

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	1/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández Ing. Juanita Elizabeth Sotelo Morales Ing. Claudia Julieta Espinosa Pérez M.I. Diana Rodríguez Bravo M.I. Oscar David Arroyo García	M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández Ing. Juanita Elizabeth Sotelo Morales Ing. Claudia Julieta Espinosa Pérez M.I. Diana Rodríguez Bravo M.I. Oscar David Arroyo García	Dr. Enrique César Valdez	12 de agosto de 2022

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	2/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice de prácticas	Pág.
Práctica #1 Autodepuración del agua: Reactores completamente mezclados.	3
Práctica #2 Procesos de Coagulación-floculación química	15
Práctica #3 Aplicación de coagulantes naturales en procesos de Coagulación-floculación	28
Práctica #4 Sedimentación Secundaria	38
Práctica #5 Procesos de filtración	50
Práctica #6 Desinfección	63

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	3/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	4/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 o corto

Equipo de protección personal



2. Objetivos de aprendizaje

Aplicar el principio de conservación de la masa para obtener el modelo matemático de un sistema abierto que contiene una sustancia conservativa.

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.

Algunos factores que afectan la calidad del agua son:

- Usos del suelo

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	5/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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 arrojamamos 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 considerables al tratar

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	6/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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).

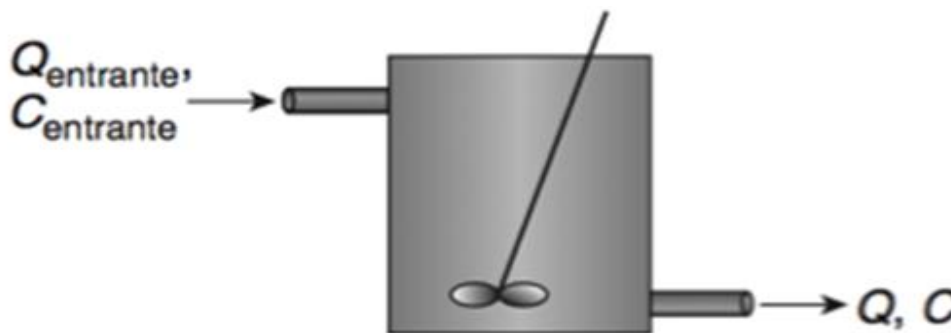


Figura 1.1 Reactor de Mezcla completa

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	7/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En la mayoría de los casos los modelos se basan en el *principio de conservación de la masa*, que establece: “*En un sistema el flujo de masa entrante menos el flujo de masa saliente más o menos lo que se transforma, es igual a lo que se acumula en el sistema*”.

$$A = E - S \pm T \quad (1.1)$$

Donde:

A = Acumulación

E = Entradas

S = Salidas

T = Transformaciones

Pero la acumulación es igual a: $A = \frac{\partial M}{\partial t} \quad (1.2)$

donde: $\frac{\partial M}{\partial t}$ es la variación de la masa con respecto al tiempo.

Además, se tiene que:

$$\text{Concentración } (C) = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{M}{V} \quad (1.3)$$

Por lo que en una dimensión se tiene:

$$A = \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{dM}{dt} = \frac{dCV}{dt} \quad (1.4)$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	8/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Y de este modo el principio de conservación de la masa queda:

$$\frac{dCV}{dt} = E - S \pm T \quad (1.5)$$

Caso particular: Sistema bien mezclado con sustancia conservativa

Considérese un sistema bien mezclado con las siguientes condiciones:

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

$$Q_e = Q_s = cte = Q$$

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

$$C_{\text{salida}} = C_{\text{sistema}}$$

3. Tratándose de una sustancia conservativa, no existen transformaciones ($T=0$).

Por lo tanto, considerando la ecuación 1.5 como $\frac{dCV}{dt} = Q_e C_e - Q_s C_s$ tenemos que:

$$\frac{VdC}{dt} = Q[C_e - C]$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	9/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Definiendo el tiempo de retención como el tiempo que tarda el material desde la entrada hasta la salida del sistema sin renovarse, $\theta = \frac{V}{Q}$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{Q}{V} [C_e - C]$$

Integrando desde t=0:

$$C = C_e \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}\right) + C_0 e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (1.6)$$

4. Material, Equipo y Reactivos

Equipo y material

- Reactor
- Vasos de precipitados de 250 mL
- Probeta de 1000 mL
- Probeta de 250 mL
- Probeta de 100 mL
- Agitador de vidrio
- Tina*
- Piseta con agua destilada
- Espátula
- Balanza digital
- Cronómetro
- Conductímetro
- Manguera

Reactivos

- Cloruro de sodio (NaCl)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	10/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

- Medir la cantidad de litros (L) de agua que indique el profesorado y añadir al reactor, poner una marca visible a la altura alcanzada para señalar el nivel. Tomar una muestra y medir la concentración de sólidos disueltos totales (SDT).
- Medir con ayuda de una probeta el volumen de agua durante un cierto tiempo [s], para conocer el gasto de salida. Realizar una tabla con los valores de al menos 5 mediciones para calcular el gasto promedio del sistema.

Tabla 1.1. Determinación del gasto promedio

Evento	Volumen [L]	Tiempo [s]	Q [L/s]
1			
2			
...etc			
		promedio	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	11/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c. Ajustar el gasto de entrada, hasta hacerlo coincidir con el gasto de salida.
- d. Pesar la cantidad de cloruro de sodio (NaCl) indicada por el profesorado y disolver en una porción de agua tomada del reactor. Adicionar la solución obtenida a este, hay que asegurar que el nivel de agua del reactor permanezca constante.
- e. Armar el dispositivo de un reactor de flujo continuo considerando los elementos de ejemplo que se muestran en la Figura 1.2. Colocar el agitador magnético y encender la agitación. Introducir el multiparamétrico y medir la concentración de sólidos disueltos totales (SDT).

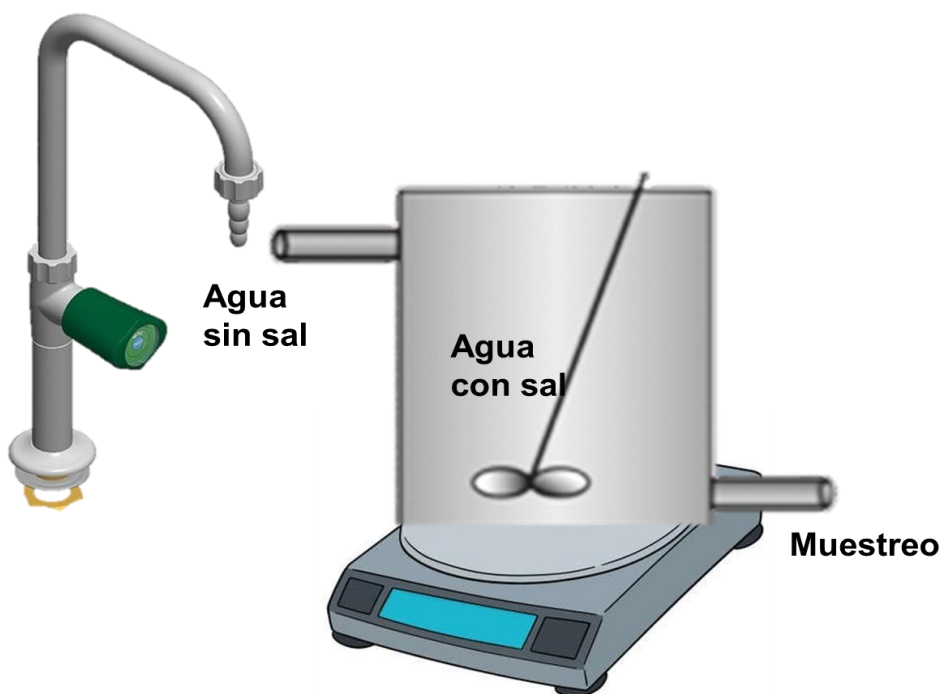


Figura 1.2. Reactor de flujo continuo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	12/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- f. Accionar la entrada de agua al reactor y simultáneamente abrir la llave de salida.
- g. Tomar muestras cada 30 s y medir la concentración de sólidos disueltos totales SDT. Es importante enjuagar el electrodo del multiparamétrico entre mediciones y al final del experimento.

Actividad 2

1. Realizar las siguientes actividades e incluir la memoria de cálculo:

- a) Elaborar la tabla 1.2, donde se registren los datos iniciales de la prueba:

Tabla 1.2 Datos iniciales de la prueba.

Concentración del agua sin sal C_e [mg/L]	Concentración inicial de la mezcla C_0 [mg/L]	Gasto Q [L/s]	Tiempo de retención θ [s]

- b) Elaborar la tabla 1.3, donde se registren los datos experimentales de la prueba:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	13/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.3 Resultados experimentales

Tiempo [s]	Concentración C [mg/L]
30	
etc.	

- c) Con los datos construir una gráfica y ajustar un modelo matemático que describa el comportamiento con un buen coeficiente de correlación.
- d) Utilizando el modelo matemático del “sistema completamente mezclado conteniendo una sustancia conservativa” comparar los resultados experimentales.

6. Análisis de resultados

- 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, determine el tiempo para el cual la concentración de salida es igual a la concentración de entrada del sistema.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	14/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c) Realizar el análisis de los resultados, si existen, mencionar las posibles causas de las desviaciones de los mismos.

7. Conclusiones

Generar 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.

9. Anexos

I. Actividades previas.

- Explicar los conceptos de tiempo de vida media, tiempo de retención, estado estacionario y no estacionario.
- Explicar el concepto de sustancia conservativa y no conservativa. Proporcionar 3 ejemplos de cada tipo de sustancia.
- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- Lectura recomendada: [Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático](#)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	15/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	16/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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.

Elementos de protección personal



2. Objetivos 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	17/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 junto 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 ión cloroplatinato; y se denominan unidades de color en la escala

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	18/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

Turbiedad

La turbidez o turbiedad 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	19/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 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 del 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	20/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 ⁺	1	1 ⁺
Ca ⁺² , Mg ⁺²	50	2 ⁺
Al ⁺³ , Fe ⁺³	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:

Tabla 2.2 Reactivos empleados para la coagulación – floculación

Principales coagulantes		
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) _m Al _n	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	21/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Sales de hierro	Sulfato ferroso	FeSO_4
	Sulfato férrico	
	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	
	Cloruro férrico	FeCl_3
Principales floculantes		
Poliectrolitos (aniónicos, catiónicos, no iónicos)		
Arcillas adsortivas (Ej. bentonita)		
Sílice activada		
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	

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.

La agitación del agua por mezclado hidráulico o mecánico causa gradientes de velocidad cuya intensidad 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

Equipo y material

- Parrilla con agitación
- Agitador magnético

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	22/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Vaso de precipitados de 100 mL.
- Pipeta Pasteur.
- Vasos de precipitados de 1 L por cada prueba que se realice.
- Probetas de 25 mL
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Probetas graduadas de 1 L
- Aparato de jarras
- Cronómetro
- Medidor de pH
- Celdas para turbidímetro
- Probetas de 500 mL o conos Imhoff
- Tela para celdas
- Turbidímetro
- Colorímetro
- Disco para colorímetro
- Celdas para colorímetro
- Piseta
- Cubeta

Reactivos

- Muestra de agua
- Sulfato de aluminio
- Cloruro de hierro
- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido sulfúrico 1N

5. Desarrollo

Actividad 1 Prueba de jarras

En esta prueba se removerán las partículas suspendidas presentes en una muestra sintética, la cual ejemplifica de manera adecuada el hecho de tener agua con alto contenido de turbiedad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	23/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Preparar la muestra sintética con cloruro de calcio, carbonato de sodio y caolín, agregar 2.3 g de cada uno en 14 L de agua. (Realizar por duplicado).
2. Medir 1 L de la muestra con la ayuda de una probeta y transferir a cada vaso de precipitado.
3. Ajustar el pH de la muestra al que sea indicado (por ejemplo: 7, 8, 9, 10), utilizar disoluciones de NaOH 1N o H₂SO₄ 1N. Para lograrlo dosificar mientras la muestra se mantiene en agitación constante y verificar el pH utilizando un potenciómetro o papel pH, (según disponibilidad).
4. Colocar los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
5. Verter simultáneamente en ellos las dosis crecientes del coagulante sulfato de aluminio o cloruro de hierro (indicadas por tu profesor al inicio de la sesión).
6. 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.
7. 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.
8. Detener la agitación y levantar las paletas, al terminar la mezcla lenta.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	24/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

9. 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.
10. Determinar para el sobrenadante de cada vaso los valores de pH, color y turbiedad.

Actividad 2 Determinación de pH

1. Colectar aproximadamente 100 mL de muestra y transferir a un vaso de precipitados de 250 o 100 mL.
2. Enjuagar el electrodo del equipo multiparamétrico con agua destilada y secar con papel absorbente, sin frotar.
3. Introducir el equipo cubriendo la superficie del electrodo con la muestra.
4. Encender el equipo y tomar la lectura.
5. Apagar el medidor multiparamétrico y enjuagar el electrodo con agua destilada.

Actividad 3 Determinación de color

1. Conectar y encender el equipo colorímetro
2. Colocar hasta la marca el agua de muestra en una de las celdas del colorímetro.
3. Colocar agua destilada en la otra celda.
4. Introducir en la caja del colorímetro ambas celdas, en el orificio interno la muestra y en el externo el agua destilada.
5. Seleccionar el disco adecuado y colocarlo en posición.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	25/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Girar el disco del aparato hasta que ambas celdas tengan un color similar y tomar la lectura en la parte inferior del disco. (La comparación debe hacerse en un lugar bien iluminado).

Actividad 4 Determinación de Turbiedad

- Encender el equipo turbidímetro.
- Colocar la muestra en la celda y repetir el procedimiento para cada muestra de la Prueba de jarras.
- 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.
- Introducir la celda al turbidímetro y cerrar la tapa para evitar la entrada externa de luz.
- Después de 20 s, registrar la lectura correspondiente al valor de turbiedad en unidades UTN, proporcionada por el equipo.
- Sacar la celda y vaciar el contenido en un recipiente para residuos; enjuagar con agua destilada.

Actividad 5 Determinación de lodo producido

Para determinar la cantidad de lodo producido, utilizar la muestra con la dosis óptima de coagulante.

- Retirar por decantación la mayor cantidad de muestra clarificada, cuidar no resuspender los lodos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	26/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2. Transferir a una probeta (o cono Imhoff) el lodo y esperar a que se sedimente por el tiempo indicado por el profesorado (pe.10 min).
3. Tomar la lectura del volumen de lodo en mL (El volumen puede variar, no reportar como los sólidos sedimentables (mL/L) si no como el volumen del lodo).

6. Análisis de resultados

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

- a) Obtener las dosis y el coagulante que de acuerdo con la norma NOM-127-SSA1-vigente, cumplen con el criterio de turbiedad y color.
- b) Identificar cuál coagulante y qué dosis es la óptima (considerar volumen de almacenamiento y costos). Justificar el ¿por qué? de tu selección.
- c) Investigar en qué etapa del proceso de tratamiento se realiza la “Prueba de Jarras”.

7. Conclusiones

Generar 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 Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	27/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 Ingeniería Sanitaria y Ambiental. M.I. Alba Beatriz Vázquez González. Facultad de Ingeniería, UNAM.

9. Anexos

I. Actividades previas.

- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- 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](#)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	28/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	29/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

Elementos de protección personal



2. Objetivos 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 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 a la naturaleza del coagulante los tipos de este proceso pueden clasificarse de acuerdo con la Tabla 3.1.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	30/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.
Polielectrolíticos	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).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	31/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 chía (*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)

4. Equipo, material y reactivos

Equipo y material

- Vasos de precipitados de 100, 250, 500 y 1000 mL.
- Mortero de cerámica
- Embudo
- Malla de filtro No. 100
- Recipiente de acero inoxidable
- Agitador magnético
- Agua destilada
- Balanza analítica
- Parrilla con agitación y calentamiento
- Vaso de precipitados de 100 mL.
- Pipeta Pasteur.
- Vasos de precipitados de 1 L por cada prueba que se realice.
- Probetas de 500 mL o conos Imhoff
- Probetas de 25 mL
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Probetas graduadas de 1 L
- Jeringas plásticas de 10 mL

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	32/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Aparato de jarras
- Cronómetro
- Medidor de pH
- Celdas para turbidímetro
- Tela para celdas
- Turbidímetro
- Piseta
- Cubeta

Reactivos

- Muestra de agua
- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido sulfúrico 1N
- Coagulante natural (semillas de chíá 100 g)
- Cloruro de calcio
- Carbonato de sodio
- Caolín

5. Desarrollo

Actividad 1 Extracción de coagulante de chíá

A continuación, se describe el procedimiento para la extracción de mucílago de chíá de acuerdo con, Villa et al., (2020)

a. Procedimiento

1. Limpiar y lavar las semillas de chíá.
2. Pesar 100 g de las semillas en una balanza analítica.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	33/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Moler las semillas en un mortero de cerámica para reducir el tamaño y colocar en un recipiente de acero inoxidable.
4. Calentar a 95°C durante 20 minutos en una relación 1:20 (semilla/agua).
5. Separar el mucílago por decantación con un embudo.
6. Filtrar con una malla de filtro N°100
7. El producto obtenido se almacena en un vaso de precipitación hasta su utilización.

Actividad 2 Prueba de jarras coagulante natural

1. Preparar la muestra de agua problema con cloruro de calcio, carbonato de sodio y caolín, agregar 1.15 g de cada uno en 7 L de agua.
2. Medir 1 L de la muestra con la ayuda de una probeta y transferir a cada vaso de precipitado.
3. Ajustar el pH de la muestra al que sea indicado (por ejemplo: 6,7, 8, 9, 10 u 11), utilizar disoluciones de NaOH 1N o H₂SO₄ 1N. Para lograrlo dosificar mientras la muestra se mantiene en agitación constante y verificar el pH utilizando un potenciómetro o papel pH, (según disponibilidad).
4. Verter simultáneamente en ellos las dosis crecientes de mucílago de chíca (indicadas por tu profesor al inicio de la sesión).
5. Programar el equipo de jarras de la siguiente manera:
 - a. Coagulación/Floculación: Mezcla rápida: 1 minuto a 100 rpm
 - b. Mezcla lenta: 15 minutos a 40 rpm
 - c. Sedimentación: Reposo de la mezcla: 15 minutos a 0 rpm, retirando el contacto de las paletas con la mezcla.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	34/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Tomar una cantidad adecuada de sobrenadante de cada vaso para continuar con la caracterización.

Actividad 3 Determinación de pH

- Colectar aproximadamente 100 mL de muestra y transferir a un vaso de precipitados de 250 o 100 mL.
- Enjuagar el electrodo del equipo multiparamétrico con agua destilada y secar con papel absorbente, sin frotar.
- Introducir el equipo cubriendo la superficie del electrodo con la muestra.
- Encender el equipo y tomar la lectura.
- Apagar el medidor multiparamétrico y enjuagar el electrodo con agua destilada.

Actividad 4 Determinación de Turbiedad

- Encender el equipo turbidímetro.
- Colocar la muestra en la celda y repetir el procedimiento posterior para cada una de las muestras (leer cada muestra por triplicado).
- 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.
- Introducir la celda al turbidímetro y cerrar la tapa para evitar la entrada externa de luz.
- Después de 20s registrar la lectura correspondiente al valor de turbiedad en UTN que proporciona el equipo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	35/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Sacar la celda y vaciar el contenido en un recipiente para residuos; enjuagar con agua destilada.

Actividad 5 Determinación de lodo producido

1. Retirar por decantación la mayor cantidad de muestra clarificada, cuidar no resuspender los lodos.
2. Transferir a una probeta (o cono Imhoff) el lodo y esperar a que se sedimente por el tiempo indicado por el profesorado (pe.10 min).
3. Tomar la lectura del volumen de lodo en mL (El volumen puede variar, no reportar como los sólidos sedimentables (mL/L) si no como el volumen del lodo).

6. Análisis de resultados

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) 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).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	36/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c) Establecer las ventajas y desventajas del uso de coagulantes naturales a gran escala.

7. Conclusiones

Generar 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>
- 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.
- 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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	37/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1181>.

9. Anexos

I. Actividades previas.

- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- 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.
- 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>

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	38/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	39/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

Elementos de protección personal



2. Objetivos 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.

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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	40/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

4. Equipo, Material y Reactivos

Equipo y Material

- Vasos de precipitado 50 mL
- Vasos de precipitados de 100 mL
- Celdas para turbidímetro
- Probetas de 1 L
- Turbidímetro
- Columna de sedimentación con agitador mecánico
- Cronómetro
- Medidor de pH
- Parrillas de agitación
- Agitadores magnéticos

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	41/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Balanza analítica
- Espátulas
- Cubetas
- Cinta métrica o flexómetro

Reactivos

- Caolín
- Carbonato de sodio
- Cloruro de calcio
- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido sulfúrico 1N
- Sulfato de aluminio en solución

5. Desarrollo

Actividad 1 Preparación de la suspensión.

1. En cada cubeta colocar 12 L de agua de la red. (La columna tiene un volumen de 24 litros)
2. Pesar y agregar a cada cubeta 2.0 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 .

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	42/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 2 Prueba en la columna.

1. Verificar que todas las llaves de la columna de sedimentación estén cerradas y llenarla con los 24 litros de la mezcla. Elegir una de las llaves para la toma de muestras.
2. Usando una probeta, medir la dosis óptima del coagulante adecuado (obtenida en la práctica 2).
3. Iniciar la prueba ajustando el agitador mecánico a mezcla rápida (100 rpm, un minuto) agregando la dosis del coagulante.
4. Ajustar el agitador mecánico a 40 rpm y permitir la mezcla lenta durante 15 minutos.
5. Apagar el agitador mecánico.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Con la totalidad de los datos se obtendrá la curva de ajuste.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	43/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 3 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 =_____ UTN

Registrar los datos obtenidos del numeral 6 al 8 en una tabla como la siguiente:

Tabla 4.1 Resultados experimentales.

Tiempo (s)	L (cm)	Turbiedad residual (UTN)
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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	44/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

alta). Para obtener una curva mejor definida debemos descartar los datos de nuestra elección (tiempos pares o impares, cualquier conjunto de datos es correcto).

La fracción remanente se calcula como Turbiedad residual entre Turbiedad inicial T_o .

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

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

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 (UTN)	Fracción remanente C_o (T final./ T_o)	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 :

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	45/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- El valor **C_f** 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)	Co (T_f/T_o)	R_t (%)	Turbiedad removida (UTN)	Turbiedad final T_f (UTN)
20					
...					
...					
150					

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	46/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 4.3:

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 m³/ (m²*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**:

$$Tr = Rt * To$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	47/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 5 UTN. 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. Análisis de resultados

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

7. Conclusiones

Generar las conclusiones y recomendaciones correspondientes basándose en la relación entre los objetivos y los resultados.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	48/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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. Secretaría 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.

- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- Lectura recomendada:

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	49/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

II. Determinación de turbiedad

- Encender el equipo turbidímetro.
- Colocar la muestra en la celda.
- 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.
- Introducir la celda al turbidímetro y cerrar la tapa para evitar la entrada externa de luz.
- Después de 20 s, registrar la lectura correspondiente al valor de turbiedad en unidades UTN, proporcionada por el equipo.
- Sacar la celda y vaciar el contenido en un recipiente para residuos; enjuagar con agua destilada.
- Al finalizar las lecturas, apagar y desconectar el turbidímetro.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	50/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	51/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

Elementos de protección personal



2. Objetivos 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.

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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	52/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 UTN, esto con el fin de que los filtros produzcan un agua con turbiedad final de 0.10 UTN; 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 manera directa, es decir en ausencia de un tratamiento Coagulación-Floculación-Sedimentación (C-F-S), o bien, posterior a estos procesos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	53/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	54/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 sílica y antracita o carbón activado.

La arena sílica se constituye por sílice y oxígeno. Es una sustancia muy abundante en la corteza terrestre ya sea en forma de cuarzo u ópalo. Es el mineral más común de la tierra, compuesto por dióxido de silicio o sílice, SiO_2 . 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, riolita 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 1.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	55/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	56/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 a 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.

4. Equipo, Material y Reactivos

Equipo y Material

- Columnas de filtración
- Aparato de Prueba de Jarras
- Turbidímetro con celdas
- Colorímetro con disco y celdas
- Medidor de pH
- Balanza analítica
- Parrilla con agitación
- Agitador magnético
- Espátulas
- Vasos de precipitado de 1 L
- Vasos de precipitado de 50 mL
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Probeta de 1 L
- Cubeta con capacidad de más de 6 L

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	57/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Reactivos

- Sulfato de aluminio en solución
- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido clorhídrico 1N
- Infusión colorante de yerbabuena
- Caolín
- Carbonato de sodio
- Cloruro de calcio

5. Desarrollo

Actividad 1. Procedimiento para conformar la muestra con turbiedad y color

Preparación de la muestra problema:

- Colocar en una cubeta: 5 L de agua de la llave, 1 L de infusión colorante, 1 g de cada uno de los siguientes reactivos: caolín, cloruro de calcio y carbonato de sodio, y el agitador magnético.

Actividad 2. Prueba de Jarras a pH y dosis óptima.

1. Colocar la cubeta con la muestra sintética sobre la parrilla con agitación. Agitar por 3 minutos.
2. Ajustar el pH óptimo.
3. Colocar 1 L de muestra sintética en cada uno de los 6 vasos de precipitados.
4. Coloque los vasos de precipitado en el aparato de jarras.
5. Usando una pipeta, coloque en 6 vasos de precipitados de 50 mL la dosis óptima de sulfato de aluminio.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	58/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. A cada vaso de precipitado de 1 L agregar al mismo tiempo la dosis de sulfato de aluminio previamente medido.
7. 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.

Actividad 3. Decantación y filtración

1. Decante en una cubeta el sobrenadante de cada uno de los vasos, evite la resuspensión de lodos. Estos últimos deberán colocarse en el recipiente de desechos.
2. Vierta cuidadosamente el agua de la cubeta en cada uno de los filtros manteniendo el nivel indicado.
3. Tomar muestras cada 45 segundos, a la salida de los filtros.

Actividad 4. Determinación de pH, color y turbiedad.

Para cada muestra, utilizar el equipo necesario y cuantificar su turbiedad, color y pH.

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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	59/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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 UTN, 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.

Determinación de color

- a. Conectar y encender el equipo colorímetro
- b. Colocar hasta la marca el agua de muestra en una de las celdas del colorímetro.
- c. Colocar agua destilada en la otra celda.
- d. Introducir en la caja del colorímetro ambas celdas, en el orificio interno la muestra y en el externo el agua destilada.
- e. Girar el disco del aparato hasta que ambas celdas tengan un color similar y tomar la lectura en la parte inferior del disco. (La comparación debe hacerse en un lugar bien iluminado).

Determinación de pH

- a. Obtener una muestra y transferir a un vaso de precipitados de 100 mL.
- b. Enjuagar el electrodo con agua destilada y secar con papel absorbente, sin frotar.
- c. Introducir el electrodo en la muestra.
- d. Encender el medidor y tomar la lectura.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	60/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- e. Apagar el medidor de pH y enjuagar el electrodo con agua destilada.

Registrar en las siguientes tablas los resultados de la prueba.

Tabla 5.2. Parámetros iniciales de la muestra.

Muestra	Turbiedad	Color	pH
Agua con turbiedad y color			

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

Muestra	Turbiedad	Color	pH
Agua con turbiedad y color			

Registrar los parámetros del agua con color a la salida de cada filtro. Utilizando los parámetros de la muestra después del proceso filtración calcular las eficiencias de remoción para color y turbiedad.

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

Muestra /Filtro	Turbiedad	Color	pH	Eficiencia remoción de turbiedad	Eficiencia remoción de color
1					
...					

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	61/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Análisis de resultados

- Comparar los resultados obtenidos en las muestras a la salida de cada filtro.
- Identificar el filtro más eficiente en la remoción de partículas suspendidas y tratar de indicar las causas.
- Comparar los parámetros indicados de las características del agua a la salida de cada filtro con referencia a la NOM-127-SSA vigente.
- Observar los filtros y sus características granulométricas. Comparar con las recomendaciones de 3 autores.

7. Conclusiones

Generar 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. Secretaría 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/manual/tomoll/nueve.pdf>).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	62/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Maldonado Yactaco, Víctor., Filtración; Capítulo 5. (Disponible en: <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoll/cinc o.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>).

9. Anexos

I. Actividades previas.

- Investigar la diferencia entre carbón activado y antracita.
- Investigar qué otros procesos para remover color pueden usarse.
- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- Lectura recomendada [Redalyc.Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol](#)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	63/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica #6

Desinfección

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	64/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

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

Elementos de protección personal



2. Objetivos 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.

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,

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	65/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

etc., para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, hierro, cianuro y manganeso, remoción de amoníaco y color orgánico.

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

- Disponible como gas, líquido o en forma granular.
- Es relativamente barato.
- Es fácil de aplicar, debido a su alta solubilidad.
- Tiene una alta toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- Deja un residual en solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.

Entre sus desventajas podemos señalar:

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

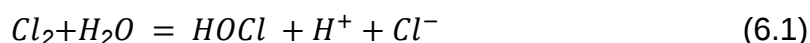
Según la Organización Mundial de la Salud, “En la actualidad, la desinfección con cloro es la mejor garantía del agua microbiológicamente potable”. Por sus propiedades, el cloro es efectivo para combatir todo tipo de microbios contenidos en el agua, incluidos las bacterias, los virus, los hongos y las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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	66/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	67/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

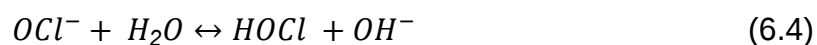
pH	Residual predominante
Menor de 6	HOCl
7.7	HOCl y OCl ⁻
Mayor de 9	OCl ⁻

Las especies HOCl y OCl⁻ en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual libre.

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



y



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



y



	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	68/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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, amoníaco y aminas orgánicas, se puede construir una gráfica de la dosis contra los residuales obtenidos llamada curva de demanda de cloro, en la que se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y luego, finalmente, de otro incremento a partir de un punto conocido como punto de quiebre.

Inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, y éste reacciona con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable; una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores, éste reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes; a continuación, se presenta la destrucción de las cloraminas, que reduce el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno. Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. La Figura 6.1 muestra la curva de demanda de cloro.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	69/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Curva de cloración

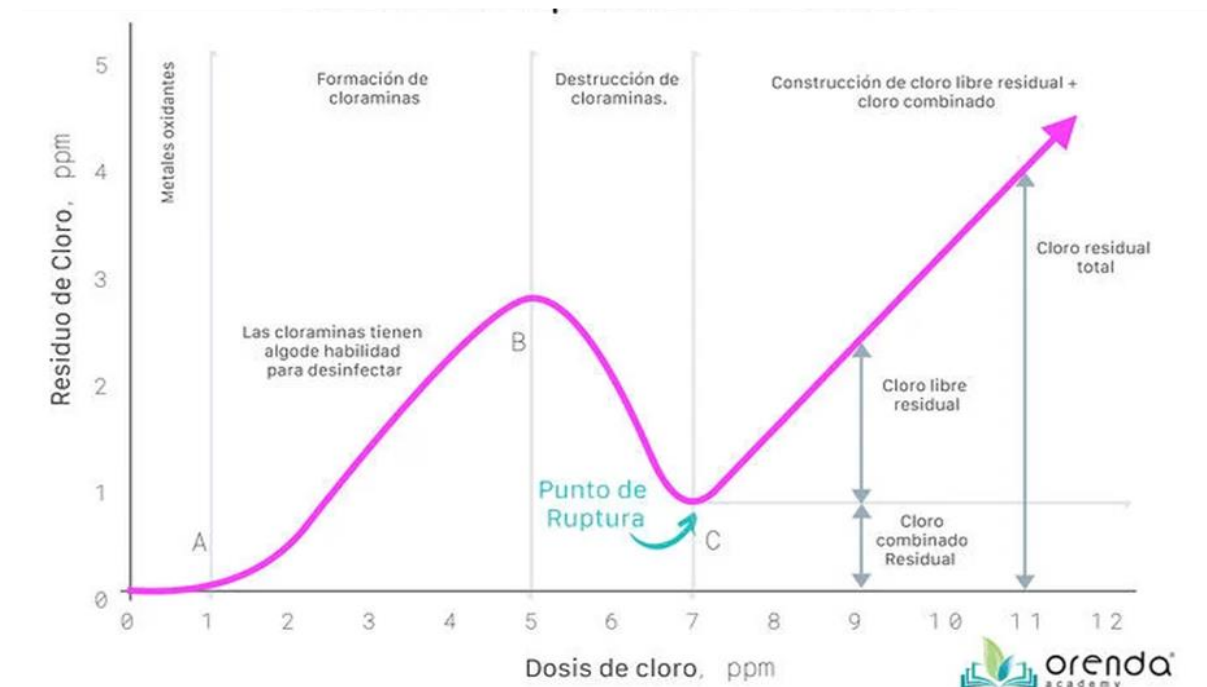


Figura 6.1. Curva de demanda de cloro.

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	70/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

del agua a analizar en series de tubos con caldo lactosado y resiembra en medios de cultivo selectivos e incubando a temperaturas adecuadas.

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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	71/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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

Equipo y material

- Vasos de precipitado 50 mL, 100 mL, 250 mL y 1L
- Pipetas graduadas 5 y 10 mL
- Propipetas
- Bureta y soporte universal
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Probeta 100 mL
- Charola de aluminio
- Palangana
- Cronómetro
- Cajas Petri estériles
- Membrana Cojín absorbente
- Matraz Kitasato
- Aparato de filtración estéril
- Mecheros con manguera
- Bomba de vacío
- Pinzas
- Incubadora

Reactivos

- Hipoclorito de sodio (solución cloradora)
- Agua residual tratada
- Ácido acético concentrado
- Yoduro de potasio (sal de reactivo)
- Disolución de almidón (indicador)
- Tiosulfato de sodio, 0.01 N
- Caldo m-Coli-blue

5. Desarrollo

Actividad 1 Curva de cloración

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	72/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para esta prueba usar 15 muestras de agua residual tratada, con diferentes dosificaciones de cloro. Hay que hacer énfasis en que el proceso requiere mucha precisión en el tiempo de aplicación de los reactivos.

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

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

4. Al terminar el tiempo de contacto, agregar inmediatamente a cada matraz que contiene la muestra:
 - a. 2.0 mL de ácido acético.
 - b. 1 g de yoduro de potasio.
 - c. 2 a 3 gotas de almidón.
5. Dejar un tiempo de contacto de 10 min con los reactivos.
6. Titular enseguida con tiosulfato de sodio (0.01 N)

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	73/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
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 normal 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].

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

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	74/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 2 Identificación del punto de quiebre

1. Registrar los resultados de la prueba indicando la dosis de cloro y el cloro residual calculado.
2. Elaborar una gráfica donde se represente dosis de cloro vs cloro residual, e identificar en ésta el punto de quiebre.
3. Obtener la demanda de cloro a punto de quiebre para este tipo de agua residual tratada utilizando la ecuación 6.9.

Actividad 3. Cuantificación de microorganismos indicadores de calidad del agua, mediante la Técnica del Filtro de Membrana

Nota: En las pruebas bacteriológicas es de gran importancia 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.

1. Tomar dos muestras de 100 mL,
 - a) muestra sin desinfectar.
 - b) muestra con la dosis de solución cloradora que se determinó en el punto de quiebre con el tiempo de contacto establecido.
2. Acoplar el aparato de filtración al matraz Kitasato.
3. Utilizar pinzas estériles para tomar el filtro de membrana de su empaque y colocarlo sobre el soporte, seguir el orden mostrado en la Figura 6.2.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	75/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 6.2 Colocación de filtro sobre soporte filtrante.

4. Ensamblar el aparato de filtración en la parte superior del matraz Kitasato y conectar a la bomba de vacío, considerar como ejemplo la figura 6.3.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	76/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

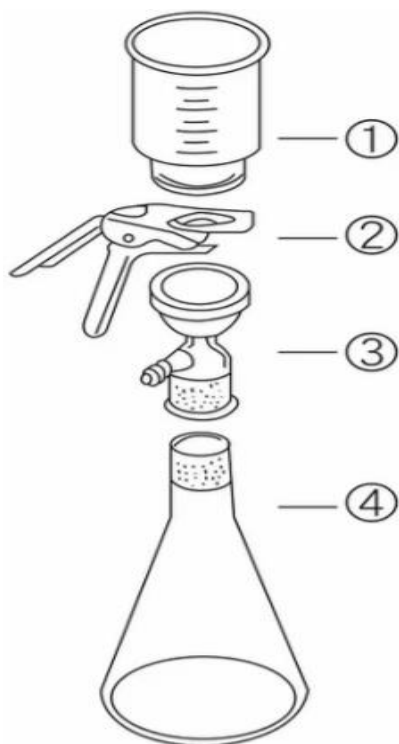


Figura 6.3 Aparato de filtración completo

5. Filtrar la muestra sin desinfectar, hasta que todo el líquido pase por el filtro de membrana.
6. Repetir el procedimiento del numeral anterior con la muestra clorada.
7. En una caja Petri colocar un cojín absorbente y añadir el medio de cultivo coli blue, que permite determinar a los coliformes totales (colonias de color azul) y fecales (colonias de color rojo) en un mismo ensayo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	77/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Retirar el filtro del aparato (Figura 6.4) con las pinzas estériles y colocarlo en la caja Petri, previamente marcada en la parte inferior con la cuadrícula hacia arriba.

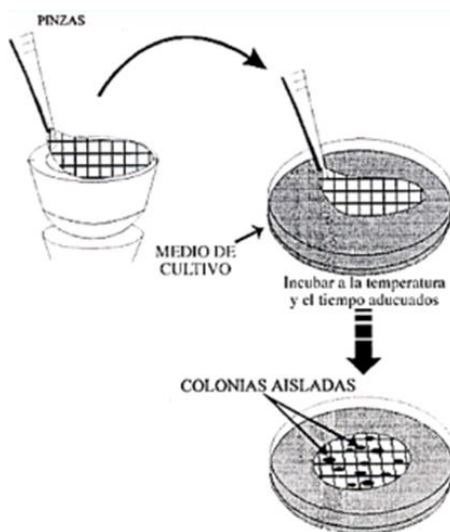


Figura 6.4 Cómo retirar el filtro utilizando pinzas estériles.

9. Cerrar la caja Petri y colocarla en la incubadora a 35 °C por un periodo de al menos 24 horas.

Actividad 3.1 Conteo de colonias desarrolladas

Observar las cajas Petri después del tiempo de incubación y contar las colonias que se formaron (Figura 6.5). Realizar un registro fotográfico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	78/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

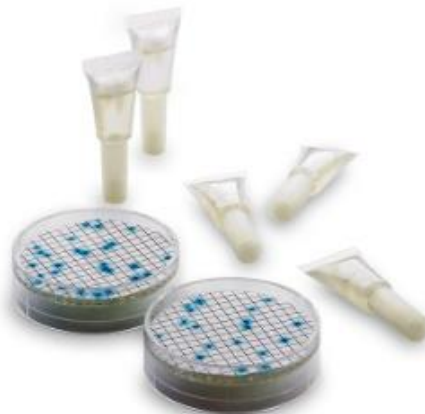


Figura 6.5 Crecimiento de colonias en medio m-Coli-blue.

6. 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?

	Manual de prácticas del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios	Código:	MADO-98
		Versión:	01
		Página	79/79
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Conclusiones

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

8. Bibliografía

- Vázquez González, Alba Beatriz, 2007 Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/4341/Guia_para_la_vigilancia_del_agua_VERSION_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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.]
<https://blog.orendatech.com/es/entendiendo-el-puntode-rupturadelcloro>

9. Anexos

I. Actividades previas.

- Realizar un mapa conceptual basándose en la introducción.
- Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- 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](#)