

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
INSTITUTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES
EXAMEN DE TRATAMIENTO DE AGUA**

Nombre: _____

Fecha: _____

Ejercicio 1 (2 puntos)

Señale las proposiciones correctas relacionadas con la química del agua:

1. Todas las aguas naturales, si no están contaminadas, son susceptibles de ser utilizadas para consumo humano
2. Un agua con un alto valor de sólidos totales disueltos tendrá, necesariamente, un alto valor de turbidez.
3. Si un agua tiene una salinidad alta, tendrá también una dureza alta.
4. El contenido en plaguicidas organoclorados y otros compuestos orgánicos poco biodegradables contribuye al valor de la DBO, pero no al de la DBO.

a) 1 y 3

b) Ninguna

c) 2 y 3

d) 2 y 4

Ejercicio 2 (2 puntos)

¿Cuál de los siguientes parámetros del agua está relacionado con su conductividad?

- A) Sólidos en suspensión
- B) Materia Orgánica y Materia Inorgánica Oxidable
- C) Residuo Seco a 105 °C
- D) Oxígeno Disuelto y Total de sólidos disueltos

Ejercicio 3 (2 puntos)

Señale las propuestas verdaderas:

1. La turbidez de las aguas está provocada por sólidos en suspensión y partículas coloidales.
2. La turbidez se mide en unidades de platino-cobalto.
3. El color aparente es el que persiste después de haber filtrado la muestra de agua.
4. Las aguas con un pH bajo se pueden clasificar de <<incrustantes>>, porque provocan la precipitación de sales insolubles en las tuberías de conducción.

A) 1

B) 2 y 3

C) 1, 3 y 4

D) 1 y 2

Ejercicio 4 (2 puntos)

Indique las afirmaciones ciertas:

1. Las aguas residuales domésticas y el uso masivo de pesticidas son dos de las principales causas del problema de eutrofización de las aguas.
2. Los surfactantes de los detergentes contribuyen al fenómeno de la eutrofización.
3. Las aguas hipereutrofizadas carecen de oxígeno.
4. La eutrofización de las aguas es provocada por el enriquecimiento de las mismas en calcio y magnesio.

A) 1 y 2

B) 2 y 3

C) 3

D) 2, 3 y 4

Ejercicio 5 (2 puntos)

Indique cuáles de los siguientes procesos pueden ser utilizados en la desalinización de aguas.

- A) Coagulación química y destilación múltiple
- B) Aireación, destilación múltiple y electrodiálisis
- C) Destilación múltiple, ósmosis inversa y electrodiálisis**
- D) Destilación múltiple, electrodiálisis y fangos activados

Ejercicio 6 (2 puntos)

Señale las proporciones correctas:

1. La destilación y el intercambio iónico son tratamientos eficaces para la desalación en los procesos de potabilización de aguas.
2. La ósmosis inversa y la electrodiálisis son tratamientos eficaces para eliminar iones en la potabilización de aguas, pero no en la depuración de aguas residuales.
3. Los fosfatos contenidos en un agua residual urbana se reducirán fundamentalmente en el tratamiento terciario de una Estación Depuradora convencional.
4. Para depurar un agua residual urbana siempre se realiza pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

A) 2 y 3 B) 1, 3 y 4 C) 2, 3 y 4 **D) 1 y 3**

Ejercicio 7 (6 puntos)

El análisis de un agua determinada arroja los siguientes datos:

- Conductividad: $800 \mu\text{Scm}^{-1}$
 - Dureza: $80 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$
 - DBO: $210 \text{ mg O}_2/\text{l}$
 - TSD: 800 mg/l
 - DQO: $525 \text{ mg O}_2/\text{l}$
- a) ¿De qué tipo de agua puede tratarse: natural, marina, residual urbana, residual industrial?
 - b) ¿Qué tipo de contaminantes predominan? (Orgánicos/Inorgánicos; Biodegradables/No biodegradables)
 - c) Si el agua fuese a ser reutilizada como agua de riego, ¿sería interesante medir otros parámetros? ¿Cuáles y porqué?

a) Se puede tratar de un agua residual urbana de tipo media carga, pues los valores de los parámetros indicados entran dentro de los márgenes habituales en este tipo de aguas, con abundancia de materia orgánica y sales disueltas

b) Los valores altos de DBO y DQO indican un contenido elevado de materia orgánica y señalan que no hay una gran diferencia entre los de naturaleza bio y no degradable, pues el cociente DBO/DQO tiene un valor en torno a 0,4. La conductividad y el total de sólidos disueltos (TSD) también indican un contenido elevado en sales disueltas, destacando entre ellas las de calcio y magnesio, con un valor de la dureza de tipo medio.

c) Si el agua se fuera a emplear como agua de riego sería necesario medir algunos contaminantes específicos según cultivos, además de sodio para determinar el índice SAR, que indica las tendencias de salinización y alcalinización de los terrenos, y el

Ejercicio 8 (14 puntos)

Dados los siguientes parámetros referentes a la contaminación de las aguas, conteste con claridad las preguntas que abajo se formulan, **razonando las respuestas**:

Sólidos en suspensión, DBO, Conductividad, Dureza, Coliformes Totales, DQO, Fosfatos, Nitratos, Compuestos Organohalogenados, Fenoles, Metales pesados y Cianuros.

1. Indique al menos dos parámetros que deberían tenerse en consideración por ser importantes indicativos de calidad de un agua destinada a ser utilizada en las calderas de una industria.
2. ¿Qué le indicaría una relación de DBO/DQO > 0,6?
3. Además de los parámetros que habitualmente se determinan en una Estación Depuradora de agua Aguas Residuales (EDAR), ¿Qué dos componentes deben controlarse en una zona sensible a la eutrofización?
4. ¿Qué dos componentes químicos se podrían eliminar por adsorción sobre Carbono Activo?
5. ¿Qué dos componentes inorgánicos debería eliminar por tratamiento físico-químico, por su carácter tóxico?
6. Indique dos parámetros que midan la eficiencia del tratamiento primario y secundario en una EDAR.
7. Indique qué parámetros pueden verse reducidos por tratamiento con ósmosis inversa.

- Algunos de los parámetros que deben tenerse en consideración para determinar la calidad de un agua destinada a calderas pueden ser:*
- ① *- Dureza y fosfatos, debido a la posibilidad de formación de incrustaciones al precipitar las sales de calcio o fosfatos*
- Sólidos en Suspensión y Conductividad, pues la presencia de sólidos en suspensión o de sales disueltas (indicadas por la Conductividad) puede originar un aumento de la corrosividad
 - ② *Una relación DBO/DQO > 0,6 señala una diferencia pequeña entre los valores de DBO (indicativo únicamente de materia orgánica biodegradable) y DQO (indicativo de materia orgánica biodegradable y no biodegradable), por lo que podemos afirmar que la presencia de materia orgánica de carácter no biodegradable en esta agua no es importante.*
 - ③ *En una zona sensible a la eutrofización sería necesario controlar, además de los parámetros que de forma habitual se vigilan en una EDAR, los nitratos y los fosfatos por su naturaleza de nutrientes y la consiguiente influencia ejercida por los mismos en el problema de eutrofización.*
 - ④ *El carbono activo es un buen agente adsorbente de especies orgánicas, por lo que se podrían eliminar los compuestos organohalogenados y los fenoles.*
 - ⑤ *El tratamiento físico-químico estaría indicado para eliminar los metales pesados y los cianuros.*
 - ⑥ *El tratamiento primario está encaminado principalmente a eliminar sólidos en suspensión, aunque también rebaja un cierto porcentaje en DBO. El secundario está diseñado para rebajar de forma importante la DBO.*
 - ⑦ *En principio, todos ellos, pues la ósmosis inversa puede eliminar sustancias en el agua hasta el nivel iónico y molecular, aunque el pretratamiento para eliminar sólidos en*

Ejercicio 9 (6 puntos)

Una muestra de agua con un pH 10 tiene 32,0 mg/l de CO_3^{2-} . Hallar la alcalinidad de la muestra.

$$[\text{OH}^-] = 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \text{ puesto que } [\text{H}^+] = 10^{-10}$$

$$\text{Alcalinidad debida a } \text{OH}^- = 10^{-4} \frac{\text{mol OH}^-}{\text{l}} \times 10^{-4} \frac{\text{Eq}}{\text{l}} \times \frac{50000 \text{ mg}}{\text{Eq}}$$

$$= 5 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}}$$

$$\text{Alcalinidad debida a } \text{CO}_3^{2-} = 32 \frac{\text{mg CO}_3^{2-}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ mEq CaCO}_3}{1 \text{ mEq CO}_3^{2-}}$$

$$= \frac{50 \text{ mg/l CaCO}_3}{30 \text{ mg/l CO}_3^{2-}} = 53,3 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}}$$

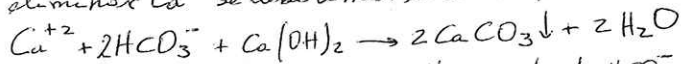
$$\text{Alcalinidad total} = 5 + 53,3 = 58,3 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}}$$

Ejercicio 10 (6 puntos)

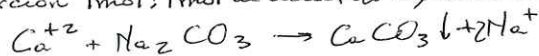
Calcular el número de moles de Ca(OH)_2 y Na_2CO_3 que habría que añadir para ablandar 1 m^3 de cada una de las aguas que a continuación se indican: la cal

- a) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{2+}$
- b) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{2+}$ y $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ M HCO}_3^-$
- c) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{2+}$ y $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ M HCO}_3^-$

Para eliminar Ca^{2+} se debe tomar en cuenta la reacción:



Si se añade 1 mol de Ca(OH)_2 por cada 2 moles de HCO_3^- , se eliminan 1 mol de iones Ca^{2+} del agua dura. El Ca^{2+} del agua dura no eliminado se precipita en forma de CaCO_3 por adición de Na_2CO_3 en proporción 1 mol: 1 mol de acuerdo a la reacción:



a) Como no hay HCO_3^- :

$$\text{moles de Na}_2\text{CO}_3 = 2,8 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,28 \frac{\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

b) Como hay Ca^{2+} y HCO_3^- ; $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$, entonces $[\text{Ca}^{2+}] > \frac{1}{2} [\text{HCO}_3^-]$

hay que añadir Ca(OH)_2 y Na_2CO_3

$$\text{Adición de cal} = 4,6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol HCO}_3^-}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Ca(OH)}_2}{2 \text{ mol HCO}_3^-} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,23 \frac{\text{mol Ca(OH)}_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

$$\text{Queda de Ca}^{2+} = 2,8 \times 10^{-4} - 2,3 \times 10^{-4} = 0,5 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}}$$

$$\text{Adición de Na}_2\text{CO}_3 = 0,5 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} =$$

$$= 0,05 \frac{\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

c) El agua oscura tiene Ca^{2+} y HCO_3^- , entonces:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2} [\text{HCO}_3^-] \text{ y } \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

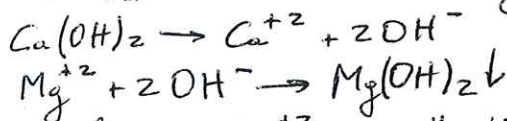
$$\text{Adición de cal} = 5,6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol HCO}_3^-}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Ca(OH)}_2}{2 \text{ mol HCO}_3^-} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,28 \frac{\text{mol Ca(OH)}_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

NO SE NECESITA CARBONATO DE SODIO NO QUEDA Ca^{2+}

Ejercicio 11 (6 puntos)

El análisis de un agua natural indica que es: $4 \cdot 10^{-4} \text{M}$ en Mg^{2+} , $5 \cdot 10^{-4} \text{M}$ en Ca^{2+} y $6 \cdot 10^{-4} \text{M}$ en HCO_3^- . Si para ablandarla se va a utilizar cal y carbonato de sodio, calcular la cantidad que será necesario emplear por cada m^3 de agua.

1 mol de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ elimina 1 mol de Mg^{2+} y adiciona 1 mol de Ca^{2+} al agua.



$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ para eliminar } \text{Mg}^{2+} = 4 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Mg}^{2+}}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \times \frac{74 \text{ g Ca}(\text{OH})_2}{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 29,64 \frac{\text{g Ca}(\text{OH})_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

$$\text{Ca}^{2+} (\text{agua dura}) + 2 \text{HCO}_3^- (\text{agua dura}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2 \text{CaCO}_3 \downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Adición de Ca}(\text{OH})_2 = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol HCO}_3^-}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2}{2 \text{ mol HCO}_3^-} \times \frac{74 \text{ g Ca}(\text{OH})_2}{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 22,23 \frac{\text{g Ca}(\text{OH})_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

Después de tratar el agua así, queda:

Ca^{2+} inicial: $\text{Ca}^{2+} = \text{Calcio inicial} + \text{Calcio añadido} = 5 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-4} = 9 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}}$

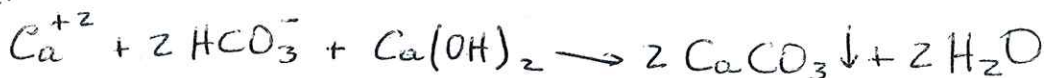
Cambio por precipitación: $9 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}}$

El exceso de Ca^{2+} que ha quedado sin precipitar ($6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}}$) se elimina con Na_2CO_3

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{mol Ca}^{2+}}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \frac{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 63,59 \frac{\text{g Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

Ejercicio 12 (5 puntos)

Una industria papelería utiliza 1.400 m^3 diarios de un agua en la que las concentraciones promedio de ión calcio y ión bicarbonato son, respectivamente, $6 \cdot 10^{-3}$ y $8 \cdot 10^{-3} \text{M}$. ¿Cuál será el gasto semanal de las operaciones de ablandamiento del agua por el método de la cal y el carbonato, sabiendo que el costo, incluida la manipulación, es de $0,25 \text{ USD/kg}$ para el Na_2CO_3 y de $0,30 \text{ USD/kg}$ para el $\text{Ca}(\text{OH})_2$?



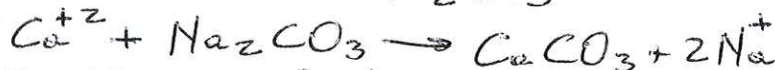
$$\text{Adición de cal} = 8 \times 10^{-3} \frac{\text{mol HCO}_3^-}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2}{2 \text{ mol HCO}_3^-} = 4 \times 10^{-3} \frac{\text{mol Ca}(\text{OH})_2}{\text{l agua}}$$

$$\text{Costo} = 4 \times 10^{-3} \frac{\text{mol Ca}(\text{OH})_2}{\text{l agua}} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1400 \text{ m}^3}{\text{día}} \times \frac{7 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \times \frac{74 \text{ g Ca}(\text{OH})_2}{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2} \times \frac{1 \text{ kg Ca}(\text{OH})_2}{10^3 \text{ g Ca}(\text{OH})_2} \times \frac{0,30 \text{ USD}}{1 \text{ kg Ca}(\text{OH})_2} = 871 \frac{\text{USD}}{\text{Semana}}$$

El calcio todavía presente en el agua es:

$$6 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l agua}} - 4 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l agua}} = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l agua}}$$

Este exceso se trata con Na_2CO_3



$$\text{Adición de Na}_2\text{CO}_3 = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{moles Ca}^{2+}}{\text{l agua}} \times \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 2 \frac{\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

$$\text{Costo} = \frac{2 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}} \times \frac{1400 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{día}} \times \frac{7 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \times \frac{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{0,25 \text{ USD}}{1 \text{ kg}} = 519,40 \frac{\text{USD}}{\text{semana}}$$

Ejercicio 13 (5 puntos)

Calcule la dureza de las siguientes aguas:

- Un agua con una concentración de $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ en Ca^{2+} .
- Un agua con un contenido de 40 ppm de CaCO_3 .
- Un agua con un contenido de 40 ppm en Ca^{2+} .
- Un agua con una concentración de $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ en Mg^{2+} .
- Un agua con un contenido de 40 ppm de MgCO_3 .

Solución:

- a) La dureza se expresa como los mg CaCO_3 /l agua, o lo que es lo mismo, en ppm de CaCO_3 .

$$\begin{aligned} \text{Dureza (mg CaCO}_3 \text{ / l agua)} &= \frac{2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ agua}} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \\ &\times \frac{100,09 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{10^3 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 28,02 \frac{\text{mg CaCO}_3}{1 \text{ agua}} \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{Dureza} = 28 \text{ ppm CaCO}_3}$$

- b) $\text{ppm de CaCO}_3 = \frac{\text{mg CaCO}_3}{1 \text{ agua}}$; La concentración expresada en ppm de CaCO_3 es idéntica a la dureza.

$$\boxed{\text{Dureza} = 40 \text{ ppm CaCO}_3}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } 40 \text{ ppm Ca}^{2+} &= \frac{40 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ agua}} \times \frac{1 \text{ g Ca}^{2+}}{10^3 \text{ mg Ca}^{2+}} \times \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{40,08 \text{ g Ca}^{2+}} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \\ &\times \frac{100,09 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{10^3 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 99,89 \frac{\text{mg CaCO}_3}{1 \text{ agua}} \approx 100 \text{ ppm CaCO}_3 \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{Dureza} = 100 \text{ ppm CaCO}_3}$$

- d) Considerando la equivalencia: 1 mol Mg^{+2} se hace corresponder con 1 mol de CaCO_3 :

$$\begin{aligned} 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Mg}^{2+} &= \frac{2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ agua}} \times \frac{\text{mol CaCO}_3}{\text{mol Mg}^{2+}} \times \frac{100,09 \text{ g CaCO}_3}{\text{mol CaCO}_3} \times \\ &\times \frac{10^3 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 28,02 \frac{\text{mg CaCO}_3}{1 \text{ agua}} \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{Dureza} = 28 \text{ ppm CaCO}_3}$$

- e) Considerando la equivalencia: 1 mol MgCO_3 se hace corresponder con 1 mol de CaCO_3 :

$$\begin{aligned} 40 \text{ ppm MgCO}_3 &= \frac{40 \text{ mg MgCO}_3}{1 \text{ agua}} \times \frac{1 \text{ g MgCO}_3}{10^3 \text{ mg MgCO}_3} \times \frac{1 \text{ mol MgCO}_3}{84,32 \text{ g MgCO}_3} \times \\ &\times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol MgCO}_3} \times \frac{100,09 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{10^3 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 47,48 \frac{\text{mg CaCO}_3}{1 \text{ agua}} \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{Dureza} = 47 \text{ ppm CaCO}_3}$$