
	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	1/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 Operaciones y Procesos Unitarios

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M.I. Diana Rodríguez Bravo Esp. Ing. Juanita Elizabeth Sotelo Morales IQ. Claudia Julieta Espinosa Pérez M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández M.I. Oscar David Arroyo García IQ. Pamela Saraí Páez Ramírez	M.I. Diana Rodríguez Bravo Esp. Ing. Juanita Elizabeth Sotelo Morales IQ. Claudia Julieta Espinosa Pérez M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández M.I. Oscar David Arroyo García	M.I. Marisol Alfonso Romero	9 de agosto de 2024

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	2/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## Índice de prácticas

Práctica 1	Autodepuración del agua: Reactores completamente mezclados	3
Práctica 2	Procesos de coagulación-floculación química	17
Práctica 3	Aplicación de coagulantes naturales en procesos de coagulación-floculación	31
Práctica 4	Sedimentación secundaria.	42
Práctica 5	Procesos de filtración	55
Práctica 6	Desinfección	68

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	3/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 1:

## Autodepuración del agua: Reactores completamente mezclados

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	4/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Parrilla con agitación	Daño a equipo/eléctrico
2	Material y cristalería rota	Cortadura

### Equipo de protección personal




## 2. Objetivo de aprendizaje

Aplicar el principio de conservación de la masa para obtener el modelo matemático de un sistema en estado estacionario que contiene una sustancia conservativa a volumen constante.

## 3. Introducción

La calidad del agua en la mayor parte del mundo está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), al menos una quinta parte de la población mundial no tiene acceso a agua libre de contaminantes.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	5/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Algunos factores que afectan la calidad del agua son:

- Usos del suelo
- Producción industrial y agrícola
- Tratamiento deficiente
- Características del agua de los ríos y lagos

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales los desechos producidos por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de autodepuración, pero esta facilidad de regeneración del agua y su aparente abundancia hace que sea un vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras diversas actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran en cantidades crecientes al analizar las aguas de los lugares más remotos del mundo, muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana y dañinas para la vida.

Es por ello que surge la necesidad de contar con modelos que ayuden a determinar la concentración de un determinado contaminante en un cuerpo de agua, y de esta manera, conocer el comportamiento físico, químico y microbiológico del agua contaminada para poder prever efectos secundarios adversos.

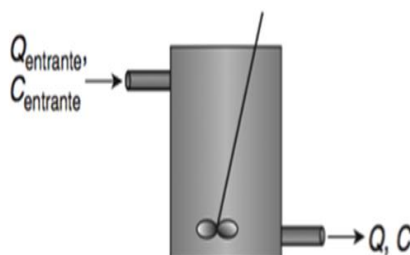
Los modelos ayudan a predecir los impactos sobre el ambiente además de ser considerados como elementos de comunicación, de gran valor para sintetizar los conocimientos de diversas disciplinas. Los modelos físicos que se desarrollan para predecir el transporte de contaminantes en el agua y aire bajo condiciones complejas, donde otros modelos no son confiables deben de considerar que durante su desarrollo pueden resultar costosos y presentar problemas

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	6/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

considerables al tratar de representar de forma acertada una situación real, por lo que es necesario que en la construcción de estos modelos el sistema de estudio se encuentre bien definido, por ejemplo, el estudio de un cambio físico, químico o bioquímico que se verifica en un tanque “reactor”.


De manera general los reactores se dividen en dos tipos: reactores intermitentes (cerrados o Batch) y reactores de flujo continuo (abiertos) ya sean de flujo pistón o de mezcla completa o “completamente mezclados”.

Un reactor de mezcla completa es una analogía que se utiliza en situaciones ambientales por ejemplo “autodepuración de ríos”. Consiste en un tanque dotado de un mecanismo de agitación que garantiza un mezclado uniforme. Un reactor de mezcla completa opera en forma continua, es decir, los flujos de entrada y salida son permanentes, se considera que la materia entrante es mezclada de manera instantánea y homogénea dentro del reactor, con lo cual se produce una concentración (masa/volumen) en el interior del reactor que también es igual a la concentración de salida (Figura 1.1).



1.1 Reactor completamente mezclado

Los modelos se basan en el principio de conservación de la masa: “la materia no se crea ni se destruye solo se transforma”. De esto parte los balances, que son un

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	7/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

método mediante el cual se hace una evaluación o recuento de los ingresos, salidas y cambios temporales de una sustancia en un sistema dentro de ciertos límites.

Los balances de masa se expresan de la siguiente forma:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} \pm \text{Transformaciones} \quad (1.1)$$

La transformación es lo que se ha producido y descompuesto debido a una o varias reacciones:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} + \text{Generación} - \text{Eliminación} \quad (1.2)$$

La acumulación se define como la variación de masa con respecto al tiempo, la ecuación 1.3 establece las siguientes igualdades:

$$A = \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{dM}{dt} = \frac{dCV}{dt} \quad (1.3)$$

Realizando la sustitución de los términos, obtenemos lo siguiente:


$$V \frac{dC}{dt} = Q_i C_i - Q_s C_s + r_G V - r_E V \quad (1.4)$$

Donde:

$V$  es el volumen,

$\frac{dC}{dt}$  : es la tasa temporal de cambio de la concentración dentro del volumen de control,

$Q_i$  y  $C_i$ : son el caudal(gasto) y la concentración de la sustancia en la corriente que ingresa al sistema, en ese orden,

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	8/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$Q$  y  $C$   $Q$  y  $C$  son el caudal (gasto) y la concentración de la sustancia en la corriente de salida del sistema.

Realizando un análisis dimensional de los diferentes términos de la ecuación 1.4 se obtiene:

$$L^3 \left( \frac{M}{L^3 T} \right) = \left( \frac{L^3}{T} \right) \left( \frac{M}{L^3} \right) - \left( \frac{L^3}{T} \right) \left( \frac{M}{L^3} \right) + \left( \frac{M}{L^3 T} \right) L^3 - \left( \frac{M}{L^3 T} \right) L^3 \quad (1.4)$$

Donde:

$L$ : Longitud

$M$ : Masa

$T$ : Tiempo

**Sistema bien mezclado en estado estacionario de una sustancia conservativa a volumen constante.**

Para el siguiente balance de masa tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El volumen permanece constante, por lo tanto, el gasto de entrada ( $Q_i$ ) es igual al gasto de salida ( $Q_s$ )


$$Q_i = Q_s = cte = Q$$

2. Siendo un sistema bien mezclado podemos considerar que la concentración a la salida del sistema es igual a la concentración de todo el sistema

$$C_{salida} = C_{sistema}$$

3. Tratándose de una sustancia conservativa, no existen transformaciones.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	9/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Por lo tanto, teniendo en cuenta las consideraciones y aplicándolas en la ecuación 1.4, tenemos la siguiente ecuación:


$$V \frac{dC}{dt} = Q(C_i - C) \quad (1.5)$$

La ecuación 1.6 de obtuvo estableciendo los límites y resolviendo la ecuación diferencial:

$$\ln(C_i - C) - \ln(C_i - C_0) = -\left(\frac{Q}{V}\right)(t - 0) \quad (1.6)$$

Realizando el acomodo y despejes necesarios llegamos a la siguiente ecuación:

$$C = C_0 e^{-\left(\frac{Q}{V}\right)t} + C_i \left[1 - e^{-\left(\frac{Q}{V}\right)t}\right] \quad (1.7)$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	10/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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>Equipo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Cronómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conductímetro</li> <li>✓ *Parrilla de agitación</li> </ul>
<b>Material</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reactor</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 250 ml</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 100 ml</li> <li>✓ Probeta de 1000 ml</li> <li>✓ Probeta de 250 ml</li> <li>✓ Probeta de 100 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agitador de vidrio</li> <li>✓ Piseta con agua destilada</li> <li>✓ Espátula de plástico</li> <li>✓ Manguera</li> <li>✓ Agitador magnético</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cloruro de sodio (NaCl)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua destilada</li> </ul>

#### 5. Desarrollo

##### Actividad 1 Reactor de Flujo Continuo

1. Utilizar una probeta de 1L, mide 4 litros (L) de agua y agrégala al reactor. Marca con una señal visible el nivel alcanzado por el agua.
2. Arma el dispositivo de un reactor de flujo continuo considerando los elementos de ejemplo que se muestran en la Figura 1.2. Coloca el agitador magnético y enciende la agitación. Introduce el conductímetro

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	11/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

(multiparamétrico) y mide la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). Esta concentración se denomina concentración de entrada ( $C_i$ ).

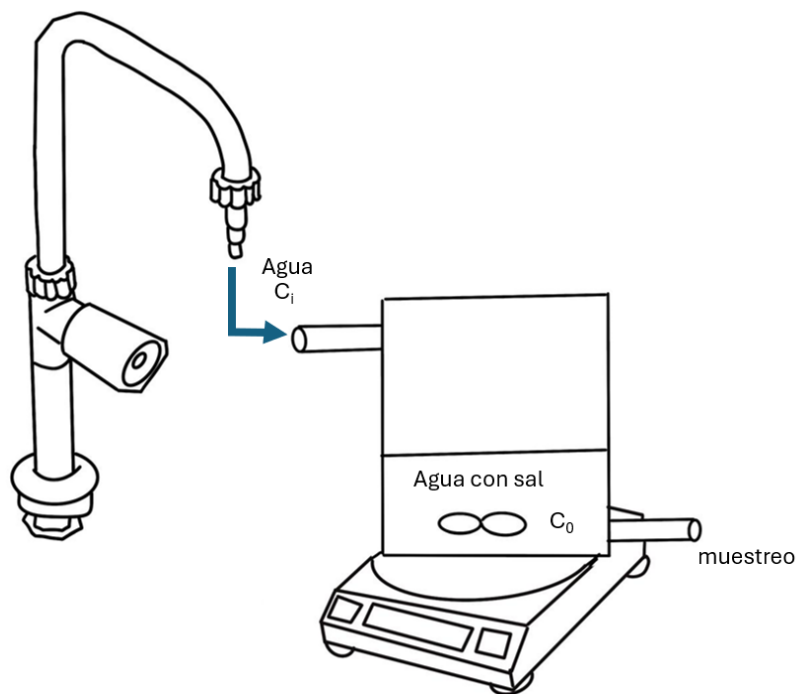



Figura 1.2. Reactor de flujo continuo.

- El caudal (gasto) de entrada se obtiene a través de las llaves de agua ubicadas en las mesas de trabajo. Ajustar el caudal (gasto) de entrada mediante la regulación de apertura de la llave hasta que coincida con el caudal (gasto) de salida. Verificar que el nivel de agua del reactor permanezca constante.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	12/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En el momento que el volumen del reactor se mantiene constante, hay que cerrar la llave a la salida del reactor y retirar la manguera del reactor sin cerrar la llave de la mesa, de manera simultánea. Es importante colocar una tina o recipiente a la salida del reactor para contener el agua antes de comenzar el ajuste.

4. Pesar 20 g de NaCl con ayuda de un vaso de precipitados de 100 ml previamente tarado y disolver en una porción de agua tomada del reactor. Añadir la solución obtenida al reactor y permitir que se mezcle completamente. Medir la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). Esta medición es la concentración inicial en el reactor,  $C_0$ .
5. Registrar los datos iniciales en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Datos iniciales de la prueba

Concentración del agua sin sal $C_i$ [mg/L]	Concentración inicial de la mezcla $C_0$ [mg/L]	Volumen de agua en el reactor $V$ [L]

6. Regresar la manguera al reactor y abrir simultáneamente la llave de salida; iniciar el cronómetro, así como la toma de muestra cada 30 segundos. Medir la concentración de SDT. Es fundamental enjuagar el electrodo del multiparamétrico (conductivímetro) entre cada medición. Registrar los datos experimentales, tomar como ejemplo la Tabla 1.2.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	13/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.2 Resultados experimentales

Tiempo [s]	Concentración C [mg/L]

Las mediciones se realizarán hasta que la concentración de SDT no presente una variación significativa.

- Para conocer el valor numérico del caudal (gasto) a la salida del reactor, medir el volumen de agua con una probeta en la salida del reactor durante un período de tiempo determinado, en [s]. Realizar al menos cinco mediciones y registrar los valores en la tabla 1.3 para cálculo del caudal (gasto) promedio del sistema.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	14/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.3. Determinación del gasto promedio.

Evento	Volumen [L]	Tiempo [s]	Q[L/s]
1			
2			
3			
4			
5			
		<b>Promedio</b>	


8. Calcular el tiempo de retención utilizando el caudal promedio obtenido de la Tabla 1.3, completar la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Cálculo del tiempo de retención.

Caudal promedio Q [L/s]	Tiempo de retención $\Theta$ [s]

## 6. Resultados y Análisis de resultados

- Utilizar el modelo matemático del "sistema completamente mezclado que contiene una sustancia conservativa" descrito por la ecuación 1.7 y calcular las concentraciones teóricas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	15/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


2. Con los datos experimentales, construir una gráfica y ajustar un modelo matemático que describa el comportamiento con un buen coeficiente de correlación.
3. Calcular el porcentaje de error.
4. Realizar una comparación entre los datos teóricos y experimentales. A través de este análisis, responde a las siguientes preguntas:
  - a) ¿Es razonable fundamentar siempre la validez de un modelo matemático basado en el cálculo de un error de prueba?
  - b) En un sistema abierto con una sustancia conservativa, determina el tiempo en el cual la concentración de salida es igual a la concentración de entrada del sistema.
  - c) ¿A qué se deben las posibles desviaciones entre los resultados teóricos y prácticos? Menciona las posibles causas de estas desviaciones

## 7. Conclusiones

Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados.

## 8. Bibliografía

- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	16/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 9. Anexos

- I. Actividades previas.
  1. Explicar los conceptos de tiempo de vida media, tiempo de retención, estado estacionario y no estacionario.
  2. Explicar el concepto de sustancia conservativa y no conservativa.  
Proporcionar 3 ejemplos de cada tipo de sustancia.
  3. Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
  4. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.


Lectura recomendada: [Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático](#)



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	17/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 2:

## Procesos de coagulación- floculación química

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	18/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Equipo eléctrico	Daño a equipo/eléctrico
2	Hidróxido de sodio 1N	Corrosivo, irritante
3	Ácido sulfúrico 1N	Reactivo, irritante
4	Material y cristalería rota	Cortadura

### Equipo de protección personal




## 2. Objetivo de aprendizaje

Comprender y determinar las variables del proceso de coagulación-floculación química en una Prueba de Jarras.

## 3. Introducción

El agua cruda (agua residual sin tratamiento) contiene diversas partículas de origen orgánico e inorgánico, de las cuales una parte sedimenta y la otra permanece suspendida en el medio.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	19/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para que dicha agua se convierta en agua para consumo humano necesita cumplir con características físicas y organolépticas como olor, sabor, color y turbiedad. El olor y sabor pueden medirse de manera ponderable a través del olfato y el gusto, sin embargo, el color y la turbiedad se determinan con métodos analíticos de laboratorio.


### Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, plancton, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el  $Al^{+3}$  o el  $Fe^{+3}$ .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el debido al material suspendido.

En general, el término color se refiere al verdadero del agua y se acostumbra a medir en conjunto con el pH, pues la intensidad del color depende del pH. Normalmente el color aumenta con el pH.

La unidad de color en aguas naturales es el color producido por un mg/L de Platino, en la forma de ion cloroplatinato; y se denominan unidades de color en la escala Platino-Cobalto (UC Pt-Co). La determinación del color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbiedad; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra, aunque también se puede llevar a cabo una filtración.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	20/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Turbiedad

La turbiedad o turbidez es la expresión de la propiedad óptica de una muestra de agua que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La causa de la turbiedad en el agua es la presencia de sólidos en suspensión que es un buen medio para la adsorción de plaguicidas, metales pesados y la proliferación de microorganismos. La importancia de este parámetro es:


- **Estética:** Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerir y utilizarla en sus alimentos.
- **Filtrabilidad:** La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- **Desinfección:** Un valor alto de la turbiedad, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

Por lo que este parámetro es útil para la determinación del tipo de tratamiento a seguir, así como cuantificar la eficiencia del proceso coagulación- floculación, filtración y la potabilidad del agua.

## Coagulación y floculación

La sedimentación es una operación de separación que se emplea para remover partículas suspendidas hasta de 50 nm, pero en el caso de partículas más pequeñas, que tienen velocidades de sedimentación muy bajas, no es factible utilizar la sedimentación para removerlas por lo que se recurre al proceso de coagulación.

La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, las cuales poseen una carga eléctrica en su superficie

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	21/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

comúnmente negativa. Para favorecer su aglomeración es necesario cambiar las características del agua a través de la incorporación de un coagulante; en consecuencia, se elimina la materia en suspensión estable y la concentración de la materia orgánica.

El coagulante suele ser una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un flóculo insoluble de hidróxido de metal que incorpore a las partículas coloidales, mediante la floculación de esta fina precipitación se producen sólidos sedimentables que posteriormente son removidos a través de métodos físicos.

Como coagulantes normalmente se utilizan sales minerales polivalentes, y su efectividad es mayor mientras mayor sea la valencia del catión, como se muestra en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Capacidad para neutralizar la alcalinidad.

Catión	Capacidad de neutralizar	Valencia
Na <sup>+</sup>	1	1+
Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup>	50	2+
Al <sup>+3</sup> , Fe <sup>+3</sup>	1000	3+

El uso de las sales de aluminio y de hierro es lo más común. Sin embargo, estos coagulantes, por la hidrólisis que experimentan, pueden modificar el pH y la conductividad del agua, y en fuertes dosis generan mucho lodo, razón por la cual surge la alternativa de utilizar floculantes o una combinación como se muestra en la Tabla 2.2:



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	22/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 2.2 Reactivos empleados para la coagulación–floculación

<b>Principales coagulantes</b>		
Sales de aluminio	Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3$
	Aluminato de sodio	$NaAlO_2$
	Cloruro de aluminio	$AlCl_3$
	Policloruro de aluminio (PAC)	$Cl_{3n}-M(OH)_mAl_n$
Sales de hierro	Sulfato ferroso	$FeSO_4$
	Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$
	Cloruro férrico	$FeCl_3$
<b>Principales floculantes</b>		
Polielectrolitos (aniónicos, catiónicos, no iónicos)		
Arcillas adsortivas (ej. bentonita)		
Sílice activada		
Cal	$Ca(OH)_2$	

La floculación es la parte de la coagulación en la cual se forman los flóculos de coloides desestabilizados para su posterior sedimentación, siendo un proceso en el cual se estimula la coalescencia de las partículas neutralizadas para formar cúmulos compactos sedimentables.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	23/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La agitación del agua por mezclado hidráulico o mecánico causa gradientes de velocidad cuya intensidad se controla en grado de floculación, permitiendo determinar la potencia requerida para un grado particular de floculación.

El tiempo de retención normal en los tanques de floculación es de 30 a 40 minutos.

#### 4. Equipo, material y reactivos

<b>Equipo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Parrilla con agitación</li> <li>✓ Aparato de jarras</li> <li>✓ Cronómetro</li> <li>✓ Medidor de pH o multiparamétrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Colorímetro</li> </ul>
<b>Material</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agitador magnético</li> <li>✓ Agitador de vidrio</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 50 ml</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 100 ml.</li> <li>✓ Pipeta Pasteur.</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 1 L</li> <li>✓ Probetas de 25 ml</li> <li>✓ Pipetas graduadas de 10 ml</li> <li>✓ Probetas graduadas de 1 L</li> <li>✓ Celdas para turbidímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Probetas de 500 ml o conos Imhoff</li> <li>✓ Tela para celda</li> <li>✓ Discos para colorímetro</li> <li>✓ Celdas para colorímetro</li> <li>✓ Piseta</li> <li>✓ Cubetas</li> <li>✓ Espátulas de plástico</li> <li>✓ Pinzas de tres dedos</li> <li>✓ Soporte universal</li> <li>✓ Propipetas</li> </ul>
<b>Reactivos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Cloruro de calcio</li> <li>✓ Carbonato de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caolín</li> <li>✓ Sulfato de aluminio</li> <li>✓ Cloruro de hierro</li> <li>✓ Hidróxido de sodio 1N</li> <li>✓ Ácido sulfúrico 1N</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	24/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 Prueba de Jarras para determinar pH óptimo

1. Preparar la muestra sintética combinando 2.3 g de cloruro de calcio, 2.3 g de carbonato de sodio y 2.3 g de caolín en 7 L de agua. Dejar la mezcla en agitación durante aproximadamente 15 minutos.
2. Tomar una muestra aproximadamente de 200 ml y medir turbiedad, pH y color. Registrar en la Tabla 2.3.


Tabla 2.3 Parámetros iniciales.

Turbiedad inicial [UNT]	pH inicial de la mezcla	Color [UC]


### Notas importantes para la medición de los parámetros:

- a) Para la medición del pH, recolectar aproximadamente 100 ml de muestra y transferirla a un vaso de precipitados. Luego, enjuague el electrodo del equipo con agua destilada y secarlo según lo indique el profesorado. Introducir el electrodo en la muestra, asegurándose de cubrir toda la superficie del electrodo. Tomar la lectura. Una vez finalizado, enjuagar el electrodo con agua destilada. Apagar el equipo.
- b) Determinar la turbidez a través de un turbidímetro. Llenar la celda asignada con la muestra, la cual se debe limpiar con un paño específico para este propósito. Posteriormente, introducir la celda en la porta celda del equipo y cerrar la tapa para evitar la entrada de luz externa. Esperar a que se registren los valores.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	25/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c) Medición de color. El colorímetro cuenta con dos celdas: en una se coloca agua de muestra hasta la marca y en la otra, agua destilada. Posteriormente, ambas celdas se introducen en la caja del colorímetro, se cierra y se asegura. Es importante realizar la comparación
3. Medir 1 L de la muestra con la ayuda de una probeta y transferir a cada vaso de precipitado.
  4. Ajustar el pH de la muestra al que sea indicado (por ejemplo: 7, 8, 9, 10), utilizar disoluciones de NaOH 1N o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N. Para lograrlo, dosificar mientras la muestra se mantiene en agitación constante y verificar el pH utilizando un potenciómetro o papel pH, (según disponibilidad).
  5. Colocar los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
  6. Verter simultáneamente en ellos las dosis del coagulante sulfato de aluminio o cloruro de hierro (indicadas por tu profesor al inicio de la sesión).
  7. Encender el aparato de jarras y ajustar la velocidad de rotación de las paletas (colocar el interruptor HIGH y manipular la perilla) a 100 revoluciones por minuto (rpm), durante un minuto; para que se inicie el proceso de floculación. A este proceso se le llama mezcla rápida.
  8. Transcurrida la mezcla rápida, cambiar la velocidad del aparato a 40 rpm (mantener el interruptor del equipo en HIGH y solo manipular la perilla) y dejar durante 15 minutos. A este proceso se le llama mezcla lenta
  9. Detener la agitación y levantar las paletas, al terminar la mezcla lenta.
  10. Dejar sedimentar las partículas floculadas durante 15 minutos, (sin mover los vasos). En esta parte de la prueba el agua mostrará cambios en su apariencia. Registrar observaciones.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	26/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

11. Decantar de cada jarra(vaso) aproximadamente 200 mL de muestra. En estas porciones de muestra, medir el pH, color y turbidez. Las mediciones obtenidas se registran en una tabla como la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Parámetros finales.

No. de jarra(vaso)	pH ajustado	Turbiedad final [UNT]	Color [UC]	pH final
1				
2				
3				
4				
5				
6				

La Tabla 2.4 nos permitirá identificar el pH óptimo, que será el pH ajustado con el menor valor de turbidez.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	27/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 2 Pruebas de Jarras para determinar dosis óptima.

1. Realizar una segunda prueba de jarras, para llevar a cabo esta prueba hay que repetir las indicaciones de los numerales del 1 al 3, señalados en la Actividad 1.

Tabla 2.5 Parámetros iniciales segunda prueba de jarras.

Turbiedad inicial [UNT]	pH inicial de la mezcla	Color [UC]

2. Ajustar el pH de la muestra al pH óptimo, utilizar disoluciones de NaOH 1N o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N. Para lograrlo dosificar mientras la muestra se mantiene en agitación constante y verificar el pH utilizando un potenciómetro o papel pH, (según disponibilidad).
3. Colocar los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
4. Verter simultáneamente en ellos dosis crecientes del coagulante sulfato de aluminio o cloruro de hierro (indicadas por tu docente al inicio de la sesión).
5. Repetir las instrucciones de los numerales del 7 al 11 de la Actividad 1.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	28/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Tabla 2.6 Parámetros finales.

No. de jarra (vaso)	Dosis de coagulante [mL]	Turbiedad final [UNT]	Color final [UC]	pH final
1				
2				
3				
4				
5				
6				

- Determinar la cantidad de lodo producido en las tres muestras con la menor turbidez. Regresar los 200 mL de muestra tomados para determinar los parámetros finales a sus vasos correspondientes. Luego, transferir el contenido total de cada vaso a conos Imhoff y dejar sedimentar durante 15 minutos. Toma la lectura del volumen de lodo en mL/L.

## 6. Resultados y Análisis de resultados

- De acuerdo con la información obtenida, realizar una comparación de los dos coagulantes utilizados.
- Elaborar gráficas de turbidez vs. pH y de dosis de coagulantes vs. turbidez.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	29/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


3. Determinar si los parámetros finales de la Tabla 2.6 cumplen con la norma NOM-127-SSA1 vigente.
4. Identificar qué coagulante y cuál es la dosis es la óptima, considerando el volumen de almacenamiento, la peligrosidad de los coagulantes, los costos y la generación de lodos. Justifica tu selección.
5. Investigar en qué etapa del proceso de tratamiento se realiza la "Prueba de Jarras".

## 7. Conclusiones

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

## 8. Bibliografía


- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021
- NORMA MEXICANA NMX-AA-045-SCFI-2001
- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	30/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 9. Anexos


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

Lectura recomendada: [Redalyc. Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara](#)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	31/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 3:

# Aplicación de coagulantes naturales en procesos de coagulación-floculación

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	32/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Equipo eléctrico	Daño a equipo/eléctrico
2	Hidróxido de sodio 1N	Corrosivo, irritante
3	Ácido sulfúrico 1N	Reactivo, irritante
4	Material y cristalería rota	Cortadura

### Equipo de protección personal




## 2. Objetivo de aprendizaje

Comparar el desempeño en la remoción de la turbiedad con diferentes dosis de un coagulante natural contra uno químico.

## 3. Introducción

En el tratamiento del agua residual como ya se ha mencionado se utiliza el proceso de coagulación y floculación cuya aplicación incluye la remoción de especies químicas disueltas, partículas responsables de la turbiedad producida por las




	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	33/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

partículas suspendidas y por el material coloidal, además remueve los microorganismos que, a menudo, se adhieren a las partículas (Guzmán et al. 2013); de acuerdo con la naturaleza del coagulante los tipos de este proceso pueden clasificarse de acuerdo con la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tipos de coagulantes y ejemplos.


Tipo	Ejemplo
Metálicos	Sulfato de aluminio, férrico y ferroso
Minerales	Carbón activado, arena fina, arcilla, sílice, etc.
Poliectrolíticos	Compuestos orgánicos sintéticos: catiónicos y aniónicos
Orgánicos o naturales	De origen animal o vegetal

Existen desventajas asociadas al uso de coagulantes de naturaleza inorgánica, como altos costos de adquisición o de manejo, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho que afectan significativamente el pH del agua tratada. Por lo que existe otra alternativa para dicho proceso, “los coagulantes naturales u orgánicos” que son extraídos de componentes de seres vivos como el quitosano que se encuentra en algunos hongos, los exoesqueletos de crustáceos como el camarón, langosta, conchas y principalmente de plantas en el mucílago de las semillas o frutos, hojas o cortezas; la ventaja de estos es la disminución del uso de sustancias químicas sintéticas y de la producción de lodos de esa naturaleza (Poveda, 2022).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	34/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


El uso de coagulantes a base de plantas para el tratamiento de aguas turbias data de varios milenios y actualmente, los científicos medioambientales han podido identificar varios tipos de plantas, para este propósito que promueve el empleo de materiales naturales.

Entre los ejemplos más relevantes de los floculantes/coagulantes de plantas se puede mencionar: La chíá (*Salvia hispanica*), moringa (*Moringa oleífera*), linaza (*Linum usitatissimum*) y taninos que se extraen principalmente de algunas cortezas de árboles y plantas como, por ejemplo, palo santo, pino y ciprés. (Choque et al., 2018)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	35/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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>Equipo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Parrilla con agitación</li> <li>✓ Aparato de jarras</li> <li>✓ Medidor de pH o multiparamétrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Cronometro</li> </ul>
<b>Material</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agitador magnético</li> <li>✓ Agitador de vidrio</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 50 ml</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 250 ml.</li> <li>✓ Pipeta Pasteur.</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 1 L</li> <li>✓ Probetas de 25 ml</li> <li>✓ Jeringas de 10 ml</li> <li>✓ Probetas graduadas de 1 L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Probetas de 500 ml o conos Imhoff</li> <li>✓ Tela para celda</li> <li>✓ Celdas para turbidímetro</li> <li>✓ Piseta</li> <li>✓ Cubetas</li> <li>✓ Espátulas de plástico</li> <li>✓ Pinzas de tres dedos</li> <li>✓ Soporte universal</li> <li>✓ Papel pH</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Muestra de agua</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Cloruro de calcio</li> <li>✓ Carbonato de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caolín</li> <li>✓ Coagulante natural (semillas de chíá 100 g)</li> <li>✓ Hidróxido de sodio 1N</li> <li>✓ Ácido sulfúrico 1N</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	36/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 Prueba de Jarras para determinar pH óptimo.


1. Preparar la muestra sintética combinando 2.3 g de cloruro de calcio, 2.3 g de carbonato de sodio y 2.3 g de caolín en 7 L de agua. Dejar la mezcla en agitación durante aproximadamente 15 minutos.
2. Tomar una muestra aproximadamente de 200 ml y medir turbiedad y pH. Registrar en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Parámetros iniciales

Turbiedad inicial [UNT]	pH inicial de la mezcla

### Notas importantes para la medición de los parámetros:

- a) Para la medición del pH, recolectar aproximadamente 100 mL de muestra y transferirla a un vaso de precipitados. Luego, enjuague el electrodo del equipo con agua destilada y secarlo según lo indique el docente. Introducir el electrodo en la muestra, asegurándose de cubrir toda la superficie del electrodo. Tomar la lectura. Una vez finalizado, enjuagar el electrodo con agua destilada. Apagar el equipo.
- b) Determinar la turbidez utilizando un turbidímetro. Llenar la celda asignada con la muestra, la cual se debe limpiar con un paño específico para este propósito. Posteriormente, introducir la celda en la porta celda del equipo y cerrar la tapa para evitar la entrada de luz externa. Esperar a que se registren los valores.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	37/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Medir 1 L de la muestra con la ayuda de una probeta y transferir a cada vaso de precipitado.
4. Ajustar el pH de la muestra al indicado por tu docente, utiliza las disoluciones de NaOH 1N o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N. Dosificar mientras la muestra está en agitación constante y verificar el pH utilizando un potenciómetro o papel pH (según disponibilidad).
5. Colocar los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
6. Verter simultáneamente en ellos las dosis del coagulante natural (indicadas por el docente al inicio de la sesión).
7. Encender el aparato de jarras y ajustar la velocidad de rotación de las paletas (colocar el interruptor HIGH y manipular la perilla) a 100 revoluciones por minuto (rpm), durante un minuto; para que se inicie el proceso de floculación. A este proceso se le llama mezcla rápida.
8. Transcurrida la mezcla rápida, cambiar la velocidad del aparato a 40 rpm (mantener el interruptor del equipo en HIGH y solo manipular la perilla) y dejar durante 15 minutos. A este proceso se le llama mezcla lenta.
9. Detener la agitación y levantar las paletas, al terminar la mezcla lenta.
10. Dejar sedimentar las partículas floculadas durante 15 minutos, (sin mover los vasos). En esta parte de la prueba el agua mostrará cambios en su apariencia. Registrar observaciones.
11. Decantar de cada jarra (vaso) aproximadamente 200 mL de muestra. En estas porciones de muestra medir el pH y turbidez. Las mediciones obtenidas se registran en una tabla como la tabla 3.3.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	38/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Tabla 3.3 Parámetros finales.

No. de jarra (vaso)	Dosis de coagulante [ml]	Turbiedad final [UNT]	pH final
1			
2			
3			
4			
5			
6			

12. Determinar la cantidad de lodo producido en las tres muestras con la menor turbidez. Regresar los 200 ml de muestra tomados para determinar los parámetros finales a sus vasos correspondientes. Luego, transferir el contenido total de cada vaso a los conos Imhoff y dejar sedimentar durante 15 minutos. Tomar la lectura del volumen de lodo en ml/L.

## 6. Resultados y Análisis de resultados

1. Realizar el análisis de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de estos.
  - a) Justificar el resultado de la dosis más eficiente de este coagulante natural.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	39/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


- b) Comparar los resultados de remoción de turbiedad entre un coagulante químico (sulfato de aluminio, cloruro de hierro) y uno natural, mediante un método estadístico de análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar si existe diferencia significativa entre ellos, establecer las hipótesis nula y alternativa, tomar en cuenta un porcentaje de error de  $\alpha=0.05$  y analizar de acuerdo con el valor crítico de F. (incluir memoria de cálculo de Excel).
- c) Establecer las ventajas y desventajas del uso de coagulantes naturales a gran escala.

## 7. Conclusiones

Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados obtenidos, además de la aceptación o rechazo de la hipótesis nula del análisis estadístico.

## 8. Bibliografía

- Choque Q., D.; Choque Q., Y.; Solano R., A. M.; Ramos P., B.S. 2018. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua Tecnología Química, vol. 38, núm. 2, 2018 Universidad de Oriente Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558422008>


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	40/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Guzmán, L.; Villabona, Á.; Tejada, C. y García, R. 2013. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 16(1), 253-262. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262013000100029&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029&lng=en&tlng=es).
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021
- NORMA MEXICANA NMX-AA-045-SCFI-2001
- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Poveda, O.R.A. 2022. Obtención de coagulantes / floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua. Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magíster en Química. Ecuador
- D. N. Villa, M. Á. Osorio R. M. Á., Villacis Venegas. N. Y. 2020., “Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos,” Ciencias técnicas y Apl., vol. 6, no. 2, pp. 503–524, 2020, Disponible en: [Dialnet-ExtraccionPropiedadesYBeneficiosDeLosMucilagos-7398459.pdf](#)

## 9. Anexos

- I. Actividades previas.
  1. Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
  2. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
  3. Realizar una justificación de la importancia de aplicar métodos estadísticos a los resultados experimentales y un mapa conceptual de los análisis estadísticos utilizados para comparar diferentes muestras y establecer diferencias significativas.




	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	41/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Lectura recomendada:

<https://www.redalyc.org/journal/776/77660294002/77660294002.pdf>


Sugerencia de consulta para el análisis estadístico utilizando Excel

<https://www.youtube.com/watch?v=EB4rjGNpJU4>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	42/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 4:

## Sedimentación secundaria

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	43/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Equipo eléctrico	Tensión eléctrica
2	Hidróxido de sodio 1N	Corrosivo, irritante.
3	Ácido Sulfúrico 1N	Reactivo, irritante.
4	Piso mojado	Resbalar, caídas

Equipo de protección personal



## 2. Objetivo de aprendizaje

Determinar la velocidad de sedimentación necesaria para producir un efluente que cumpla con los lineamientos de turbiedad establecidos en la NOM-127-SSA1 vigente.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	44/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Introducción

Uno de los procesos más ampliamente usados en el tratamiento de agua es la sedimentación. Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido que tengan peso específico mayor al fluido.

En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. A las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido se les llama sólidos sedimentables. Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos de tipo orgánico e inorgánico. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad.

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores, de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencias de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad que son factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas de la remoción en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	45/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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>Equipo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Parrilla con agitación</li> <li>✓ Medidor de pH o multiparamétrico</li> <li>✓ Turbidímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Cronometro</li> <li>✓ Columna de sedimentación con agitador mecánico</li> </ul>
<b>Material</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agitador magnético</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 50 ml</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 100 ml.</li> <li>✓ Pipeta Pasteur.</li> <li>✓ Probetas de 25 ml</li> <li>✓ Probetas graduadas de 1 L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tela para celda</li> <li>✓ Celdas para turbidímetro</li> <li>✓ Piseta</li> <li>✓ Cubetas</li> <li>✓ Espátulas de plástico</li> <li>✓ Cinta métrica o flexómetro</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Muestra sintética de agua</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Cloruro de calcio</li> <li>✓ Carbonato de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caolín</li> <li>✓ Sulfato de aluminio en solución</li> <li>✓ Hidróxido de sodio 1N</li> <li>✓ Ácido sulfúrico 1N</li> </ul>


## 5. Desarrollo

### Actividad 1 Prueba de sedimentación

1. En cada cubeta colocar 12 L de agua de la red. (La columna tiene un volumen de 23 litros).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	46/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2. Pesar y agregar a cada cubeta 7.6 g de los siguientes reactivos: carbonato de sodio, cloruro de calcio y caolín. Para tal efecto utilice 3 vasos de precipitado de 50 mL, la espátula y la balanza analítica.
3. Utilizando la parrilla con agitación realizar la mezcla.
4. Después de realizada la mezcla, ajustar cada cubeta al pH óptimo (obtenido en la práctica 2).
5. Reservar algo de la suspensión para obtener la turbiedad inicial  $T_0$ .
  - a) La turbidez se determinará utilizando un turbidímetro. Se agrega una muestra en las celdas designadas, las cuales se limpiarán con un paño específico para este propósito. Posteriormente, se introducirá la celda en el turbidímetro y se cerrará la tapa para evitar la entrada de luz externa. Se esperará a que se registren los valores.
6. Verificar que todas las llaves de la columna de sedimentación estén cerradas y llenarla con los 23 litros de la mezcla. Elegir una de las llaves para la toma de muestras.
7. Usando una probeta, medir la dosis óptima del coagulante adecuado (obtenida en la práctica 2).
8. Iniciar la prueba ajustando el agitador mecánico a mezcla rápida (100 rpm, un minuto) agregando la dosis del coagulante.
9. Ajustar el agitador mecánico a 40 rpm y permitir la mezcla lenta durante 15 minutos.
10. Apagar el agitador mecánico.
11. A los 10 segundos de apagar el agitador, tomar una muestra y determinar su turbiedad. Obtener la distancia entre el espejo de agua y el eje medio de la llave donde se toma la muestra.
12. A partir de los treinta segundos y hasta los tres minutos, tomar muestras cada treinta segundos, determinar para cada una de ellas la turbiedad y su respectiva distancia entre el espejo de agua y el eje medio de la llave elegida.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	47/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

13. A partir de los tres minutos, tomar muestras en intervalos de un minuto, determinar para cada una de ellas la turbiedad y las distancias antes mencionadas. Se tomarán las muestras hasta que la turbiedad se mantenga constante.

14. Con la totalidad de los datos se obtendrá la curva de ajuste.

## Actividad 2 Tratamiento matemático de los datos experimentales

Registrar los parámetros iniciales de la muestra sintética

pH óptimo=\_\_\_\_\_ dosis de coagulante=\_\_\_\_\_ ml/l

Turbiedad inicial  $T_0$ =\_\_\_\_\_ UNT

Registrar los datos obtenidos del numeral 11 al 13 en una tabla como la siguiente:



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	48/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 4.1 Resultados experimentales.

Tiempo (s)	L (cm)	Turbiedad residual (UNT)
10		
30		
60		
90		
120		
150		
300		
...		

Al presentarse el proceso de floculación es normal que en algunos intervalos de tiempo se tomen muestras con flóculos de mayor tamaño (originando una turbiedad alta). Para obtener una curva mejor definida debemos descartar los datos de nuestra elección (tiempos pares o impares, cualquier conjunto de datos es correcto).



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	49/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La fracción remanente se calcula como Turbiedad residual entre Turbiedad inicial  $T_0$ .

$$C_o = \frac{\text{Turbiedad residual}}{T_0}$$

La velocidad de sedimentación se calcula como longitud entre tiempo (L/t) en cm/s.


Completar en la siguiente tabla de acuerdo con la selección de tiempos pares o impares:

Tabla 4.2 Velocidad de sedimentación.

Tiempo (s)	L (cm)	Turbiedad residual (UNT)	Fracción remanente $C_o$ ( $T_{\text{final}} / T_0$ )	Velocidad de sedimentación (cm/s)
...				

Trazar la gráfica de fracción remanente vs velocidad de sedimentación. Obtener la ecuación de ajuste que tenga una correlación adecuada al modelo.

Observando la serie de datos, obtener el valor de la fracción remanente mínima ( $C_f$ ), y el valor de  $a$ :

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	50/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


El valor **C<sub>f</sub>** es la porción de turbiedad que no se removió en el proceso. La curva tiene una porción inicial (lado izquierdo de la curva, en que se vuelve asintótica; no importa cuán largo sea el tiempo de sedimentación que demos a la muestra, la turbiedad residual será la misma). Esta es la porción de turbiedad que solo puede ser removida por un filtro.

El valor de **a** corresponde a la velocidad a partir de la cual la curva comienza a hacerse asintótica. Esta velocidad **a**, es la menor velocidad con que se justificaría proyectar un decantador para esa agua, porque, aunque tomáramos valores menores, la remoción será la misma y estaríamos agrandando la unidad sin conseguir mayor eficiencia.

**Calcular la curva de sedimentación con la ayuda de la información de la siguiente tabla:**

Tabla 4.3 Cálculos para curva de sedimentación.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
Tasa de sedimentación $q(m^3/m^2/d)$	$V_s$ (cm/s)	$C_0(T_f/T_0)$	$R_t$ (%)	Turbiedad removida (UNT)	Turbiedad final $T_f$ (UNT)
20					
...					
...					
150					

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	51/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Instrucciones para el llenado de la tabla:

En la **columna 1** se colocan las tasas de sedimentación de partículas floculentas, se resalta que son **valores recomendados** para el tratamiento de agua para consumo humano (valores recomendados en un rango de 20 a 150 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>\*d), variar de 10 en 10). Deducir los valores correspondientes de velocidad de sedimentación (Vs) en cm/s para cada tasa y colocar en la **columna 2** para esto multiplicar la tasa de sedimentación por (100/86400).

Con los valores de velocidad de sedimentación en cm/s de la columna 2, utilizar la ecuación de ajuste de la curva obtenida (con los datos experimentales) y determinar los valores correspondientes de fracción remanente (Co) y llenar la **columna 3**.


En la **columna 4** se debe calcular el porcentaje total de remoción (Rt), con la siguiente expresión:

$$Rt = [1 - (Co - Cf)] + \left[ \frac{a + Vs}{2Vs} \right] * (Co - Cf)$$

*Cf y a, se obtuvieron previamente de la gráfica de fracción remanente vs velocidad de sedimentación.*

Calcular la turbiedad removida con la siguiente expresión y llenar los datos en la **columna 5**:

$$Tr = Rt * To$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	52/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Calcular la turbiedad final con la siguiente expresión y llenar los datos en la **columna 6**:

$$T_f = T_o - T_r$$

Con los datos de la tabla anterior trazar la gráfica de turbiedad final vs velocidad de sedimentación, obteniendo la curva de sedimentación. Ajustar una ecuación que tenga una correlación adecuada al modelo de la curva.

Con la ecuación de ajuste obtenida de la curva de sedimentación, obtener la velocidad de sedimentación que dé como resultado un efluente con turbiedad de 4 UNT. Con esa velocidad de sedimentación se obtiene la tasa de sedimentación de partículas floculentas en laboratorio.


Ya que esa tasa fue obtenida en condiciones favorables, se recomienda dividir entre 1.3 (30 % como factor de seguridad por condiciones ideales), para obtener la tasa de sedimentación de partículas floculentas o carga superficial del sedimentador de la planta de tratamiento.

## 6. Resultados y Análisis de resultados

Realizar el análisis de los resultados, basándose en los puntos anteriores. Determinar la carga superficial para el diseño del sedimentado.

## 7. Conclusiones

Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	53/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 8. Bibliografía


- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Cánepa de Vargas, Lidia; Maldonado Yactaco, Víctor; Barrenechea Martel, Ada; Aurazo de Zumaeta, Margarita. CEPIS. Lima; CEPIS; 2004.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994; Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaria de Salud, México D.F.
- Pérez Carrión, José. Submódulo 4.5.2. Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.
- Pérez Carrión, José. Sedimentadores laminares. Manual del Curso sobre Tecnología de Tratamiento de Agua para Países en Desarrollo. Lima, OPS/CEPIS/CIFCA, 1977.
- SEDAPAL, Tratamiento de agua: coagulación y floculación; Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico.  
Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>

## 9. Anexos

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


Lectura recomendada:

<https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/593/501>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	54/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## II. Recordatorio para la determinación de turbiedad.

- a) Encender el equipo turbidímetro.
- b) Colocar la muestra en la celda.
- c) Limpiar la celda con una tela especial, para evitar el sesgo de la lectura debido a la grasa de las manos o el escurrimiento de la muestra al momento del vaciado.
- d) Introducir la celda al turbidímetro y cerrar la tapa para evitar la entrada externa de luz.
- e) Después de 20 s, registrar la lectura correspondiente al valor de turbiedad en unidades UNT, proporcionada por el equipo.
- f) Sacar la celda y vaciar el contenido en un recipiente para residuos; enjuagar con agua destilada.
- g) Al finalizar las lecturas, apagar y desconectar el turbidímetro.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	55/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 5:

## Procesos de filtración

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	56/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Equipo eléctrico	Daño a equipo/eléctrico
2	Material y cristalería rota	Cortadura
3	Hidróxido de sodio 1N	Corrosivo, irritante
4	Ácido sulfúrico 1N	Reactivo, irritante


Equipo de protección personal



## 2. Objetivo de aprendizaje

Comprender la filtración como parte de un proceso convencional para la potabilización de agua, utilizando filtros simples y duales, además comparar la eficiencia en la remoción de la turbiedad.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	57/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


### 3. Introducción

Un filtro es un medio poroso a través del cual el agua se hace pasar para retener los materiales suspendidos. Se considera también como un sistema que separa la fase sólida de la líquida en una mezcla en fase acuosa. La filtración es parte final del proceso clarificador del agua para uso y consumo humano; el agua debe ser filtrada para poder retirar los flóculos que no pudieron sedimentarse en el proceso de coagulación- floculación- sedimentación.

Se considera que la filtración es un requisito en todo proceso convencional de clarificación, esta se realiza comúnmente a través de medios de arena, antracita o carbón activado. La filtración remueve el material suspendido, representado principalmente por la turbiedad, compuestos de flóculos, suelos, metales, óxidos y microorganismos.

Si bien no es un proceso de desinfección, es decir su objetivo principal no es la inactivación de los microorganismos patógenos, muchos de estos suelen ser retenidos por el mecanismo de cernido que se presenta en el proceso de filtrado. Sirviendo finalmente para disminuir la concentración de patógenos en el agua. Los filtros denominados rápidos pueden retener hasta el 98% de bacterias y otros microorganismos grandes como algas y diatomeas; pero los olores y sabores producidos por estos no serán eliminados a menos que se aplique otro proceso destinado a tal fin. Se recomienda que el agua posterior a la sedimentación tenga una turbiedad de 2 UNT, esto con el fin de que los filtros produzcan un agua con turbiedad final de 0.10 UNT; con estos valores se garantiza la inexistencia de huevos de parásitos como la *Giardia* o *Cryptosporidium*. Esto con base a la recomendación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Los huevos de algunos parásitos son resistentes a la desinfección con un agente de cloro, por lo que es de vital importancia su remoción en los filtros.

Es un método utilizado en prácticamente todos los procesos de potabilización de aguas superficiales. Dependiendo de la calidad del agua influente puede usarse de

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	58/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

manera directa, es decir en ausencia de un tratamiento Coagulación-Floculación-Sedimentación (C-F-S), o bien, posterior a estos procesos.

Con el objetivo de encontrar las dosis óptimas de coagulantes para evitar la rápida colmatación del filtro y que flóculos muy pequeños puedan pasar a través del lecho filtrante, la filtración debe ser estudiada en conjunto con la coagulación.


Para la retención de sólidos en el lecho filtrante son necesarios dos mecanismos, diferentes pero complementarios, que los mantienen retenidos entre los granos del medio filtrante. Estos procesos se describen a continuación:

- **Fuerzas de transporte:** Las partículas por retirar son trasladadas del líquido a la superficie de los granos del medio filtrante. Éste es un fenómeno físico e hidráulico que sigue la ley de la transferencia de masas.
- **Fuerzas de adherencia:** Estas partículas permanecen adheridas a la superficie de los granos, donde por la distancia sumamente pequeñas entre los mismos, se hace posible que las fuerzas que separan a la partícula y la adherencia al medio filtrante sean efectivas; esto dependiendo de las fuerzas de cizallamiento producidas por las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

Las fuerzas de adherencia dependen de las características superficiales de las partículas suspendidas y de los granos. Las partículas suspendidas pueden adherirse directamente sobre la superficie de los granos o en partículas retenidas con anterioridad.

Entre los mecanismos de transporte existen el cernido, sedimentación, intercepción, difusión, impacto inercial y las acciones hidrodinámicas; mientras que en los mecanismos de adherencia se conocen las fuerzas de Van der Waals y los enlaces químicos entre las partículas y los granos del filtro.

Los filtros comúnmente usados en las plantas de tratamiento son de arena de sílice y antracita o carbón activado.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	59/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


La arena de sílice se constituye por sílice y oxígeno. Es una sustancia muy abundante en la corteza terrestre ya sea en forma de cuarzo y ópalo. Es el mineral más común de la tierra, compuesto por dióxido de silicio o sílice, SiO<sub>2</sub>. Puede encontrarse en el planeta como componente de rocas o en forma de depósitos puros, es el principal constituyente de las rocas ígneas como el granito, roлита y la pegmatita.

El carbón activado es un material poroso que tiene la capacidad de adsorber algunas partículas que presentan afinidad al medio, ya sean gases o líquidos. Todas las partículas de carbón tienen la capacidad de adsorber de forma efectiva, dado que al “activarse”, es decir al hacerlo poroso mediante diversos mecanismos, aumenta su área específica, incrementando su desempeño.

La arena y el carbón activado deben de cumplir con ciertas recomendaciones dadas por diversos autores o investigadores del tema; entre los parámetros comunes a todos los filtros se encuentran los establecidos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Características de los medios filtrantes.


Características	Lentos de arena	Rápidos de arena	Duales
Tasa de filtración	2-5 m/d	120 m/d	180-480 m/d
Medio	Arena muy fina	Arena estratificada	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Grueso a Fino	Grueso a fino

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	60/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Características	Lentos de arena	Rápidos de arena	Duales
<b>Duración de carrera</b>	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
<b>Profundidad medio</b>	0.6-1.0 m	0.60-0.75m	Antracita: 0.4-0.6m Arena 0.15-0.30m
<b>Profundidad grava</b>	0.30 m	0.30-0.45m	0.30-0.45m
<b>D10 (Diámetro efectivo)</b>	0.15-0.35	0.45-0.55	Antracita= 2 D10 Arena
<b>CU (Coeficiente de uniformidad)</b>	Cercano a la unidad	1.2-1.7	Antracita= Menor a 1.7


El proceso de coagulación-floculación-sedimentación-filtración es el principal método para remover turbiedad y color. Cuando el agua presenta color el cual no puede ser retirado por el método de C-F-S, se debe utilizar un proceso de adsorción en antracita o carbón activado. Estos carbones pueden ser naturales, como la antracita o artificiales como el carbón activado, su efectividad radica en que poseen microporos y un área específica muy alta por lo cual tienen una gran facilidad para retener partículas suspendidas y disueltas. El agua a la salida de los filtros debe cumplir con todas las características físicas, químicas y microbiológicas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 127 SSA.

Los filtros pueden denominarse simples si únicamente están conformados por arenas, o duales si además de la arena contienen un estrato de un material adsorbente, que puede ser antracita o carbón activado.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	61/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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>Equipo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aparato de jarras</li> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Colorímetro</li> <li>✓ Medidor de pH o multiparamétrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza digital</li> <li>✓ Parrilla con agitación</li> <li>✓ Cronometro</li> </ul>
<b>Material</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agitador magnético</li> <li>✓ Agitador de vidrio</li>   <li>✓ Vasos de precipitados de 50 ml</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 100 ml.</li> <li>✓ Vasos de precipitados de 1L</li> <li>✓ Pipeta Pasteur.</li> <li>✓ Pipetas graduadas de 10 mL</li> <li>✓ Probetas de 25 ml</li> <li>✓ Probetas de 1 L</li> <li>✓ Probetas de 500 ml o conos Imhoff con soporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tela para celda</li> <li>✓ Celdas para turbidímetro</li> <li>✓ Celdas para colorímetro</li>   <li>✓ Discos para colorímetro</li> <li>✓ Pissetas</li> <li>✓ Cubetas</li> <li>✓ Espátulas de plástico</li> <li>✓ Soporte universal</li> <li>✓ Pinzas de tres dedos</li> <li>✓ Filtro simple</li> <li>✓ Filtro dual</li> </ul>
<b>Reactivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Infusión colorante de yerbabuena</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Cloruro de calcio</li> <li>✓ Carbonato de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caolín</li> <li>✓ Sulfato de aluminio en solución</li> <li>✓ Hidróxido de sodio 1N</li> <li>✓ Ácido sulfúrico 1N</li> </ul>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	62/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 Prueba de Jarras


- Colocar en una cubeta 6 L de agua de la llave, 1 L de infusión colorante, 2.3g de cada uno de los siguientes reactivos: caolín, cloruro de calcio y carbonato de sodio, y el agitador magnético.
- Colocar la cubeta con la muestra sintética sobre la parrilla con agitación. Agitar por 15 minutos.
- Tomar una muestra aproximadamente de 200 mL y medir turbiedad, pH y color. Registrar en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Parámetros iniciales.


Turbiedad inicial [UNT]	pH inicial de la mezcla	Color [UC]

### Notas importantes para la medición de los parámetros:

- Para la medición del pH, recolectar aproximadamente 100 mL de muestra y transferirla a un vaso de precipitados. Luego, enjuague el electrodo del equipo con agua destilada y secarlo según lo indique el profesorado.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	63/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- b) Introducir el electrodo en la muestra, asegurándose de cubrir toda la superficie del electrodo. Tomar la lectura. Una vez finalizado, enjuagar el electrodo con agua destilada. Apagar el equipo.
  - c) Determinar la turbidez a través de un turbidímetro. Llenar la celda asignada con la muestra, la cual se debe limpiar con un paño específico para este propósito. Posteriormente, introducir la celda en la porta celda del equipo y cerrar la tapa para evitar la entrada de luz externa. Esperar a que se registren los valores.
  - d) Medición de color. El colorímetro cuenta con dos celdas: en una se coloca agua de muestra hasta la marca y en la otra, agua destilada. Posteriormente, ambas celdas se introducen en la caja del colorímetro, se cierra y se asegura. Es importante realizar la comparación.
4. Medir 1 L de la muestra sintética con la ayuda de una probeta y transferir en cada uno de los 6 vasos de precipitados.
  5. Colocar los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
  6. Con una pipeta, añadir en 6 vasos de precipitados de 50 mL la dosis óptima de sulfato de aluminio.
  7. A cada vaso de precipitado de 1 L agregar al mismo tiempo la dosis de sulfato de aluminio previamente medido, e iniciar la prueba agitando durante un minuto a 100 rpm. Agitación rápida.
  8. Ajustar a 40 rpm y permitir la agitación lenta durante 15 minutos.
  9. Apagar el equipo, levantar las paletas y permitir la sedimentación durante 15 minutos.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	64/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 2 Proceso de filtración

1. Decantar en una cubeta el sobrenadante de cada uno de los vasos, evitar la resuspensión de lodos. Estos últimos deberán colocarlos en el recipiente de desechos.
2. Tomar una muestra aproximadamente de 200 mL y medir turbiedad, pH y color. Registrar en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Parámetros de la muestra después del proceso C-F-S.

Turbiedad inicial [UNT]	pH	Color [UC]

3. Verter cuidadosamente el agua de la cubeta en cada uno de los filtros manteniendo el nivel indicado.
4. En cuanto comience a salir el agua, iniciar el cronómetro y tomar una muestra.
5. Después de la primera muestra seguir tomando muestras cada 30 segundos, a la salida de los filtros.
6. Registrar los parámetros del agua a la salida de cada filtro, tome como ejemplo la tabla 5.4.




	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	65/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Tabla 5.4 Parámetros de la muestra después del filtro simple y filtro dual.

Muestra/Filtro	Turbiedad [UNT]	Color [UC]	pH
1			
2			
3			
...			

7. Al finalizar la prueba, enjuagar los filtros con agua de la llave.

## 6. Resultados y Análisis de resultados

1. Comparar los resultados obtenidos en las muestras a la salida de cada filtro.
2. Calcular las eficiencias de remoción para color y turbiedad.
3. Identificar el filtro más eficiente en la remoción de partículas suspendidas y tratar de indicar las causas.
4. Comparar los parámetros indicados de las características del agua a la salida de cada filtro con referencia a la NOM-127-SSA1 vigente.
5. Observar los filtros y sus características granulométricas. Comparar con las recomendaciones de 3 autores.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	66/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 el objetivo y los resultados.

## 8. Bibliografía

- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994; Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaria de Salud, México D.F. (Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>).
- Maldonado Yactaco, Víctor., Filtración; Capítulo 9. (Disponible en: <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/nuevo.pdf>).
- Maldonado Yactaco, Víctor., Filtración; Capítulo 5. (Disponible en: <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/cinco.pdf>).
- Cánepa de Vargas, Lidia; Maldonado Yactaco, Víctor; Barrenechea Martel, Ada; Aurazo de Zumaeta, Margarita. CEPIS. Lima; CEPIS; 2004.
- SEDAPAL, Tratamiento de agua: coagulación y floculación; Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. (Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>).


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	67/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 9. Anexos


### I. Actividades previas.

1. Investigar la diferencia entre carbón activado y antracita.
2. Investigar qué otros procesos para remover color pueden usarse.
3. Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
4. Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.

Lectura recomendada [Redalyc. Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol](#)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	68/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 6: Desinfección

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	69/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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	Equipos (bomba de vacío, incubadora, contador)	Daño a equipo/eléctrico
2	Mecheros	Quemadura
3	Ácido acético	Irritación
4	Agua residual tratada	Biológico infeccioso
5	Material y cristalería rota	Cortadura

Equipo de protección personal



## 2. Objetivo de aprendizaje

Obtener el punto de quiebre, la demanda de cloro en dicho punto y observar el comportamiento de un indicador microbiológico en la muestra de agua residual.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	70/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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 son inactivados.

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 económico.
- 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 cloro fenoles, los cuales dan origen a problemas serios de olores.
- Forma con algunas sustancias orgánicas trihalometanos, de los cuales se sospecha son agentes cancerígenos.

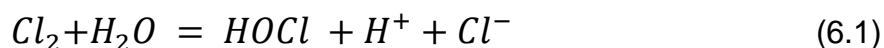
Según la Organización Mundial de la Salud, “En la actualidad, la desinfección con cloro es la mejor garantía del agua microbiológicamente potable”. Por sus propiedades, el cloro es efectivo para combatir todo tipo de microbios contenidos en el agua, incluidos las bacterias, los virus, los hongos y las levaduras, de igual forma,

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	71/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

las algas y limos que proliferan en el interior de las tuberías de suministro y en los depósitos de almacenamiento. Solo la cloración garantiza que el agua ya tratada se mantenga libre de gérmenes durante su tránsito por tuberías y depósitos antes de llegar al grifo, además es el método más económico.

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 a 3. Como puede observarse en la ecuación 6.1, 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:



Como es evidente, la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración del ion hidrógeno, o sea del pH como se muestra en el cuadro 6.1.

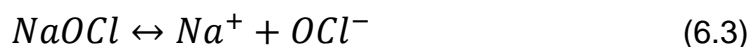
	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	72/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Cuadro 6.1. Especies predominantes según el pH

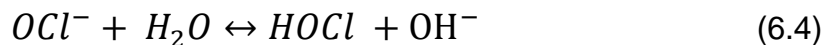
pH	Residual predominante
Menor de 6	HOCl
7.7	HOCl y OCl <sup>-</sup>
Mayor de 9	OCl <sup>-</sup>

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

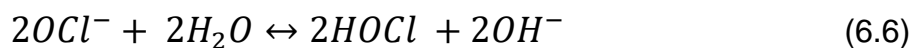


Finalmente, si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio:


Si se mide el cloro aplicado en agua que contiene agentes reductores,



y






	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	73/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Si se mide el cloro aplicado en agua que contiene agentes reductores, amoniaco y aminos 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 amoniaco y las aminos 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 6.1 muestra la curva de demanda de cloro.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	74/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

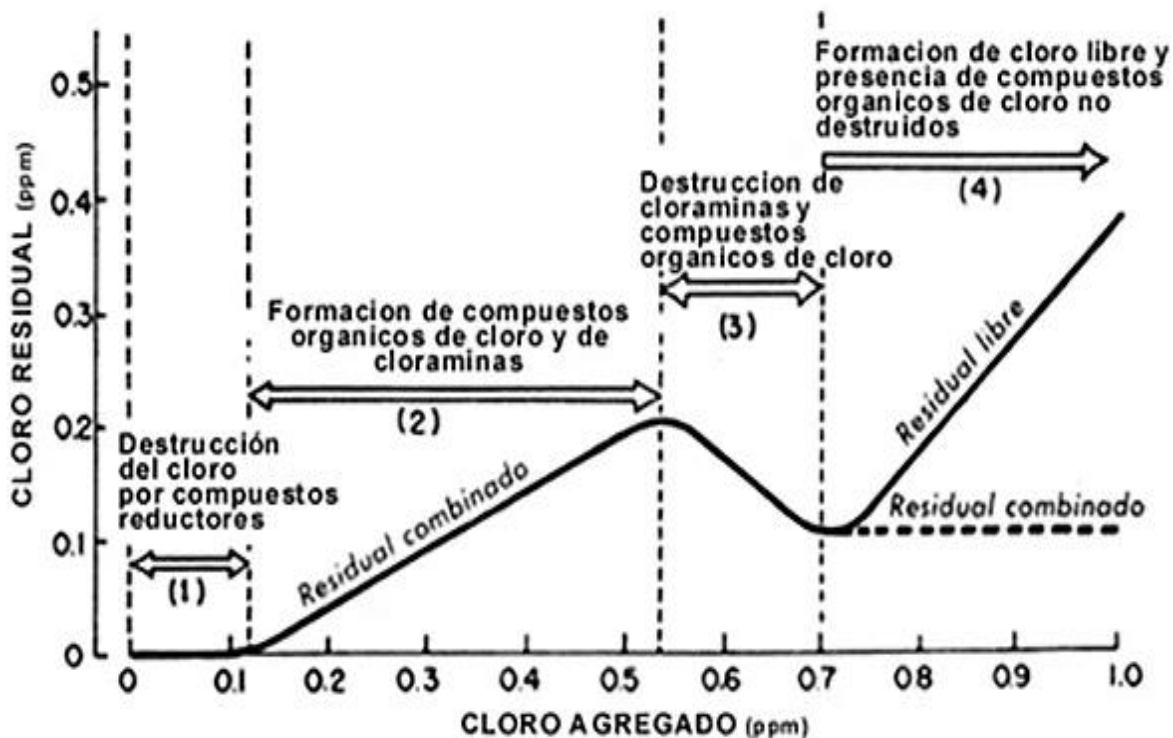



Figura 6.1. Curva de demanda de cloro.

Para hacer un seguimiento adecuado del proceso de desinfección es necesario emplear algunos indicadores sanitarios de la calidad del agua, por ejemplo, los coliformes totales (no son de origen fecal) y los de origen intestinal o fecal que se denominan coliformes fecales. Los coliformes se pueden determinar por varios métodos, uno de ellos es el Número Más Probable (NMP), que se fundamenta en la determinación del número de coliformes mediante la siembra de distintos volúmenes del agua a analizar en series de tubos con caldo lactosado y resiembra en medios de cultivo selectivos e incubando a temperaturas adecuadas.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	75/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El principio para identificar a los coliformes es que producen una colonia oscura, generalmente verde púrpura con brillo metálico que puede cubrir la colonia entera o aparecer solamente en la parte central o en la periferia, después de incubación por 24 horas, en medio de cultivo ENDO.

Otro método es la filtración por membrana, que tiene la ventaja de obtener resultados rápidos y, en consecuencia, se pueden llevar a cabo acciones correctivas rápidamente.

En la filtración por membrana se considera que la cantidad ideal de muestra que se ha de filtrar debe ser aquella que produzca un crecimiento de máximo 30 colonias de coliformes (entre 20 y 40 mL). Cuando se filtran porciones menores a 20 mL, la muestra se debe diluir y filtrar a un volumen mínimo de 30 mL. Los filtros preparados se colocan directamente sobre el medio nutriente y se incuban, normalmente, durante 24 horas, entre 35 °C a 37 °C.

El procedimiento consiste en hacer pasar a través de un filtro de membrana, aplicando vacío, un volumen medido de muestra de agua. A continuación, se coloca el filtro en un recipiente estéril y se incuba en contacto con un medio de cultivo, selectivo y diferencial. En cada punto del filtro en el que durante la filtración se capta una bacteria coliforme, se desarrollará una colonia de bacterias coliformes. Se enumeran las colonias bacterianas, practicándose un cálculo simple para determinar el número de colonias de bacterias en 100 mL de muestra.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	76/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
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>Equipo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cronómetros</li> <li>✓ Bomba de vacío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Incubadora</li> <li>✓ Contador de colonias</li> </ul>
<b>Material</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitados de 50 ml, 100 ml, 250 ml y de 1L</li> <li>✓ Propipetas.</li> <li>✓ Pipetas graduadas de 5 y 10 mL</li> <li>✓ Probetas de 100 ml</li> <li>✓ Bureta de 25 ml</li> <li>✓ Pinzas para bureta</li> <li>✓ Matraces Erlenmeyer de 250 ml</li> <li>✓ Matraz kitasato de 500 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Soporte universal</li> <li>✓ Palanganas</li> <li>✓ Charolas de aluminio</li> <li>✓ Cajas Petri estériles</li> <li>✓ Membranas estériles</li> <li>✓ Cojín absorbente</li> <li>✓ Aparato de filtración estéril</li> <li>✓ Mecheros con maguera</li> <li>✓ Pinzas rectas estériles</li> <li>✓ Encendedor</li> </ul>
<b>Reactivos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hipoclorito de sodio (solución cloradora)</li> <li>✓ Agua residual tratada</li> <li>✓ Ácido acético concentrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Yoduro de potasio (sal de reactivo)</li> <li>✓ Solución de almidón (indicador)</li> <li>✓ Tiosulfato de sodio 0.01N</li> <li>✓ Medio de cultivo para coliformes (<i>Coli Blue</i>)</li> </ul>

## 5. Desarrollo

### Actividad 1 Curva de cloración

**Importante:** El proceso requiere atención y cuidado en el tiempo de aplicación de los reactivos.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	77/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Con una probeta, medir 100 mL de agua residual tratada y transferir a un matraz Erlenmeyer. Llenar 15 matraces Erlenmeyer debidamente identificados.
2. Agregar dosis crecientes de la solución de hipoclorito de sodio con ayuda de una pipeta graduada (según las indicaciones del docente) a los matraces, con intervalos de 2 minutos entre cada aplicación.
3. Una vez aplicada la dosis de la solución cloradora, mezclar y llevar a la oscuridad. El tiempo de contacto es de 10 a 15 minutos.
4. Al terminar el tiempo de contacto, agregar inmediatamente a cada matraz que contiene la muestra:
  - a. 2.0 mL de ácido acético.
  - b. 1 g de yoduro de potasio.
5. Mezclar y dejar un tiempo de contacto de 10 a 15 min con los reactivos. Durante el tiempo de contacto deben permanecer en la oscuridad.
6. Al concluir este tiempo, los matraces serán titulados con tiosulfato de sodio 0.01N. Para la titulación hay que agregar de 2 a 3 gotas de almidón, mantener agitación manual y dosificar, el tiosulfato hasta que la muestra vire al color original. Registrar los datos en la tabla 6.2.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	78/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 6.2 Datos de la titulación.

No. matraz (muestra)	Dosis de cloro [ml]	Volumen de tiosulfato de sodio utilizada [ml]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

7. Obtener el cloro inicial y cloro residual (cloro libre), para esto se aplican las siguientes ecuaciones:

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	79/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Cloro inicial.

$$Cl_i = \frac{c \times V}{100 + V} \quad (6.7)$$

Donde:

C: concentración de la solución cloradora.

V: volumen de la solución cloradora en ml

Cloro final.

$$Cl_f = \frac{N \times V \times 35450}{100} \quad (6.8)$$

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].

Demanda de cloro:

$$\text{demanda de cloro} = |\text{dosis de cloro} - \text{cloro residual}| \quad (6.9)$$

**Importante:** La demanda de cloro es variable, incluso si se trata de la misma agua, ya que depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura del agua. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua,

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	80/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

8. Registrar los resultados de la prueba indicando la dosis de cloro y el cloro residual calculado.
9. Elaborar una gráfica donde se represente dosis de cloro y *cloro* residual, e identificar en ésta el punto de quiebre.
10. Obtener la demanda de cloro a punto de quiebre para este tipo de agua residual tratada.

### Actividad 2 Proceso de desinfección

1. Con una probeta, medir y transferir dos muestras de 100 ml.
  - a) La primera muestra permanece sin desinfectante.
  - b) A la segunda muestra, hay que añadir la dosis de solución cloradora determinado en el numeral 9 de la actividad 1. Mezclar y dejar en la oscuridad el tiempo de contacto establecido.


### Actividad 3 Técnica del Filtro de Membrana

En las pruebas bacteriológicas es relevante la higiene de los equipos, cristalería y personal de laboratorio, motivo por el cual se esterilizan todos los aditamentos. Se trabaja en una mesa estéril, con un par de mecheros encendidos para esterilizar también el área de trabajo. Es importante lavarse muy bien las manos y no hablar al momento de realizar la prueba para evitar contaminar los filtros.

#### *Armado del aparato de filtración*

1. Conectar el matraz Kitasato a la bomba de vacío. Acoplar el embudo con porta filtro de borosilicato y un tapón horadado al matraz Kitasato.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	81/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Utilizar pinzas estériles para tomar el filtro de membrana estéril de su empaque y colocarlo sobre la porta filtros, siguiendo el orden mostrado en la Figura 6.2.

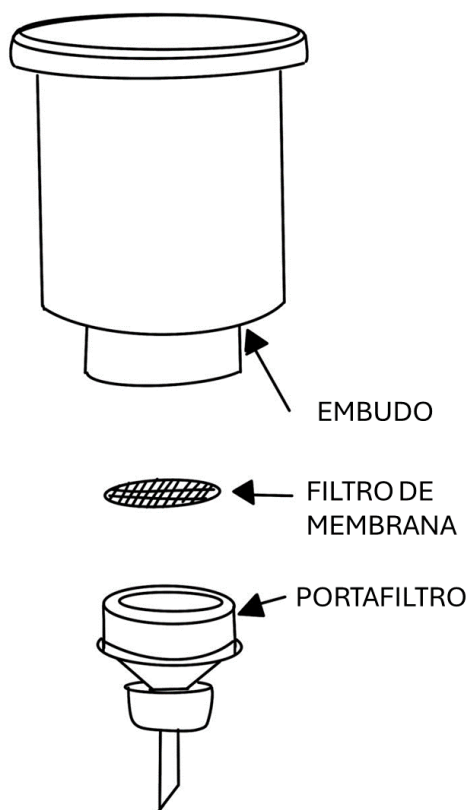



Figura 6.2 Colocación de filtro sobre soporte filtrante.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	82/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Ensamblar el matraz invertido y asegurar que estén bien asegurados al soporte, considerar como ejemplo la figura 6.3.

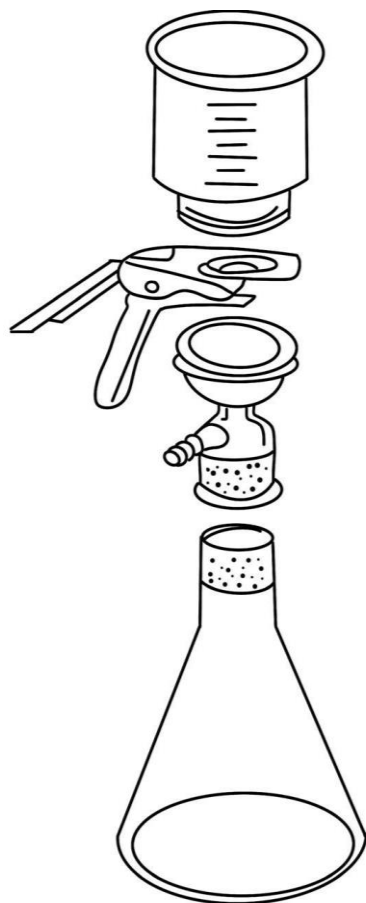



Figura 6.3 Aparato de filtración completo.

4. Filtrar la muestra sin desinfectar, hasta que todo el líquido pase por el filtro de membrana.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	83/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### *Preparación de la caja Petri*

5. En una caja Petri estéril, colocar un cojín absorbente con ayuda de una pinza estéril. Añadir el medio de cultivo Coli blue, que permite determinar a los coliformes totales (colonias de color rojas) y fecales (colonias de color azul) en un mismo ensayo.
6. Retirar el filtro del aparato (Figura 6.4) con las pinzas estériles y colocarlo en la caja Petri con la cuadrícula hacia arriba.

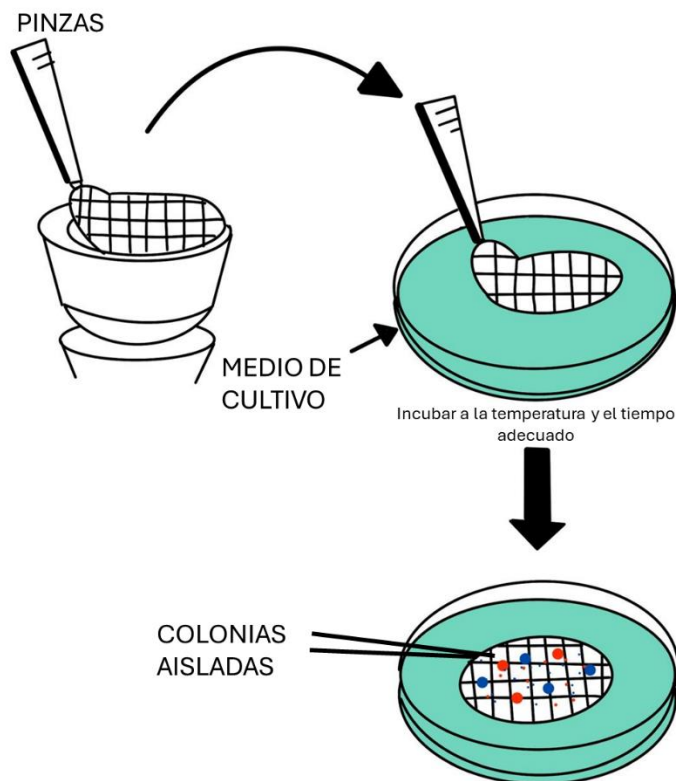



Figura 6.4 Retiro y colocación del filtro de membrana en la caja Petri.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	84/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


7. Cerrar la caja Petri, voltear y etiquetar con los datos indicados por tu docente y colocarla en la incubadora a 35 °C por un periodo de 24 a 48 horas.
8. Repetir el procedimiento del numeral 2 al 7 con la muestra clorada.

#### *Conteo de colonias desarrolladas*

9. Asistir al laboratorio portando su bata, entre las 24 y 48 horas de haber realizado la filtración.
10. Sacar sus muestras de la incubadora, cuidando de no alterar las muestras de otros equipos o grupos.
11. Utilizar el contador de colonias para la observación y conteo. No abra las cajas Petri. (Figura 6.5).



Figura 6.5 Crecimiento de colonias de coliformes fecales y totales.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	85/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

12. Realizar un registro fotográfico.


## 6. Resultados y Análisis de resultados

Realizar el análisis de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de estos, considerar los siguientes puntos.

1. ¿Cuál es la diferencia entre cloro libre y cloro combinado?
2. ¿A qué se denomina cloración a punto de quiebre?
3. Investigar 3 desinfectantes utilizados a nivel planta de tratamiento de aguas residuales y tratamiento de agua potable y describir las ventajas y desventajas de cada uno.
4. Explicar, ¿por qué se consideran a los microorganismos coliformes fecales como indicadores de la calidad bacteriológica del agua para uso potable?
5. De acuerdo con los resultados y comparando con las normas aplicables, ¿qué uso se le podría dar al agua desinfectada?

## 7. Conclusiones

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios</b>	Código:	MADO-98
		Versión:	02
		Página	86/86
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	9 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 8. Bibliografía

- Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua](#)
- World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. 3.a ed. Geneva: World Health Organization; 2004.
- Figura 6.1 Curva de cloración. [ Punto de ruptura de cloración.]  
[Que es el punto de ruptura del cloro](#)

## 9. Anexos

- I. Actividades previas.
  - a) Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
  - b) Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
  - c) Consultar el video. “Caracterización microbiológica” para información sobre la técnica de filtro de membrana.  
<https://www.youtube.com/watch?v=VuszA4Ym3SQ>

Lectura recomendada [Vista de Desinfección del agua a través de métodos electroquímicos | CIENCIA ergo-sum](#)