

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	1/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales.

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M.I. Alba Beatriz Vázquez González M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández M.I. José Luis Sánchez Galarza.	M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández M.I. José Luis Sánchez Galarza.	Dr. Enrique César Valdez	30 de enero de 2017

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	2/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Índice de Prácticas

	Nombre de la práctica	Página
Práctica #1	Caracterización de Agua Residual I	3
Práctica #2	Caracterización de Agua Residual II	14
Práctica #3	Sedimentación de Partículas Floculentas	27
Práctica #4	Cloración de Agua Residual	34

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	3/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica # 1

## Caracterización del agua residual I.

**Sólidos, nitrógeno y cloro**



Tomado de: <https://gctratamiento.mx/wp-content/uploads/2021/04/tratamiento-primario-de-aguas-residuales.jpg>

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	4/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	<b>Parrillas calientes</b>	<b>Quemaduras</b>

### Equipo de protección personal, que deberá traer cada uno de los alumnos



**opcional**

## 2. Objetivos de aprendizaje

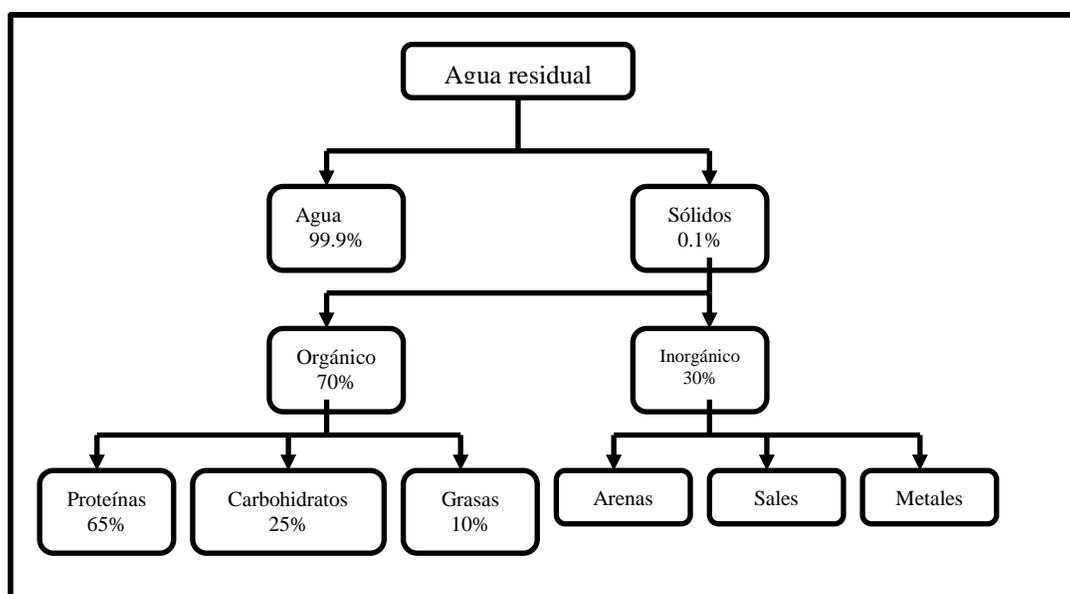
Determinar los sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, así como también, determinar alguna especie de nitrógeno y cloro como parte de los principales parámetros de calidad del agua residual municipal, proveniente del influente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria y compararlos con los valores característicos.

## 3. Introducción

Contaminación del agua es un concepto poco preciso que no nos dice nada del tipo de material contaminante ni de su fuente. El modo de atacar el problema de los residuos depende de si los contaminantes demandan oxígeno, favorecen el crecimiento de algas, son infecciosos, tóxicos o simplemente de aspecto desagradable. La contaminación de nuestros recursos hídricos puede ser consecuencia directa del desagüe de aguas municipales o de descargas industriales (fuentes puntuales), o indirecta de la contaminación del aire o de desagües agrícolas o urbanos (fuentes no puntuales).

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	5/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Las aguas residuales municipales, también llamadas “aguas negras”, son una mezcla compleja que contiene agua (por lo general más del 99%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. La Figura 1.1 muestra la composición del agua residual.



**Figura 1.1. Composición del agua residual**

Fuente: “Fundamentos de control de la calidad del agua” de Tebbutt

La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla. Ésta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. Puesto que la densidad relativa de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón) Sin embargo, cuando la densidad relativa de la mezcla no es 1.0, los mg/l y ppm son términos distintos.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	6/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Sólidos Disueltos

Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde agua potable, aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales, incluyendo los lodos producidos en los procesos de tratamiento.

### 1.1 Sólidos Totales

Se define como sólidos totales a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103[°C]. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto. Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula a peso constante previamente pesada, sobre un baño María, y luego se seca a 103 – 105 [°C] en un horno. El incremento de peso, sobre el peso inicial dividido entre el volumen de la muestra, representa el contenido de sólidos totales en mg/L.

### 1.2 Sólidos Disueltos Totales

También llamados residuo filtrable, son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos totales. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un filtro Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de peso conocido sobre un baño María y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105 [°C]. El incremento de peso sobre el de la cápsula vacía dividido entre el volumen de muestra, representa los sólidos disueltos o residuo filtrable en [mg/L].

### 1.3 Sólidos Suspendidos Totales

También denominados residuo no filtrable o material no disuelto, son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un filtro Gooch previamente pesados. El Filtro con su contenido se seca a 103 – 105 [°C]; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos o residuo no filtrable.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	7/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### 1.4 Sólidos Sedimentables

Esta denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentan, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro y midiendo el volumen de material sedimentado en el cono al cabo de una hora, en [ml/L]. La determinación de sólidos sedimentables es básica para el diseño de tanques de sedimentación, y en la operación para cuantificar su eficiencia.

#### 1.5 Sólidos Fijos y Sólidos Volátiles

En aguas residuales y lodos, se acostumbra a hacer esta determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. El procedimiento estándar consiste en someter las cápsulas que contienen los sólidos totales se calcinan en una mufla a una temperatura de 550°C, durante una hora. La pérdida de peso se registra como mg/L de sólidos volátiles y el residuo como mg/L de sólidos fijos.

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550°C la materia orgánica se oxida formando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que se volatilizan.

Si consideramos un promedio de 500 g de sólidos totales de una muestra de agua residual, la mitad serían sólidos disueltos tales como calcio, sodio y compuestos orgánicos solubles. Los 250 [g] restantes serían insolubles. La fracción insoluble consiste en aproximadamente 125 [g] de material que puede sedimentarse en 30 minutos si se deja el agua en reposo. Los 125 [g] restantes permanecerán en suspensión por largo tiempo.

## 2. Nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno, además las concentraciones de los compuestos de Nitrógeno nos proporcionan información relativa al grado de oxidación o reducción de los compuestos orgánicos.

La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aún más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según se tenga la condición aerobia o anaerobia.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	8/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Las especies de mayor interés son:

✓	Nitrógeno amoniacal	✓	Nitrógeno de nitratos
✓	Nitrógeno de nitritos	✓	Nitrógeno orgánico

Se considera como nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno que existe como ion amonio o en el equilibrio:



Por ejemplo, es posible obtener una medida de la cantidad de nitrógeno amoniacal mediante el reactivo Nessler, ( $\text{K}_2\text{HgI}_4$ ) el cual es una solución alcalina fuerte de yoduro mercúrico de potasio. El reactivo de Nessler se combina con el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), en solución alcalina, para formar una solución amarilla, cuya intensidad de color es directamente proporcional a la cantidad de  $\text{NH}_3$  originalmente presente.

### 3. Cloro

Los cloruros provocan sabor salobre en el agua, se encuentran en mayores concentraciones en el agua residual debido al contenido de cloruro de la orina. El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación se muestran en el Figura 1.2

Figura 1.2. Principales formas del cloro en las aguas

Compuesto	Nombre	No. de oxidación	Compuesto	Nombre	No. de oxidación
HCl	Ácido clorhídrico	-1	HClO <sub>2</sub>	Ácido cloroso	+3
Cl <sup>-</sup>	Ion cloruro	-1	ClO <sub>2</sub>	Ion clorito	+3
Cl <sub>2</sub>	Cloro molecular	0	HClO <sub>3</sub>	Ácido clórico	+5
HOCl	Ácido hipocloroso	+1	ClO <sub>2</sub>	Dióxido de cloro	+4
OCl <sup>-</sup>	Ion hipoclorito	+1	ClO <sub>3</sub>	Ion clorato	+5

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 30,000

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	9/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

mg/L; constituye el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Los desechos humanos, principalmente la orina, contienen cloruros en una cantidad casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. Esta cantidad es en promedio unos 6 gramos de cloruros por persona por día, e incrementa el contenido de Cl<sup>-</sup> en las aguas residuales en unos 20 mg/L por encima del contenido propio del agua. Por consiguiente, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras.

Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg/L producen un sabor salado en el agua.

#### 4. Equipo, Material y Reactivos

✓ Vasos de precipitados	✓ Matraz kitasato
✓ Conos Imhoff (3) con soporte	✓ Pinzas
✓ Desecador	✓ Estufa
✓ Probeta	✓ Balanza analítica
✓ Cápsulas de porcelana a peso constante	✓ Bomba de vacío
✓ Crisoles Gooch a peso constante	✓ Espectrofotómetro
✓ Celdas para espectrofotómetro	✓ Parrilla
✓ Piseta	✓ Reactivo para nitrógeno
✓ Papel fibra de vidrio a peso constante	✓ Reactivo para cloro
	✓ Agua residual

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	10/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

### Actividad 1

#### *Sólidos sedimentables*

1. Colocar un litro de agua residual, previamente agitada, en cada uno de los 3 conos denominados Imhoff. Los cuales cuentan con una graduación en su parte inferior en [mL/L].
2. Esperar 45 minutos a que los sólidos presentes en la muestra se sedimenten.
3. Al cumplirse el tiempo golpear las paredes de los conos propiciando la precipitación de los sedimentos adheridos a las paredes de los mismos, esperar 15 minutos más.
4. Medir en la parte inferior de los conos la cantidad de sólidos en [mL/L].
5. Realizar un promedio entre las tres lecturas de los conos, informar el resultado de sólidos sedimentables en [mL/L].

### Actividad 2

#### *Sólidos totales*

1. Tomar una cápsula de porcelana a peso constante<sup>1</sup>, registrar su peso ( $W_0$ ) utilizando la balanza analítica.
2. Colocar la cápsula en baño María, y añadir 10 [mL] de agua de muestra para que el calor evapore el agua de muestra dejando únicamente los sólidos contenidos en el agua, esto tardará aproximadamente 1 hora.
3. Una vez seca la cápsula de porcelana, introducirla dentro de la estufa durante una hora a una temperatura de entre 103 y 105 [°C], para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente.

<sup>1</sup> Cápsula y filtro Gooch a peso constante significa que previamente se introduce dicha cápsula a la estufa y se espera a que pierda toda la humedad presente en ella, hasta que al pesarla en la balanza analítica su peso sea constante ( $W_0$ ). Esperar a que la cápsula se enfríe dentro de un desecador que permite el enfriado sin adquirir humedad nuevamente, gracias a una sustancia higroscópica que absorbe la humedad. Siempre se manipularán con ayuda de pinzas.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	11/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Volver a pesar la cápsula (ya fría) en la balanza analítica ( $W_1$ ), y de la diferencia de pesos final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos totales en [mg/L], registrar el resultado.

$$S_T = \frac{W_1 - W_0}{V}$$

### Actividad 3

#### *Sólidos suspendidos*

- Tomar un filtro Gooch a peso constante<sup>1</sup> y colocar el papel filtro, registrar su peso ( $W_0$ ) con la balanza analítica.
- Armar el dispositivo de filtración:
  - ✓ Conectar un matraz Kitasato a una bomba de vacío, colocar el conector y sobre éste colocar el filtro Gooch.
- Añadir 10 [mL] de agua de muestra y filtrar.
- Introducir el filtro Gooch dentro de la estufa durante una hora a una temperatura de entre 103 y 105 [°C], para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente. Pasado el tiempo, saque la muestra y déjela enfriar en el desecador por espacio de 15 min.
- Pesar el filtro Gooch en la balanza analítica ( $W_1$ ), y de la diferencia de pesos final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos suspendidos en [mg/L], registrar el resultado.

$$S_{ST} = \frac{W_1 - W_0}{V}$$

#### *Sólidos disueltos*

- Medir el volumen de muestra filtrada que se encuentra en el matraz Kitasato. Colocar en una cápsula de porcelana.
- Colocar la cápsula a peso constante en baño María, para que el calor evapore el agua de muestra dejando únicamente los sólidos contenidos en el agua filtrada, esto tardará aproximadamente 1 hora.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	12/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Una vez seca la cápsula de porcelana, introducirla dentro de la estufa durante una hora a una temperatura de entre 103 y 105 °C, para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente.
4. Volver a pesar la cápsula en la balanza analítica ( $W_1$ ), y de la diferencia de pesos final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos disueltos en [mg/L], registrar el resultado.

$$S_{DT} = \frac{W_1 - W_0}{V}$$

#### **Actividad 4**

##### *Determinación de nitrógeno*

Utilizando el espectrofotómetro, determiné el nitrógeno siguiendo el procedimiento específico del equipo, siguiendo las indicaciones del profesor.

#### **Actividad 5**

##### *Determinación de cloro*

Utilizando el espectrofotómetro, determiné el cloro libre siguiendo el procedimiento específico del equipo, siguiendo las indicaciones del profesor.

### **6. Análisis de Resultados**

1. Realizar el análisis de cada uno de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de los mismos, así como su implicación directa o indirecta con cada uno de los objetivos.

### **7. Conclusiones**

1. Generar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados obtenidos.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	13/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 8. Bibliografía

- Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo a la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe y lo solicitado en el Anexo.

## 9. Anexos

### I. Cuestionario previo.

1. Realice un mapa conceptual basándose en la introducción.
2. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	14/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica # 2

# Caracterización del agua residual II.



Tomado de: <https://www.merus.es/wp-content/uploads/2017/01/BOD-Sampling-testing-300x269.jpg>

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	15/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Derrame de ácidos	Quemadura
2	Derrame de álcali	Quemadura

### Equipo de protección personal, que deberá traer cada uno de los alumnos



## 2. Objetivos de aprendizaje

Determinar el pH, la conductividad de sólidos disueltos, la demanda biológica o bioquímica de oxígeno (DBO), la alcalinidad, como parte de los principales parámetros de calidad del agua residual municipal, proveniente del influente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria y compararlos con los valores típicos.

## 3. Introducción

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO**

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días a 20 [°C].

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	16/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70 [%] del total de la materia orgánica oxidable. Para las aguas residuales la DBO representa aproximadamente las dos terceras partes de la demanda que sería ejercida si se oxidase toda la materia orgánica por vía biológica. El ensayo de DBO es un proceso de oxidación húmeda en la cual los microorganismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Es posible interpretar los valores de DBO en términos de materia orgánica mediante relaciones cuantitativas que expresan matemáticamente la relación entre la concentración de materia orgánica y la cantidad de oxígeno requerido para convertirla en dióxido de carbono, agua y amoníaco.

En la realización de la prueba deben considerarse dos aspectos importantes: primero, el agua puede tener un inóculo adecuado de bacterias, pero si se trata de agua residual industrial poco cargada de bacterias, habrá que añadir un inóculo. El segundo, la solubilidad del oxígeno en el agua es muy limitada, por lo que para valores altos de DBO deben hacerse diluciones. El agua de dilución se prepara conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se airea para saturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual. El cuadro 2.1 muestra las diluciones recomendadas para la determinación de la DBO.

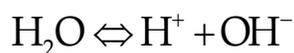
**Cuadro 2.1. Diluciones propuestas para la prueba de DBO**

0.1 – 1.0 %	Desechos industriales concentrados
1 – 5 %	Aguas negras crudas o sedimentadas
5 – 25 %	Efluentes oxidados
25 – 100 %	Aguas fluviales

### **Potencial de hidrógeno, pH**

La intensidad de acidez o basicidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de Hidrógeno presentes. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

El agua está ionizada débilmente:



	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	17/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Su constante de disociación será:

$$K_w = \frac{(\text{H}^+)(\text{OH}^-)}{(\text{H}_2\text{O})}$$

Ya que sólo cerca de  $10^{-7}$  concentraciones molares de  $[\text{H}^+]$  y  $[\text{OH}^-]$  están presentes en equilibrio, se puede tomar,  $[\text{H}_2\text{O}]$  como la unidad.

$$K_w = \frac{(1 \times 10^{-7})(1 \times 10^{-7})}{(1)}$$

El agua pura tiene como producto iónico:

$$[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = K = 1.0 \times 10^{-14} \text{ [mol/L] a } 25^\circ\text{C}$$

A esta relación se le conoce como el producto iónico del agua, y debe satisfacerse para todas las soluciones acuosas diluidas, la naturaleza ácida o básica de la solución se puede especificar por un parámetro: la concentración de los iones Hidrógeno. Dado que las concentraciones de los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  son a menudo números muy pequeños y por tanto inconvenientes para trabajar con ellos, el Bioquímico Danés, Soren Peer Lauritz Sorensen, propuso en 1909 una medida más práctica basada en la función pH.

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = \log_{10} (1/[\text{H}^+])$$

lo que resulta en una escala de 0 a 14 con 7 como neutralidad, siendo ácido por debajo de 7 y alcalino por arriba de 7. El cuadro 2.2 muestra los valores de pH para algunos fluidos.

En la neutralidad:  $(\text{H}^+) = (\text{OH}^-) = \sqrt{K_w}$

En una solución ácida:  $(\text{H}^+) > \sqrt{K_w}$

En una solución básica:  $(\text{OH}^-) > \sqrt{K_w}$  o  $(\text{H}^+) < \sqrt{K_w}$

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	18/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Cuadro 2.2 Valores de pH de algunos fluidos comunes**

	Muestra	Valor de pH
<i>Ácido</i>	Jugo gástrico en el estómago	1.0 – 2.0
	Jugo de limón	2.4
	Vinagre, Coca Cola	3.0
	Jugo de toronja	3.2
	Jugo de naranja	3.5
	Vino	4.0
	Orina	4.8 – 5.0
	Saliva	6.4 – 6.9
	Leche	6.5
<i>Neutro</i>	Agua pura	7.0
<i>Básico</i>	Sangre	7.3 – 7.4
	Lágrimas	7.4
	Clara de huevo	8.5
	Leche de magnesia	10.6
	Limpiador doméstico a base de amoníaco	11.5
	Blanqueador casero	12.5

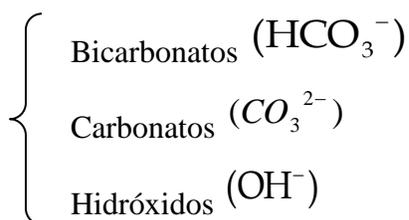
*Fuente: "Química" de Raymond Chang*

### **Alcalinidad**

La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH. La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	19/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones:



En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02 [N] y se expresa como [mg/L] de carbonato de calcio. Los iones  $\text{H}^+$  procedentes de la solución 0.02N de ácido neutralizan los iones  $\text{OH}^-$  libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos.

La fenolftaleína y el anaranjado de metilo o el metacresol púrpura y el bromocresol verde son los indicadores usados para la determinación de la alcalinidad. La fenolftaleína da un color rosado a pH mayor a 8.3 y vira a incolora para pH menor a 8.3; el anaranjado de metilo es de color amarillo en presencia de las formas de alcalinidad, o sea a pH mayor de 4.5, y vira a color naranja en condiciones ácidas; el metacresol púrpura cambia de color a pH de 8.3 y el bromocresol a verde a pH de 4.5.

### **Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, muchos fenómenos que ocurren en el agua se relacionan con la temperatura, por ejemplo: el grado de saturación de OD y la actividad biológica.

La temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura se hace con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de la estabilización del nivel o la aparición del valor.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	20/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad.

Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener una estimación rápida del contenido de sólidos disueltos.

La forma más usual de medir la conductividad del agua es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en [ $\mu\text{ohm/cm}$ ] a 25 [°C] con un error menor del 1 [%.] La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1 [cm], como se muestra enseguida.

La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como:

$$C = \frac{RA}{L}$$

Dónde: C = resistencia específica [ohm x cm]

R = resistencia [ohm]

A = área de la sección transversal del conductor [ $\text{cm}^2$ ]

L = longitud del conductor [cm]

La conductancia específica de un conductor es igual al inverso de su resistencia específica:

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{RA}$$

Dónde: K = conductancia específica [ohm/cm]

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	21/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En otras palabras, la conductancia específica, es la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de 1 [cm<sup>2</sup>], por lo tanto, numéricamente es igual a la conductividad. Como en el agua dulce el valor de la conductividad es muy pequeño, se expresa en [μohm/cm] o en unidades del sistema internacional [μsiemens/cm]

$$1 \text{ [ohm]} = 1 \text{ [siemens]}$$

#### 4. Material, Equipo y Reactivos

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Bureta y soporte universal</li> <li>✓ Pinzas para bureta</li> <li>✓ Probetas</li> <li>✓ Vaso de precipitados</li> <li>✓ Matraces Erlenmeyer</li> <li>✓ Termómetro</li> <li>✓ Frascos Winkler</li> <li>✓ Bomba de vacío y presión</li> <li>✓ Incubadora</li> <li>✓ Parrilla con agitación</li> <li>✓ Conductímetro (multiparamétrico)</li> <li>✓ Medidor de pH (multiparamétrico)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Reactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua de dilución <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Agua destilada</li> <li>○ Sulfato de magnesio</li> <li>○ Cloruro férrico</li> <li>○ Cloruro de calcio</li> <li>○ Solución amortiguadora de fosfatos</li> </ul> </li> <li>✓ Sulfato Manganoso</li> <li>✓ Alkali – yoduro – nitruro</li> <li>✓ Ácido sulfúrico concentrado</li> <li>✓ Tiosulfato de sodio (0.025 [N])</li> <li>✓ Almidón</li> <li>✓ Fenolftaleína</li> <li>✓ Anaranjado de metilo</li> <li>✓ Ácido sulfúrico (0.02 [N])</li> </ul>
--	---

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	22/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

### Actividad 1

#### *Demanda bioquímica de oxígeno, DBO.*

La DBO<sub>5</sub> se obtiene como el cociente de la diferencia de oxígeno disuelto en el agua de muestra en el primer día (OD<sub>inicial</sub>) menos el oxígeno disuelto al quinto día (OD<sub>final</sub>), sobre el porcentaje de dilución (en forma decimal) a la cual se realiza la prueba.

$$DBO_5 = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}}$$

Para la preparación del agua de dilución se requiere airearla hasta la saturación y agregar 1 [ml] de cada uno de los nutrientes por cada litro de agua de dilución. En esta práctica se realizará la prueba de DBO para 2 diluciones. Por lo tanto, se requiere preparar 2 litros de agua de dilución por grupo.

Para preparar 2 litros de agua de dilución:

- Aforar 2 litros de agua destilada, colocar en un recipiente y agregar:
  - ✓ 2 [mL] de solución amortiguadora de fosfatos.
  - ✓ 2 [mL] de sulfato de magnesio
  - ✓ 2 [mL] de cloruro de calcio
  - ✓ 2 [mL] de cloruro férrico.
- Mezclar perfectamente.
- Instalar el aireador en el recipiente que contiene el agua destilada con nutrientes. Se recomienda usar dos diluciones diferentes, para prepararlas seguir el procedimiento que se indica a continuación:
- Con ayuda de una probeta, agregar las cantidades correspondientes según sea el caso:

Ejemplo:

Dilución al 0.5 [%]	Dilución al 1 [%]	Dilución al 5 [%]
5 [mL] de agua de muestra	10 [mL] de agua de muestra	50 [mL] de agua de muestra
995 [mL] de agua de dilución	990 [mL] de agua de dilución	950 [mL] de agua de dilución

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	23/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Llenar 2 frascos Winkler de 300 [mL] con cada una de las diferentes diluciones, rotular (grupo, fecha y [%] de dilución).
6. Guardar un frasco de cada dilución en la incubadora a 20 [°C], para su análisis posterior (oxígeno disuelto final).
7. Con el frasco Winkler restante se determinará el oxígeno disuelto inicial para cada dilución de la muestra utilizando el método volumétrico de Winkler:
 

Con ayuda de su respectiva pipeta graduada, agregar al frasco Winkler:

  - a. Añadir 2 [mL] de sulfato manganeso ( $Mn_2SO_4$ ), tapar, escurrir el excedente.
  - b. Añadir 2 [mL] de álcali-yoduro-nitruro, tapar el frasco derramando el excedente y mezclar invirtiendo 15 veces. Se formará un precipitado.
    - i. Precipitado blanco indica ausencia de oxígeno.
    - ii. Precipitado café o amarillo indica presencia de oxígeno.
  - c. Esperar a que sedimente el precipitado hasta el hombro de la botella y vuelva a mezclar invirtiendo el frasco.
  - d. Añadir 2 [mL] de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) tapar y mezclar. El precipitado se disolverá y el oxígeno quedará fijado.
  - e. Con ayuda de una probeta medir 200 [mL] del frasco Winkler y colocarlos en un matraz Erlenmeyer. Agregar de 2 a 3 gotas del indicador almidón y mezclar.
8. Llenar la bureta con tiosulfato de sodio 0.025 [N] ( $Na_2S_2O_3$ ) hasta la marca cero mililitros. Cuidar que la punta de la bureta se encuentre llena.
9. Dosificar el tiosulfato de sodio, abriendo la llave de la bureta a goteo, hasta que la muestra vire al color original (contenida en el frasco Winkler), cuantificar la cantidad necesaria de tiosulfato para el cambio de color.

La cantidad en mililitros de tiosulfato utilizado corresponde directamente a los [mg/L] de oxígeno disuelto en dicha muestra. El valor obtenido con este procedimiento corresponde al valor de OD inicial, repetir este procedimiento con el frasco Winkler que se quedó incubando para obtener el valor de OD final.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	24/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En caso de realizar la prueba para otro periodo de incubación hay que corregir este valor y transformarlo a  $DBO_{5,20}$ . Si se tiene un valor determinado de DBO para un tiempo de incubación  $t$  y una temperatura  $T$ , hay que obtener la DBO última ( $L$ ).

$$L = \frac{DBO_{t,T}}{1 - e^{-k(T)t}}$$

A partir de la DBO última ( $L$ ) se puede obtener el valor de  $DBO_{t,T}$  (a cualquier tiempo y temperatura de incubación).

$$DBO_{t,T} = L(1 - e^{-k(T)t})$$

Para el caso particular de  $DBO_{5,20}$  se tiene:

$$DBO_{5,20} = L(1 - e^{-k(20)5})$$

### **Actividad 2 Potencial hidrógeno (pH)**

1. Introducir el electrodo del medidor de pH en un poco de agua de muestra y encender el medidor.
2. Esperar unos segundos a que se estabilice el valor, registrar y apagar el medidor.
3. Enjuagar el electrodo con agua destilada.

### **Actividad 3 Determinación de la alcalinidad**

1. Con ayuda de una probeta medir 50 [mL] o la cantidad que especifique el profesor, de agua de muestra y colocarlos en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregar 3 gotas de fenolftaleína.
 

{	Incolora ( $HCO_3^-$ )
{	Rosa ( $OH^-$ , $CO_3^{2-}$ )

  - a) Si la muestra permanece incolora, nos indica que solo hay alcalinidad debida a la presencia de bicarbonatos. Siga con el paso no. 3.
  - b) Si la muestra se torna rosa, hay presencia de hidróxidos y carbonatos. En ese caso titule con ácido sulfúrico 0.02 [N] hasta que la muestra vire a incolora de nuevo.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	25/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Los mililitros de ácido sulfúrico utilizados por mil entre los mililitros de muestra nos dan la alcalinidad a la fenolftaleína, en [mg/L] de CaCO<sub>3</sub>:

$$AF = \frac{mL H_2SO_4 \times 1000}{mL (muestra)}$$

3. Agregar 3 gotas de anaranjado de metilo (la muestra se tornará amarilla) y titular con ácido sulfúrico 0.02 [N], hasta que la muestra vire a color canela, para obtener la alcalinidad del anaranjado de metilo.

$$AT = \frac{mL H_2SO_4 \times 1000}{mL (muestra)}$$

Con ayuda del Cuadro 2.3 es posible determinar las concentraciones de OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Cuadro 2.3. Relaciones de alcalinidad**

Relación	Condición	Valores de alcalinidad		
		OH	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
AF = AT	OH	AF = AT	0	0
AF > AT/2	OH y CO <sub>3</sub>	2AF - AT	2(AT - AF)	0
AF = AT/2	CO <sub>3</sub>	0	2F = AT	0
AF < AT/2	CO <sub>3</sub> y HCO <sub>3</sub>	0	2AF	AT - 2AF
AF = 0	HCO <sub>3</sub>	0	0	AT

Fuente: "Calidad del Agua" de Jairo Alberto Romero Rojas

Donde:

AF = Alcalinidad calculada con el volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro.

AT = Alcalinidad calculada con el volumen de reactivo necesario para hacer virar el naranja de metilo.

**Alcalinidad total es la suma de las dos alcalinidades (AF + AT).**

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	26/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 4

### *Conductividad y temperatura*

El medidor multiparamétrico determina directamente los parámetros de: conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos; éste es un aparato electrónico que al introducir la sonda en la muestra nos proporciona directamente las lecturas de dichos parámetros con solo accionar el botón correspondiente a ellos, mostrando en una pantalla digital los valores con sus unidades.

Introduzca la sonda del multiparamétrico dentro de la muestra y haga las lecturas correspondientes de: temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos, registre los valores en las unidades adecuadas. Enjuague la sonda con agua destilada al finalizar cada una de las pruebas.

## 6. Análisis de resultados

1. Realizar el análisis de cada uno de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de los mismos, así como su implicación directa o indirecta con cada uno de los objetivos.

## 7. Conclusiones

1. Generar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados obtenidos.

## 8. Bibliografía

- Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo a la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe y lo solicitado en el Anexo.

## 9. Anexos

### I. Actividades previas a la realización de la práctica.

1. Realice un mapa conceptual basándose en la introducción.
2. Realice un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	27/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica # 3

# Sedimentación de partículas floculentas.



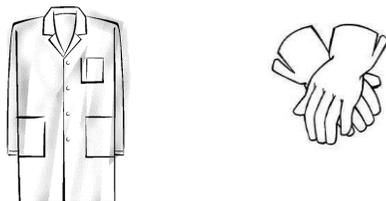
Imagen propia

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	28/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Llenado de la columna	Derrame de líquido

### Elementos de protección personal, que deberá traer cada uno de los alumnos



## 2. Objetivos de aprendizaje

Observar la sedimentación tipo II en una columna de acrílico, obtener las gráficas de porcentaje de remoción y realizar el análisis correspondiente.

## 3. Introducción

La biomasa generada en el tratamiento secundario constituye una carga orgánica significativa que es necesario remover para que el efluente pueda ajustarse a las normas oficiales mexicanas. En estanques y lagunas la remoción se logra por sedimentación en el mismo reactor. En los sistemas de lodos activados y de cultivo adherido los sólidos se remueven en sedimentadores secundarios. El sedimentador secundario es importante debido a la gran carga de sólidos y a la naturaleza esponjosa del flóculo biológico de los lodos activados.

## 4. Material, Equipo y Reactivos

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitado</li> <li>✓ Probetas</li> <li>✓ Crisol Gooch y papel filtro fibra de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Balanza analítica</li> <li>✓ Columna sedimentadora de acrílico con agitador mecánico</li> </ul>
---	---

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	02
		Página	29/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desecador</li> <li>✓ Embudo</li> <li>✓ Espátula</li> <li>✓ Pinzas para crisol</li> <li>✓ Palanganas</li> <li>✓ Matraz Kitasato</li> <li>✓ Pinzas rectas</li> <li>✓ Agitador de vidrio</li> <li>✓ Estufa</li> <li>✓ Bomba de vacío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cronómetro</li> </ul> <p><b>Reactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Caolín</li> <li>● Leche en polvo</li> <li>● Carbonato de sodio</li> <li>● Cloruro de calcio</li> <li>● Sulfato de aluminio</li> </ul>
---	---

## 5. Desarrollo

### Actividad 1

Para este análisis, se mezcla totalmente la suspensión en la columna y se determina la concentración inicial de Sólidos Suspendidos como SS0 en [mg/L]. Se toma una muestra a una profundidad h1 después del tiempo t1 y se encuentra que la concentración es SS1 en

[mg/L]. Todas las partículas con una velocidad de sedimentación mayor que  $v_1 = \frac{h_1}{t_1}$ ; se habrán sedimentado más allá del punto de muestreo y las partículas restantes, esto es SS1, deben tener una velocidad de sedimentación menor que v1. Así la proporción de partículas P1 que tienen una velocidad de sedimentación menor que v1 está dada por:

$$P_1 = \frac{SS_1}{SS_0}$$

Se repite el procedimiento en intervalos t2, t3, ... tn, y así se determinan proporciones de partículas P2, P3, ... Pn, que tienen velocidades de sedimentación menores que v2, v3, ... vn. Al graficar los tiempos y las concentraciones pueden obtenerse la curva característica de sedimentación para la suspensión.

#### *Formación de la suspensión*

1. Colocar aproximadamente 3.5 litros de agua en un recipiente.
2. Con ayuda de la balanza, pesar aproximadamente las cantidades correspondientes a los siguientes reactivos:

✓ 4 g de caolín

✓ 4 g de cloruro de calcio

✓ 4 g de carbonato de sodio

✓ 4 g de leche en polvo

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	30/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Añadir los reactivos anteriormente pesados uno a uno y agitar perfectamente hasta tener una mezcla homogénea.

### ***Prueba***

4. Verificar que todas las llaves del tubo sedimentador estén cerradas y vaciar aproximadamente 20 litros de agua en la columna.
5. Agregar la suspensión a la columna de sedimentación.
6. Prender el motor hasta la posición No. 1, para homogenizar la mezcla en toda la columna. Apagar.
7. Agregar 300 mL de sulfato de aluminio a la columna sedimentadora.
8. Con ayuda del agitador mecánico, iniciar una agitación rápida, durante 1 minuto a 125 rpm.
9. Disminuir la velocidad del agitador a 50 rpm durante 15 minutos.
10. Apagar el agitador mecánico.
11. Inmediatamente después de apagar el agitador, tomar una muestra de aproximadamente 20 mL del sedimentador.
12. De la muestra, utilizar 10 [mL] para determinar sólidos suspendidos (SS<sub>0</sub>).

### ***Determinación de sólidos suspendidos***

- a. Usando la balanza analítica, pesar un filtro Gooch de porcelana a peso constante, que contenga papel filtro en su interior.
  - b. Colocar el filtro Gooch en el kit de filtración, y pasar a través de él 10 [mL] de muestra.
  - c. Con ayuda de las pinzas largas retirar el crisol Gooch del equipo de filtración.
  - d. Secar el filtro Gooch en la estufa durante una hora a 103 [°C].
  - e. Colocar el filtro Gooch en el desecador por 15 minutos para que se enfríe sin que gane humedad.
  - f. Volver a pesar el filtro Gooch en la balanza analítica, y de la diferencia de pesos final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, se obtiene el parámetro de sólidos suspendidos en [mg/L].
13. Tomar muestras cada 5 minutos a diferentes alturas y realizar la determinación de SS.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	31/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 2

Elaborar una tabla donde se registren para los diferentes tiempos y muestras, los valores de los sólidos suspendidos.

Obtener los valores de los sólidos suspendidos

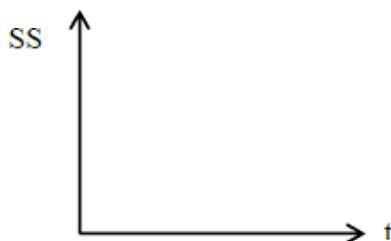
$$SS = \frac{W_{final} - W_{inicial}}{\nabla}$$

Toma A				Toma B			
Muestra	Peso inicial [mg]	Peso final [mg]	Sólidos suspendidos SS	Muestra	Peso inicial [mg]	Peso final [mg]	Sólidos suspendidos SS

## Actividad 3

Realizar las gráficas correspondientes para:

- a) Sólidos suspendidos vs Tiempo

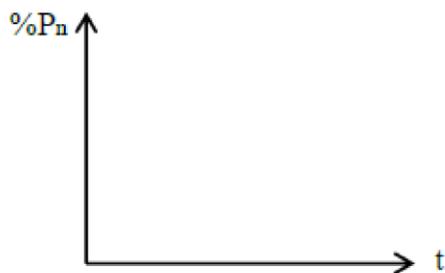


	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	32/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Obtener los porcentajes de remoción  $\%P_n$ , para los diversos tiempos y tomas.

$$\%P_n = \left[ \left( \frac{SS_0 - SS_n}{SS_0} \right) \right] \times 100$$

b) Porcentaje de remoción vs Tiempo.



#### Actividad 4

1. Enunciar los objetivos que deben cumplir los sedimentadores secundarios de sistemas de lodos activados.
2. Explicar el fenómeno de zonas de sedimentación que ocurre en los sedimentadores secundarios.

#### 6. Análisis de resultados

1. Realizar el análisis de cada uno de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de los mismos, así como su implicación directa o indirecta con cada uno de los objetivos.

#### 7. Conclusiones

1. Generar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados obtenidos.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	33/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 8. Bibliografía

- Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo con la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe y lo solicitado en el Anexo.

## 9. Anexos

### I. Cuestionario previo.

1. Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
2. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	34/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica # 4 Cloración del agua residual



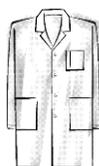
Tomado de: <https://www.simulacionesyproyectos.com/simulacion-cfd-tanque-cloracion/>

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	35/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido acético	Irritación de mucosas

### Elementos de protección personal, que deberá traer cada uno de los alumnos



## 2. Objetivos de aprendizaje

Obtener el punto de quiebre y la demanda de cloro en dicho punto para una muestra de agua residual tratada, y observar las variables que participan en la cloración.

## 3. Introducción

Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales los microorganismos patógenos, pero no sus esporas, son destruidos.

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo humano, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, hierro, cianuro y manganeso, remoción de amoníaco y color orgánico.

La popularidad del cloro como desinfectante se debe a las siguientes razones:

- ✓ Disponible como gas, líquido o en forma granular.
- ✓ Es relativamente barato.

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	36/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

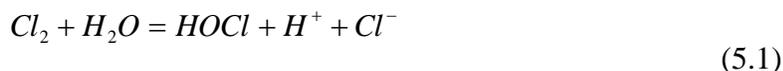
- ✓ Es fácil de aplicar, debido a su alta solubilidad.
- ✓ Tiene una alta toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- ✓ Deja un residual en solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.

Entre sus desventajas podemos señalar:

- ✓ Es un gas venenoso que requiere precaución en su manejo.
- ✓ Es altamente corrosivo en solución.
- ✓ En presencia de fenoles forma clorofenoles, los cuales dan origen a problemas serios de olores.
- ✓ Forma con algunas sustancias orgánicas trihalometanos, de los cuales se sospecha son agentes cancerígenos.

En potabilización y tratamiento de aguas el cloro se usa como gas ( $Cl_2$ ) generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio ( $NaOCl$ ), y como sólido, comúnmente hipoclorito de alto grado (HTH) o hipoclorito de calcio ( $Ca(OCl)_2$ )

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/l, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse en la ecuación 5.1, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso HOCl.

El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito:



	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	37/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Cuadro 4.1. Especies predominantes según el pH**

pH	Residual predominante
Menor de 6	HOCl
7.7	HOCl y OCl <sup>-</sup>
Mayor de 9	OCl <sup>-</sup>

Cuadro 4.1. Como es evidente, la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración del ion hidrógeno, o sea del pH.

Las especies HOCl y OCl<sup>-</sup> en el agua constituyen lo que se denomina *cloro libre disponible* o *residual libre*.

Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene:



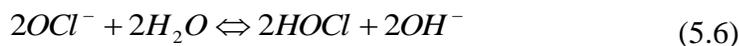
y



Finalmente, si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio:



y

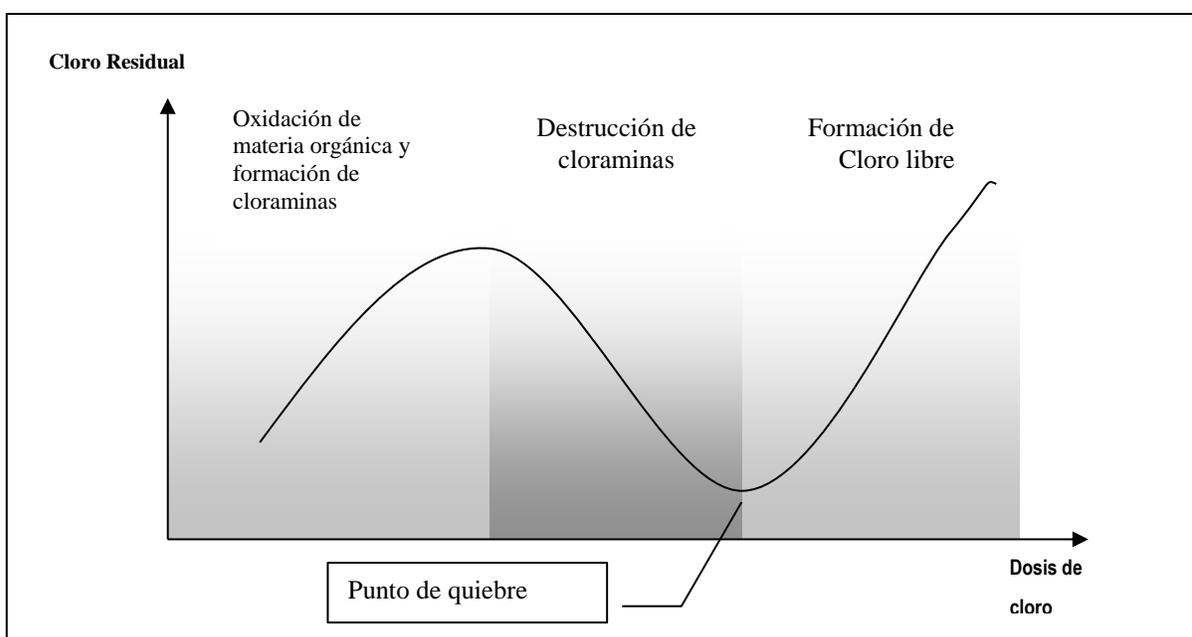


Si se mide el cloro aplicado en agua que contiene agentes reductores, amoníaco y aminas orgánicas, se puede construir una gráfica de la dosis contra los residuales obtenidos llamada curva de demanda de cloro, en la que se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y luego, finalmente, de otro incremento a partir de un punto conocido como *punto de quiebre*.

Inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, y éste reacciona con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable; una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores, éste reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes; a continuación, se presenta la destrucción de las cloraminas, que reduce

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	38/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno. Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. La Figura 4.1 muestra la curva de demanda de cloro.



**Figura 4.1. Curva de demanda de cloro**

*Fuente: "Fundamentos de control de la calidad del agua"*

#### 4. Equipo, Material y Reactivos

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitado</li> <li>✓ Pipetas graduadas</li> <li>✓ Propipetas</li> <li>✓ Bureta y soporte universal</li> <li>✓ Matraz Erlenmeyer</li> <li>✓ Probeta</li> <li>✓ Charola de aluminio</li> <li>✓ Palangana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cronómetro</li> <li>✓ Hipoclorito de sodio (solución cloradora)</li> <li>✓ Agua residual cruda</li> <li>✓ Ácido acético</li> <li>✓ Yoduro de potasio</li> <li>✓ Disolución de almidón</li> <li>✓ Tiosulfato de sodio, 0.01 [N]</li> </ul>
---	--

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	39/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

### Actividad 1

Para esta prueba usar de 10 a 12 muestras de agua residual tratada, con diferentes dosis de cloro. Hay que hacer énfasis en que el proceso requiere mucha precisión en el tiempo de aplicación de los reactivos.

1. Colocar 100 [mL] de agua residual cruda en matraces Erlenmeyer.
2. Con ayuda de una pipeta graduada medir dosis crecientes de hipoclorito de sodio (NaOCl), (Por ejemplo: 1, 2, 3, 4... [mL])
3. Con ayuda del cronómetro en un intervalo de 2 minutos entre cada aplicación, agregar a cada matraz una dosis diferente de hipoclorito de sodio y registrar el tiempo de ésta.

Una vez aplicada la dosis de cloro (hipoclorito de sodio) debe colocarse en la obscuridad, hay que esperar un tiempo de contacto de 10 a 15 minutos, para que éste reaccione con los compuestos correspondientes. Se determinará luego el cloro residual libre.

4. Al terminar el tiempo de contacto, agregar inmediatamente a cada matraz que contiene la muestra:
  - ✓ 2.0 [mL] de ácido acético.
  - ✓ 1 [g] de yoduro de potasio.
5. Dejar un tiempo de contacto de 10 A 15 min con los reactivos.
  - ✓ agregar 3 a 5 gotas de almidón.
6. Titular enseguida con tiosulfato de sodio (0.01 [N])

Para obtener el cloro inicial y cloro residual o cloro libre se aplican las siguientes ecuaciones:

**Cloro inicial.** 
$$Cl_i = \frac{C \times v}{100 + v} \quad (4.7)$$

Donde:

C: concentración normal de la solución cloradora  
v: volumen de la solución cloradora en mL

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	40/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### *Cloro final.*

$$Cl_f = \frac{N \times V \times 35450}{100} \quad (4.8)$$

Donde:

N: concentración normal del tiosulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0.01 [N]

V: volumen utilizado de tiosulfato en mililitros.

35450: factor de conversión de unidades a [mg/L].

$$\textit{Demanda de cloro} = \textit{/dosis de cloro} - \textit{cloro residual/}$$

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas; aún para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura del agua. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua, más efectiva es la desinfección; por el contrario, a pH alto disminuye la concentración de ácido hipocloroso y por consiguiente disminuye la efectividad de la cloración.

### **Actividad 2**

Anotar en la siguiente tabla los resultados obtenidos en la prueba

No. muestra	Volumen [mL]	Volumen solución cloradora [mL]	Volumen de tiosulfato de sodio [mL]	Cloro inicial [mg/L]	Cloro final [mg/L]

### **Actividad 3**

1. Elaborar una gráfica donde se represente en cloro inicial vs cloro residual, e identifique en ésta el punto de quiebre.
2. Obtener la demanda de cloro a punto de quiebre para este tipo de agua residual.

$$\textit{Demanda de cloro} = \textit{/ dosis de cloro} - \textit{cloro residual} \textit{|}$$

	<b>Manual de prácticas del laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	01
		Página	41/41
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 4

1. Investigar sobre tres procesos de desinfección utilizados en el tratamiento de aguas residuales y describir las ventajas y desventajas de cada uno.
2. ¿Cuál es la diferencia entre cloro libre y cloro combinado?
3. ¿A qué se denomina cloración a punto de quiebre?

## 6. Análisis de resultados

1. Realizar el análisis de cada uno de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de los mismos, así como su implicación directa o indirecta con cada uno de los objetivos.

## 7. Conclusiones

1. Generar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados obtenidos.

## 8. Bibliografía

- Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo con la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe y lo solicitado en el Anexo.

## 9. Anexos

### Cuestionario previo.

1. Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
2. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.