029	0.085	mg/L B
Fósforo total	4.99	1.79	0.53	1.63	mg/L P
Temperatura "in situ"	17.9	20	20	19	°C
DBO <sub>5</sub>	<5	<5	14	<5	mg/L O <sub>2</sub>
DQO	<10	10.2	30	11.5	mg/L O <sub>2</sub>
Sólidos en suspensión	<2	3.3	15.8	<2	mg/L
Sólidos Sedimentables en 60 min.	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	ml/L

Tabla 5. Valores de los parámetros de medida trimestral II.

#### 7.4. Resultados Parámetros Trimestrales III

	Marzo	Junio	Septiembre	Noviembre	Unidades
Parámetros	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	
Escherichia Coli	<1	<1	<1	<1	ufc/100ml
Huevos de Nematodos	<1	<1	<1	<1	u/10ml
Amoniaco	9.55	11.8	<1	<1	mg/L NH <sub>3</sub>
Cloruros	<50	<50	52.4	61.4	mg/L Cl
Nitrógeno Nítrico	1.25	1.44	1.42	6.26	mg/L NH <sub>3</sub>
Sulfatos	<150	<150	<150	<150	mg/L SO <sub>4</sub>
pH	7.8	7.5	7.8	7.7	u.pH
Turbidez	1.3	5.9	2.4	1	UNT
Color, apreciación "in situ"	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	
boro disuelto	0.067	0.065	0.065	0.135	mg/L B
Fósforo total	1.48	1.8	1.01	0.19	mg/L P
Temperatura "in situ"	19	21	23	22	°C
DBO <sub>5</sub>	<5	17	<5	<5	mg/L O <sub>2</sub>
DQO	<10	32.8	10.7	<10	mg/L O <sub>2</sub>
Sólidos en suspensión	<2	12.5	2.9	<2	mg/L

Tabla 6. Valores de los parámetros de medida trimestral III.