

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	1/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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. José Salvador Salinas Telésforo M.I. Alba Beatriz Vázquez González M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández Dr. Enrique César Valdez	M.I. José Salvador Salinas Telésforo M.I. Alba Beatriz Vázquez González M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández Dr. Enrique César Valdez	M.I. Marisol Alfonso Romero	10 de febrero de 2025

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	2/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Índice de Prácticas (\*)

No.	Nombre de la práctica	Página
1	Caracterización de Agua Residual I	3
2	Caracterización de Agua Residual II	17
3	Sedimentación de partículas floculentas	35
4	Cloración de Agua Residual	44

(\*) El presente Manual de Laboratorio, si bien se fundamenta en las indicaciones establecidas en la normatividad aplicable, estas han sido adaptadas didácticamente a las necesidades propias del laboratorio. Y no sustituye a las normas, por lo que se recomienda su consulta

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	3/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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 cloruro**



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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	4/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Parrillas calientes	Quemaduras, daño eléctrico y al equipo
2	Bomba de vacío	Daño eléctrico/daño a equipo
3	Estufa a 103-105°C	Quemaduras, daño eléctrico y al equipo
4	Espectrofotómetro	Daño eléctrico/daño a equipo
5	Manejo de reactivos	El contenido no debe estar en contacto con la piel.
6	Vidrio roto	Cortadura

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



**Bata**



**Guantes de nitrilo**

## 2. Objetivos de aprendizaje

Determinar los sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, así como también determinar alguna especie de nitrógeno (nitrógeno

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	5/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

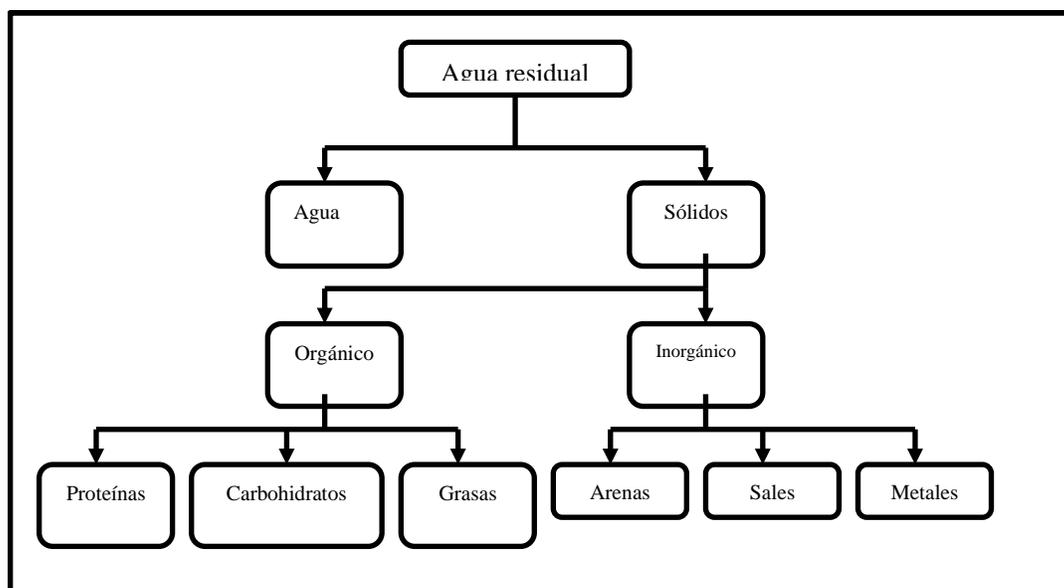
amoniaco, nitrato o nitritos) y cloruro como parte de los principales parámetros de calidad del agua residual municipal, proveniente del influente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria y compararlos con los valores característicos.

### 3. Introducción

Contaminación del agua es un concepto poco preciso que no nos dice nada del tipo de material contaminante ni de su fuente. Las necesidades de tratamiento del agua dependen de si los contaminantes demandan oxígeno, favorecen el crecimiento de algas, son infecciosos, tóxicos o si causan malos olores y un aspecto de insalubridad. La contaminación de los recursos hídricos es consecuencia de descargas de aguas residuales municipales e industriales (fuentes puntuales) o indirecta proveniente de la atmósfera o de fuentes no puntuales como el drenaje de áreas agrícolas

Las aguas residuales municipales 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	6/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



**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 masa/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desechos 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 masa/masa, 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. El método utilizado para medir la concentración de sólidos en todas sus formas es gravimétrico que implica el uso de una balanza analítica, la cual se utiliza para registrar el cambio en la masa de sólidos por unidad de volumen de agua.

## 1. Sólidos

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	7/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 durante una hora. El incremento de peso, sobre la masa 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; la muestra filtrada se evapora en una cápsula de masa constante sobre un baño María y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105°C. El incremento de masa 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 residuos no filtrables o material no disuelto son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un filtro Gooch puesto a masa constante. El filtro con su contenido se seca a 103 – 105°C; el incremento del incremento de masa, sobre la masa 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:	03
		Página	8/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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 estas determinaciones con el fin de obtener una medida de la cantidad del contenido mineral y de materia orgánica respectivamente. 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 que queda después de la incineración 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 se considera 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	9/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 2. Compuestos de nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran importancia 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.

Las especies de mayor interés son:

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

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



Es posible obtener una medida de la cantidad de nitrógeno amoniacal mediante el reactivo Nessler, ( $K_2HgI_4$ ) el cual es una solución alcalina fuerte de yoduro mercúrico de potasio. El reactivo de Nessler se combina con el nitrógeno amoniacal ( $NH_3$ ), en solución alcalina, para formar una solución amarilla, cuya intensidad de color es directamente proporcional a la cantidad de  $NH_3$  originalmente presente.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	10/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Cloruros

Los cloruros provocan sabor salobre en el agua, se encuentran en mayores concentraciones en el agua residual debido al contenido de cloruro de sodio en la orina. El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas.

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 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 de cloruro de sodio producen un sabor salado en el agua.

### 4. Equipo, Material y Reactivos

<b>Equipo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa a 103-105°C</li> <li>• Cronómetro</li> <li>• Bomba de vacío con manguera</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>
---------------	--

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	11/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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>• Espectrofotómetro HACH</li> <li>• Parrilla de calentamiento (COLE-PARMER)</li> </ul>
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitados de 100 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 250 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 4 L</li> <li>• Matraz Kitasato de 500 mL</li> <li>• Pinzas para crisol</li> <li>• Pinzas rectas(disección)</li> <li>• Conos Imhoff (3) con soporte</li> <li>• Desecadores</li> <li>• Probeta graduada de 1 L</li> <li>• Probeta graduada de 10 mL</li> <li>• Cápsulas de porcelana a masa constante</li> <li>• Crisoles Gooch a masa constante</li> <li>• Celdas para espectrofotómetro</li> <li>• Pissetas</li> <li>• Papel fibra de vidrio a peso constante</li> <li>• Adaptador de caucho</li> <li>• Paño para celdas</li> <li>• Tijeras</li> <li>• Pipetas Pasteur de 1 mL</li> <li>• Recipientes para residuos sólidos y líquidos</li> <li>• Trampa para bomba de vacío</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivos HACH para nitrógeno y cloro</li> <li>• Agua residual</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	12/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

Es recomendable que el grupo trabaje en dos brigadas, si el número de personas lo permite y el profesorado lo considera conveniente.

### 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 suavemente con una varilla de vidrio las paredes de los conos propiciando la precipitación de los sedimentos adheridos a las paredes de estos, 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. Con ayuda de las pinzas para crisol, tomar una cápsula de porcelana a masa constante<sup>1</sup> del desecador, colocarla en la balanza analítica y registrar su masa ( $M_0$ ).

---

<sup>1</sup> Cápsula y filtro Gooch a masa 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 masa sea constante ( $M_0$ ). Esperar a que la cápsula se enfríe dentro de un desecador

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	13/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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.
- Una vez evaporada la muestra, introducir la cápsula de porcelana en la estufa durante por lo menos una hora a una temperatura de entre 103 y 105°C, para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente.
- Volver a medir la masa de la cápsula (ya fría) en la balanza analítica ( $M_1$ ), y de la diferencia de masas final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos totales en [mg/L], registrar el resultado.

$$ST(mg/L) = \frac{M_1 - M_0}{V} * 10^6 \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

$M_1$ =masa final de la cápsula de porcelana, en gramos.

$M_0$ = masa inicial de la cápsula de porcelana, en gramos

$V$ = volumen de muestra colocada en la cápsula, en mililitros.

### Actividad 3

#### *Sólidos suspendidos*

- Tomar un filtro Gooch a masa constante <sup>1</sup> y colocar el papel filtro, registrar su masa ( $M_0$ ) con la balanza analítica.
- Armado el dispositivo de filtración:
  - ✓ Conectar un matraz Kitasato a una bomba de vacío.

---

que permite el enfriado sin adquirir humedad nuevamente, gracias a una sustancia higroscópica que absorbe la humedad. Siempre se manipulará con ayuda de pinzas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	14/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- ✓ Colocar el conector de hule y con ayuda de las pinzas colocar el filtro Gooch sobre este.
- 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.
  - Medir la masa del filtro Gooch en la balanza analítica ( $M_1$ ), y de la diferencia de masas final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos suspendidos en [mg/L], registrar el resultado.

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{M_1 - M_0}{V} * 10^6 \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

$M_1$ =masa final del filtro Gooch, en gramos.

$M_0$ = masa inicial del filtro Gooch, en gramos

$V$ = volumen de muestra filtrada, en mililitros.

### *Sólidos disueltos*

- Medir y registrar el volumen de muestra filtrada que se encuentra en el matraz Kitasato.
- La muestra del paso anterior se colocará en baño María en una cápsula a masa constante ( $M_0$ ), para que el calor evapore el agua de muestra dejando únicamente los sólidos contenidos en el agua filtrada, esto tardará aproximadamente 1 hora.
- 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	15/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Volver a medir la masa de la cápsula en la balanza analítica ( $M_1$ ), y de la diferencia de masa final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos disueltos en [mg/L], registrar el resultado.

$$SDT \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{M_1 - M_0}{V} * 10^6 \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde:

$M_1$ =masa final de la cápsula de porcelana, en gramos.

$M_0$ = masa inicial de la cápsula de porcelana, en gramos

$V$ = volumen de muestra colocada en la cápsula, en mililitros.

## Actividad 4

*Determinación de compuestos algún compuesto de nitrógeno*

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

## Actividad 5

*Determinación de cloruros*

Utilizando el espectrofotómetro, determine el cloro libre siguiendo el procedimiento específico del equipo.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	16/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Análisis de Resultados

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

## 7. Conclusiones

Redactar 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

### I. Actividades previas.

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:	03
		Página	17/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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:	03
		Página	18/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Derrame de ácidos	Quemadura
2	Derrame de álcali	Quemadura
3	Bomba de vacío	Daño eléctrico/daño a equipo
4	Multiparamétrico	Daño eléctrico/daño a equipo

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



**Bata**



**Guantes de  
nitrilo**



**Lentes de  
seguridad**

## 2. Objetivos de aprendizaje

Determinar algunos de los principales parámetros de calidad del agua residual como: pH, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y alcalinidad en una muestra proveniente del influente a la planta de tratamiento de aguas residuales de CU (Cerro del Agua). Comparar los datos obtenidos con los valores típicos de las aguas residuales municipales.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	19/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 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 usualmente medida después de un periodo de incubación a 20°C durante 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, por lo que se trata de un proceso aerobio.

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; es decir, 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. La DBO es un bioensayo en presencia de oxígeno disuelto donde las bacterias degradan a la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. Aunque lo que se mide en el ensayo de la DBO es el oxígeno consumido en la descomposición de la materia orgánica, puede interpretarse como la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, ya que se considera directamente proporcional al consumo de oxígeno la cantidad de materia orgánica presente degradada.

En la realización de la prueba deben considerarse dos aspectos importantes: primero, en el caso del agua residual municipal 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 con agua destilada, conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se airea para sobresaturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual. El cuadro 2.1 muestra las diluciones recomendadas para la determinación de la DBO.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	20/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**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 alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

El agua está ionizada débilmente:



su constante de disociación será:

$$K_w = \frac{(H^+)(OH^-)}{H_2O} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	21/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

ya que sólo cerca de  $10^{-7}$  concentraciones molares de  $[H^+]$  y  $[OH^-]$  están presentes en equilibrio, se puede tomar,  $[H_2O]$  como la unidad.

$$K_W = \frac{(1 \times 10^{-7})(1 \times 10^{-7})}{(1)} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

El agua pura tiene como producto iónico:

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

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  $H^+$  y  $OH^-$  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.

$$pH = -\log[H^+] = \log\left(\frac{1}{[H^+]}\right) \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

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:  $(H^+) = (OH^-) = \sqrt{K_W}$

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

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	22/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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**

	<b>Muestra</b>	<b>Valor de pH</b>
<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**

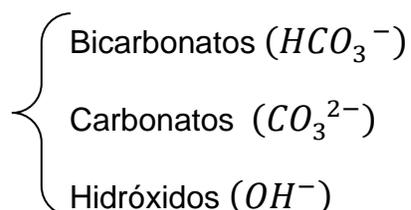
La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH. La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas. La

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	23/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en el tratamiento biológico de las aguas residuales, en los procesos de

coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

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 la 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  $H^+$  procedentes de la solución 0.02N de ácido neutralizan los iones  $OH^-$  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;

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	24/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

el metacresol púrpura cambia de color a pH de 8.3 y el bromocresol a verde a pH de 4.5.

### Temperatura

La temperatura está relacionada con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, por ello es un parámetro que debe determinarse durante el muestreo y en el laboratorio. También es fundamental en las operaciones y procesos que se realizan en una planta de tratamiento. Algunos ejemplos de procesos que son afectados por la temperatura del agua son: la solubilidad de los gases, la actividad microbiana, la sedimentación, entre otros. 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 una vez estabilizada la columna de mercurio.

### Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su capacidad 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 equipos de lectura directa en  $\mu ohm/c$  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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	25/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

$$C = \frac{RA}{L} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Dónde: C = resistencia específica [ohm x cm]

R = resistencia [ohm]

A = área de la sección transversal del conductor [cm<sup>2</sup>]

L = longitud del conductor [cm]

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

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{RA} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Dónde:

K = conductancia específica [ohm/cm]

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  $\mu\text{ohm/cm}$  o en unidades del sistema internacional  $\mu\text{Siemens/cm}$ .

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	26/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Material, Equipo y Reactivos

<b>Equipo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba de vacío con manguera</li> <li>• Multiparamétrico</li> <li>• Incubadora a 20°C</li> </ul>
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buretas de 25 mL</li> <li>• Soportes universales</li> <li>• Pinzas para bureta</li> <li>• Probetas de 1 L</li> <li>• Probetas de 250 mL</li> <li>• Probetas de 10 mL</li> <li>• Probetas de 25 mL</li> <li>• Probetas de 50 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 50 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 100 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 250 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 4L</li> <li>• Matraces Erlenmeyer de 250 mL</li> <li>• Matraces Erlenmeyer de 500 mL</li> <li>• Termómetro de alcohol</li> <li>• Frascos Winkler</li> <li>• Pipetas Pasteur de 1 mL</li> <li>• Pipetas Pasteur de 3 mL</li> <li>• Dispositivo de aireación</li> <li>• Recipiente para saturar el agua de dilución</li> <li>• Pissetas</li> <li>• Tina o palangana</li> <li>• Recipientes para residuos de DBO y alcalinidad</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua de dilución <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Agua destilada</li> </ul> </li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	27/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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>○ Sulfato de magnesio</li> <li>○ Cloruro férrico</li> <li>○ Cloruro de calcio</li> <li>○ Solución amortiguadora de fosfatos</li> <li>● Sulfato manganoso</li> <li>● Alkali yoduro-nitruro</li> <li>● Ácido sulfúrico concentrado</li> <li>● Tiosulfato de sodio 0.025 M</li> <li>● Solución de fenolftaleína (en frasco gotero)</li> <li>● Solución de anaranjado de metilo (en frasco gotero)</li> <li>● Solución de almidón (en frascos goteros)</li> <li>● Ácido sulfúrico 0.02 N</li> <li>● Agua destilada (en bidón)</li> </ul>
--	---

## 5. Desarrollo

Es recomendable que el grupo trabaje en dos brigadas, si el número de personas lo permite y el profesorado lo considera conveniente.

### 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>) después de la incubación a 20°C, sobre el porcentaje de dilución (en forma decimal) a la cual se realiza la prueba.

$$DBO_5 \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	28/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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:

1. Aforar 2 litros de agua destilada, colocar en un recipiente y agregar:
  - ✓ 2 mL de solución amortiguadora.
  - ✓ 2 mL de sulfato de magnesio
  - ✓ 2 mL de cloruro de calcio
  - ✓ 2 mL de cloruro férrico.
2. Mezclar perfectamente.
3. 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:
4. 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

5. Llenar 2 frascos Winkler de 300 mL con cada una de las diferentes diluciones, rotular (con fecha, grupo y % de dilución).
6. Incubar un frasco de cada dilución a 20°C, para su análisis posterior (oxígeno disuelto final).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	29/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Con el otro frasco Winkler se determinará el oxígeno disuelto inicial para cada muestra utilizando el método volumétrico de Winkler:

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

- a. Añadir 2 mL de sulfato manganoso ( $Mn_2SO_4$ ), tapar y escurrir el excedente. El oxígeno quedará fijado.
- 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 volver a mezclar invirtiendo el frasco.
- d. Añadir 2 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) tapar, escurrir y mezclar hasta disolver el precipitado.
- e. Con ayuda de una probeta medir 100 mL de la muestra y colocarlos en un matraz Erlenmeyer.
- f. Agregar de 2 a 3 gotas del indicador de almidón y mezclar.
- g. Llenar la bureta con tiosulfato de sodio 0.025 [M] ( $Na_2S_2O_3$ ) hasta la marca cero mililitros.
- h. Dosificar el tiosulfato de sodio, abriendo la llave de la bureta a goteo, manteniendo manualmente la agitación en la muestra contenida en el matraz hasta que la muestra vire al color original (contenida en el frasco Winkler), cuantificar la cantidad necesaria de tiosulfato para el cambio de color.
- i. Realizar el cálculo de oxígeno disuelto inicial empleando la siguiente ecuación:

$$OD_i(mg/L) = \frac{Mx \text{ ml de tiosulfato} * 8 * 1000}{98.7} \quad (\text{ecuación 2.8})$$

donde:

M = molaridad de tiosulfato

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	30/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8 = gramos equivalentes de oxígeno

98.7 = volumen corregido por el desplazamiento de los reactivos, agregados a la botella tipo Winkler

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.

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).

$$L \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{DBO_{t,T}}{1 - e^{-k(T)t}} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

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

$$DBO_{t,T} \left( \frac{mg}{L} \right) = L(1 - e^{-k(T)t}) \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

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

$$DBO_{5,20} \left( \frac{mg}{L} \right) = L(1 - e^{-k(20)5}) \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	31/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 2

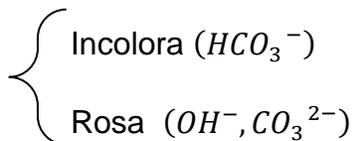
### *Potencial Hidrógeno (pH)*

1. Enjuagar el electrodo con agua destilada y secar con papel absorbente, sin frotar.
2. Introducir el electrodo en el vaso de precipitados de 100 mL que contiene a la muestra. Agitar suavemente para eliminar burbujas de aire.
3. Encender el multiparamétrico y verificar que la pantalla muestre “pH” en la parte superior de la pantalla.
4. Esperar a que se estabilice y registre la lectura (De acuerdo con la instrucción del profesorado).
5. Apagar el medidor de pH (multiparamétrico) y enjuagar el electrodo con la ayuda de una piseta 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:



- 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 se titula con ácido sulfúrico 0.02 [N] hasta que la muestra vire a incolora de nuevo manteniendo la agitación manual de la muestra mientras se añade el reactivo.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	32/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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 dan la alcalinidad a la fenolftaleína (AF), en [mg/L] de CaCO<sub>3</sub>:

$$AF = \frac{mL H_2SO_4 \times 1000}{mL (muestra)} \quad (Ecuación 2.12)$$

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

$$AM = \frac{mL H_2SO_4 \times 1000}{mL (muestra)} \quad (Ecuación 2.13)$$

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>	TOTAL
F = M	OH	F = M	0	0	AT
F > M/2	OH y CO <sub>3</sub>	2F – M	2(M – F)	0	AT
F = M/2	CO <sub>3</sub>	0	2F = M	0	AT
F < M/2	CO <sub>3</sub> y HCO <sub>3</sub>	0	2F	M – 2F	AT
F = 0	HCO <sub>3</sub>	0	0	M	AT

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

Donde:

F = Alcalinidad calculada con el volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro, en  $mg CaCO_3/L$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	33/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

M= Alcalinidad calculada con el volumen de reactivo necesario para hacer virar el naranja de metilo, en  $mg\ CaCO_3/L$

AT = Alcalinidad Total, en  $mg\ CaCO_3/L$

**La alcalinidad total es la suma de las dos alcalinidades.**

## 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

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	34/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 7. Conclusiones

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

### 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:	03
		Página	35/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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:	03
		Página	36/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Llenado de la columna	Derrame de líquido
2	Motor agitador	Daño a equipo/ corto circuito
3	Bomba de vacío	Daño a equipo/ corto circuito
4	Estufa a 103-105 °C	Daño a equipo/ cortocircuito /quemadura

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



**Bata**

## 2. Objetivos de aprendizaje

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	37/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Introducción

Como parte del tratamiento previo al tratamiento biológico de las aguas residuales se aplica la sedimentación primaria cuyo propósito es remover las partículas suspendidas orgánicas e inorgánicas. La sedimentación es de partículas que son floculentas naturalmente, sin la adición de reactivos químicos. En el caso de esta práctica se agrega coagulante para reproducir el fenómeno que ocurre en las plantas de tratamiento. Cuando se remueven los sólidos suspendidos también se remueve una fracción de la DBO.

### 4. Material, Equipo y Reactivos

<b>Equipo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza digital</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Columna sedimentadora de acrílico con agitador mecánico</li> <li>• Cronómetros</li> <li>• Estufa a 103-105°C</li> <li>• Bombas de vacío con manguera</li> </ul>
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitado de 250 mL</li> <li>• Vasos de precipitado de 100 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 4 L</li> <li>• Probetas de 10 mL</li> <li>• Probeta de 500 mL</li> <li>• Pipetas Pasteur de plástico de 1mL</li> <li>• Crisol Gooch y papel filtro fibra de vidrio a masa constante</li> <li>• Desecadores (vidrio y 2 de acrílico)</li> <li>• Embudo</li> <li>• Espátulas de plástico</li> <li>• Pinzas para crisol</li> <li>• Palanganas</li> <li>• Cubetas de plástico</li> <li>• Banco escalera</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	38/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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>• Jerga</li> <li>• Tapón de hule pequeño</li> <li>• Matraces Kitasato de 500 mL</li> <li>• Pinzas rectas</li> <li>• Agitador de vidrio</li> <li>• Adaptador de caucho</li> <li>• Trampa para bomba de vacío</li> </ul>
Reactivo	<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>• Solución de sulfato de aluminio a 7 mg/L</li> </ul>

## 5. Desarrollo

Es recomendable que el grupo trabaje en dos brigadas, si el número de personas lo permite y el profesorado lo considera conveniente.

### Actividad 1

Para este análisis, se mezcla totalmente la suspensión en la columna y se determina la concentración inicial de Sólidos Suspendidos como  $SS_0$  en [mg/L]. Se toma una muestra a una profundidad  $h_1$  después del tiempo  $t_1$  y se encuentra que la concentración es  $SS_1$  en [mg/L]. Todas las partículas con una velocidad de sedimentación mayor que  $v_1 = h_1/t_1$ , se habrán sedimentado más allá del punto de muestreo y las partículas restantes, esto es  $SS_1$ , deben tener una velocidad de sedimentación menor que  $v_1$ . Así la proporción de partículas  $P_1$  que tienen una velocidad de sedimentación menor que  $v_1$  está dada por:

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	39/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$P_1 = \frac{SS_1}{SS_0} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

### 1. Formación de la suspensión

- a) Colocar aproximadamente 3.5 litros de agua en un recipiente.
- b) Con ayuda de la balanza, medir la masa 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
- c) Añadir los reactivos anteriormente medidos uno a uno y agitar perfectamente hasta tener una mezcla homogénea.

### 2. Prueba

1. Verificar que todas las llaves del tubo sedimentador estén cerradas y vaciar aproximadamente 20 litros de agua en la columna.
2. Agregar la suspensión a la columna de sedimentación.
3. Prender el motor hasta la posición No. 1, para homogeneizar la mezcla en toda la columna.
4. Agregar 300 mL de sulfato de aluminio a la columna sedimentadora.
5. Con ayuda del agitador mecánico, iniciar una agitación rápida, durante 1 minuto a aproximadamente 125 rpm (posición 3).
6. Disminuir la velocidad del agitador a 50 rpm (posición No.1) durante 15 minutos.
7. Apagar el agitador mecánico.
8. Inmediatamente después de apagar el agitador, tomar una muestra de aproximadamente 20 mL del sedimentador. (Cada equipo elige una llave, una superior y otra inferior).
9. De la muestra, utilizar 10 mL para determinar sólidos suspendidos ( $SS_0$ ).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	40/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- a. Usando la balanza analítica, medir la masa de un filtro Gooch de porcelana puesto a masa constante, que contenga papel filtro a masa constante 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 al menos una hora a 103-105°C. La estufa deberá haber alcanzado la temperatura previamente, ya que alcanzar la temperatura puede llevar tiempo.
  - e. Colocar el filtro Gooch en el desecador por 15 minutos para que se enfríe sin que gane humedad.
  - f. Volver a medir la masa el filtro Gooch en la balanza analítica, y de la diferencia de masas final e inicial, dividida entre el volumen de la muestra analizada, se obtiene el parámetro de sólidos suspendidos en mg/L.
10. Tomar muestras cada 5 minutos a las dos diferentes alturas y realizar la determinación de SST.

## Actividad 2

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

$$SST(mg/L) = \frac{M_1 - M_0}{V} * 10^6 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

M1=masa final del filtro Gooch, en gramos.

M0= masa inicial del filtro Gooch, en gramos

V= volumen de muestra filtrada, en mililitros.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	41/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Obtener los valores de los sólidos suspendidos

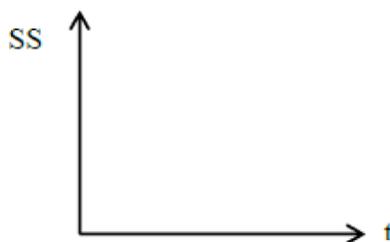
Tabla 3.1 Ejemplo

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

### Actividad 3

1. Realizar las gráficas correspondientes para:

a) Sólidos suspendidos vs Tiempo

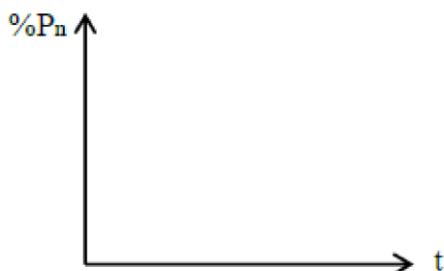


2. Obtener los porcentajes de remoción  $\%P_n$ , para los diversos tiempos y tomas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	42/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$\%P_n = \left[ \left( \frac{SS_0 - SS_n}{SS_0} \right) \right] \times 100 \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

a. Porcentaje de remoción vs Tiempo.



#### Actividad 4

Enunciar los objetivos que deben cumplir los sedimentadores primarios

## 6. Análisis de resultados

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	43/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 7. Conclusiones

Redactar 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

### I. Actividad previa.

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:	03
		Página	44/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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:	03
		Página	45/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
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

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido acético	Irritación de mucosas/quemadura
2	Vidrio roto	Cortadura/derrame de sustancias

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



**Bata**



**Cubre bocas**



**Guantes de  
nitrilo**



**Guantes de  
látex**

## 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	46/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 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.

El amplio uso del cloro como desinfectante se debe a las siguientes razones:

- ✓ Disponible como gas, líquido o en forma granular.
- ✓ Es relativamente barato.
- ✓ Es fácil de aplicar, debido a su alta solubilidad, en el caso del gas cloro (Cl<sub>2</sub>).
- ✓ 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 están:

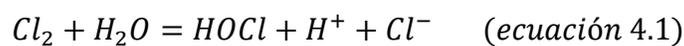
- ✓ Es un gas venenoso que requiere precaución en su manejo.
- ✓ Es altamente corrosivo en solución.
- ✓ En presencia de fenoles forma clorofenoles, los cuales dan origen a problemas serios de olores.
- ✓ Forma con algunas sustancias orgánicas trihalometanos, de los cuales se sospecha son agentes cancerígenos.

En potabilización y tratamiento de aguas el cloro se usa como gas (Cl<sub>2</sub>) generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	47/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

líquido, comúnmente hipoclorito de sodio (NaOCl), y como sólido, comúnmente hipoclorito de alto grado (HTH) o hipoclorito de calcio (Ca (OCl)<sub>2</sub>)

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:



**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.

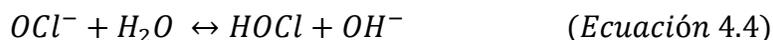
	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	48/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

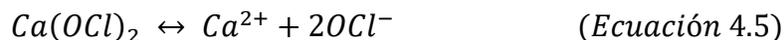
Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene:



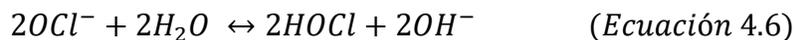
y



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



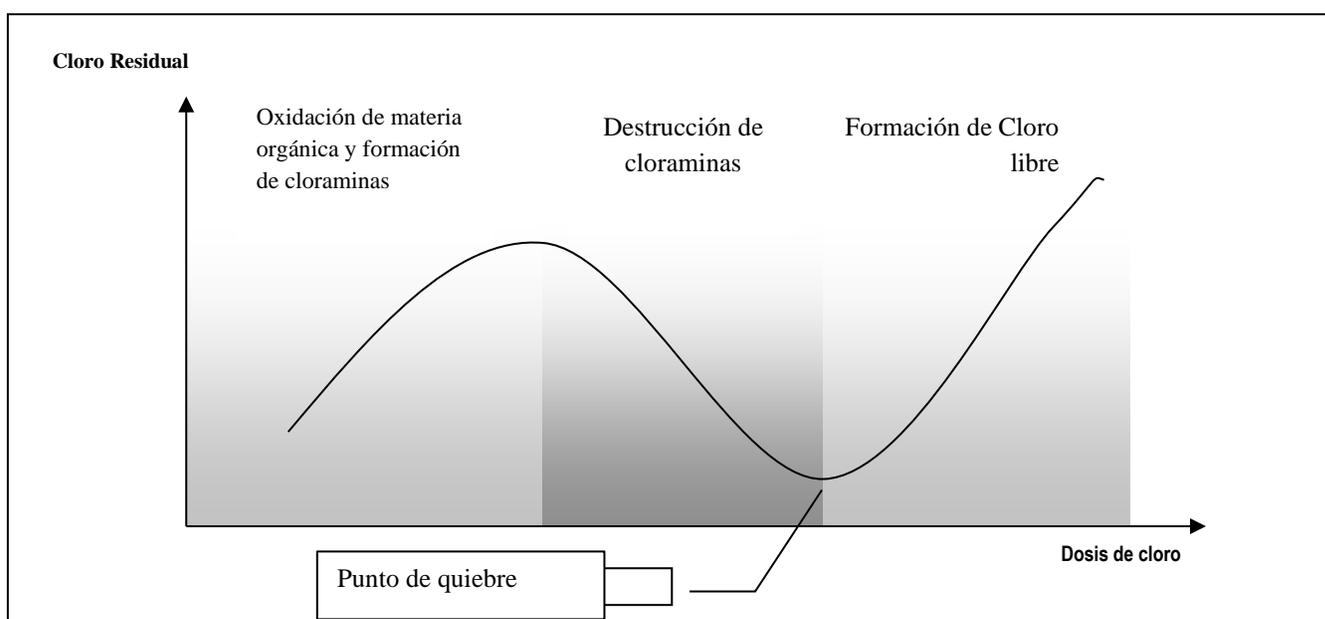
y



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 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	49/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



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

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	50/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Equipo, Material y Reactivos

<b>Equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cronómetros</li> </ul>
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitado de 100 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 250 mL</li> <li>• Vasos de precipitados de 4 L</li> <li>• Pipetas graduadas de 10 ml</li> <li>• Pipetas Pasteur de 3 mL</li> <li>• Pipetas Pasteur de 1 mL</li> <li>• Propipetas automáticas</li> <li>• Buretas de 25 mL</li> <li>• Soportes universales</li> <li>• Pinzas para bureta</li> <li>• Matraces Erlenmeyer de 250 mL</li> <li>• Probetas de 100 mL</li> <li>• Charolas de aluminio</li> <li>• Cucharas medidoras 1/8</li> <li>• Palanganas grandes</li> <li>• Masking tape o etiquetas</li> <li>• Marcador permanente</li> <li>• Recipiente para residuos</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua residual tratada y filtrada</li> <li>• Ácido acético concentrado (en frascos de 100 mL)</li> <li>• Yoduro de potasio</li> <li>• Disolución de almidón (en frascos goteros)</li> <li>• Tiosulfato de sodio, 0.01 [N] valorado</li> <li>• Hipoclorito de sodio (solución cloradora)</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	51/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

Es recomendable que el grupo trabaje en dos brigadas, si el número de personas lo permite y el profesorado lo considera conveniente.

### Actividad 1

Para esta prueba se usan 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), (1, 2, 3, 4... [mL]), aplicar con intervalos de 2 minutos medidos con el cronómetro y registrar los tiempos.
3. Una vez aplicada la dosis de cloro (hipoclorito de sodio) debe colocarse en la oscuridad, 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 con pipeta Pasteur de 3 mL.
  - ✓ 1 g de yoduro de potasio.
5. Con una diferencia de 2 minutos entre cada muestra, dejar un tiempo de contacto de 10 min con los reactivos.
  - ✓ agregar 3 a 5 gotas de almidón.
6. Titular enseguida con tiosulfato de sodio (0.01 [N])

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	52/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

**Cloro inicial.**

$$Cl_i (mg/L) = \frac{C * v}{100 + v} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Donde:

C: concentración normal de la solución cloradora

v: volumen de la solución cloradora en mL

**Cloro final.**

$$Cl_f (mg/L) = \frac{N * V * 35450}{100} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde:

N: concentración normal del tiosulfato de sodio  $Na_2S_2O_3$ , 0.01 [N]

V: volumen utilizado de tiosulfato en mililitros.

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

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas; aún para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y de la concentración deseada del cloro residual, 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	53/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 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 la dosis de cloro inicial contra la dosis de 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.

$$\text{Demanda de cloro} = |\text{dosis de cloro} - \text{cloro residual}| \quad (\text{ecuación 4.10})$$

## 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?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales</b>	Código:	MADO-35
		Versión:	03
		Página	54/54
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	10 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Análisis de resultados

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

## 7. Conclusiones

Redactar 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

### I. Actividades previas.

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