

CAPÍTULO VIII - 1. CONTROL DE OLOR Y SABOR

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA PERCEPCIÓN DE OLORES Y SABORES	2
3. CAUSAS DE LA PRESENCIA DE OLORES Y SABORES	4
3.1. SUSTANCIAS QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN LAS FUENTES DE PROVISIÓN.....	4
3.1.1. <i>Aguas Subterráneas</i>	4
3.1.2. <i>Aguas Superficiales</i>	5
3.2. SUSTANCIAS QUE SE AGREGAN O SE GENERAN EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	6
3.2.1. <i>Cloro y Cloraminas</i>	6
3.2.2. <i>Subproductos de la Cloración</i>	6
3.2.3. <i>Algas</i>	7
3.3. SUSTANCIAS QUE PUEDEN GENERARSE EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	7
4. MÉTODOS PARA MEDICIÓN DE OLORES Y SABORES.....	9
4.1. MÉTODO DEL VALOR UMBRAL DE OLOR Y SABOR	9
4.2. ANÁLISIS DEL PERFIL DE SABOR Y OLOR	9
4.3. MÉTODOS ANALÍTICOS	11
5. PASOS A SEGUIR CUANDO SE PRESENTA UN PROBLEMA DE SABOR Y OLOR.....	12
6. REMOCIÓN DE SABORES Y OLORES EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO	14
6.1. OXIDACIÓN.....	14
6.1.1. <i>Cloro</i>	14
6.1.2. <i>Permanganato de Potasio</i>	14
6.1.3. <i>Ozono</i>	15
6.1.4. <i>Dióxido de Cloro</i>	15

6.1.5. Aeración.....	16
6.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN	16
6.3. ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO	16
6.3.1. Carbón Activado en Polvo (CAP).....	17
6.3.2. Carbón Activado Granular	20
6.3.3. Disposición Final de los Residuos de Carbón Activado	22
7. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL DISEÑO DE PROCESOS DE TRATAMIENTO	24
7.1. PLANTA NUEVA DE TRATAMIENTO	24
7.2. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS EXISTENTES	24
7.3. ELECCIÓN DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO	25
8. PRESENTACIÓN DE CASOS	26
8.1. FRANCIA.....	26
8.2. ESTADOS UNIDOS	27
8.3. ARGENTINA	27
8.4. JAPÓN.....	28
9. BIBLIOGRAFÍA.....	30

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Valores umbral de olor para hidrocarburos.....	6
Tabla 2. Umbrales de olor y sabor para cloro y cloraminas	6
Tabla 3. Umbrales de olor para varios subproductos de la cloración.....	7
Tabla 4. Ventajas y desventajas de diferentes puntos de aplicación de CAP.....	17
Tabla 5. Coeficientes de las isothermas de Freundlich	20

FIGURAS

Figura 1. Fisiología de la percepción de sabor y olores	2
Figura 2. Estructuras de geosmina y metilisoborneol	5
Figura 3. Rueda de sabor y olor	10
Figura 4. Isotermas de adsorción para geosmina.....	19
Figura 5. Esquema para seleccionar procesos de tratamiento.....	25
Figura 6. Esquema planta de tratamiento de Morsang.....	26
Figura 7. Planta piloto instalada en la Planta de Tratamiento Suquía de Córdoba	28
Figura 8. Esquema Planta Kanamachi.....	29

1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo III Criterios de Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones, se señaló que la mayor parte de las quejas de los consumidores respecto a la calidad del agua potable se debe a la presencia de olores desagradables y se remarcó la necesidad de su control. Además, de nada vale que los operadores de un servicio de agua se esmeren en suministrar un agua de calidad tal que no afecte a la salud, si es rechazada por los consumidores debido a su mal sabor.

Por otra parte, es necesario señalar que cuando se implementa un proceso de tratamiento para eliminación de sabores y olores, se logran beneficios adicionales, como por ejemplo la remoción de sustancias precursoras de la formación de trihalometanos.

El problema del control de olores y sabores es uno de los más complejos y difíciles de resolver en los sistemas de abastecimiento de agua potable por las siguientes razones:

- Un mismo tipo de olor y sabor, por ejemplo, olor medicinal, olor a tierra, puede ser producido por un gran número de sustancias químicas.
- Las sustancias que producen olores y sabores tienen un nivel umbral de detección por el olfato y el gusto, del orden de los nanogramos por litro y por lo tanto su detección analítica es muy compleja.
- Los problemas de olor y sabor generalmente son esporádicos, difíciles de prever y cada episodio puede corresponder a distintas causas, por lo que muchas veces no se pueden implementar medidas correctivas en un corto tiempo.

Debido a lo señalado anteriormente, se están realizando numerosas investigaciones sobre el tema, tanto en los métodos de detección y caracterización de olores y sabores como en los procesos de tratamiento, tema que se aborda en el presente Capítulo.

2. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA PERCEPCIÓN DE OLORES Y SABORES

El olor es inhalado a través de las fosas nasales y es llevado a la región olfativa. Los receptores olfativos están ubicados en la bóveda de la cavidad nasal. En el tejido epitelial están embebidas las fibras nerviosas del nervio trigémino, cuyas terminales reciben las moléculas olorosas y envían las señales al bulbo olfativo situado en el cerebro.

Existen dos teorías para describir el proceso de detección de olores: la teoría estereoquímica y la teoría cromatográfica.

La primera, sostiene que existen sólo siete olores primarios y que las moléculas de los compuestos que causan olores similares son también similares en su forma. Los sitios receptores en la nariz tendrían depresiones donde estas moléculas se adherirían para causar una respuesta sensorial.

La segunda teoría sostiene que el gran área superficial del epitelio olfativo (600 cm²) hace que funcione al igual que un cromatógrafo gaseoso, separando y distinguiendo entre varios compuestos olorosos.

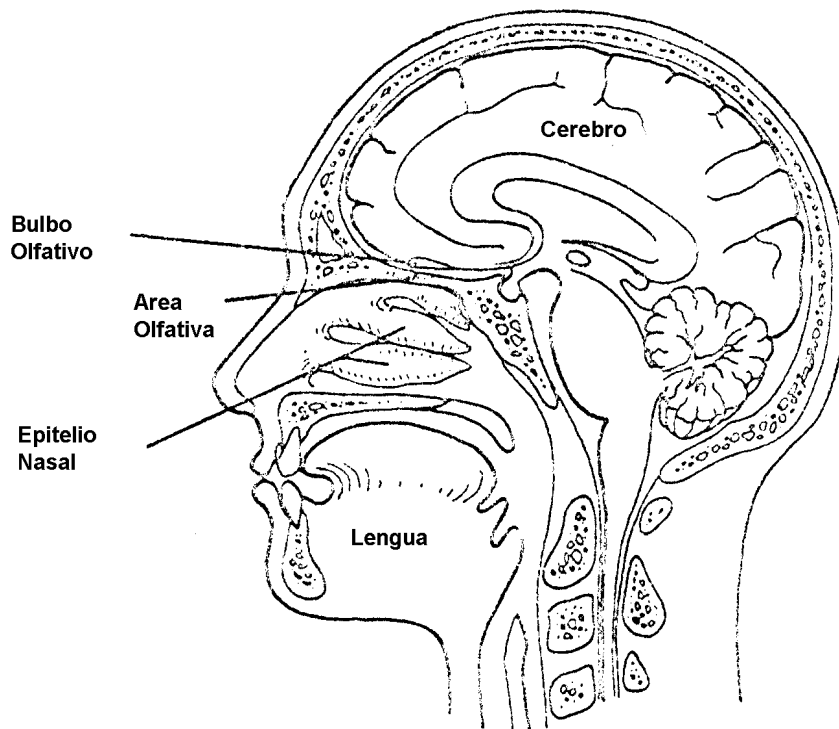


Figura 1. Fisiología de la percepción de sabor y olores

Las papilas gustativas ubicadas en la lengua, sólo perciben cuatro sabores: ácido, salado, dulce y amargo. Los demás gustos se producen por la liberación de olores durante la ingestión, que alcanzan los receptores olfativos a través de la comunicación que existe entre la boca y la cavidad nasal (Ver **Figura 1**).

Existen otros receptores a nivel de la piel de la cavidad nasal que producen sensaciones táctiles y térmicas que contribuyen a la percepción del gusto. Por lo tanto, el gusto se debe a la combinación de varias respuestas sensoriales.

3. CAUSAS DE LA PRESENCIA DE OLORES Y SABORES

Los sabores y olores presentes en el agua potable pueden deberse a:

- Sustancias químicas y/o microorganismos y sus metabolitos presentes en el agua cruda.
- Productos generados durante los procesos de tratamiento utilizados para potabilizar el agua.
- Productos generados en el sistema de distribución del agua potable.

3.1. SUSTANCIAS QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN LAS FUENTES DE PROVISIÓN

Los olores y sabores en los abastecimientos de agua pueden ser causados por la acción del hombre sobre las fuentes de provisión y por productos naturales, aunque ambos aspectos pueden estar relacionados. Por ejemplo, la presencia de gran cantidad de algas que provocan sabores desagradables en la zona de una toma de agua, puede deberse al volcamiento de efluentes cloacales sin tratar aguas arriba de la misma.

Se analizan a continuación los compuestos que pueden estar presentes en las aguas subterráneas y en las aguas superficiales y originar problemas de sabor y olor.

3.1.1. Aguas Subterráneas

Los problemas de olor y sabor son menos frecuentes que en las aguas superficiales y en su gran mayoría son de origen natural. Son causados por la acción bacteriana dentro de los acuíferos o por la disolución de sales durante la percolación del agua a través del suelo.

La intrusión de aguas salobres en las perforaciones cercanas al mar y la contaminación con los líquidos percolados de los rellenos sanitarios, pueden dar origen a problemas de sabor.

La presencia de sulfuros que resultan de la acción bacteriana anaeróbica sobre el azufre orgánico, los sulfatos y los sulfitos, imparte al agua un olor "a pantano" y si las concentraciones son altas es causa del olor a "huevo podrido". El nivel umbral de percepción del olor para el H_2S es de 0,0001 mg/l.

La presencia de las formas reducidas de hierro y manganeso puede provocar sabores astringentes.

El alto contenido de sales que se caracteriza por el contenido total de sólidos disueltos (SDT = Sólidos disueltos totales), en inglés conocido como TDS, provoca quejas de los consumidores, por el sabor salado del agua y por el desagradable sabor de los alimentos que se preparan con agua.

El valor guía de 1000 mg/l para SDT establecido por la OMS, se basa en que a partir de una concentración de 600 mg/l, ya se percibe el gusto salado. En la mayoría de los casos, en las aguas subterráneas de nuestro país, se supera ese valor y por ello las normas del Código Alimentario establecen un valor de 1500 mg/l. La recomendación es que debiera admitirse este valor siempre que se demuestre que no existen fuentes de mejor calidad en cuanto a su contenido de sales.

Los sabores y olores en las aguas subterráneas debidos a la acción del hombre pueden provenir de la descarga directa a las napas o al suelo de efluentes industriales (práctica no tan inusual en nuestro país), a la filtración de depósitos de combustibles, de los efluentes de la actividad minera y a las actividades agrícolas.

3.1.2. Aguas Superficiales

Las sustancias que pueden causar sabor y olor en las aguas superficiales pueden originarse en la presencia de microorganismos como algas y actinomicetos o provenir de la contaminación puntual o difusa debida a la actividad industrial.

En el Capítulo III Criterios de Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones se ha incluido un cuadro con los géneros de algas que causan problemas de sabor y olor. Se analizan a continuación las sustancias que más comúnmente originan los problemas mencionados.

Geosmina y 2-Metilisoborneol

Estos dos compuestos, cuyas estructuras químicas pueden verse en **Figura 2**, fueron aislados primeramente de cultivos de actinomicetos y fueron identificados como los causantes de olor "a tierra". Estudios posteriores demostraron que algunas especies de cianobacterias, como *Anabaena* y *Oscillatoria*, también producen estos compuestos. Se ha informado que los valores umbrales de olor para ambos compuestos son de 10 y 29 ng/l, respectivamente.

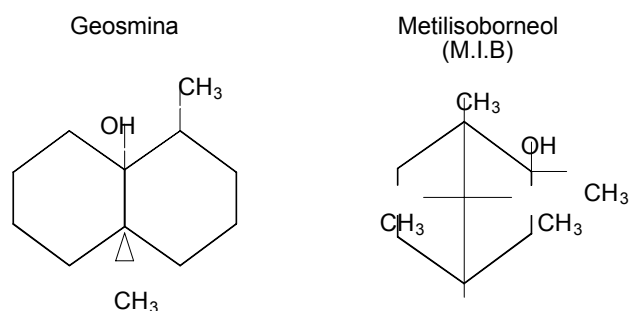


Figura 2. Estructuras de geosmina y metilisoborneol

Hidrocarburos

Entre las sustancias que son incorporadas por volcamiento de efluentes industriales y que generan problemas de sabor y olor tenemos los hidrocarburos. En la **Tabla 1** se proporcionan los valores umbral de olor para alguno de ellos.

Compuesto	Valor umbral (mg/l)
2-Octanol	0,13
Estireno	0,05
Etilbenceno	0,1
naftaleno	0,007
p-Diclorobenceno	0,15
Tricloroeteno	2,6
Tetracloroeteno	2,8
Tolueno	0,14
Diclorometano	24,0

Tabla 1. Valores umbral de olor para hidrocarburos

3.2. SUSTANCIAS QUE SE AGREGAN O SE GENERAN EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO

3.2.1. Cloro y Cloraminas

Durante el proceso de desinfección con cloro, éste se combina con el agua para formar ácido hipocloroso e hipoclorito y en presencia de amoníaco o aminas orgánicas da lugar a la formación de cloraminas.

En la **Tabla 2** se presentan los distintos compuestos que se forman al agregar cloro al agua con sus respectivos umbrales de sabor y olor.

Compuesto	Descriptor	Umbral de olor (mg/l Cl ₂)	Umbral de sabor (mg/l Cl ₂)
Acido hipocloroso	cloro	0,28	0,24
Ion hipoclorito	cloro	0,36	0,30
Monocloramina	pileta de natación	0,65	0,48
Dicloramina	pileta de natación	0,15	0,13
Tricloramina	geranio	0,02	

Tabla 2. Umbrales de olor y sabor para cloro y cloraminas

3.2.2. Subproductos de la Cloración

En el Capítulo III Criterios de Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones se describieron los principales productos que se forman por la combinación del cloro con la

materia orgánica. En la **Tabla 3** se proporcionan los valores de umbral de olor para algunos de esos subproductos.

Entre estos productos, la presencia de clorofenoles, que otorgan un sabor medicinal al agua tratada es una de las causas frecuentes de quejas de los consumidores

Compuesto	Umbral de olor (µg/l)
Fenol	9,5
2-clorofenol	0,088
4-clorofenol	10
2,4- diclorofenol	5,4
2,6- diclorofenol	5,9
2-bromofenol	0,024
2,6 -dibromofenol	0,016
2-iodofenol	<0,4
iodoformo	0,5
cloriodometano	2
cloroformo	7500
bromoformo	5
2,4,6-tribromomoanisol	0,025
2,4,6-tribromoanisol	<0,00003

Tabla 3. Umbrales de olor para varios subproductos de la cloración

3.2.3. Algas

Con frecuencia, las algas se desarrollan en distintos lugares de las plantas de tratamiento como canales, sedimentadores, filtros, y todo tipo de depósito descubierto, pudiendo dar origen a problemas de olor y sabor. El control de algas en las plantas de tratamiento es abordado en el Capítulo Eliminación de Algas de las presentes Fundamentaciones.

3.3. SUSTANCIAS QUE PUEDEN GENERARSE EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Los problemas de sabor y olor pueden generarse o incrementarse en el sistema de distribución por una serie de factores que deberán ser tenidos en cuenta cuando se evalúa un problema de este tipo.

Entre los factores a considerar se tienen:

- Problemas de corrosión en cañerías metálicas que pueden originar la aparición de sabores metálicos en el agua.
- El desarrollo de biofilms en los conductos que puede dar origen a sabores y olores debido a distintos compuestos.

Por ejemplo, durante el proceso de cloración pueden originarse clorofenoles que otorgan sabor medicinal al agua. Los clorofenoles pueden ser metilados por ciertos microorganismos a cloroanisoles que tienen un umbral de sabor mucho más bajo y

esto puede ocurrir dentro de la red de distribución. Karlsson y otros realizaron un estudio en cinco ciudades suecas y determinaron la formación de tricloroanisoles en la red de distribución de cinco de ellas. En uno de los casos, la concentración de 2,4,6 tricloroanisol fue de 6 ng/l y resultó suficiente para impartir al agua un olor característico a “moho”.

La mayoría de los problemas que se producen en los sistemas de distribución tienen relación con el tiempo que el agua permanece en el sistema y con la presencia de zonas muertas de la red. Estos inconvenientes se corrigen con un adecuado sistema de limpieza periódica de las cañerías consistentes en drenajes rápidos de las mismas y en su desinfección.

4. MÉTODOS PARA MEDICIÓN DE OLORES Y SABORES

4.1. MÉTODO DEL VALOR UMBRAL DE OLOR Y SABOR

Con este método se determina un Número Umbral de Olor o Sabor, haciendo diluciones de la muestra a analizar con agua libre de sabor y olor. El agua libre de sabor y olor se consigue filtrando agua destilada a través de carbón activado granular.

Se hace intervenir a un panel de personas (entre 5 y 10) para que indiquen en cuál dilución se hace imperceptible el olor o el sabor. Las personas deben seleccionarse cuidadosamente, mediante pruebas preliminares. Aunque no se requiere una sensibilidad extrema, deben excluirse a aquellas personas poco sensibles y que no demuestren interés por participar en la prueba.

El Número de Umbral de Olor (NUO), en inglés conocido como TON (Threshold Odor Number) se calcula de la siguiente forma:

$$NUO = \frac{A + B}{A}$$

donde : A = ml de muestra B = ml de agua inodora

Para el sabor se procede de la misma forma, pero la determinación no se hace sobre aguas sin tratar, por los peligros que implica beber agua contaminada.

El Número Umbral de Olor no es un valor exacto, porque depende en gran medida de la sensibilidad del panel evaluador. Si se realiza en forma rutinaria, permite detectar problemas de olor en el agua cruda, determinar la eficiencia de distintos tratamientos y controlar en ese aspecto el agua tratada.

Como se indicó en el Capítulo III Criterios de Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones, las normas del Código Alimentario fijan un valor umbral de olor de 3, por lo que la determinación de este parámetro debe realizarse en forma rutinaria.

4.2. ANÁLISIS DEL PERFIL DE SABOR Y OLOR

Este método fue desarrollado originalmente por la industria alimenticia y fue adaptado para el análisis sensorial. Ha sido incluido en la 20ª Edición de los Métodos Estándar y se está utilizando en la Planta de Tratamiento Suquía de la ciudad de Córdoba.

En este método no se diluyen las muestras. Las mismas son olfateadas o saboreadas por un panel de personas especialmente preparadas, que disponen de soluciones estándar de sabores y olores para comparar con las muestras que se están analizando. La prueba de olor se hace a 45 °C y la de sabor a 25 °C.

Cada uno de los panelistas caracteriza el olor según lo establecido en una Rueda de Olores y Sabores (**Figura 3**) y además le asigna una intensidad en una escala de 0 a 12 (sólo los números pares).

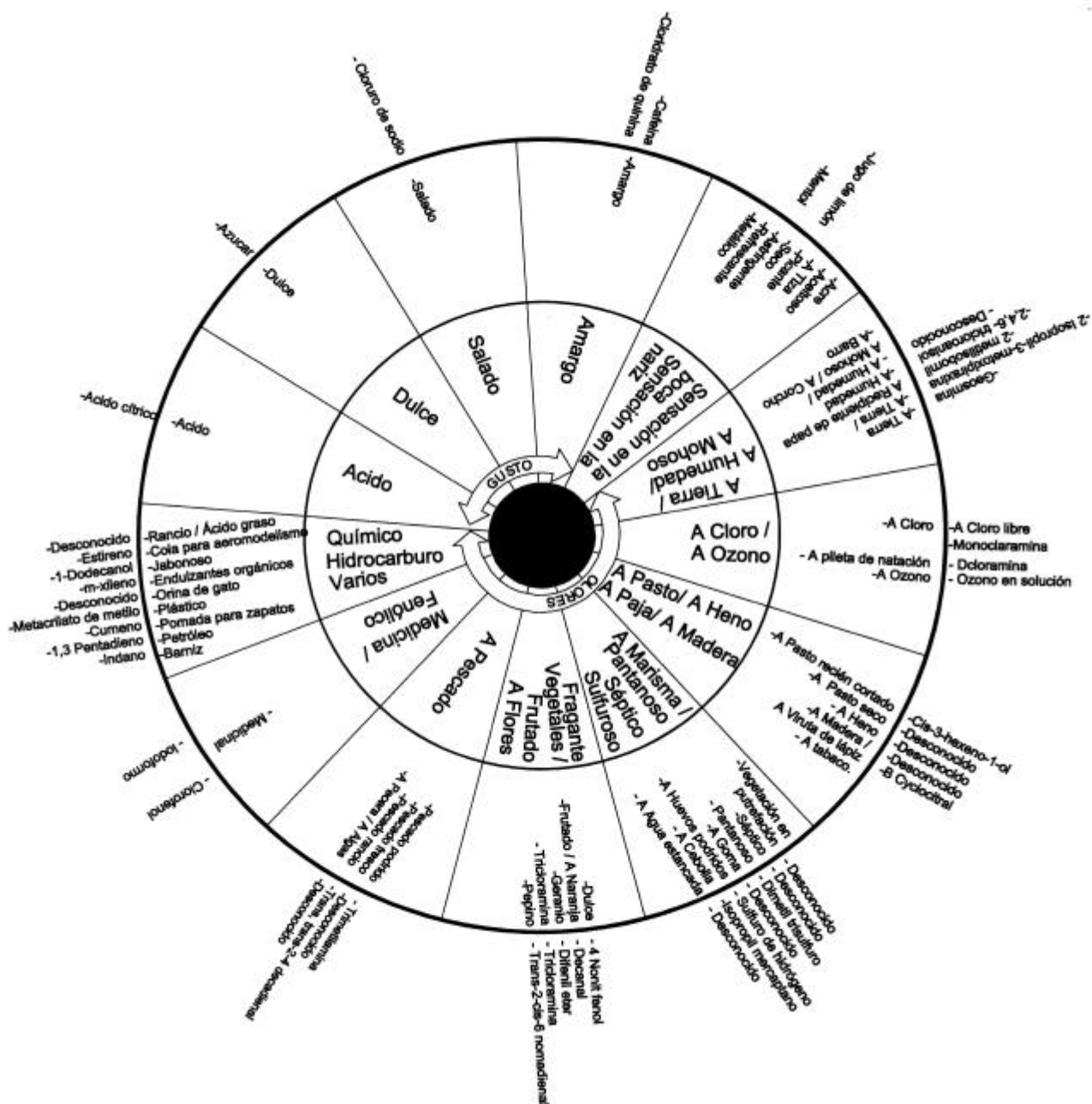


Figura 3. Rueda de sabor y olor

La escala de intensidad es la siguiente:

- 0 : no hay olor o sabor
- U : umbral, se detecta pero no se puede cuantificar
- 2 : muy débil
- 4 : débil
- 6-8-10: moderado
- 12 : fuerte

Luego de la caracterización individual, se realiza una discusión entre los panelistas para llegar a un consenso. Si no lo hay, sólo se toma en cuenta un descriptor si ha sido percibido por el 50% de los panelistas. Para determinar la intensidad se promedian los valores numéricos asignados por cada panelista.

4.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

Se ha desarrollado una amplia gama de técnicas analíticas para identificar los compuestos olorosos volátiles que, como ya se indicó, están presentes generalmente a nivel de trazas.

Como existen una gran variedad de técnicas para concentrar las muestras y para realizar extracciones o separaciones, las que serán variables según el compuesto a analizar, se debe llevar a cabo primeramente un análisis sensorial para realizar una elección "a priori" de la metodología a utilizar.

Con una técnica de concentración denominada depuración de ciclo cerrado y análisis por cromatografía gaseosa/espectrometría de masas pueden determinarse concentraciones a nivel de nanogramos por litro de geosmina y 2-MIB. Detalles sobre esta técnica pueden encontrarse en los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA, AWWA, WEF) en su última edición.

5. PASOS A SEGUIR CUANDO SE PRESENTA UN PROBLEMA DE SABOR Y OLOR

La identificación de las causas de la presencia de sabor y olor es generalmente difícil y muchas veces desaparece el problema sin que se haya podido determinar su origen. Sin embargo, conocer el origen permitirá prever las medidas necesarias para su eliminación en un próximo episodio o para evitar su repetición.

El primer paso es localizar en qué parte del sistema se ha originado: en la fuente, en la planta o en el sistema de distribución. Si el problema se ha generado en la fuente, la medida más simple sería utilizar una fuente alternativa, pero esto no siempre es posible.

Una vez que se haya determinado que el problema se localiza en la fuente de provisión, deberá realizarse un relevamiento sanitario que deberá comprender los siguientes pasos:

- Recopilar toda la información histórica disponible sobre la fuente a fin de determinar si los problemas son estacionales. Correlacionar los datos históricos disponibles con el registro de las quejas de los consumidores para tratar de establecer el origen del problema.
- Hacer un relevamiento de actividades estacionales que puedan estar influyendo como:
 - Cambios en el uso del suelo.
 - Actividades agrícolas.
 - Actividades recreacionales.
 - Descarga de efluentes industriales y municipales.
 - Precipitaciones.
 - Florecimiento de algas.
 - Estratificación de lagos o reservorios.
- Diseñar un programa de muestreo y monitoreo que deberá incluir parámetros químicos y físicos así como determinaciones de olor y sabor. Deberán utilizarse técnicas para determinar si la causa es de origen químico o biológico. Por ejemplo, un examen microscópico podrá indicar la presencia de microorganismos causantes de sabor y olor y el uso de cromatografía gaseosa podrá ser útil para determinar metabolitos como geosmina o 2-MIB. Si la fuente de provisión es un lago, podrán realizarse determinaciones de olor y sabor a distintas profundidades para detectar condiciones de estratificación térmica o la presencia de florecimientos masivos de algas. Si se sospecha de alguna contaminación industrial el uso de cromatografía gaseosa/espectrometría de masas puede determinar la verdadera causa de muchos olores y sabores.
- Una vez que se ha realizado el relevamiento deberá intentarse el establecimiento de un sistema de alarma que permita predecir la aparición de problemas de olores y sabores. El sistema puede incluir algunas de las siguientes medidas:

- Monitoreo periódico del número y género de algas en puntos previamente seleccionados.
- Monitoreo de sabores y olores usando el método del olor umbral o el perfil de sabores y olores.
- Establecer un sistema de comunicación con las industrias de aguas arriba para que notifiquen sobre vuelcos accidentales o fallas en el funcionamiento de las plantas de tratamiento.
- Establecer un sistema de comunicación con plantas de tratamiento de agua que estén emplazadas aguas arriba y puedan avisar sobre la presencia de problemas.

El objetivo del sistema de alarma es establecer en qué momento deben comenzar a aplicarse las medidas correctivas para disminuir o eliminar los problemas de sabores y olores.

La prevención del desarrollo de olores y sabores en las fuentes de provisión, en general, comprenderá dos aspectos:

- La prevención y el control de la contaminación por descargas puntuales o difusas.
- El control del desarrollo de algas. Las distintas medidas que pueden aplicarse para controlar el desarrollo de algas en lagos, represas y reservorios serán descritas con detalle en el Capítulo sobre Eliminación de Algas.

Los tratamientos correctivos a aplicar en las plantas de tratamiento, se describen en los próximos puntos.

6. REMOCIÓN DE SABORES Y OLORES EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

6.1. OXIDACIÓN

Debido a la gran cantidad de sustancias químicas tanto orgánicas como inorgánicas que pueden originar olores y sabores, los procesos de tratamiento pueden ser muy diversos. Sin embargo, como la mayoría de los compuestos están en su forma reducida, la aplicación de un proceso de oxidación puede resultar efectivo.

Se analizarán a continuación distintos productos oxidantes.

6.1.1. Cloro

La aplicación de cloro es muy efectiva para bajas concentraciones de sustancias inorgánicas causantes de olor como por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno. La cloración, en muchos casos, debe ser precedida por un proceso de aeración.

Como ya se comentó, el cloro al combinarse con ciertas sustancias orgánicas o con las algas, genera problemas de olor y sabor, por lo que se requiere clorar a punto de quiebre y luego dechlorar.

Un ejemplo, es la reacción con el fenol ya que cuando se agregan bajas dosis, se forman clorofenoles que imparten al agua un clásico sabor medicinal. El sabor aumenta para dosis crecientes hasta un valor máximo, para después desaparecer con dosis mayores.

Las normas establecidas para la presencia de sustancias organocloradas en el agua potable y el costo del proceso hacen que esta alternativa no sea aplicable en la mayoría de los casos.

6.1.2. Permanganato de Potasio

El permanganato de potasio ha sido utilizado para eliminar olores producidos por algas en plantas de tratamiento de los Estados Unidos. Su uso no está difundido en nuestro país.

El permanganato es más efectivo a pH alcalino y se requieren dosis entre 1 y 3 mg/l y un tiempo de contacto de por lo menos 1 o 2 horas. Para obtener estos tiempos, en muchas plantas se agrega el producto en el conducto de agua cruda.

Hay que evitar el agregado de dosis excesiva, porque el agua adquiere color rosa. Por otra parte, el manganeso soluble precipita en la red de distribución como dióxido de manganeso imprimiendo un color negro al agua.

La sobredosis se controla generalmente, agregando el oxidante antes del proceso de sedimentación, pero su control puede resultar difícil en plantas que utilizan el proceso de

filtración directa. El exceso de permanganato residual puede removerse mediante el agregado de carbón activado en polvo, luego de la oxidación.

6.1.3. Ozono

El ozono es ampliamente conocido por su habilidad para oxidar compuestos que producen olor y sabor y su uso se ha difundido en los últimos años, especialmente en Europa.

Estudios realizados sobre la oxidación de geosmina y 2-MIB demostraron que no eran atacados en agua destilada y sí en agua de un curso superficial. Se llegó a la conclusión de que la matriz orgánica del agua promueve la formación de radicales libres que son capaces de degradar esos compuestos.

Esa hipótesis se confirmó, cuando se demostró que la aplicación de una combinación de ozono con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en una relación de 0,4 a 1 era muy eficiente para la remoción de geosmina y 2-MIB.

En estudios realizados en laboratorio y en plantas piloto por diversos autores se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Para concentraciones de geosmina y 2-MIB en el rango de 30-33 $\mu g/l$ la aplicación de dosis de ozono de 2 a 5 mg/l a $pH = 7$ remueve entre 85 a 100% de dichos compuestos, con tiempos de contacto entre 3 y 6 minutos.
- En aguas libres de materia orgánica las toxinas producidas por algas fueron eliminadas entre un 90 y 99% usando dosis bajas y tiempos de contacto de 15 a 60 segundos. Por otra parte, la presencia de materia orgánica disminuye la eficiencia debido a reacciones competitivas. En aguas crudas o en aguas tratadas, la aplicación de una dosis de ozono de 1 a 4 mg/l y tiempos de contacto de 10 minutos permiten remover un 90% de toxinas.

Una de las desventajas de la aplicación de ozono es la formación de subproductos intermedios. El tipo y la cantidad de estos subproductos depende de la dosis, el tiempo de reacción y el pH . Se ha informado sobre la formación de aldehídos aromáticos y alifáticos que otorgan al agua sabor a frutas (naranja, mandarina). Estos productos pueden eliminarse en un proceso posterior de filtración por carbón activado granular.

6.1.4. Dióxido de Cloro

El dióxido de cloro es un oxidante fuerte. Al igual que el ozono debe generarse in situ, haciendo reaccionar cloro gaseoso con clorito de sodio.

Una de las ventajas que ofrece es que forma muy pocos compuestos al combinarse con la materia orgánica. En algunos sistemas de los Estados Unidos, se agrega al agua para el proceso de desinfección y para controlar la formación de trihalometanos, pero en general es utilizado como pretratamiento.

Según señala Malleviale, una de las desventajas del uso de dióxido de cloro es que es altamente volátil y provoca olor en concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l , originando quejas de los consumidores.

6.1.5. Aeración

La aeración, tal como se aplica en las plantas de tratamiento, no es efectiva para el control de olores y sabores, excepto para la remoción de sulfuro de hidrógeno o sustancias orgánicas volátiles.

El ion ferroso, si está presente en concentraciones bajas, puede removerse por aeración, pero generalmente, debe complementarse este proceso con el agregado de un oxidante (ver capítulo sobre Eliminación de Hierro y Manganeseo). El ion manganoso no es removido por la aeración en los tiempos normalmente utilizados para este proceso.

6.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN

El principal objetivo de estos procesos es la remoción de turbiedad y color, sin embargo su optimización puede contribuir a eliminar problemas de sabores y olores. En el caso de la presencia de algas, un cierto porcentaje de las mismas puede removerse en los procesos de clarificación, aunque en algunos trabajos se ha informado que los olores y sabores producidos por las algas no se eliminan con los procesos convencionales de clarificación, probablemente debido a la lisis de las células y a la liberación de los compuestos olorosos, especialmente si se utiliza precloración.

Si no se utiliza precloración pueden desarrollarse algas en las paredes de los reactores utilizados en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación y deberán tomarse medidas para su eliminación, a través de limpiezas periódicas de los mismos.

Por otra parte, durante el proceso de clarificación debe optimizarse la remoción de materia orgánica para que no compita con los compuestos olorosos en los procesos de adsorción sobre carbón activado.

Otro aspecto a considerar respecto a los procesos de clarificación es que si se utiliza el agregado de carbón activado en polvo, deberá asegurarse que sea removido en el proceso de sedimentación y esto puede implicar optimizar el agregado de coagulantes o la necesidad de incorporar un polielectrolito.

6.3. ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

La adsorción mediante la aplicación de carbón activado ha sido reconocido como uno de los procesos más efectivos para el control de olores y sabores. Puede aplicarse al agua carbón activado en polvo o puede filtrarse la misma a través de mantos de carbón activado granular.

6.3.1. Carbón Activado en Polvo (CAP)

El agregado de CAP es el proceso de tratamiento más difundido por sus menores costos y porque resulta muy adecuado cuando los problemas de aparición de sabores y olores son episódicos.

El CAP puede agregarse usando dosificadores en seco o en una suspensión de agua mediante bombas dosificadoras. Los criterios importantes para seleccionar el punto de aplicación son los siguientes:

- Proveer una buena mezcla y un buen contacto entre el CAP y toda la masa de agua.
- Proporcionar un tiempo de contacto adecuado.
- Evitar interferencias con otros productos químicos.
- No deteriorar la calidad final del agua.

Los puntos de aplicación en las plantas convencionales de tratamiento pueden ser los siguientes: la obra de toma, la mezcla rápida, ó la entrada a los filtros. Una alternativa puede ser el agregado en una cámara de contacto especialmente diseñada y ubicada antes de la etapa de mezcla rápida. Se asegura así una buena mezcla y luego el CAP es incorporado en los flóculos y separado en la etapa de sedimentación. En la **Tabla 4** se han resumido las ventajas y desventajas de cada uno de los puntos de aplicación mencionados.

El tiempo de contacto necesario es función de las características y de la concentración de las moléculas a adsorber. Cuando el tamaño molecular se incrementa, la velocidad de difusión decrece y se requiere mayor tiempo para que se produzca la adsorción.

Punto de adición	Ventajas	Desventajas
Obra de toma	Mayor tiempo de contacto Buena mezcla	Se adsorben sustancias que podrían haber sido eliminadas en el proceso de coagulación y así se incrementa la dosis de CAP
Mezcla rápida	Buena mezcla y tiempo razonable de contacto	Posible reducción de la velocidad de adsorción por interferencia con los coagulantes
Entrada a los filtros	Uso eficiente del CAP	Posible pasaje de CAP a las cisternas de agua tratada y red de distribución. Acortamiento de la carrera de los filtros.
Cámara de contacto especial antes de la mezcla rápida	Excelente mezcla para el tiempo de contacto de diseño, no hay interferencias con los coagulantes. Tiempo adicional de contacto en la etapa de floculación-sedimentación.	Puede haber competencia con moléculas que podrían ser removidas en el proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de diferentes puntos de aplicación de CAP

El tamaño de las partículas de carbón también tiene influencia en el tiempo de contacto. Cuanto más pequeñas son es mayor el área superficial y por tanto mayor la capacidad de adsorción. Las partidas de carbones comerciales pueden tener un porcentaje grande de partículas más grandes que el tamaño especificado y por lo tanto pueden requerirse mayores tiempos de contacto que los determinados en ensayos de laboratorio.

Ventajas

- Es más económico que el carbón activado granular y los costos de inversión también son menores, ya que en muchos casos sólo se requiere de un equipo dosificador.
- Pueden usarse cantidades extras de CAP cuando ocurren picos de contaminación.
- La adsorción es rápida y que su gran superficie específica está accesible en forma directa.
- Si se agrega antes de la floculación hace que el flóculo sea más pesado.

Desventajas

- El CAP no se puede regenerar cuando está incorporado a lodos con coagulante y debe ser desechado.
- Es difícil remover trazas de contaminantes sin la adición de cantidades excesivas de CAP.
- Para poder utilizar CAP durante picos de contaminación es necesario que éstos hayan sido identificados previamente.
- No conviene su uso cuando los problemas son permanentes o cuando las dosis exceden los 20-25 g/m³.

Capacidad de adsorción del carbón activado

La capacidad de adsorción de un carbón se puede determinar usando las isothermas de adsorción de Freundlich (ver Capítulo sobre Adsorción).

La ecuación de Freundlich tiene la siguiente forma:

$$q = a \cdot C_e^{1/n}$$

donde:

q = el número de moles de adsorbato por masa de adsorbente en condiciones de equilibrio en moles /g o en mg/g

C = concentración del adsorbato en el equilibrio en moles/l o mg/l

$A, 1/n$ = constantes

Si se conocen los valores de a y $1/n$ para un determinado adsorbato, puede calcularse la dosis necesaria de CAP con la siguiente expresión:

$$\text{Dosis de carbón (mg/l)} = \frac{C_o - C_e}{q} = \frac{C_o - C_e}{k C_e^{1/n}} \quad (*)$$

C_o = concentración inicial del adsorbato en moles/l o mg/l

C_e = concentración del adsorbato en el equilibrio en moles /l o mg/l

Las isotermas son generalmente determinadas para sustancias específicas en agua destilada pero la capacidad de adsorción se reduce por la presencia de otros compuestos en la solución. En las aguas naturales, la matriz orgánica está compuesta generalmente por una mezcla de sustancias de distinto peso molecular y pueden existir productos en concentraciones equivalentes o mayores que la de los compuestos organolépticos que competirán por los sitios de adsorción.

Deberán realizarse ensayos de laboratorio y determinar las isotermas para cada caso particular. En la **Figura 4** se comparan las isotermas de adsorción de geosmina en agua destilada y en agua destilada sembrada con 10 y 40 mg/l de sustancias orgánicas.

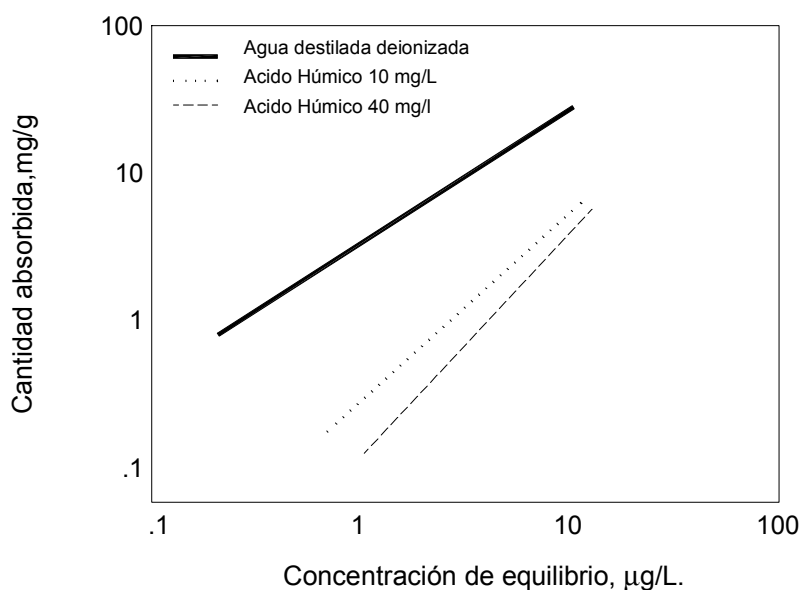


Figura 4. Isotermas de adsorción para geosmina

El impacto de la matriz orgánica sobre la adsorción de la geosmina es evidente. Por ejemplo, para 10 mg/l de materia orgánica y una concentración de geosmina de 1 microgramo por litro, el CAP adsorbe 0,3 mg/g en lugar de los 7 mg/g que se adsorben en agua destilada.

No obstante, y a modo de ejemplo, en la **Tabla 5** se transcriben algunos valores de las constantes de Freundlich, tomados de la bibliografía, para compuestos olorosos.

Compuesto	Tipo de agua	a	1/n
Geosmina	Pura	0,58	0,71
2-MIB	Pura	0,119	0,52
Cloroformo	Pura	2,0	0,73
Bromoformo	Pura	4,74	0,52

Nota: a y 1/n son los coeficientes de Freundlich para q en mg/g y Ce en µg/l

Tabla 5. Coeficientes de las isotermas de Freundlich

Ejemplo de cálculo de la dosis de carbón activado en polvo

Supongamos que queremos remover en un 90% la concentración de geosmina en un agua que contiene 40 ng/l de esa sustancia. De acuerdo a los datos de **Tabla 5** y aplicando la expresión (*), la dosis será de 4,1 mg/l para agua pura.

6.3.2. Carbón Activado Granular

La filtración a través de carbón activado granular (CAG) ha sido usada con éxito en muchas plantas de tratamiento en los que los problemas de sabor y olor son permanentes.

Observaciones realizadas en plantas en funcionamiento demuestran que la adsorción de la materia orgánica que contiene el agua a tratar es la que provoca el agotamiento del lecho antes que los compuestos olorosos. Los filtros de CAG generalmente se ubican en la línea de tratamiento luego del tratamiento convencional de coagulación–floculación, sedimentación-filtración, aunque en muchos casos se colocan como único filtro con el doble propósito de eliminar turbiedad y compuestos orgánicos.

En la planta de Stockton, Estados Unidos, se comprobó que otros factores intervenían en la remoción de 2-MIB y geosmina, además de la adsorción. Luego de dos años de operación en los que se trató agua con concentraciones de 5 a 20ng/l de ambos compuestos, se extrajeron muestras de la parte superior del lecho de CAG y sólo se detectaron niveles de 0,1 a 0,2 µg/g de GAC, a pesar de que los contaminantes habían sido efectivamente removidos. Este hecho hizo suponer que tanto la geosmina como 2-MIB fueron eliminados por procesos biológicos ya que ambos son biodegradables.

Una de las hipótesis formulada fue la siguiente: luego de que una cierta cantidad de compuestos han sido adsorbidos sobre la superficie de los granos de CAG, se desarrolla un biofilm alrededor de los mismos en el que comienza a producirse la biodegradación.

La concentración en el biofilm es menor que en la superficie de los granos y por lo tanto se origina un gradiente inverso que produce la desorción de los compuestos y su liberación en el biofilm donde son biooxidados.

El descubrimiento de que en los lechos de CAG se producen procesos de biodegradación llevó al desarrollo de los llamados filtros biológicos de carbón activado (en inglés BAC,

biological activated carbon). Posteriormente, se comprobó que un proceso de ozonización previo facilita la biooxidación

Criterios de diseño de los filtros de carbón activado granular

Los parámetros importantes para el diseño de un filtro son los siguientes:

- Tiempo de contacto: que es el tiempo de retención hidráulico considerando que no existe el lecho filtrante.
- La velocidad de filtración.
- Espesor del manto.
- Granulometría del carbón y coeficiente de uniformidad.
- Tiempo de servicio: tiempo transcurrido entre dos regeneraciones.
- Forma de lavado y velocidades de lavado.
- Tipos de carbón.

En el Capítulo sobre Adsorción se han considerado cada uno de estos aspectos; interesa ahora presentar algunos criterios de diseño específicos para el caso de eliminación de olores y sabores, recurriendo a experiencias realizadas en distintas partes del mundo.

En los Estados Unidos los criterios de diseño para los filtros de CAG varían mucho según cada situación particular, pero muchas plantas han reportado buenos resultados con tiempos de contacto para el filtro vacío entre 5 y 30 minutos y tiempos de servicio de 1 a 5 años. La concentración alta de materia orgánica puede reducir los tiempos de servicio.

Muchos de los filtros de CAG que se usan en las plantas de los Estados Unidos son filtros rápidos de arena en los que se ha reemplazado la misma por carbón o filtros duales en los que el carbón ha ocupado el lugar de la antracita.

Los filtros de arena convencionales optimizados tienen lechos de una profundidad de 0.40 a 0.80 m de carbón, con granulometrías de 0,50-0,60 mm y en los filtros duales modificados la capa de carbón colocada sobre la capa de arena tiene una granulometría de 1 mm de diámetro y un espesor de 0,60-0,70 m.

La capa de arena en los filtros duales es esencial cuando el objetivo es lograr bajas turbiedades, sin embargo causa dificultades en los procesos de regeneración del carbón porque la separación es difícil y la arena crea problemas en los hornos donde este proceso se lleva a cabo.

Los filtros diseñados especialmente tienen en general una capa de 1,2 m de carbón de 1,3 mm con coeficientes de uniformidad de 1,4.

Chang y otros señalan que los valores típicos para los filtros de CAG son los siguientes:

- Tiempo de contacto para el lecho vacío: 5 a 30 minutos.
- Velocidad de filtración: 5 a 15 m/h.

- Profundidad del lecho : 2 a 12m.
- Tiempo de servicio: 100 a 600 días.

Regeneración de CAG

Los métodos de regeneración son básicamente tres:

- Regeneración por vapor

La regeneración por vapor sólo es utilizada si sólo se han adsorbido pequeñas cantidades de sustancias volátiles pero puede ser útil para limpiar la superficie de los granos y desinfectarlo.

- Regeneración térmica

El proceso de regeneración térmica es el más utilizado y comprende los siguientes casos:

- Secado, que incluye la pérdida de los adsorbatos altamente volátiles a temperaturas hasta 200 °C.
- Vaporización de los adsorbatos volátiles y la descomposición de adsorbatos inestables para formar fragmentos volátiles a temperaturas entre 200 y 500°C
- Pirólisis de los adsorbatos no volátiles y de los adsorbatos fragmentados para formar un residuo carbonáceo en la superficie del carbón a temperaturas entre 500 y 700 °C
- Oxidación de los residuos de la pirólisis usando vapor o dióxido de carbono como agente oxidante a temperaturas por encima de los 700 °C.

Para el proceso se utilizan hornos de cámaras múltiples, hornos rotativos u hornos de lecho fluidificado. Durante el proceso se pierde entre un 7 y un 10 % del carbón tratado.

- Regeneración química

Es un proceso menos utilizado que el térmico y consiste en la acción de un solvente a una temperatura de 100°C y a un alto pH. Tiene la ventaja de que las pérdidas de carbón son menores (aproximadamente 1% del carbón tratado), pero la disposición de la mezcla del agente alcalino y el solvente es costosa, ya que debe separarse el solvente por destilación y los contaminantes deben ser incinerados.

6.3.3. Disposición Final de los Residuos de Carbón Activado

El carbón activado granular usado debe disponerse adecuadamente ya que el proceso de adsorción es reversible. Si queda expuesto al agua de lluvia, por ejemplo, podrán lixiviarse los compuestos adsorbidos y contaminar el suelo y las aguas subterráneas. La solución más apropiada es mediante la regeneración térmica de los compuestos adsorbidos o la destrucción del carbón usado mediante combustión.

El carbón activado en polvo también puede estar sujeto a problemas de lixiviación si se dispone sobre el suelo. Si el carbón es parte de lodos con coagulantes y es descargado en un curso de agua, su coloración negra puede causar problemas, aunque los productos adsorbidos no sean tóxicos.

En el Capítulo sobre Disposición de Residuos de Plantas de Tratamiento se dan más detalles sobre el tema.

7. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL DISEÑO DE PROCESOS DE TRATAMIENTO

El diseño de los procesos de tratamiento para eliminación de olores y sabores tendrá distintos aspectos si se trata de una nueva planta de tratamiento o de la optimización de una planta existente.

7.1. PLANTA NUEVA DE TRATAMIENTO

Si se va a construir una planta de tratamiento utilizando una nueva fuente de provisión, deberá implementarse un programa de monitoreo de la misma que deberá extenderse por lo menos a lo largo de un año para detectar las variaciones estacionales en la calidad química, física y biológica del agua. Podrán recabarse datos provenientes de monitoreos realizados con anterioridad por organismos nacionales o privados.

Si se espera que ocurran problemas de olor y sabor deberán realizarse estudios de laboratorio y en plantas piloto para establecer criterios de diseño adecuados.

Deberá ponerse énfasis en realizar un diseño que tenga la suficiente flexibilidad como para poder agregar procesos adicionales de tratamiento. Por ejemplo, durante los ensayos en planta piloto puede llegar a determinarse que la filtración por carbón activado granular es un tratamiento efectivo, pero por razones económicas no puede incluirse en la primera etapa de construcción. En tal caso, deberán preverse los espacios y las conexiones de modo de poder agregar el proceso en el futuro.

7.2. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS EXISTENTES

Cuando en una planta existente se presentan problemas de sabores y olores, podrán agregarse procesos o modificar los existentes, pero deberán considerarse una serie de aspectos, como las siguientes:

- Los tiempos de contacto en los reactores existentes pueden estar limitados por la geometría de los mismos.
- Deberá considerarse la totalidad de la planta, con el fin de identificar posibles opciones. Por ejemplo, la adición de oxidantes en la obra del toma, si ésta suficientemente alejada puede proveer un tiempo de contacto adecuado.
- Deberán realizarse ensayos de laboratorio y si es posible en plantas pilotos para encontrar la mejor alternativa de optimización. Si la planta cuenta con instalaciones duplicadas, puede realizarse un ensayo a escala real en algunas de las líneas existentes.
- Los puntos de adición de productos químicos deberán estudiarse con cuidado para no agregar en forma conjunta productos que pueden interferir entre sí, por ejemplo, no debe agregarse CAP junto con el cloro.

- Una alternativa a considerar podrá ser el tratamiento parcial del agua cruda para remover los compuestos u organismos causantes de los problemas y luego proceder a su mezcla con agua sin tratar.
- Deberá prestarse especial atención al manejo de los lodos de la planta de tratamiento, especialmente los acumulados en los sedimentadores, ya que pueden generar problemas de olores y sabores.

7.3. ELECCIÓN DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO

En la **Figura 5** se presenta un esquema (adaptado de esquemas similares presentados por Malleviale y Hoehn) que puede servir de guía para elegir la línea de tratamientos más adecuada y planificar correctamente los ensayos a realizar. Como se indicó anteriormente, la solución deberá encontrarse en base a estudios en cada caso particular ya que generalmente no hay dos problemas de olor y sabor que sean iguales.

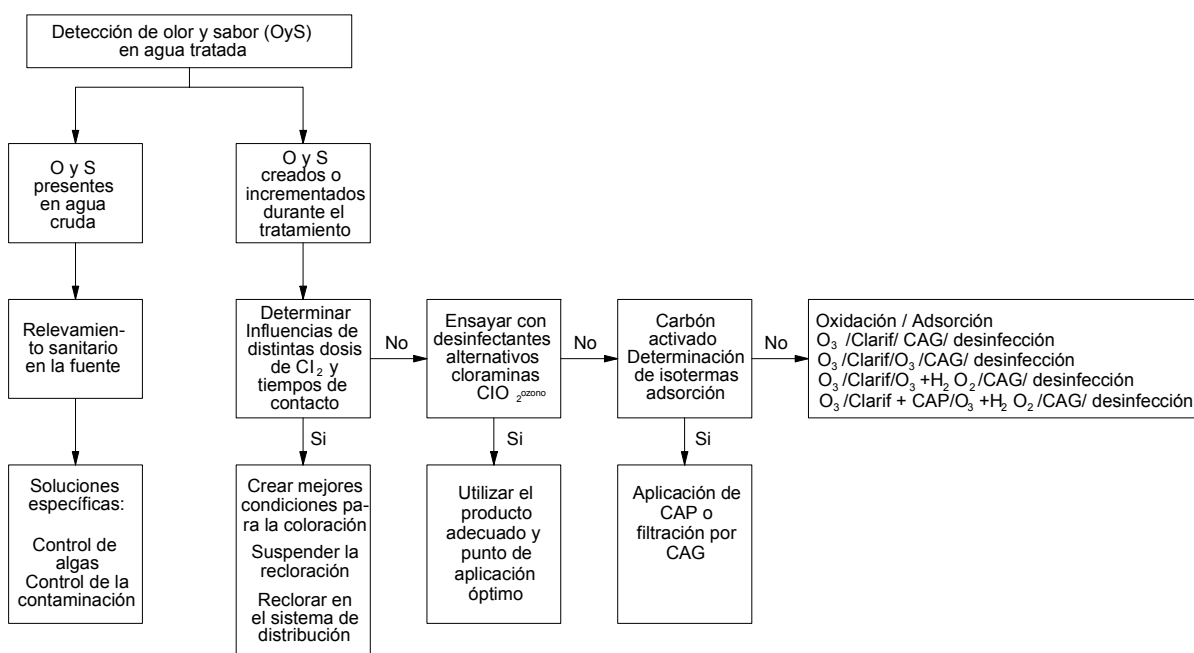


Figura 5. Esquema para seleccionar procesos de tratamiento

8. PRESENTACIÓN DE CASOS

A continuación se presentan algunos casos de aplicación de los procesos descritos en los puntos precedentes.

8.1. FRANCIA

Planta de Tratamiento de Morsang:

En esta planta, que trata aguas del Río Sena, existen dos líneas de tratamiento luego de una precloración con 0,5-1 mg/l de cloro (ver **Figura 6**).

En una de las líneas se agregan entre 5 y 15 mg/l de carbón activado en polvo junto con el coagulante, luego sigue una etapa de floculación-clarificación en un sedimentador de manto de lodos, filtración en arena, ozonización y postcloración. La otra línea es similar, pero sin agregado de carbón activado en polvo y con filtros de carbón activado luego de la ozonización.

Duguet, Bruchet y Malleviale informaron que los olores a tierra causados por una variedad de productos químicos que incluyen geosmina y 2-MIB son removidos en esta planta. Se realizaron experiencias con soluciones de geosmina en agua pura, que demostraron la eficacia de la combinación de peróxido de hidrógeno con ozono en la destrucción de dichos compuestos.

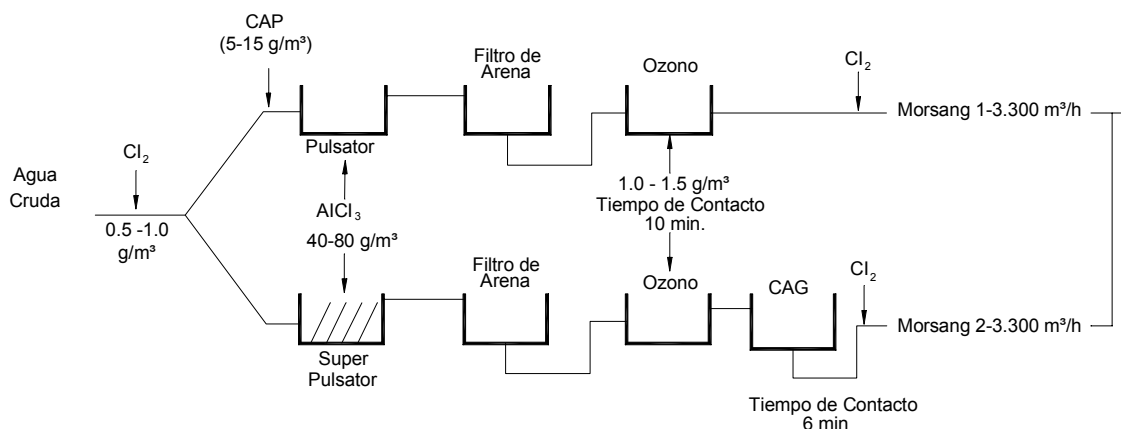


Figura 6. Esquema planta de tratamiento de Morsang

8.2. ESTADOS UNIDOS

Montgomery presenta el caso de una planta en el Sur de California, que es un interesante ejemplo, acerca de cómo manejar la aparición de un problema de olor y sabor.

La fuente de provisión estaba constituida por varios reservorios, incluyendo dos lagos. En octubre de 1974, los consumidores comenzaron a quejarse de la aparición de olor a tierra en el agua tratada.

Se realizaron análisis bacteriológicos del agua del lago y se aislaron *Streptomyces*. En las mismas muestras pudo detectarse a través de cromatografía gaseosa, la presencia de geosmina y dada la ausencia de cianobacterias, se supuso que los actinomicetos eran los agentes causantes del sabor.

Se agregaron dosis de carbón activado en polvo de 12 mg/l combinado con permanganato de potasio en dosis de 0,6 a 0,8 mg/l. Este método resultó efectivo para controlar el problema.

Fueron ensayados otros métodos. La cloración resultó inefectiva, salvo si se realizaba supercloración, seguida de una rápida decloración. El ozono fue efectivo para destruir los compuestos productores de olor y la filtración por carbón activado granular disminuyó el sabor pero no lo eliminó.

Al realizar un estudio de los lagos se llegó a la conclusión de que en el período de julio a octubre se producía una marcada estratificación en los mismos con los valores de sabor máximos en las aguas por debajo de la termoclina. Se comprobó además que el problema podía eliminarse impidiendo la estratificación a través de la colocación de aeradores mecánicos.

Una comparación de costos entre la desestratificación por aeración, la ozonización, la aplicación carbón activado en polvo y la filtración por carbón activado granular favoreció ampliamente a la primer alternativa y como consecuencia del estudio se instalaron sistemas de aeración en ambos lagos que permitieron controlar el problema.

8.3. ARGENTINA

En la planta de tratamiento de la ciudad de Rosario, cuya fuente de provisión es el Río Paraná, se producen episodios de sabor y olor debido a la presencia de hidrocarburos aromáticos provenientes de descargas accidentales de efluentes industriales y por el lavado de las sentinas de los buques.

Como medida correctiva se utiliza el agregado de CAP al agua cruda en dosis del orden de los 15 mg/l, cuando se presentan los problemas.

En la planta de tratamiento de la ciudad de Santa Fe, los problemas de olor y sabor se producen en las épocas de crecientes del río y son de origen biológico, debido al arrastre del agua de esteros y lagunas que aportan algas y probablemente actinomicetos. Se aplica carbón activado al agua cruda, en dosis de 3-4 mg/l.

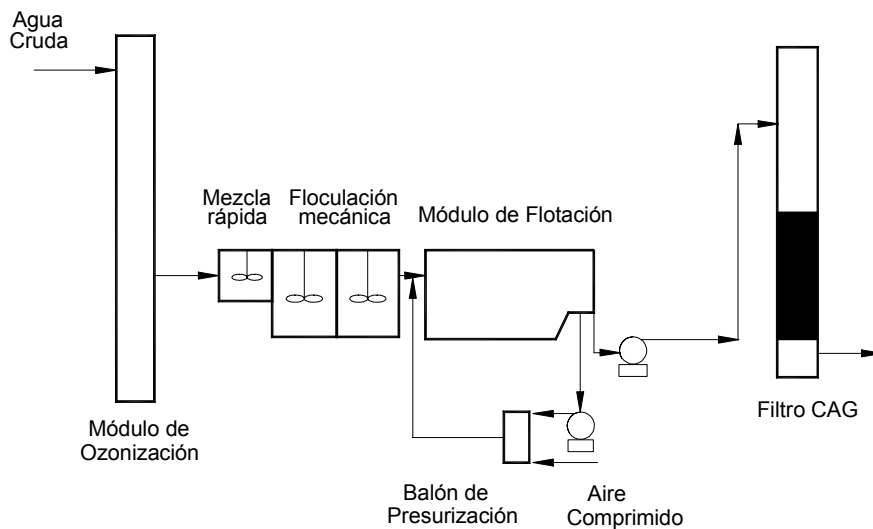


Figura 7. Planta piloto instalada en la Planta de Tratamiento Suquía de Córdoba

En la ciudad de Córdoba existen dos plantas de tratamiento de agua cuya fuente de provisión es el embalse del Lago San Roque, situado a 30 km. de la misma. El lago está eutroficado y ello origina problemas de sabor y olor debido a la gran concentración de algas.

Con el fin de adoptar la secuencia de tratamientos más adecuados, la empresa concesionaria del servicio ha construido y está operando una planta piloto con una capacidad máxima de 168 m³/día con el esquema que se detalla en **Figura 7**. La planta es lo suficientemente flexible para poder variar la secuencia de los procesos y funcionará durante un año para abarcar las variaciones que se producen en las distintas estaciones.

8.4. JAPÓN

Desde 1972, la planta de potabilización Kanamachi, que es una de las once plantas que abastece a la ciudad de Tokio, con una capacidad de 1.600.000 m³/día, tenía problemas de olores y sabores, debido a la presencia de 2-MIB. En 1984 comenzó a aplicarse carbón activado en polvo pero la concentración de 2-MIB tenía grandes variaciones que dificultaban su control.

Para lograr un control más estable se decidió introducir un sistema avanzado de tratamiento combinando ozonización y carbón activado biológico (CAB) para tratar la cuarta parte del caudal total, el que fue inaugurado en 1992.

El tratamiento avanzado se intercaló en la planta existente según el esquema que se aprecia en la **Figura 8**.

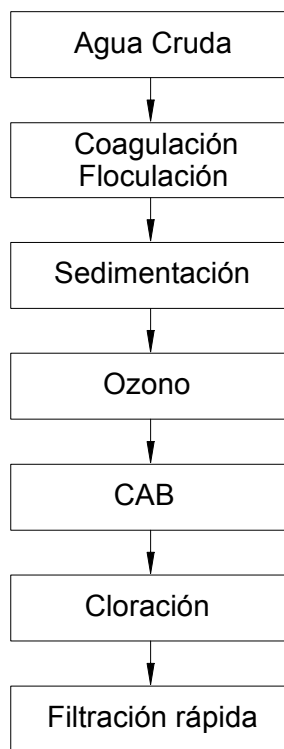


Figura 8. Esquema Planta Kanamachi

El tratamiento avanzado consiste en cinco cámaras de contacto para el ozono con una profundidad de agua de 6 m, un tiempo de contacto de 12 minutos y una dosis máxima de ozono de 3 mg/l. La filtración por carbón activado se realiza en 12 filtros en los que la velocidad lineal es 250 m/día y el tiempo de contacto para el lecho vacío es de 15 minutos.

Aproximadamente el 20% del 2-MIB fue removido en el proceso de coagulación – sedimentación y el restante mediante la combinación y filtración por carbón activo. El nitrógeno amoniacal no pudo ser removido por la organización pero pudo ser nitrificado en el proceso BAC mediante la acción de los microorganismos que crecieron en el carbón activo granular.

La remoción de sustancias precursoras de formación de trihalometanos el tratamiento avanzado fue de prácticamente un 100% al comienzo, porque el carbón activo no estaba saturado pero decreció gradualmente y luego de seis meses de funcionamiento se mantuvo en un valor constante un poco mayor del 60%.

Durante 1992, la máxima concentración de 2-MIB que ingresó al sistema avanzado fue de 120ng/l, la concentración a la salida del equipo ozonizador fue de 7ng/l y prácticamente cero en el agua tratada.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Anselme,C.,Duguet, J.P.,MallevialeJ.,Suffet,I.H.,Ozonation of Organic Compounds Causing Taste and Odor Problems- Influence and Removal of Organics in Drinking Water- Ed. by Malleviale, Suffet and Chan,Lewis Publishers, México, 1992.
- Anvaria, O.N, Paolillo C.E., Sabor y Olor en Aguas- Métodos Correctivos-4º. Congreso Argentino de Saneamiento, Argentina,1973.
- Chang-Keun W., Sang-Eun L., Evaluation of Granular Activated Carbon Adsorber Design Criteria for Removal of Organics Based on Pilot and Small-scale Studies, Wat.Sci.Tech.,Vol.35,No.7,1997.
- Del Olmo Susana, Los procedimientos de análisis sensoriales, Seminario Internacional sobre Identificación de Olores y Sabores en la Producción de Agua Potable-AIDIS/IWSA, Córdoba, Argentina, Agosto 1998.
- Malleviale, Joel. Efficiency of different treatments trains in the removal of taste and odor. Seminario Internacional sobre Identificación de Olores y Sabores en la Producción de Agua Potable- AIDIS/IWSA, Córdoba, Argentina, Agosto 1998.
- Montgomery, James M., Consulting Engineers, Inc., Water Treatment Principles and Design, John Wiley and Sons, USA, 1985.
- Muramoto S., Udagawa T., Okamura,T., Effective removal of musty odor in Kanamachi purification plant. Wat.Sci.Tech. Vol 31, N0.11,1995.
- Suffet, I.H, Malleviale J. Taste and Odor Problems Observed in Raw and Finished Drinking Water, Seminario Internacional sobre Identificación de Olores y Sabores en la Producción de Agua Potable- AIDIS/IWSA , Córdoba, Agosto 1998.