



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Química

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCION
DE AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y DE USO
INDUSTRIAL EMPLEANDO UN MATERIAL
INORGANICO ANTIBACTERIAL**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO I

HECHOS Y CIFRAS

Cuerpos de agua y Poblaciones



• La Organización Mundial de la Salud (OMS), reporta que aproximadamente 1,6 millones de personas mueren anualmente en países en vía de desarrollo a causa de enfermedades diarreicas, atribuibles a la falta de acceso a agua potable y saneamiento básico. (90% son niños menores de 5 años).

• Se estima que, sólo en Estados Unidos, la industria genera cerca de 3,63 millones de toneladas de contaminantes orgánicos peligrosos cada año, y que únicamente un 10% de estos contaminantes son evacuados de manera ecológicamente aceptable.



HECHOS Y CIFRAS

Cuerpos de agua y Poblaciones



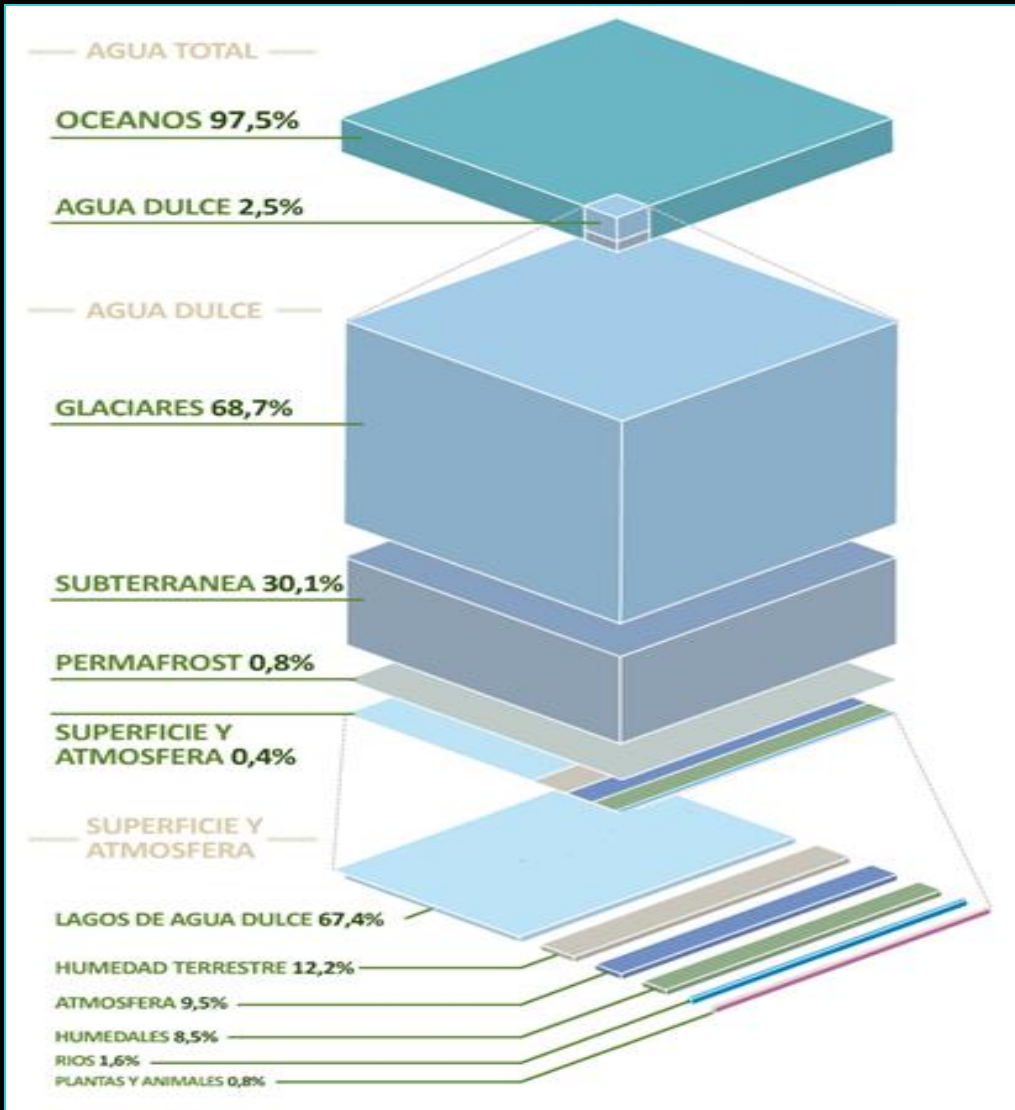
- África tiene 150 millones de residentes que carecen de un suministro de agua adecuado y en Asia viven $\frac{3}{4}$ de la población mundial sin acceso al abastecimiento de agua.

- Se estima que el consumo diario de agua per cápita en áreas residenciales es de 350 litros en Norteamérica y Japón, 200 litros en Europa y de 10-20 litros en África sub-sahariana.



HECHOS Y CIFRAS

Cuerpos de agua y Poblaciones



• El 97% del agua del mundo es salada y solo el 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, solo el 1% se encuentra en estado líquido y es potable.



CALIDAD DEL AGUA

Agua, salud y enfermedades



El término “calidad del agua” se refiere a la composición de la misma en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Cada segundo, la industria, las ciudades, las zonas agrícolas, vierten toneladas de residuos a los ríos y a las costas. Cada litro de agua contaminada que se vierte significa la pérdida de cien litros de agua potable.

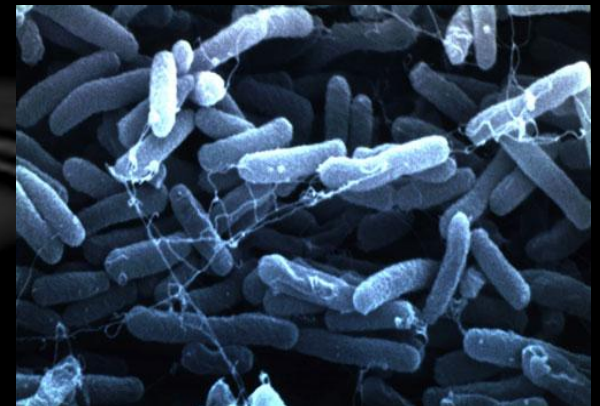
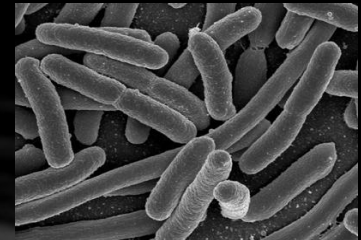


Bacterias como indicadores de contaminación

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en los cuerpos de agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal.

El grupo más utilizado de bacterias indicadoras de contaminación en cuerpos de Agua son las bacterias coliformes por las siguientes razones:

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
- Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.



TEORIA DE LA DESINFECCION

Saneamiento y potabilización



La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

Los procesos de mezcla, coagulación, sedimentación y filtración remueven, con mayor o menor eficiencia, la mayoría de las bacterias y virus presentes en el agua. Desde este punto de vista pueden ser considerados como procesos preparatorios para la desinfección, pues cumplen dos objetivos:

- Disminuyen la carga bacteriana del agua.
- Hacen más eficientes los métodos de desinfección.

Tipos de remoción primaria en desinfección del agua

- Coagulación-floculación y sedimentación.
- Filtración.

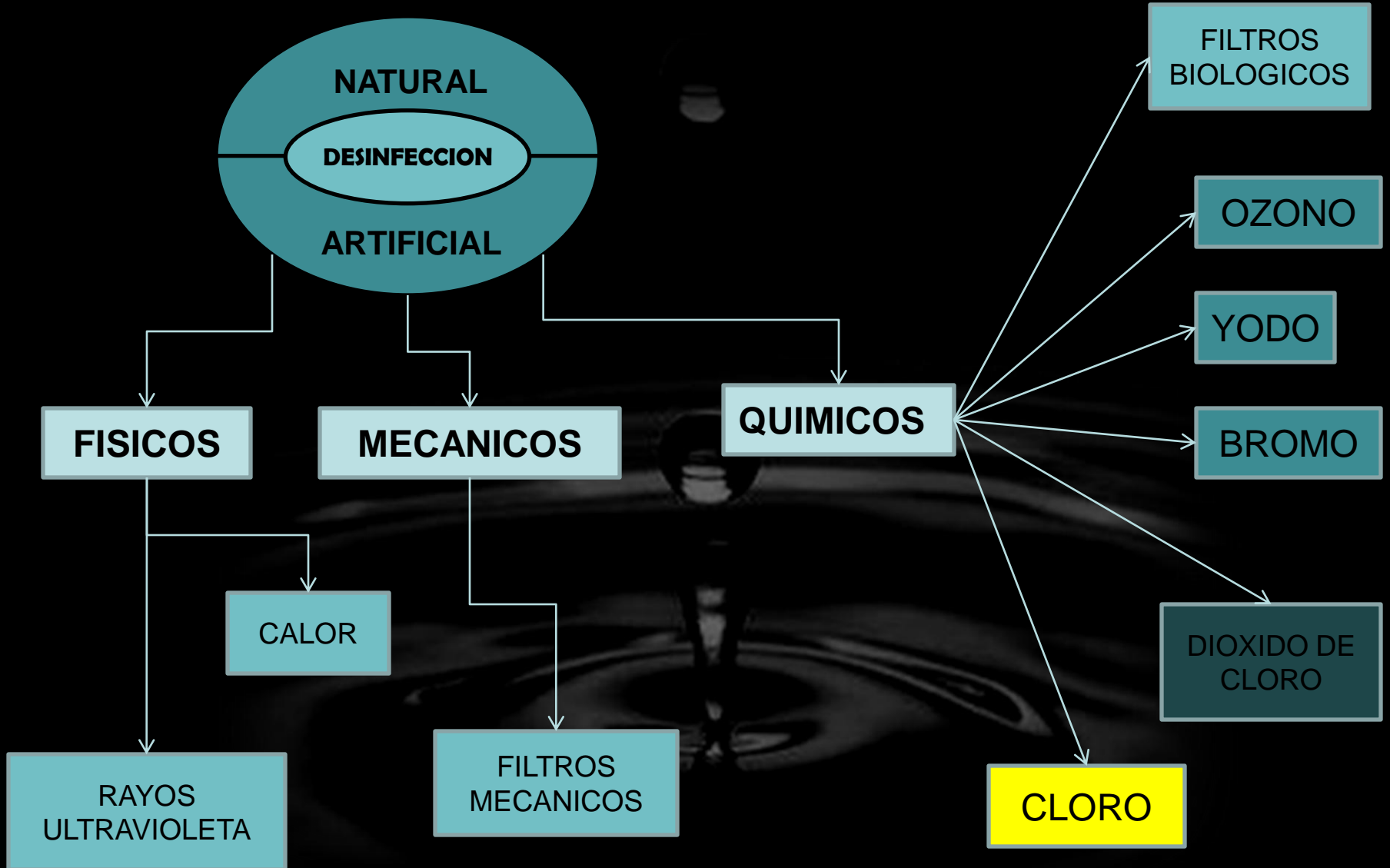
Condiciones del desinfectante ideal



Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en las plantas de purificación son:

- Debe ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades.
- Debe realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.
- No debe hacer el agua tóxica, peligrosa para la salud o de sabor desagradable.
- Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- Su concentración en el agua debe poderse determinar prontamente.
- Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminantes.

Modos de desinfección del agua



COLORO

El desinfectante universal



Hasta la fecha, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo, ya sea utilizado solo o en forma de hipoclorito sódico.

Ventajas

- Alto carácter antibacterial hacia una numerosa gama de virus y bacterias.
- Rápida efectividad.
- Bajo costo económico.
- Posee efecto residual



COLORO

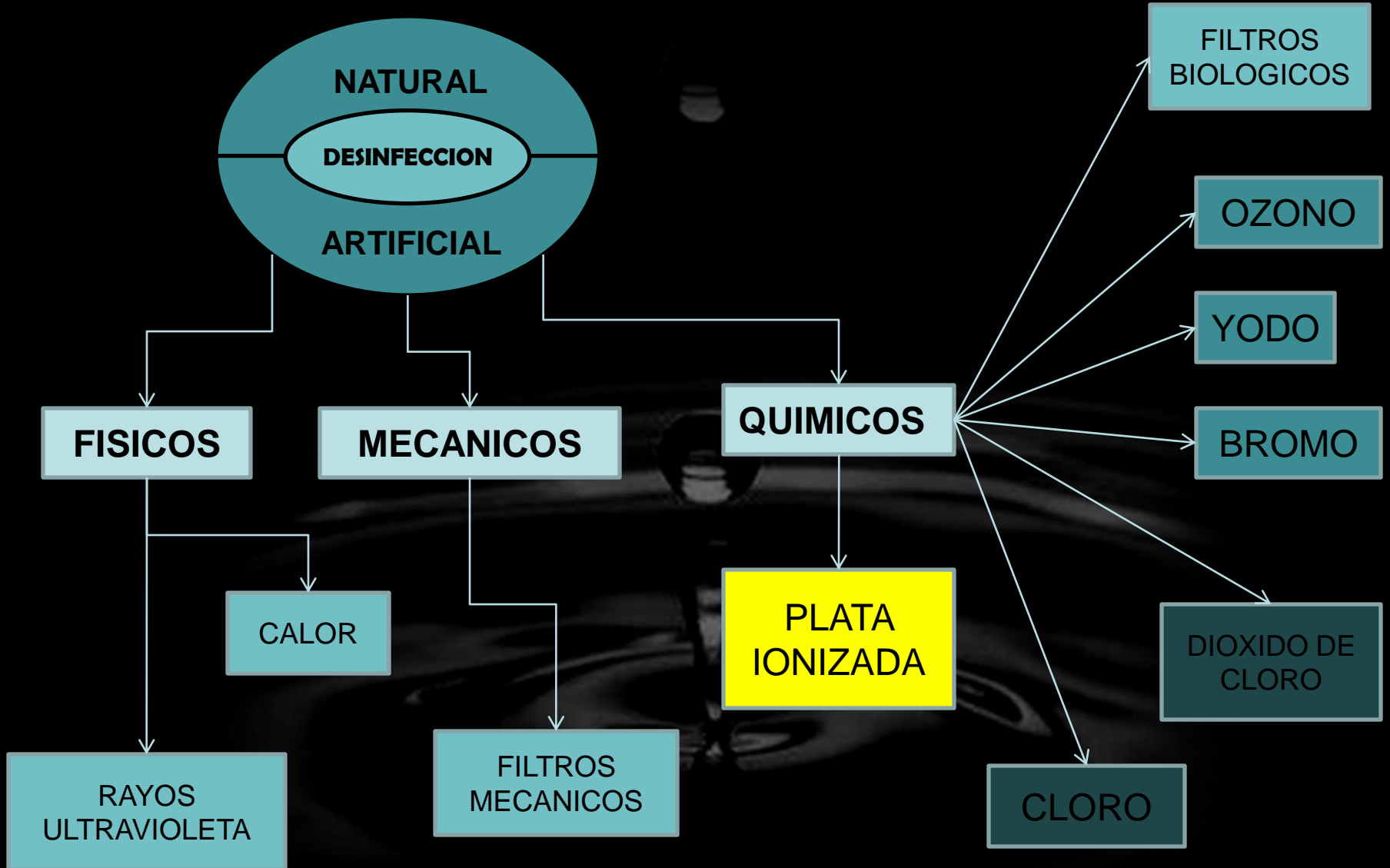
El desinfectante universal



Desventajas

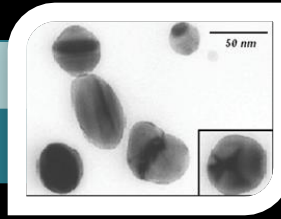
- El agua clorada expone al público consumidor a un riesgo potencial. El cloro reacciona con la materia orgánica del agua formando una serie de compuestos llamados trihalometanos, de carácter cancerígeno para la salud humana.
- El efecto del cloro sobre los microorganismos se ve afectado por diferentes condiciones, es así como su acción decrece a pH altos y a altas concentraciones de materia orgánica.
- Es necesario perfeccionar las técnicas de medición de los precursores y subproductos del cloro de una manera práctica y confiable que permita la caracterización de las fuentes de agua que se utilizarán para el abastecimiento.
- No todas las aguas superficiales son aptas para su cloración directa sin tratamiento y para su uso posterior para consumo humano. Su selección depende de la demanda de cloro, pues las características del agua influyen en la formación de compuestos organoclorados que, en altas concentraciones, podrían tener efectos adversos en la salud.

Modos de desinfección del agua



IONES DE PLATA

Propiedades antibacterianas



La plata metálica (Ag) ha sido usada para tratar una variedad de enfermedades durante siglos, más notablemente infecciones.

Está bien documentado que los griegos y romanos usaban plata como desinfectante, los macedonios la usaban para favorecer la cura de heridas y más recientemente la NASA seleccionó un sistema en base a plata para mantener la pureza del agua y un ambiente sin bacterias en sus transbordadores espaciales.

47	107.868
2163	1.4
961	
Ag	
[Kr]4d ¹⁰ 5s	
10.5	1

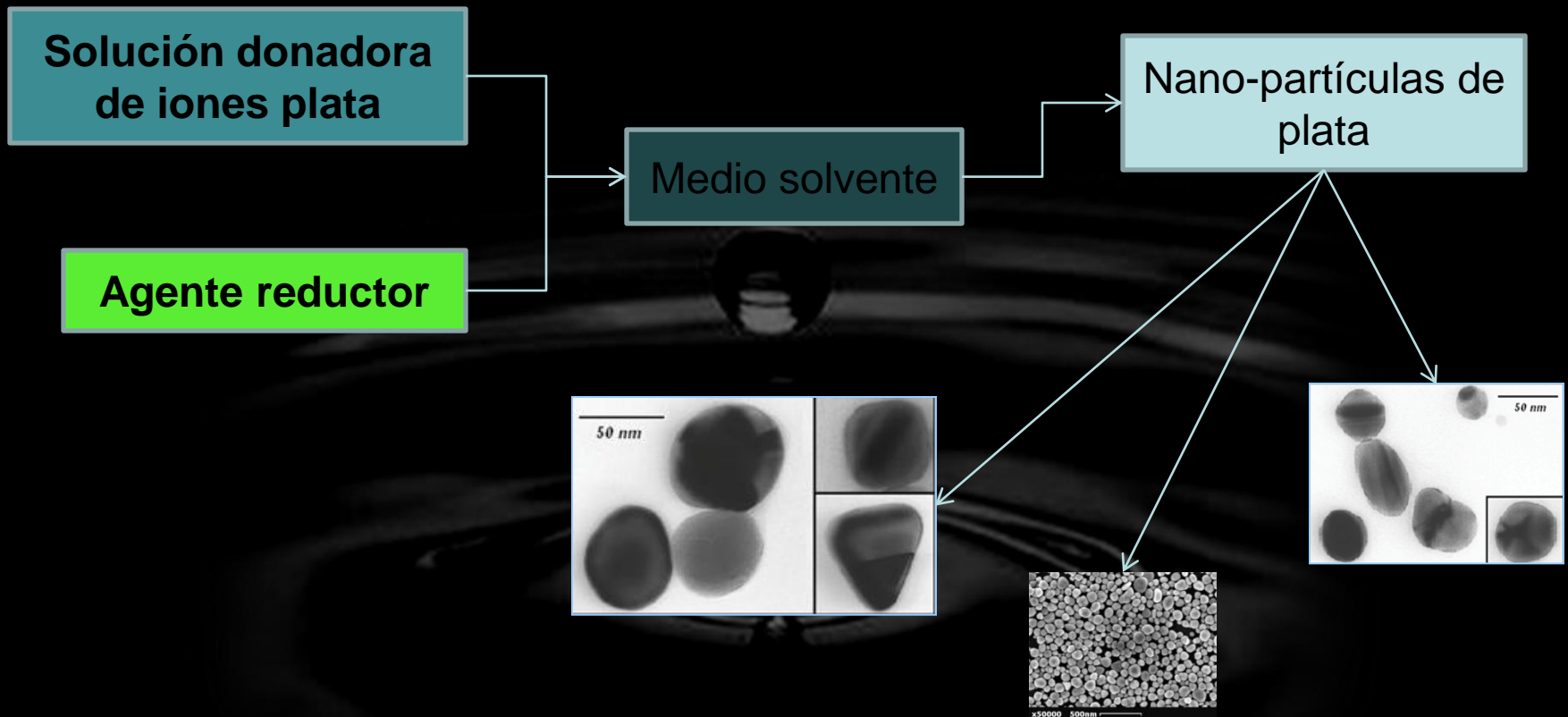


La oxidación catalítica de la plata metálica y la reacción de los iones de plata monovalentes disueltos en el medio, probablemente contribuyan a su efecto bactericida.

Un hecho curioso es que no es probable que los microbios desarrollen resistencia a la plata como lo hacen contra los antibióticos convencionales, esto se debe a que el metal ataca una amplia gama de objetivos en el microorganismo, lo que significa que el mismo tendría que desarrollar una serie de mutaciones simultáneamente para protegerse.

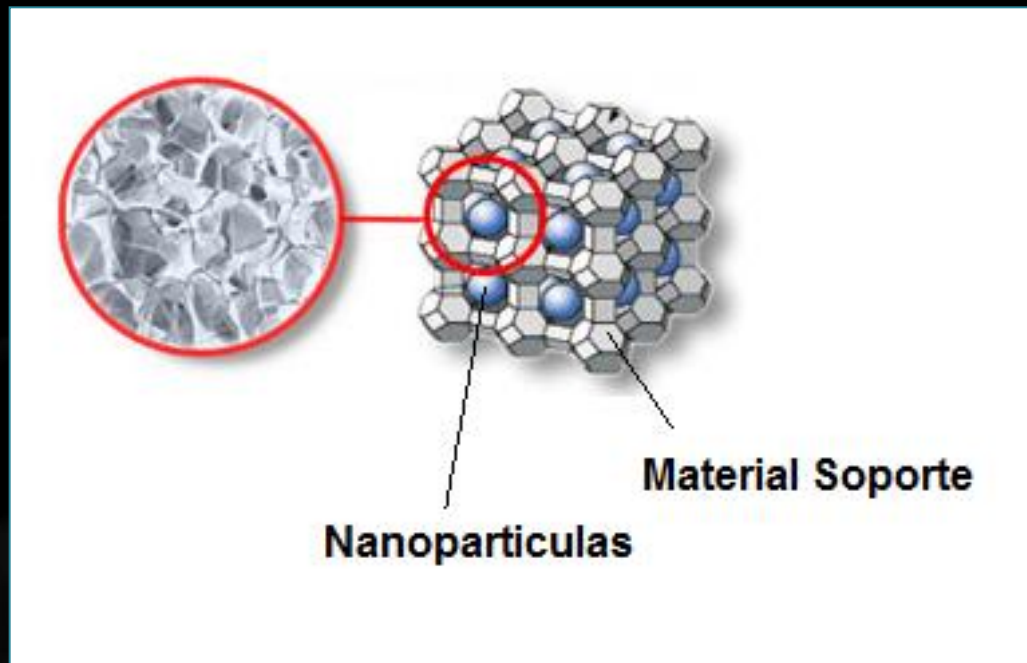
Método Poliol

Este método se emplea para promover la formación de nanopartículas metálicas a partir de la reducción de los iones plata presentes en el medio de reacción (generalmente un solvente como el etilenglicol y una solución donadora de iones plata (Ag^+)).



Nanopartículas soportadas

Evaluando la opción de utilizar materiales “soportes” donde se depositen directamente las nanopartículas de plata, la reducción de las nanopartículas de plata se efectúa en el interior de los espacios huecos de la estructura del soporte empleado, llenando estas cavidades.



Alúmina Al_2O_3

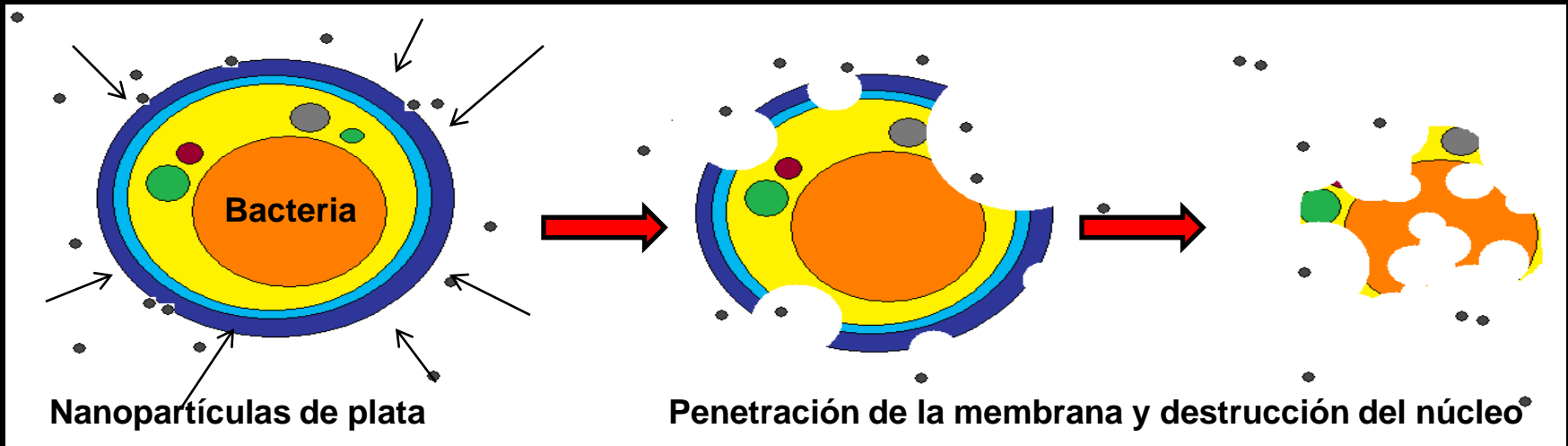
Son óxidos de aluminio obtenidos a partir de los oxihidróxidos e hidróxidos de aluminio, posee una estructura molecular con abundantes espacios huecos (vacíos), además de tener alta área superficial ($> 350 \text{ m}^2/\text{g}$) permitiendo que las nanopartículas de plata se depositen y alojen en los espacios vacíos de dichas estructuras logrando una gran dispersión y cubriendo uniformemente la superficie del soporte, generando así el material deseado.



En cuanto al método utilizado para soportar dichas nanopartículas sobre los diferentes materiales, se destaca el de “impregnación”, método en el cual se sumerge el soporte en la solución donde se llevará a cabo la reducción de los iones metálicos, logrando así su deposición directamente sobre los espacios vacíos en el interior de la estructura.

Nanopartículas de plata como bactericidas alternos

Cuando una partícula de plata metálica entra en contacto con la membrana de algunos tipos de bacteria genera una reacción que le provoca la ruptura provocando así la muerte del microorganismo .



El agua tratada con iones plata:

- No tendrá ningún efecto nocivo sobre el organismo humano, si se mantienen las concentraciones adecuadas
- Las concentraciones deben ser próximas a los 0,05 mg/L, límites del Código Alimentario Internacional.
- Tampoco afecta el sabor ni el olor del agua, lo cual es especialmente ventajoso para su uso en aguas envasadas .

ANTECEDENTES

de la investigación

AUTOR		Chen, Z., Fu, R., Wu, D., Xu, W., Ye, Q. y Zhang, S. Guangzhou, China. (2004).
Sistema antibacterial empleado	Agente bactericida.	- Nanopartículas de Plata.
	Soporte del agente bactericida	- Distintos tipos de aerogeles (diferentes concentraciones).
	Método de síntesis del agente bactericida	- Método Poliol, directamente sobre el soporte (inmersión).
Bacterias analizadas		- <i>Escherichia Coli</i> . - <i>Staphylococcus aureus</i> .

El contenido de plata en los aerogeles se ve alterado por la concentración de nitrato de plata empleado en la formación de las nanopartículas.

Los aerogeles sintetizados poseen fuertes comportamientos bactericidas, que varían dependiendo de diversas variables presentes en la experiencia como tamaño y forma de las nanopartículas de plata.

ANTECEDENTES

de la investigación

AUTOR		Salopek-Sondi, Banka y Sondi, Ivan. Zagreb, Croacia. (2004).
Sistema antibacterial empleado	Agente bactericida.	- Nanopartículas de Plata.
	Soporte del agente bactericida	- Sin soporte (nanopartículas en contacto directo sobre las bacterias)-
	Método de síntesis del agente bactericida	- Método poliol.
Bacterias analizadas		- <i>Escherichia Coli</i> .

Se lograron altos niveles de inhibición del crecimiento bacterial, alcanzando el 70% y 100% de efectividad variando la concentración de plata en las nanopartículas. Estos estudios se llevaron a cabo empleando concentraciones de 10 a 100 $\mu\text{g cm}^{-3}$ de nanopartículas de plata que se pusieron en contacto directo con las bacterias anteriormente mencionadas a diferentes tiempos de contacto.

ANTECEDENTES

de la investigación

AUTOR		Geckeler, K., Lee, K., Mohan, Y. y Premkumar, T. Gwangju, Korea del Sur. (2007).
Sistema antibacterial empleado	Agente bactericida.	- Nanopartículas de Plata.
	Soporte del agente bactericida	- Diferentes tipos de hidrogeles (diferentes concentraciones).
	Método de síntesis del agente bactericida	- Método poliol, directamente sobre el soporte (inmersión).
Bacterias analizadas		- <i>Escherichia Coli</i> .

Los hidrogeles con plata soportada se obtuvieron por impregnación de estos en una solución de nitrato de plata a diferentes concentraciones. Las nanopartículas de plata as efectivas sintetizadas fueron de aprox. 2,67 nm de diámetro.

Para las pruebas bactericidas, se pusieron en contacto directo con los cultivos de bacterias preparados diversas muestras a diferentes concentraciones en plata de los hidrogeles sintetizados.

ANTECEDENTES

de la investigación

AUTOR		Matsumoto, K., Miyamae, N., Nishizawa, Y., Tsuji, M., Tsuji, T. y Zhang, X. Guangzhou, China. (2007).
Sistema antibacterial empleado	Agente bactericida.	- Nanopartículas de Plata.
	Soporte del agente bactericida	- Polivinilpirrolidona (PVP).
	Método de síntesis del agente bactericida	- Método Poliol con irradiación por microondas (MW).
Bacterias analizadas		- <i>(Ninguna)</i> .

Se determinó que se puede obtener una amplia gama de formas y tamaños de las nanoestructuras de plata sintetizadas variando parámetros experimentales como las concentraciones de PVP, AgNO₃ y el tiempo de calentamiento en el horno de microondas.

OBJETIVOS



General:

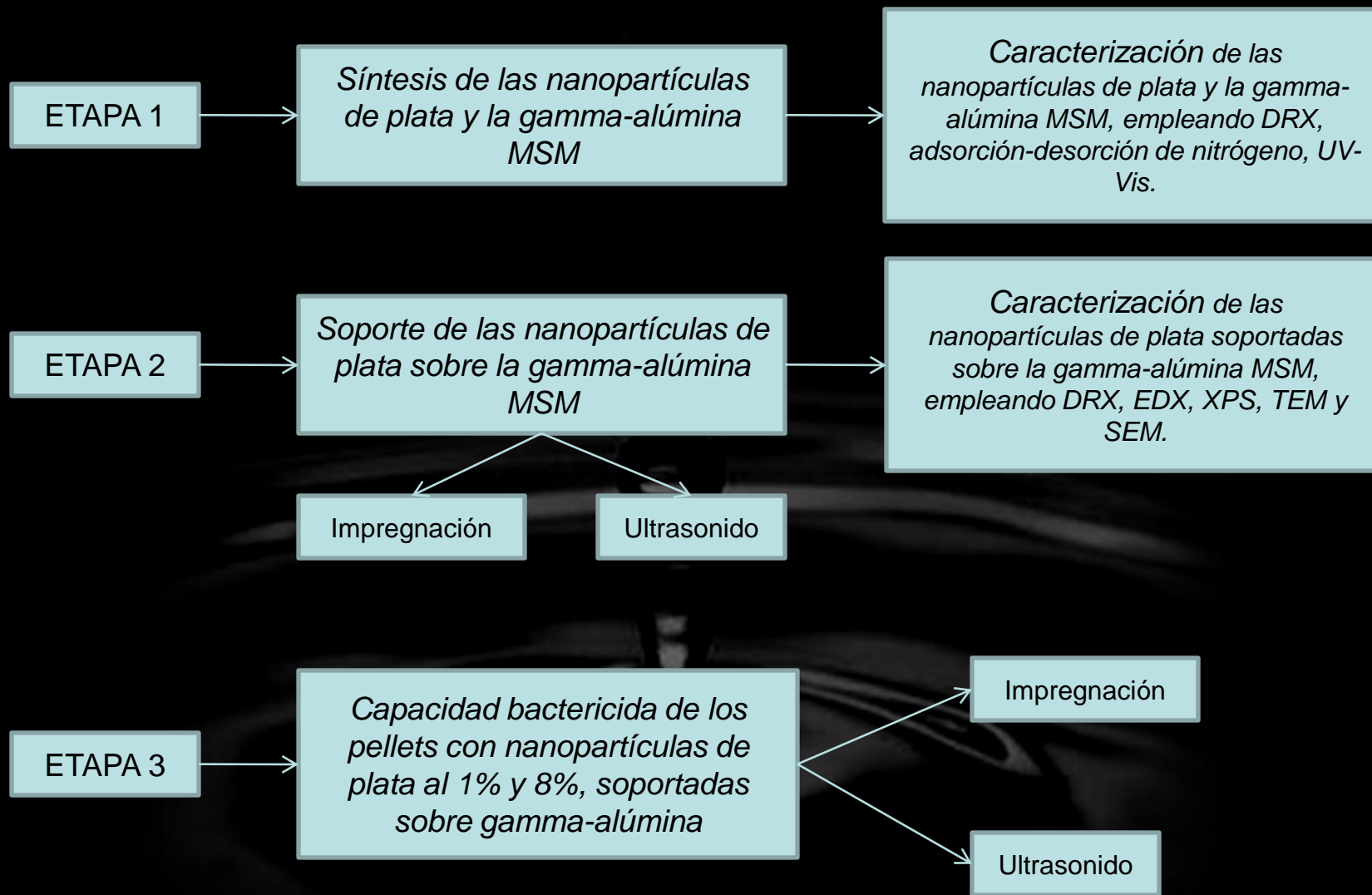
Evaluación de un sistema preparado a partir de nanopartículas de plata, soportadas sobre gamma-alúmina ($\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$), a escala laboratorio, con miras a su utilización como desinfectante para aguas de consumo humano y uso industrial.

Específicos:

- Sintetizar un material con características bactericidas, a partir de nanopartículas de plata soportadas sobre gamma-alúmina
- Analizar las propiedades bactericidas de los materiales preparados.
- Diseñar y construir un sistema de desinfección, a escala laboratorio, de utilidad práctica en aguas para consumo humano o industrial.
- Evaluar de manera preliminar la factibilidad técnico-económica de su potencial aplicación en aguas para consumo humano o industrial.

METODOLOGÍA

Fase experimental



METODOLOGÍA

Fase experimental



ETAPA 4

Simulación del proceso de desinfección de las nano-partículas de Ag/Al₂O₃ en sus distintas configuraciones, en sistemas por carga y continuo

Caso 1. Nano-partículas de plata soportadas en polvo de gamma-alúmina comercial, en un sistema por carga

Caso 2. Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema por carga

Caso 3. Comparación entre las nano-partículas de plata soportadas en polvo de gamma-alúmina comercial con las soportadas en polvo de gamma-alúmina sintetizada MSM

Caso 4. Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema continuo de lecho fijo

Caso 5. Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema continuo de lecho fijo, escala laboratorio, duplicando la altura del lecho.

Caso 6. Comparación entre las nano-partículas de plata soportadas en gamma alúmina comercial y el cloro para evaluar su factibilidad técnico-económica

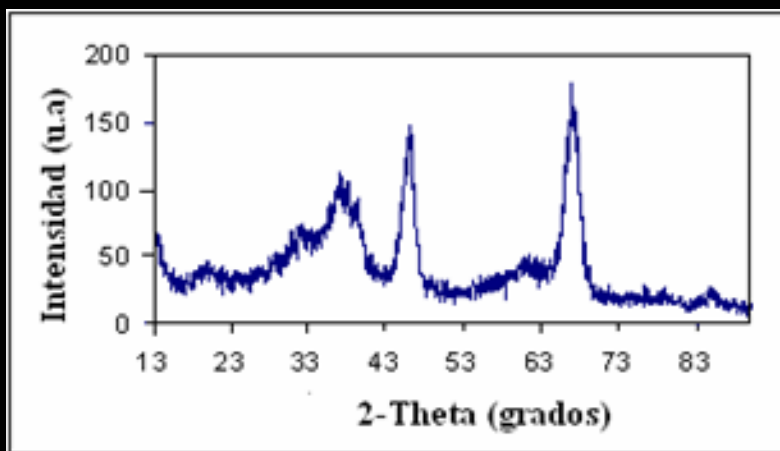
Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental

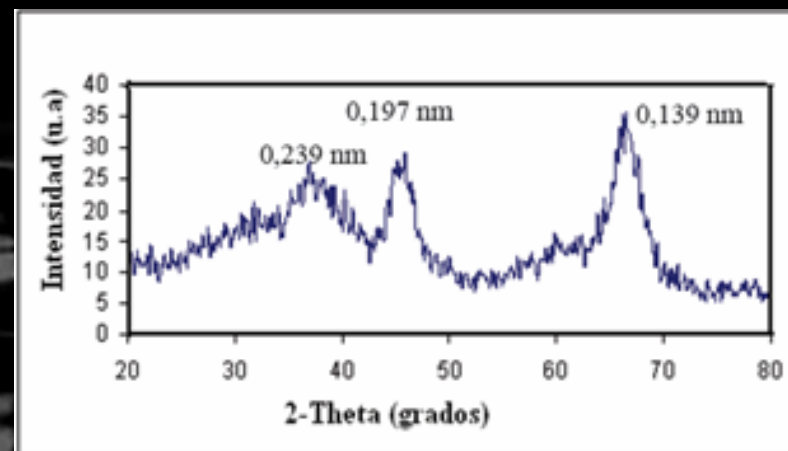


1. Caracterización de las alúminas empleadas como soporte

Difractogramas (DRX)



Gamma-alúmina comercial



Gamma-alúmina MSM

Análisis y Discusión de resultados

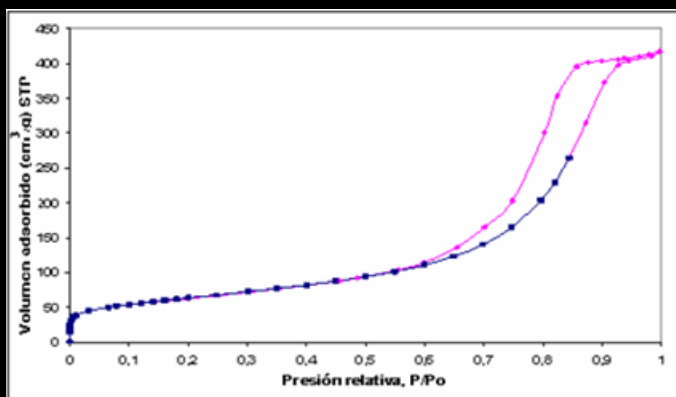
Fase experimental



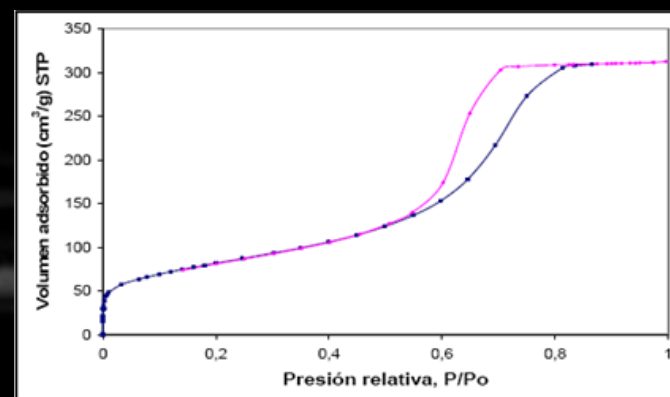
1. Caracterización de las alúminas empleadas como soporte

Adsorción-desorción de nitrógeno

Gamma-alúmina comercial



Gamma-alúmina MSM



$A_S = 210 \text{ m}^2/\text{g}$
 $R_p = 5 \text{ nm}$



$A_S = 380 \text{ m}^2/\text{g}$
 $R_p = 4 \text{ nm}$



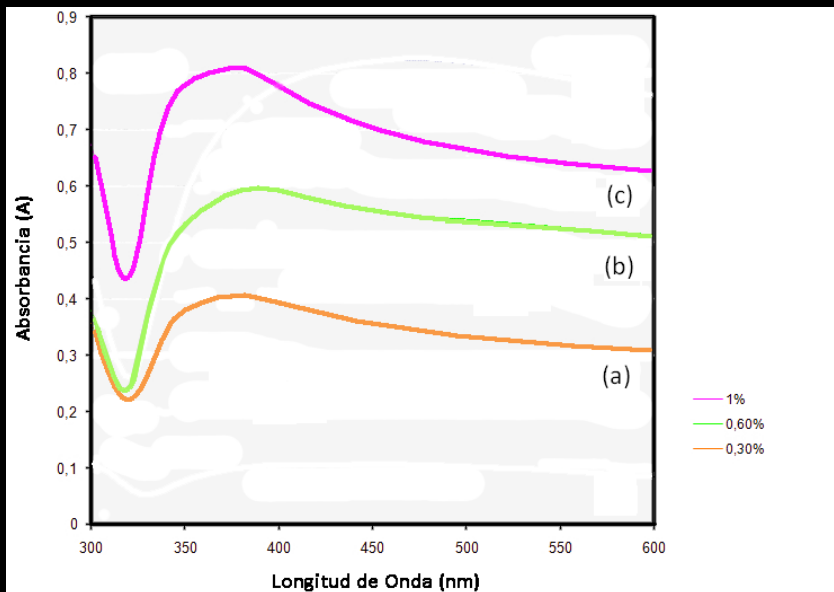
Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental

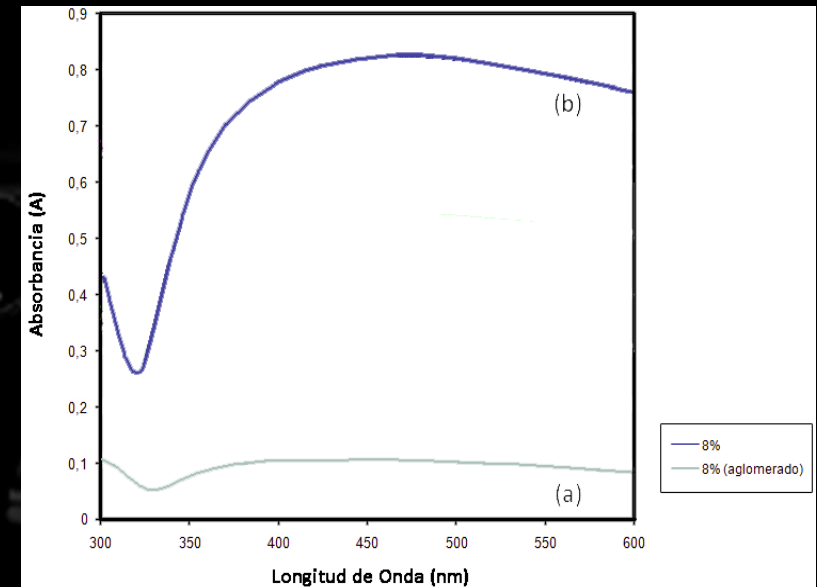


2. Síntesis de las nanopartículas de plata (método Poliol) y caracterización

Espectros de Absorción. UV-Visibles



UV-Vis de soluciones con diferentes Composiciones de plata (0,3%, 0,6% y 1%).



UV-Vis de soluciones con 8% de plata (Con ultrasonido) (a) y 8% de plata (Sin ultrasonido) (b)

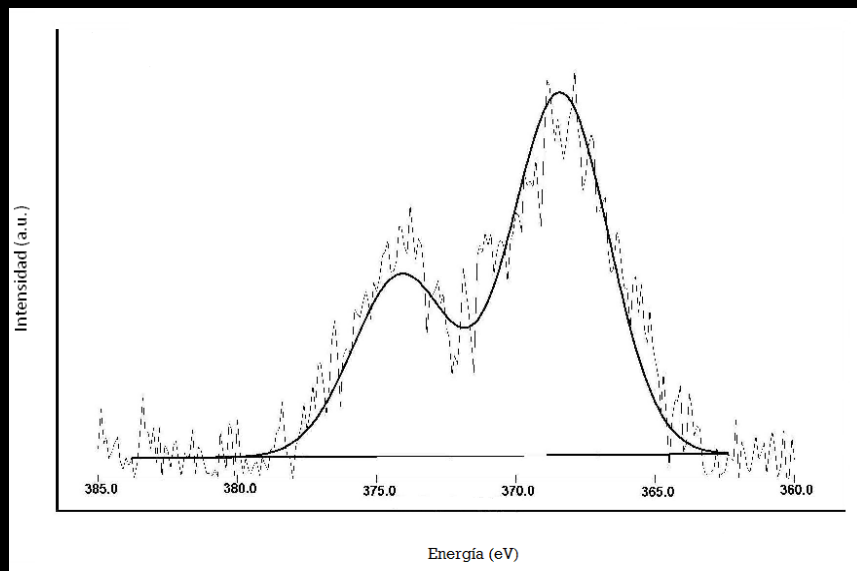
Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental

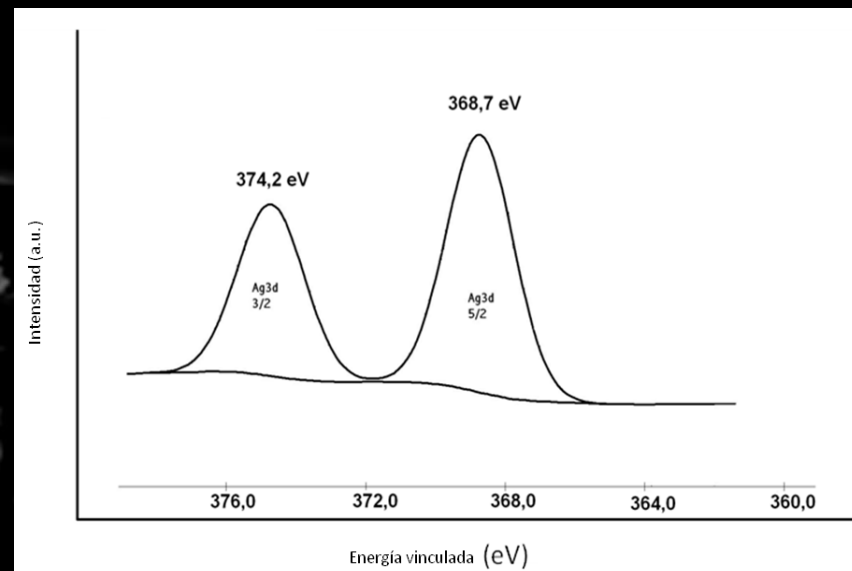


3. Soporte y caracterización de nano-partículas de plata sobre gamma-alúmina

Espectroscopia foto-electrónica de Rayos X (XPS)



Nanopartículas de plata al 1% sobre gamma-alúmina



Nanopartículas de plata al 8% sobre gamma-alúmina

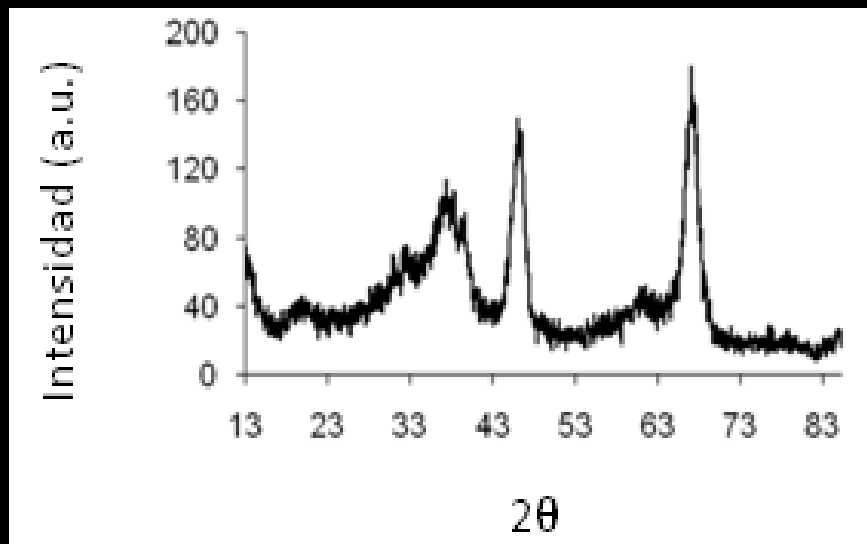
Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental

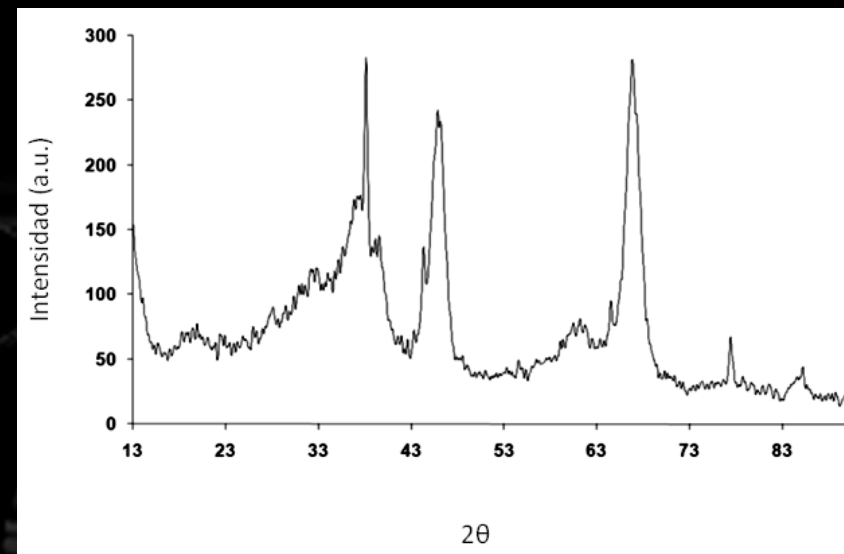


3. Soporte y caracterización de nano-partículas de plata sobre gamma-alúmina

Difractogramas (DRX)



Nanopartículas de plata soportadas sobre gamma-alúmina comercial



Nanopartículas de plata soportadas sobre gamma-alúmina MSM

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental

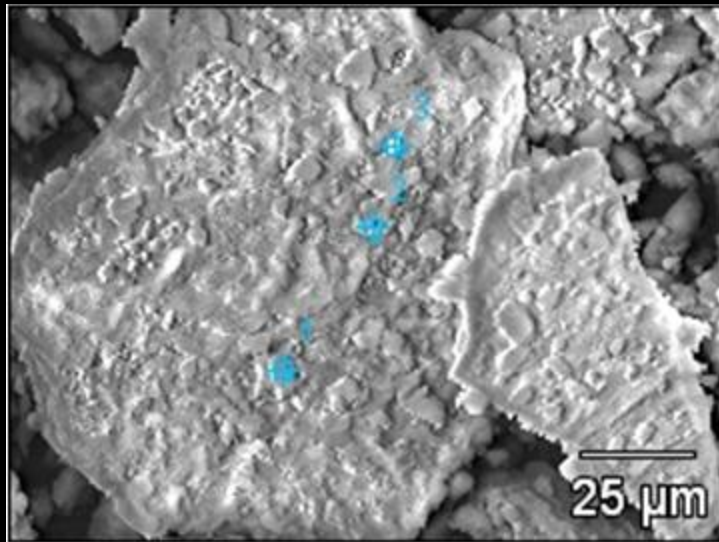


3. Soporte y caracterización de nano-partículas de plata sobre gamma-alúmina

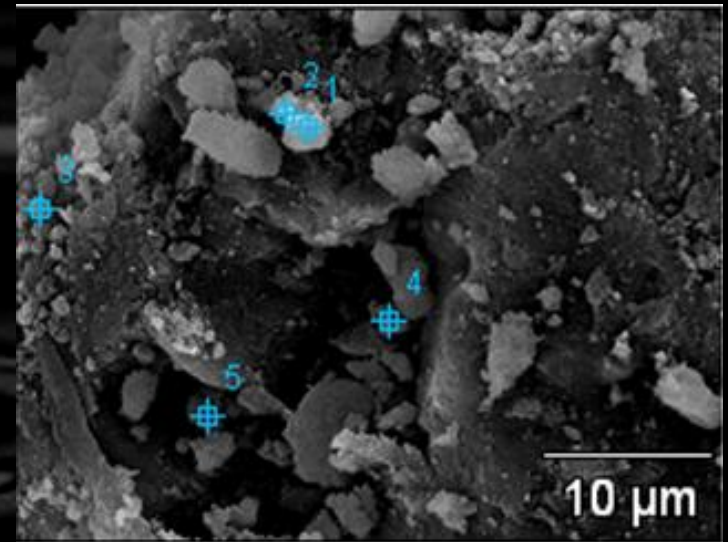
Ultrasonido

Microscopia Electrónica y Difracción de rayos X (EDX)

Partículas de gamma-alúmina con nanopartículas de plata soportadas



(Magnificación x800, voltaje 20.0KV)



(Magnificación x3000, voltaje 20.0KV)

Análisis y Discusión de resultados

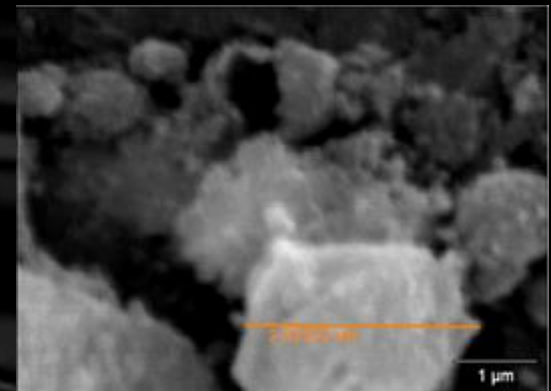
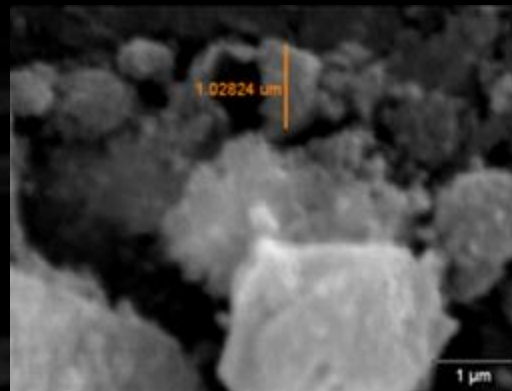
Fase experimental



3. Soporte y caracterización de nano-partículas de plata sobre gamma-alúmina

Ultrasonido

Microscopia de barrido (SEM) de Ag al 1%



(Magnificación x20000, voltaje 20.0 KV)

Análisis y Discusión de resultados

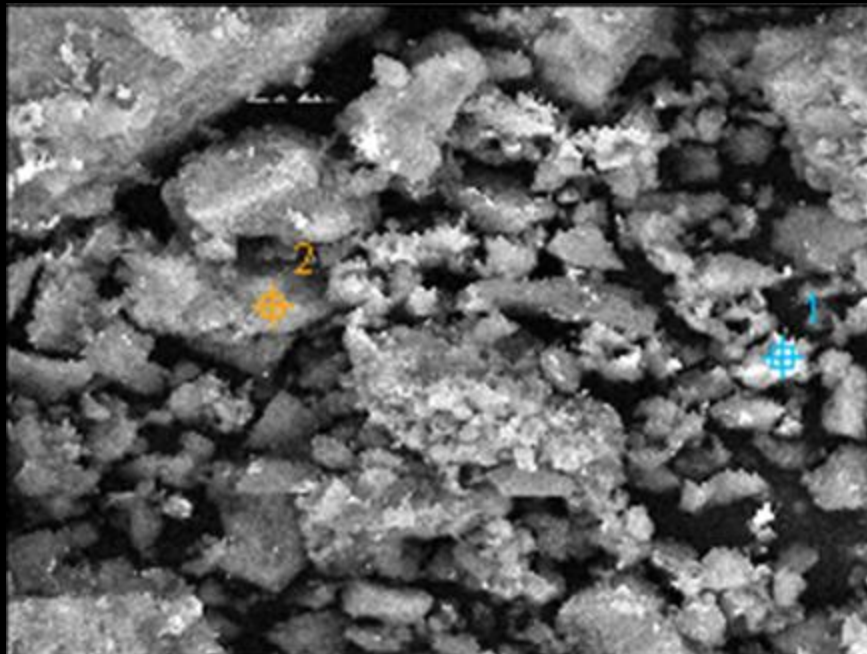
Fase experimental



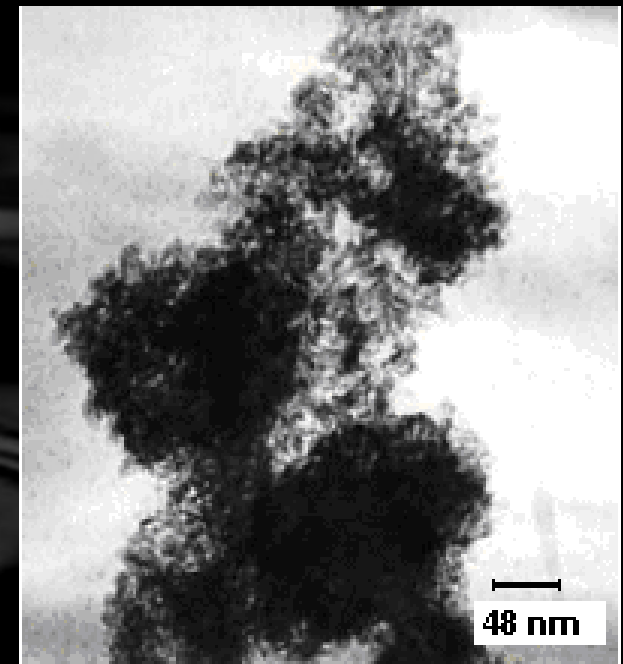
3. Soporte y caracterización de nano-partículas de plata sobre gamma-alúmina

Impregnación

Microscopia de barrido (SEM)



Microscopia de Transmisión (TEM)



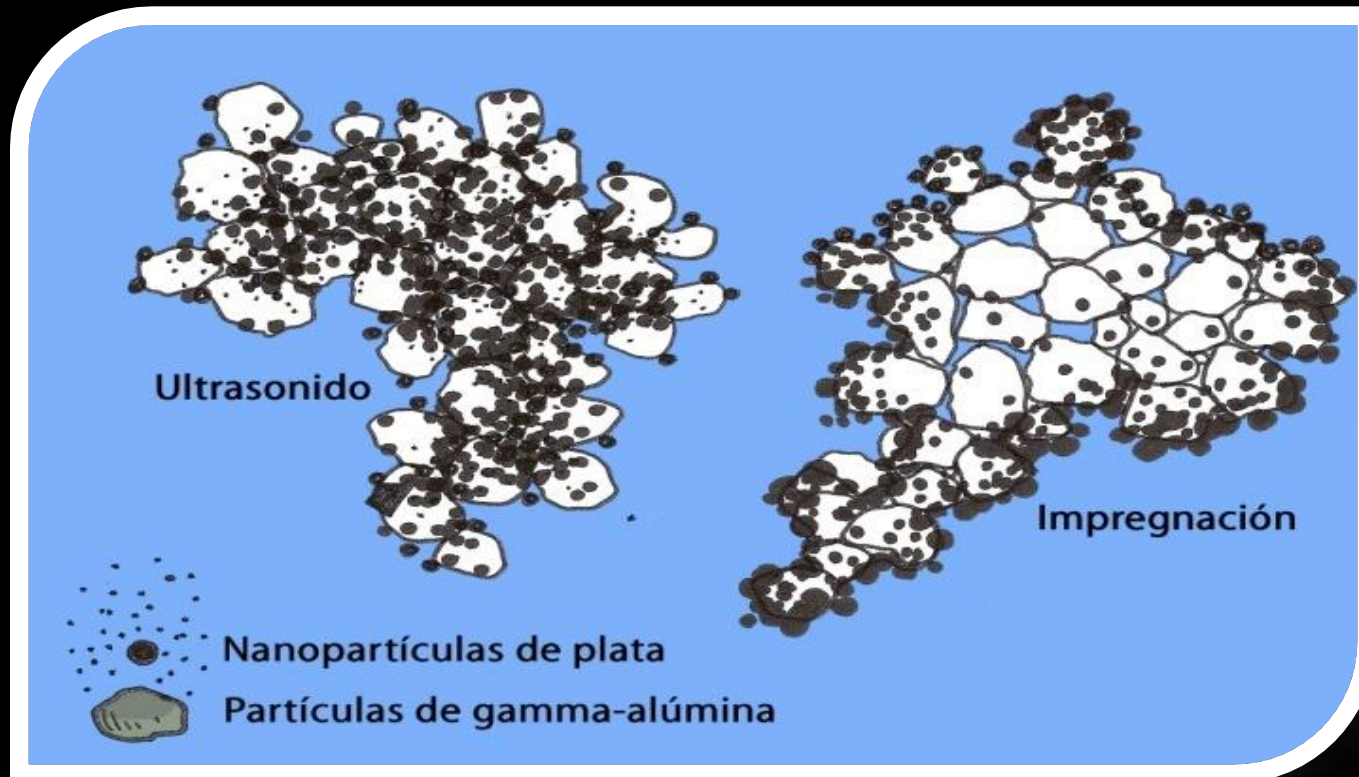
Nanopartículas de plata al 8%, soportadas sobre gamma-alúmina, empleando impregnación.

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



3. Capacidad bactericida de los pellets de plata al 1% y 8% soportados sobre gamma-alúmina ($\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$)



Soporte por impregnación y ultrasonido



4. Simulación del proceso de desinfección de las nano-partículas de $\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$ en sus distintas configuraciones, en sistemas por carga y continuo

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 1. Nano-partículas de plata soportadas en polvo de gamma-alúmina comercial, en un sistema por carga

Densidad de organismos coliformes (ufc/100ml)						
Concentración de nano-partículas soportadas (mg/l)	10		50		100	
	Cruda	Filtrada	Cruda	Filtrada	Cruda	Filtrada
Tiempo de contacto (min)						
5	> 1 x 10 ³	> 1 x 10 ³	200*	230	30*	0
30	> 1 x 10 ³	> 1 x 10 ³	120*	410	80*	0

Condiciones iniciales: Agua cruda: 1x10⁴ ufc/100 ml. Agua filtrada: 6x10³ ufc/100 ml

- Se desarrollaron incontables colonias atípicas que pudieron interferir en el crecimiento de los organismos coliformes, lo que explicaría una densidad menor en la muestra de agua cruda que en la filtrada. En las muestras filtradas, hubo desarrollo de colonias atípicas pero en menor concentración.

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 2. Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema por carga

Densidad de organismos coliformes totales (ufc/ 100 mL)				
Tiempo de contacto (min)	Material	10 pellets	20 pellets	Blanco
	Concentración (%Ag)			
5'	5	$> 1 \times 10^3$	$> 1 \times 10^3$	3×10^3
	8	$> 1 \times 10^3$	$> 1 \times 10^3$	---
30'	5	$3,4 \times 10^2$	$3,0 \times 10$	7×10^3
	8	$2,1 \times 10$	$5,3 \times 10^2 *$	---

- Se formaron puntos negros en la muestra y el número de microorganismos atípicos eran incontables.

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 3. Comparación entre las nano-partículas de plata soportadas en polvo de gamma-alúmina comercial con las soportadas en polvo de gamma-alúmina sintetizada MSM

Densidad de organismos coliformes totales (ufc/100 mL)					
Concentración (mg)	50		100		100
Tiempo de contacto (min)	MSM	Comercial	MSM	Comercial	Alúmina
5'	$> 1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$6,6 \times 10^3$	$1,1 \times 10^2$	$1,6 \times 10^4$
30'	$> 1 \times 10^3$	$> 1 \times 10^3$	$> 1 \times 10^3$	$4,2 \times 10^2$	$2,8 \times 10^4$

Blanco Filtrada: 2×10^4 ufc/100

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 4. Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema continuo de lecho fijo

Densidad de organismos coliformes totales (ufc/ 100 mL)				
Tiempo de contacto (min)	1	5	10	20
Lecho (%)				
5	$1,5 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$> 1 \times 10^3$
8	$3,3 \times 10$	$1,0 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$

Blanco Filtrada: 3×10^3 ufc/100 m

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 5. *Nano-partículas de plata soportadas en pellets de gamma-alúmina comercial, en un sistema continuo de lecho fijo, escala laboratorio, duplicando la altura del lecho*

Densidad de organismos coliformes totales (ufc/ 100 mL)						
Tiempo de contacto (min)	1'	5'	10'	15'	30'	60'
Lecho a doble altura (8% Ag/Alúmina)	1,1x10*3	INC	INC	INC	INC	INC

Análisis y Discusión de resultados

Fase experimental



Caso 6. Comparación entre las nano-partículas de plata soportadas en gamma alúmina comercial y el cloro para evaluar su factibilidad técnico-económica

Densidad de organismos coliformes totales (ufc/ 100 mL)					
Tiempo de contacto (min)	Material	10 pellets	100 mg de polvo		Cloro
	Concentración (%Ag/Alúmina)		MSM	Comercial	
5'	5	INC			
	8	INC	$6,6 \times 10^3$	$1,1 \times 10^2$	0
30'	5	$3,4 \times 10^2$			
	8	$2,1 \times 10$	INC	$4,2 \times 10^2$	0

Blanco Filtrada: 2×10^4 ufc/100 ml

Conclusiones



- Se sintetizaron nano-partículas de plata a través del método poliol, en ausencia de agentes protectores (PVP), polímeros o surfactantes, empleando un calentamiento con microondas en 60 segundos.
- El aumento de la potencia de calentamiento aplicada para sintetizar nano-partículas empleando el método poliol con microondas, aumenta la eficiencia de la reacción para la formación de dichas nano-partículas.
- Al aumentar la concentración del agente donador de iones plata, el efecto de aglomeración en las nano-partículas sintetizadas aumenta.
- La actividad bactericida de las nano-partículas de plata soportadas sobre gamma-alúmina en pellets es menor que la presentada en polvo.

Conclusiones



- La actividad bacteriana de las nano-partículas de plata se puede atribuir al contacto directo del elemento metálico sólido con la bacteria y no a sus iones.
- La actividad bactericida de las nano-partículas de plata soportadas en la alúmina comercial es mayor que las soportadas sobre la alúmina sintetizada MSM
- La eficiencia bactericida de las nano-partículas de plata depende de la calidad de agua a tratar y de su composición bacteriológica.
- El método de impregnación es más efectivo que el de ultrasonido para realizar el soporte de las nano-partículas de plata en la alúmina, en cuanto a la aplicabilidad bacteriológica

Conclusiones



- La impregnación de las nano-partículas de plata sobre la gamma-alúmina se hace más eficiente en polvo que en pellets debido al área superficial que esta posee.
- El tratamiento de agua por cloro es técnicamente más factible que empleando las nano-partículas de plata en soportes de gamma-alúmina.
- Las nano-partículas de plata soportadas en gamma-alúmina poseen un efecto bactericida a concentraciones del 8%.
- A pesar que las referencias consultadas para la realización de este trabajo sugerían la posibilidad del uso de nano-partículas de plata soportadas sobre gamma-alúmina como desinfectante alternativo, los resultados obtenidos lo descalifican , al menos bajo las configuraciones ensayadas en este estudio.

Recomendaciones



- Si se desea aumentar la eficiencia de la reacción del método poliol con microondas para la formación de las nano-partículas, se aumenta la potencia del calentamiento; pero es necesario un control de temperatura.
- Para disminuir el efecto de aglomeración en la nano-partículas empleando el método poliol, es necesario aumentar la concentración del agente donador de iones plata en la reacción.
- Trabajar a concentraciones altas de plata para tratamientos bacteriológicos pero realizar estudios de plata residual en rangos menores al 0,05 mg/L.
- Ensayar otras formas de impregnación o configuración de nano-partículas de plata para evitar su desgaste o desprendimiento de la superficie.

**Ciclo de
PREGUNTAS**

