

# Usos de la cal en el tratamiento de aguas



## Resumen

Uno de los recursos naturales que demanda mayor cuidado -puesto que es parte esencial de nuestras vidas- es el agua. Hoy en día, el hombre emplea diversos métodos para aprovecharla al máximo y así poder adaptarla a sus necesidades diarias; tanto personales como productivas.

Es por ello que la búsqueda de alternativas de reutilización de agua ha sido esencial para su recuperación, neutralización y limpieza, evitando que su contaminación propicie un daño irreversible.

A nivel mundial, el uso de la cal en el tratamiento de aguas es una opción válida y eficaz para la obtención de agua que cumpla con los estándares normativos aplicables en la materia.

Texto extraído del **Manual de usos ecológicos de la cal**;  
Grupo Calidra, México 2002.

## Tipos de cal

Cal es el nombre genérico que se le ha dado a diferentes productos de calcio. Aún y cuando la descripción se debe de referir exclusivamente al óxido de calcio o cal viva, este concepto se ha ampliado y se le denomina comúnmente como cal a los diferentes materiales como el carbonato de calcio y el hidróxido de calcio.

Para poder diferenciar cada uno de estos productos a continuación se describe cada uno de ellos por su nombre común y químico ya que ambos pueden ser usados como referencia.

Roca caliza – **carbonato de calcio** –  $\text{Ca CO}_3$   
Cal viva – **óxido de calcio** –  $\text{Ca O}$   
Cal hidratada – **hidróxido de calcio** –  $\text{Ca (OH)}_2$   
Cal dolomítica – **óxidos de calcio y magnesio** –  $\text{Ca O / Mg O}$

## Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales se identifican o separan en dos grupos:

- Municipales
- Industriales

### *Tratamiento de aguas residuales municipales*

Por drenaje municipal o aguas residuales municipales nos referimos a las aguas producidas por una comunidad típica y con actividades hogareñas, esta es una definición a la cual se apegan recientemente las áreas rurales, ya que en las ciudades de mayor tamaño que están más industrializadas, las características se pueden ver afectadas por el tipo de industria. Si bien, actualmente se necesita que éstas antes de descargar en área municipal se sometan a un tratamiento para cumplir con requerimientos específicos, aún así cambian las características del agua típica municipal.

Adicionalmente, el drenaje puede ser conjunto (sanitario y pluvial) lo que estacionalmente causa un efecto apreciable en la capacidad de la planta de tratamiento y separado. En cuyo caso solo será necesario tomar en cuenta para su tratamiento el agua de drenaje sanitario.

De hecho en algunas ciudades se construyen depósitos para retención de agua de lluvia para poder regular las demandas excesivas provenientes de las tormentas. Aún así, puede resultar necesario el tratamiento de las aguas pluviales ya que las condiciones de ellas en zonas densamente pobladas por lo regular son malas y perjudican el cauce final al cual descargan.

El tratamiento del drenaje municipal consiste en dos fases, líquida y sólida. El proceso líquido consiste principalmente en la sedimentación de los sólidos de la corriente de desecho generando un lodo primario. El agua clarificada se pasa entonces a un paso de tratamiento biológico en donde bacterias y hongos remueven los nutrientes, generando un efluente claro y un lodo secundario. El efluente claro se desinfecta y se devuelve al medio ambiente.

Normalmente, la contaminación de las aguas municipales residuales es debida a:

- Sólidos suspendidos, típicamente 200 mg/l, de los cuales 2/3 partes es orgánico y también 2/=3 partes es sedimentable.
- Materia orgánica disuelta, típicamente 150 mg/l como DBO
- Nutrientes típicamente 10-30 mg/l de fosfatos y 10-30 mg/l de amoniaco.

En teoría, toda la materia que esté finamente dividida puede estar en estado coloidal. Los coloides quedan dispersos en el medio que los rodea, forman la fase dispersa en el medio dispersante.

Los sistemas coloidales se pueden clasificar en función del estado de la fase dispersa y medio dispersante.

En su mayoría los sistemas coloidales pueden clasificarse en dos grandes grupos, liófilos y liófilos. Los sistemas liófilos son meras suspensiones de partículas, ya que hay muy poca o ninguna afinidad entre el medio dispersante y la partícula. Las partículas en suspensión experimentan muchas colisiones por segundo, unas con otras y si en cada colisión se adhirieran las suspensiones durarían solo unos segundos, pero en la realidad no sucede; así ya que las partículas deben lograr vencer fuerzas de repulsión de corto alcance para lograr esto, esta es la principal razón por la que se mantienen en suspensión.

Los sistemas liófilos son soluciones verdaderas de macromoléculas o micelas (agregados moleculares de menor tamaño) que tiene afinidad al medio dispersante.

El tratamiento de esta agua varía en cuanto al equipo empleado y a la secuencia del proceso, pero la mayoría caen en unas cuantas categorías básicas. Se mencionan únicamente los procesos que cuentan con un tratamiento secundario por lo que se omiten las lagunas de estabilización que dan tratamiento a municipios pequeños.



1. Tratamiento convencional o pre-tratamiento
2. Aireación extendida
3. Tratamiento convencional más remoción de fosfatos que vaya en detrimento del cause final al cual descarga
4. Tratamiento físico-químico (cal en forma masiva seguida proliferación y absorción de carbono)
5. Tratamiento convencional más remoción de amonio
6. Tratamiento completo:
  - Procesamiento (tamizado, molienda, aireación y remoción de arenas)
  - Tratamiento químico (floculación)
  - Clarificación primaria
  - Tratamiento biológico aeróbico, lodos activados, biofiltros, anaerobios
  - Clarificación secundaria
  - Estanque de nitrificación
  - Clarificación terciaria
  - Desnitrificación
  - Clarificación final

### Tratamiento físico-químico

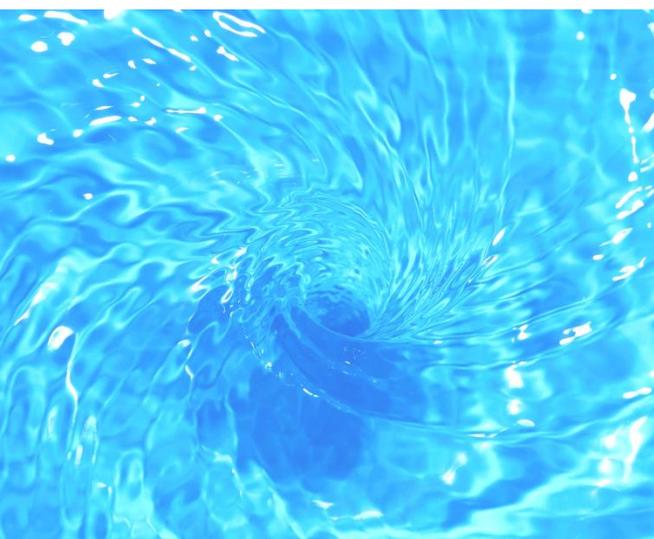
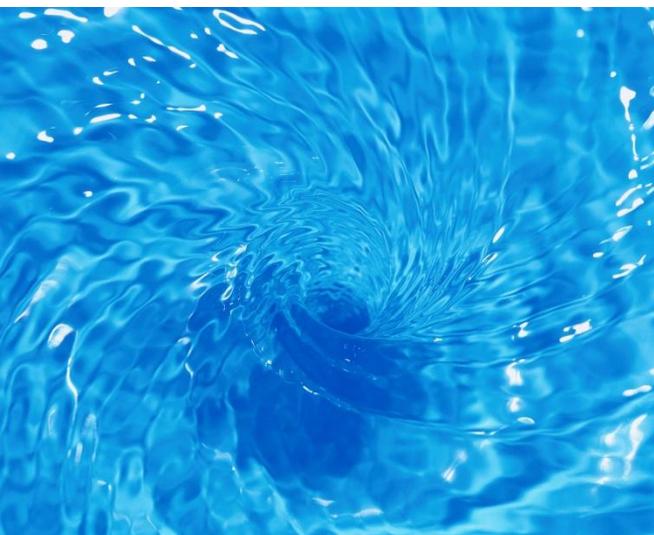
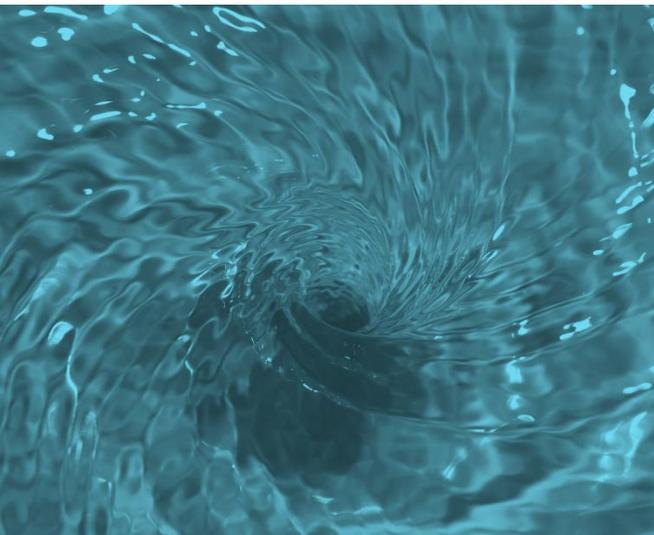
El llamado tratamiento físico-químico para aguas municipales consiste en que las aguas residuales se llevan a una zona de mezcla rápida y floculación dónde se añaden los productos químicos, cal hidratada o hidróxido de calcio y otros para producir una coagulación química y floculación masiva.

Este proceso de coagulación y floculación masiva se aplica para extraer los sólidos suspendidos en el agua. Comúnmente el agua contiene sólidos suspendidos que por su tamaño se precipitan sin necesidad de agregar algún producto químico; sin embargo, esta precipitación tiende a ser muy lenta y causaría limitaciones en una planta de tratamiento convencional. Adicionalmente, una gran parte de los sólidos suspendidos se pueden encontrar dispersos y no se asentarán con facilidad, otra parte pueden ser coloides.

Estos coloides son partículas que se encuentran estabilizadas por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, lo que provoca que se repelan las demás partículas suspendidas de igual condición, lo que no permite que se formen masas mayores que tengan el peso suficiente para precipitarse.

La coagulación con cal desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados y formar flóculos más grandes y pesados.

La cal se aplica en forma de hidróxido de calcio comúnmente para alcanzar máxima absorción de impurezas en el proceso de floculación, se filtra entonces el agua para remover sólidos suspendidos antes de entrar a una columna de absorción de carbón.



Este tratamiento se puede aplicar en una sola etapa en donde se efectúe la mezcla rápida de agua residual cruda con una lechada de cal, empleándose para tal efecto un agitador tipo turbina y obteniéndose una floculación, la cual se sedimenta para separar los lodos y el líquido. En esta etapa es muy importante la calidad del mezclado, ya que para destruir la estabilidad del sistema coloidal, las partículas se deben aglomerar y esto se consigue al hacerlas chocar con el mezclado. El punto óptimo se debe de encontrar entre un mezclado de gran intensidad que promueva las colisiones rápidas y al mismo tiempo, que no sea demasiado intenso como para que provoque el rompimiento de los flóculos, ya que éstos difícilmente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Se recomienda que la agitación intensa dure pocos minutos y pase a un tanque de sedimentación donde se realice la separación de los contaminantes.

El agua obtenida ocasionalmente se carbonata antes de pasar al filtro o bien puede aplicarse en dos etapas en donde después de la floculación se efectúen dos etapas de sedimentación, cada una con su correspondiente carbonatación antes de pasar al filtro.

Los coagulantes empleados en el tratamiento físico-químico han sido objeto de múltiples investigaciones y pueden ser usados solos o en combinación. Las principales características de cada uno de los coagulantes más usados se enlistan a continuación.

## **Sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio es uno de los primeros coagulantes usados para el tratamiento de aguas. Este se produce con bauxita y ácido sulfúrico.

Los mejores resultados en floculación se obtienen a un pH menor que las sales de fierro; es muy efectivo en la reducción de carbonatos y en muchos casos esta reducción es mayor al momento de la aplicación que lo que marca la teoría. Por esta razón, es uno de los floculantes de mayor uso, sin embargo su costo comparado con el de la cal suele ser muy alto.

## **Hidróxido de calcio y sulfato férrico**

La combinación de sulfato férrico e hidróxido de calcio da como resultado un coagulante muy efectivo para la clarificación de agua con alto índice de turbidez. Ambos químicos tienen un costo relativo muy bajo.

## **Sulfato férrico**

El sulfato férrico es un producto comercial para la coagulación. Su amplia zona de pH para la coagulación lo hace un químico aplicable en diversas condiciones. Las sales de fierro no forman compuestos solubles en pH alcalinos y por esta razón muy poco es encontrado en altos valores de pH. Excepto en algunos casos en los que se requiere de remover color, la coagulación con sales de fierro a pH de 9 o más es recomendable.

## **Cloruro férrico**

El cloruro férrico tiene una alta zona de pH óptimo para la coagulación pero no puede ser usado en pH bajos para la remoción de color. Su mayor uso ha sido para acelerar la precipitación y como acondicionador de lodos en donde se puede usar en combinación con la cal para obtener mejores resultados.

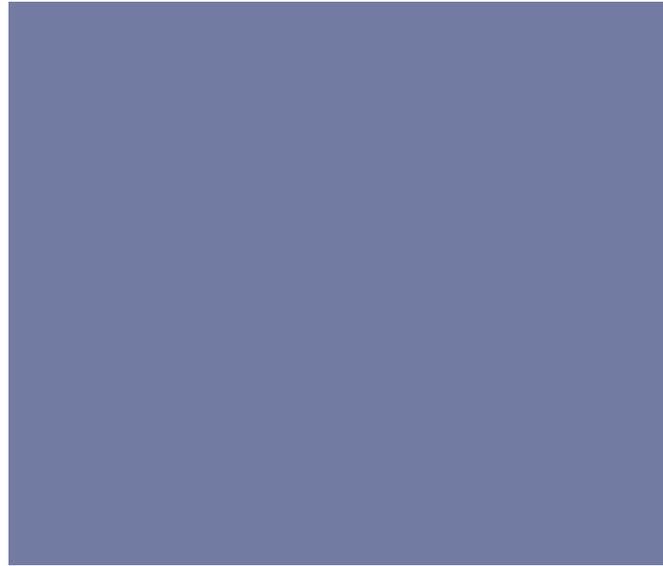
## **Aluminato de sodio**

El aluminato de sodio es más caro que la mayoría de los coagulantes por eso su uso en tratamiento de aguas residuales es limitado. Sin embargo, es especialmente efectivo cuando se usa en combinación con hidróxido de calcio y soda ash para el tratamiento de aguas para calderas, debido a que se ha demostrado que con este tratamiento se obtiene una cantidad muy baja de sales de calcio.

## **Hidróxido de calcio**

La cal hidratada es un coagulante muy económico y da muy buenos resultados, trabajándolo a pH alcalinos entre 9 – 11.

Algunas de las ventajas que se tienen con respecto a otros coagulantes de este tipo, es su capacidad de precipitar metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, entre otros) que se encuentran en solución. El hidróxido de calcio es muy utilizado como coagulante ya que es eficaz con otros floculantes que trabajan a pH alcalinos. Otro beneficio del uso de este producto es su propiedad de eliminar olores, ya que también reacciona con materia orgánica y microorganismos. La cal reacciona con sales de calcio y magnesio precipitándolas para evitar incrustaciones en tuberías o equipos de transferencia de calor. La cal dolomítica (CaOH+MgOH) puede ser usada para precipitar silicatos en el agua evitando incrustaciones.



### **Tratamiento primario**

En algunas plantas de tratamiento, el agua de drenaje cruda se trata inmediatamente con cal hidratada (hidróxido de calcio) a un pH  $>12$  para facilitar la sedimentación primaria de materia orgánica y sólidos disueltos (esto es similar al tratamiento de suavización en el agua potable y es también efectivo en la remoción de fosfatos). Este proceso produce un alto volumen de lodo primario. El agua residual clarificada se aérea para ajustar el pH a 7-8 y a continuación se lleva a efecto el tratamiento biológico antes mencionado.

Precisamente en un estudio efectuado por la EPA en la Cd. de San Antonio, Texas se introdujo óxido de calcio como tratamiento primario encontrándose que es excelente para eliminar virus y disminuir la carga orgánica para el tratamiento secundario.

### **Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario involucra diferentes formas de remoción de materia orgánica y nitrogenada, después el efluente es desinfectado y descargado. Las dos corrientes de lodo primario y secundario (3-4% sólidos) se mezclan y acondicionan con polímeros o sales férricas y cal hidratada para remover el agua por filtración.

El acondicionamiento involucra el tratamiento biológico, químico y/o físico a un flujo de lodos para mejorar la remoción de agua. Es un proceso de dos fases las cuales consisten en su desestabilización y floculación.

La secuencia óptima para añadir el acondicionador se determina por prueba y error cuando se emplean dos o más de ellos. Por ejemplo, cuando se emplean cloruro férrico y cal hidratada el  $\text{FeCl}_3$  es el que se añade primero y al hidrolizarse en el agua, forma iones de hierro solubles y complejos que neutralizan los sólidos negativamente cargados del lodo y formando agregados.



La cal hidratada se emplea conjuntamente, proporciona control de pH, reducción de olores y desinfección. El carbonato de calcio que se forma de la reacción del hidróxido de calcio y bicarbonato, proporciona una estructura granular que incrementa la porosidad del lodo lo que permite tener un mejor desaguado en el proceso de filtrado.

La dosificación varía grandemente según el proceso utilizado en el tratamiento y así en el caso de la cal hidratada o hidróxido de calcio puede ir desde 70 hasta 250 kilogramos por tonelada de sólidos contenidos en los lodos.

La torta del filtro resultante (25-30% sólidos) se aplica en terrenos agrícolas o en rellenos sanitarios.

### Tratamiento terciario

A medida que la legislación ambiental se vuelve más rígida en cuanto a la descarga de aguas tratadas y el objetivo a alcanzar es también disminuir nitrógeno y fósforo así como algunos virus, se han desarrollado otros procesos terciarios en los cuales tiene aplicación la cal hidratada.

Tenemos entre otros, la remoción de fósforo y fosfatos en donde se emplea cal, sulfato de aluminio o sales de hierro, obteniéndose una eliminación de fósforo del 95 al 98% con la ventaja de remover también sólidos suspendidos, materia orgánica, reducir el contenido de organismos coliformes y de virus así como de metales pesados.

Otro proceso empleado es la desorción de amoniaco que consiste en elevar el pH del agua a un nivel tal que todo el nitrógeno amoniacal presente en el agua se convierta en amoniaco, el cual se disipa a la atmósfera. Este proceso resulta muy efectivo en climas cálidos y cuando se utiliza después de un proceso de coagulación con cal hidratada su costo es muy bajo.

### Control de olores

Las plantas de tratamiento están plagadas de olores ofensivos, mayormente sulfuro de hidrógeno; el cual también puede causar corrosión en las tuberías. Se pueden controlar estos olores manteniendo el pH de tal forma que los sulfuros permanezcan en solución y no escapen como gas. Esto también previene la corrosión. Aquí se puede emplear cal hidratada en suspensión.



## Tratamiento de aguas residuales industriales

Una planta química y en general de proceso genera corrientes contaminantes diversas como pueden ser las aguas de proceso, las purgas de calderas o las purgas de torres de enfriamiento.

Para dar un tratamiento de aguas adecuado se depende de la composición, concentración y flujo de éstas, así como de los límites que se hayan fijado; ya sea para descargar a un sistema municipal de drenaje o a un cuerpo de agua o para que se vaya a reutilizar en alguna parte del proceso o que se le vaya a dar otro uso como servicio sanitario o de riego, para esto, lo que se necesita es básicamente lo mismo: remover algunos materiales de desecho especificados en la normatividad aplicable, para evitar efectos dañinos en el entorno.

Dentro de la gran cantidad de materiales que se deben remover, únicamente algunos están específicamente regulados y los otros están comprendidos en categorías amplias como son:

Orgánicas solubles lo cual incluye algunos productos químicos sintéticos y muchos productos naturales de origen animal o vegetal. Normalmente son expresadas como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Iones de metales pesados como mercurio, cromo, plomo y otros iones tóxicos como cianuros están sujetos a límites rígidos por ser venenosos.

Acidez o alcalinidad que afectan la vida por lo tanto, las aguas ácidas o alcalinas deben de ser neutralizadas.

Aceites, grasas y otros materiales flotantes.

Sólidos suspendidos y coloidales.

Color, turbidez y olor deben removerse.

El uso específico de cal hidratada para remover algunos de los materiales citados está en:

✓ Eliminación de iones de metales pesados

✓ Neutralización de acidez

✓ Eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo

✓ Eliminación de sólidos suspendidos y coloidales

✓ Eliminación de turbidez

Cada caso específico de tratamiento de aguas residuales de una determinada industria conlleva un estudio a fondo del proceso o procesos productivos involucrados, así como de las corrientes de efluentes generados, ya que se puede optar por hacer tratamientos determinados para cada corriente o sólo uno de la descarga general, de modo de satisfacer los requerimientos establecidos.

Al diseñar un sistema de tratamiento de agua se debe de tomar en cuenta el que las plantas que utilizan cal hidratada para suavizar o purificar junto con otros coagulantes tienen generalmente suficiente hidróxido de calcio en sus sistemas para automáticamente precipitar radioactividad y metales de una fuente contaminada; cumpliendo así con los requisitos normativos sin más complicaciones. De esta manera es preciso darle a la versatilidad del hidróxido de calcio la importancia que tiene en el contexto general de sistema.

## Tratamiento de aguas industriales que contienen metales pesados

La cal hidratada es muy conocida en el uso de la suavización de agua y en el tratamiento de lodos. Además de estas dos aplicaciones, la cal hidratada también puede ser utilizada en el tratamiento de aguas industriales y soluciones contaminadas inorgánicas peligrosas.

En el tratamiento de lodos normalmente se separa una parte líquida libre de sólidos que según estudios realizados en algunos casos puede presentar ciertos metales pesados, sobretodo en un medio ácido y en concentraciones máximas como las que se muestran a continuación:

Metal	mg/l
As+3	500
As+5	500
Cd+2	100
Cr+3	500
Cr+6	500
Hg+2	20
Ni+2	134
Se+4	100
Se+6	100
Tl+3	130

El tratamiento de contaminantes orgánicos y radionúclidos llevan un proceso de tratamiento como sigue:

Neutralización → precipitación → solidificación

La cal hidratada o hidróxido de calcio en este tipo de procesos es recomendable, ya que el catión Ca es ambientalmente seguro y las sales que forman al reaccionar en este tipo de aguas son insolubles causando precipitación de las mismas. Otras álcalis tales como el NaOH forman sales solubles que no precipitan en un pH neutro, manteniendo así los contaminantes en el agua y provocando problemas ambientales.

Otra de las ventajas del uso de cal hidratada es su bajo costo con respecto a la mayoría de las álcalis que hay en el mercado.

### Neutralización

El poder neutralizante es otro factor a favor de la cal hidratada ya que varía por la presencia de iones OH<sup>-</sup> de la siguiente manera:

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	+ $\text{H}_2\text{O}$	$2\text{Na}^+ + \text{CO}_2 + 2\text{OH}^-$	
PM=106 g/mol			34 g/mol
$\text{NaOH}$	+ $\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}^+ + \text{OH}^-$	
PM=40 g/mol			17 g/mol
$\text{CaO}$	+ $\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}^{++} + 2\text{OH}^-$	
PM=56 g/mol			34 g/mol
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	+ $\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}^{++} + 2\text{OH}^-$	
PM=74 g/mol			34 g/mol

### Precipitación

En la precipitación se realizan dos procesos que son la coagulación y la floculación que se definen de la siguiente manera:

- Coagulación.**- Es el proceso mediante el cual las partículas suspendidas o en solución son desestabilizadas, favoreciendo el acercamiento entre las mismas.
- Floculación.**- Es el mecanismo por el cual las partículas desestabilizadas se van uniendo hasta formar partículas o aglomerados lo suficientemente grandes para precipitarse.

En estos procesos los factores que pueden afectarse son:

- Temperatura.**- A medida que la temperatura es menor el proceso se hace más lento.
- Agitación.**- Una agitación excesiva puede romper los flóculos evitando la separación de los contaminantes del agua.
- pH.**- Cada coagulante logra realizar su función de manera adecuada a diferente valor de pH, si se trabaja a un valor erróneo los resultados no serán tan eficientes y el consumo del mismo puede incrementarse.
- Concentración del coagulante.**- Una vez que se conoce el valor de pH adecuado se debe buscar la concentración a la que el coagulante logra la mayor cantidad de lodos. Esto debido a que si se adiciona una cantidad menor o mayor del mismo, los resultados no van a ser los mejores.
- Precipitación de metales.**- A continuación se muestra el pH en el cual algunos cationes metálicos comienzan a precipitarse:

ión	pH	ión	pH
Fe +3	2.0	Ni +2	6.7
Al +3	4.1	Cd +2	6.7
Cr +2	5.3	Co +2	6.9
Cu +2	5.3	Zn +2	7.0
Fe +2	5.5	Mg +2	7.3
Pb +2	6.0	Mn +2	8.5

### Prueba de jarras

No hay una regla que determine la cantidad y el tipo de coagulante requerido o la combinación de coagulantes que aporte el máximo beneficio al proceso de floculación. La presencia de compuestos orgánicos, la turbidez, el pH y en muchos casos el color son parámetros a considerar para elegir el mejor o la mejor mezcla de coagulantes.

Asimismo, la naturaleza y el comportamiento de las cargas electrostáticas en las partículas coloidales suspendidas en el agua son determinadas y medidas por su movilidad o “potencial Zeta”. Esta medida va más allá del alcance de la mayoría de los laboratorios y es muy útil para determinar la cantidad y la selección de coagulantes a usar para determinado tipo de agua residual. Sin embargo, otra prueba al alcance de la mayoría de los laboratorios y que aporta información muy similar, es la conocida prueba de jarras.

Las pruebas de coagulación se realizan normalmente con la técnica denominada “prueba de jarras”. El equipo consta de uno o varios agitadores de acero inoxidable de velocidad regulada mediante el cual se busca determinar los siguientes parámetros o criterios de diseño:

- Dosis adecuada del floculante
- Valor de pH más adecuado
- Intensidad de mezclado óptimo
- Evaluación de duración de mezclado rápido
- Evaluación de la dosificación del reactivo ayuda del floculante
- Secuencia adecuada de aplicación, si hay mezcla de productos
- Conocer el tipo de agente(s) coagulante(s) más efectivo para cada aplicación.

Es importante hacer notar que cada tipo de agua residual tiene un comportamiento diferente y se deben realizar estas pruebas antes de aplicar el producto floculante en campo.

## Tratamiento de agua potable

En el tratamiento de aguas potables y de aguas residuales domésticas se emplean buen número de productos químicos y la cal (óxido de calcio, hidróxido de calcio y cal dolomítica es el que se emplea en mayor tonelaje).

Son 10 los procesos principales en tratamiento de aguas y en varios de ellos, se emplea la cal directa o indirectamente.

- Coagulación**
- Ayuda a la coagulación
- Desinfección y clorinación**
- Desclorinación
- Ajuste de pH**
- Fluorización y ajuste de flúor
- Control de sabor y olor**
- Oxidación mineral
- Estabilización y control de corrosión**
- Suavización**

## Suavización de aguas

El uso más extendido de la cal en el tratamiento de agua es en la suavización de la misma, en donde se utiliza para reducir la dureza de carbonato causada por bicarbonatos y carbonatos disueltos. Entre otros usos de la cal en el tratamiento de aguas está la coagulación, desinfección, remoción de metales pesados, remoción de algunos compuestos radioactivos u orgánicos y fluoruros, neutralización de agua ácida, remoción de sílice (particularmente con cal dolomítica) y remoción de color. La mayor parte de las ventajas mencionadas vienen con la suavización del agua aunque en algunas plantas de tratamiento, la cal se utiliza solo con un propósito; el de remover sílice y minimizar la corrosión en tuberías.

Las aguas se clasifican en:

- Blandas  
0-75 mg/L como  $\text{CaCO}_3$
- Moderadamente duras  
75-150 mg/L
- Duras  
150-300 mg/L
- Muy duras  
>300 mg/L

La mayor parte de las plantas tienden a reducir la dureza total hasta unos 100 mg/L. Sin embargo, en años recientes se pretende la reducción de los costos y la cantidad de los lodos producidos.

Existen 4 tipos de plantas suavizadoras:

- 1.- *Suavización con cal.*- Para reducción de la dureza de carbonatos.
- 2.- *Suavización cal-carbonato.*- Para reducción de los dos tipos de dureza, en algunos casos se emplea sosa caústica en lugar de carbonato, pero es más caro.
- 3.- *Suavización dividida cal-zeolita.*- En donde esta última sustituye al carbonato del método anterior (este sistema también requiere NaCl para la regeneración de la zeolita).
- 4.- *Suavización con zeolita.*- Es común su empleo en sistemas relativamente chicos por su costo alto y requerimiento de cal hidratada. Sirve para neutralizar el dióxido de carbono, formando carbonato de calcio como precipitado. Además de convertir el bicarbonato soluble a carbonato de calcio y de precipitar el hidróxido de magnesio.

Por cada molécula de ion calcio presente en el agua se forman dos moléculas de carbonato de calcio por lo que la cantidad de lodos resultante es considerable y pueden presentarse problemas para su disposición, ya sea en lagunas especiales o como material para encalar suelos. En algunas plantas se elimina por filtración el agua y se calcina el material obtenido para ser utilizado nuevamente como óxido de calcio.

Después del tratamiento de suavización con cal es preciso carbonatar el agua con  $\text{CO}_2$  para alcanzar el pH requerido.

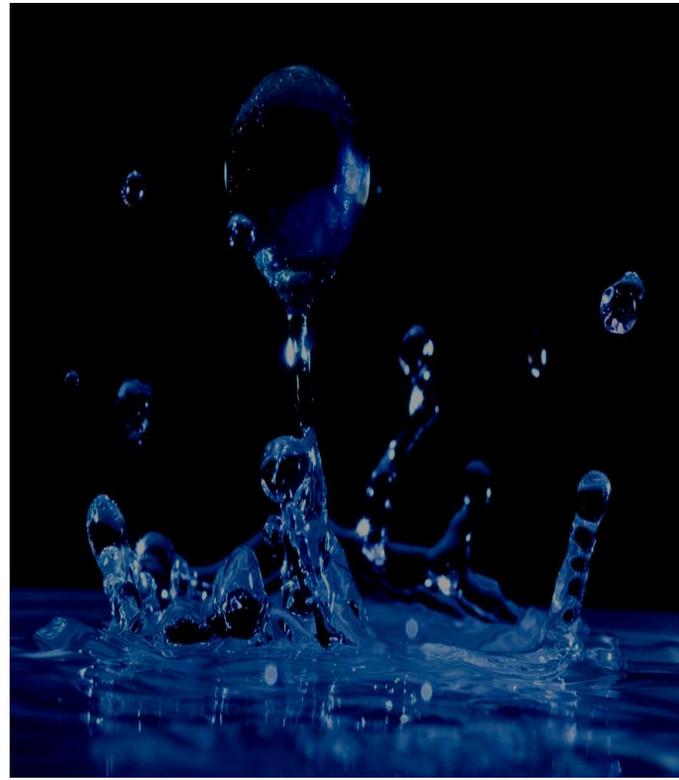
## Coagulación

Debido a que muchas fuentes de agua particularmente agua de río, contienen sólidos suspendidos, es necesario agregar coagulantes para remover la turbiedad. Los principales coagulantes son sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y cal. Esta última se usa también como control de pH con cualquiera de los otros coagulantes. Debido a que muchas aguas son ácidas por naturaleza, la cal se emplea casi siempre para incrementar el pH y para obtener la mayor eficiencia de coagulación.

Recientemente, se han desarrollado polielectrolitos para usarse como coagulantes y en muchos casos se emplean conjuntamente con la cal. Además de proporcionar el pH adecuado, la cal hidratada actúa también como filtro, particularmente con los lodos de apariencia gelatinosa que se forman por algunas aguas o por las combinaciones de coagulantes difíciles de filtrar.

## Purificación

Desde hace décadas, se tienen indicios de que un tratamiento de cal en exceso (pH 11+ más un tiempo de espera de 24-28 hr) tiene éxito en la destrucción de la bacteria *E.Coli*. Algunos trabajos recientes se han extendido a otras bacterias, virus, parásitos y huevos de parásitos. Esta esterilización es atribuida a una absorción física de los patógenos en los flóculos, los cuales se asientan; los patógenos quedan destruidos por los altos pH. De hecho aún se están efectuando investigaciones con resultados muy alentadores.



### Remoción de metales pesados

Una variedad de metales pesados que incluye arsénico, bario, cadmio, cromo, flúor, plomo, mercurio, plata y otros pueden ser removidos del agua potable por elevación de pH (6-11) dependiendo del metal de que se trate.

Los pasos del tratamiento incluyen mezclado, floculación, sedimentación y filtración. Como se mencionó la elevación de pH ocurre durante la suavización con cal o carbonato y/o coagulación con sulfato de aluminio o sales férricas ayudadas con la adición de cal. El mecanismo de remoción de los contaminantes inorgánicos puede ser: precipitación de hidróxidos metálicos insolubles, carbonatación, co-precipitación con hidróxidos de hierro o aluminio o absorción con la turbidez natural (flóculos) formados durante la reacción.

El radio químicamente similar al calcio y el bario son removidos durante la suavización con cal y no durante la coagulación. Generalmente, cuanto más alto es el pH durante la suavización, mayor es la remoción de radio.

### Neutralización de agua ácida

La creciente preocupación por la presencia de plomo en el agua potable ha traído un incremento en el uso de la cal para la neutralización de agua ligeramente ácida, ya que con la elevación del pH a  $>7$ , el plomo no se disuelve de la soldadura empleada en la fabricación de la tubería. Además, la cal corrige la agresividad de las aguas con un exceso de dióxido de carbono por absorción de este, formando un depósito fino de carbonato de calcio sobre el interior de las paredes de la tubería.

### Remoción de sílice

Las aguas con alto contenido de sílice son especialmente dañinas para calderas y turbinas debido a la formación de depósitos en los tubos. Si se emplea cal dolomítica en el proceso de suavización, una gran cantidad de esta sílice se remueve debido a su reacción con el óxido e hidróxido de magnesio.

### Eliminación de impurezas

La cal hidratada también se emplea para remover otras impurezas, especialmente manganeso, fluoruros, hierro y taninos orgánicos los cuales causan olores indeseables. Generalmente, la suavización con cal eliminará 80-90% del color y el resto desaparecerá con la utilización de carbón activado.