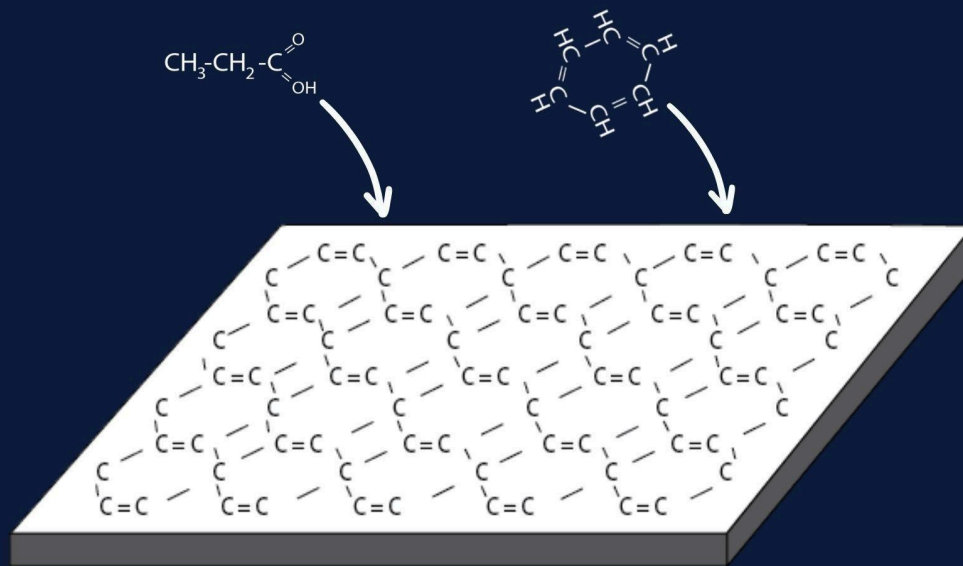


CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES

Ing. Germán Groso Cruzado
27 febrero 2024

CA: adsorbente **inespecífico** de compuestos orgánicos



El carbón, activado o no, está formado por placas gráficas constituidas por átomos de carbono con una estructura como la que muestra la imagen. Por el hecho de ser planas, sufren un desequilibrio electromagnético (considerando que las moléculas tienden a formas redondeadas) que hace del carbón un sólido particularmente adsorbente. Ya que las placas gráficas tienen un carácter totalmente covalente (debido a que todos los átomos que las forman son iguales y, por lo tanto, tienen la misma electronegatividad), buscan satisfacer el desequilibrio electromagnético mediante una unión de baja intensidad con moléculas fluidas que se acerquen y que también tengan un carácter covalente. A este fenómeno se le llama adsorción. Al sólido se le llama adsorbente y a la molécula fluida, adsorbato. A la fuerza que

Entre el adsorbato y el adsorbente se le llama fuerza de London, que es uno de los siete tipos de fuerzas de van der Waals.

Las moléculas orgánicas suelen tener un carácter mucho más covalente que las inorgánicas. Esto se debe a que las uniones C-C o C-H son covalentes. De esto, se ha generalizado la idea de que el carbón es un adsorbente de moléculas orgánicas. En realidad, el carbón adsorbe preferentemente moléculas del mayor carácter covalente (las menos polares y las no iónicas). Asimismo, adsorbe preferentemente las moléculas de mayor masa.

Un carbón activado, desde el punto de vista químico es igual que un carbón no activado. La diferencia entre ambos es que el carbón activado se ha producido con un método en el que se ha incrementado la porosidad, de manera que su área superficial es unas diez veces mayor que la de un carbón no activado.

El carbón, activado además de adsorber preferentemente las moléculas de mayor carácter covalente, adsorbe mejor las moléculas de mayor masa que quepan dentro de sus poros.

Capacidad de adsorción efectiva de un carbón activado



0.33 g de compuestos orgánicos/g de CA.
Es una capacidad muy alta.
CA: "mejor tecnología disponible" (BAT)

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

La realidad es que todos los sólidos adsorben (lana, madera, metales, piel, cabello, plásticos). De hecho, los sólidos también adsorben. No obstante, la mayoría de los sólidos y líquidos tienen una capacidad de adsorción muy baja. No existe ningún sólido con una capacidad de adsorción tan alta como el carbón. Y el carbón activado, por su mayor porosidad, tiene una capacidad de adsorción alrededor de diez veces mayor que la de un carbón sin activar. Un gramo de carbón activado puede retener una masa total de adsorbatos de entre el 20 y el 100% de la masa de carbón. Sin embargo, suele ser necesario cambiar el carbón activado cuando ha atrapado alrededor de un 33% de su masa, ya que en ese momento empieza a dejar pasar con el fluido (agua, en el caso que estamos abordando en esta plática) cierta cantidad de las moléculas que buscamos retener.

(Nota: existen adsorbentes de humedad con gran capacidad, aunque funcionan por hidratación química, que es un fenómeno distinto a la adsorción fisicoquímica que ocurre entre un carbón activado y las moléculas orgánicas fluidas).

La alta capacidad de adsorción de un carbón activado lo ha llevado a ser considerado “mejor tecnología disponible” (*Best Available Technology, BAT*) en la potabilización de agua y en otros tratamientos.

NOM-001-SEMARNAT-1996

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

TABLA 2

LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS				SUELO		HUMEDALES NATURALES		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
°C (1)																					
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-	au-
Flotante (3)	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-	sen-
Sólidos Sedimentables (ml)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁵	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

México tiene tres normas que aplican a las descargas de aguas residuales. La 001 corresponde al agua que se descarga a cuerpos propiedad de la nación (lagos, ríos, mar, suelo). La tabla anterior (Tabla 2 de la norma) corresponde a la versión de esta norma que fue vigente hasta el 11 de marzo de 2023. Esta solamente limitaba dos parámetros relacionados con materia orgánica: Grasas y Aceites (GyA), y Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

NOM-001-SEMARNAT-2021

TABLA 1
Límites Permisibles

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes						Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico			Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico					
	PM	P.D.	V.I.	PM	P.D.	V.I.	PM	P.D.	V.I.	PM	P.D.	V.I.	PM	P.D.	V.I.	PM	P.D.	V.I.			
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35			
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21			
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28			
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84			
Carbono Orgánico Total	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21			
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30			
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15			
Huevos de Helminthos (huevos/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1											
Escherichia coli (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200			
Enterococos fecales (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200			
pH (pH)	6-9																				
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo											
	436 nm									7.0 m ⁻¹											
	525 nm									5.0 m ⁻¹											
Toxicidad aguda (UT)	620 nm									3.0 m ⁻¹											
	2 a los 15 minutos de exposición																				

Límite:

DBO = 30



DQO = 60

o

COT = 15

El 12 de marzo de 2023 entró en vigor una nueva versión de esta norma. La tabla anterior (Tabla 1 de la norma) pertenece a esta nueva versión que concentra mayor sabiduría. En lugar de establecer límites a los parámetros con base en el uso al que se destinará el agua residual que se descarga, los establece con base en la capacidad de la naturaleza para procesar el impacto de dicha agua. La nueva versión, además de hacer cambios diversos en los límites que asigna a cada parámetro, pasa de dos parámetros relacionados con compuestos orgánicos a cuatro:


- GyA (que ya se incluía).
- Demanda química de oxígeno (DQO) o Carbono orgánico total (COT). Si la concentración de cloruros en el agua es menor a 1000 mg/L, aplica la DQO. Si la concentración de cloruros es igual o mayor a 1000 mg/L, aplica el COT. Esto se debe a que una alta concentración de cloruros interfiere apreciablemente en el resultado de análisis de la DQO. La DQO y el COT son proporcionales. Su proporcionalidad es de alrededor de $DQO/COT = 4$.
- Se agrega color verdadero.
- Se agrega toxicidad aguda.

La nueva versión de la norma 001 deja de establecer un límite máximo para la DBO y lo establece para la DQO o el COT. La DQO es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar totalmente los compuestos orgánicos y convertirlos en CO_2 , H_2O , NO_2 , SO_2 . Esta oxidación se lleva a cabo en un reactor; el reactivo es dicromato de potasio que es un oxidante muy fuerte. El método logra un alto grado de oxidación de la materia orgánica presente en el agua.

Por su parte, la DBO es la cantidad de oxígeno que consumen bacterias aerobias durante cinco días para degradar la materia orgánica. Las bacterias no degradan compuestos que no pueden digerir (es decir, "no biodegradables") y no pueden desarrollarse en aguas que contienen compuestos tóxicos para ellas. Por lo tanto, con la versión anterior de la norma,

podía descargarse un agua con muy bajo DBO pero con un alto DQO. Al limitar la DQO, no


se permite descargar aguas con un alto contenido de compuestos orgánicos, sean biodegradables o no.



Grado de biodegradabilidad de un agua residual

DBO/DQO	Grado de biodegradabilidad
> 0.4	Muy alto
0.2 – 0.4	Mediano
< 0.2	Muy bajo

De acuerdo con lo dicho anteriormente, un agua con una baja relación DBO/DQO es un agua con muy poco grado de biodegradabilidad. Esta no puede tratarse biológicamente. Un agua con un alto cociente DBO/DQO puede tratarse biológicamente, lo que es muy conveniente ya que el tratamiento biológico es muy competitivo económicamente frente a otros.



Relación DQO/COT de diversos compuestos

Compuesto	Fórmula mínima	Moléculas de O ₂ teóricas requeridas por molécula del compuesto para lograr oxidación completa	Masa molar del oxígeno	Masa molar del C en el compuesto	DQO/COT
Sacarosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	12	384	144	2.67
Etanol	C ₂ H ₆ O	3	96	24	4.00
Ácido palmítico	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	23	736	192	3.83
Ácido ascórbico	C ₆ H ₈ O ₂	7	224	72	3.11
n-octano	C ₈ H ₁₈	12.5	400	96	4.17
Limoneno	C ₁₀ H ₁₆	14	448	120	3.73
Acetato de isobutilo	C ₆ H ₁₂ O ₂	8	192	72	2.67
Agua sanitaria*	C ₆ H ₁₄ O ₇ N	9.5	304	72	4.22

* Reynolds, T. D. y P. A. Richards, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2ª Ed., PWS Publishing Co., Boston, 1982.

En promedio: DQO/MO = 3
DQO/COT = 4

La tabla anterior muestra que, independientemente de que la DQO y el COT pueden determinarse por análisis laboratoriales, se pueden estimar teóricamente (con buen grado de precisión). Para conocer la DQO de un compuesto, hay que partir de su fórmula química

reducida. A partir de esta fórmula, es sencillo establecer la reacción de oxidación completa.

La estequiometría de la reacción permite conocer la masa requerida de oxígeno entre la masa del compuesto. La tabla muestra diversas moléculas y permite encontrar que la DQO dividida entre la concentración del compuesto tiene un valor promedio de alrededor de 3. La tabla también muestra que la relación DQO/COT es de alrededor de 4.

El último renglón de la tabla es interesante; corresponde a la fórmula química reducida del agua sanitaria que se publicó en la fuente mencionada.

NOM-001-SEMARNAT-2021

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

TABLA 2
Límites Permisibles para Metales y Cianuros

Parámetros (miligramos por litro)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Arsénico	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
Cadmio	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,05	0,075	0,1	0,1	0,15	0,2	0,05	0,075	0,1
Cianuro	1	2	3	1	1,5	2	2	2,50	3	2	2,5	3	1	1,50	2	1	1,5	2
Cobre	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Cromo	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Mercurio	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01
Níquel	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Plomo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Zinc	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Parámetros medidos de manera total	P.M.: Promedio Mensual P.D.: Promedio Diario V.I.: Valor Instantáneo																	

La nueva versión de la norma incluye la tabla anterior (Tabla 2 en la norma) que muestra los límites permisibles para metales y cianuros. Al igual que en la versión anterior de la norma, el único compuesto que retiene con eficiencia el carbón activado es el mercurio. Cuando el mercurio está presente en agua, suele estarlo en forma de cloruro de mercurio o de metil mercurio (este último es un catión). El carbón activado adsorbe cualquiera de estas moléculas. El carbón activado retiene con eficiencia pocos compuestos inorgánicos, como es este caso. Lo hace por diversos motivos, todos ellos relacionados con la estructura química de la molécula inorgánica en cuestión.

NOM-002-ECOL-1996

Tabla 1
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Materia flotante: ausente

DBO y SST: de acuerdo con NOM-001-ECOL-1996, publicada el 6 enero 1997

La segunda norma que aplica a aguas residuales en México es la 002, que corresponde a las descargas al sistema de alcantarillado. Los parámetros relacionados con compuestos orgánicos que limita esta norma son GyA y DBO. Como se ve en la tabla, también incluye mercurio.

NOM-003-ECOL-1997

TABLA 1
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO(1)	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL (2)	1,000	≤ 5	15	30	30

(1) Llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

(2) Riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

En ambos servicios, el agua debe cumplir con el límite en metales pesados y cianuros establecidos en la columna que corresponde a envases naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la NOM-001-ECOL-1996, publicada el 6 enero 1997.

La tercera norma que aplica a aguas residuales es la 003 y corresponde a aquellas que se reutilizarán en servicios al público, ya sea con contacto directo o indirecto (u ocasional). Los parámetros relacionados con compuestos orgánicos que limita esta norma, también son GyA y DBO. Incluye al mercurio, de acuerdo con lo que limita la NOM-001-ECOL-1996 publicada el 6 de enero de 1997.



Grasas y aceites

¡Los ácidos grasos no son totalmente insolubles en agua!

Solubilidad de algunos ácidos grasos en agua

Ácido graso	Masa molar (g/mol)	Solubilidad en agua (mg/L)	
		20°C	45°C
Caprónico (C ₆)	116	9,680	10,950
Caprílico (C ₈)	144	680	950
Cáprico (C ₁₀)	172	150	230
Láurico (C ₁₂)	200	55	75
Mirístico (C ₁₄)	228	20	29
Palmítico (C ₁₆)	256	7.2	10
Esteárico (C ₁₈)	284	2.9	4.2

Las GyA son lípidos formados por triglicéridos. Se le llama grasa al que es sólido a temperatura ambiente (como la mantequilla) y aceite, al que es líquido. Cabe preguntarnos por qué se limitan las GyA, considerando que son compuestos orgánicos y que, como tales, se deberían incluir en la DQO (o en el COT).

La prueba con la que se analizan las GyA es la NMX-AA-005-SCFI-2013 publicada el 11 de abril de 2014 (de acuerdo con lo que señala la NOM-001-SEMARNAT-2021) o la NMX-AA-005 publicada el 8 de agosto de 1980 (como lo señalan la NOM-002-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997). En ambas, la muestra de agua acidificada se filtra por tierra diatomácea. Posteriormente, esta tierra se somete a un proceso de extracción mediante un solvente (n-hexano, para el caso de la NMX-AA-005-SCFI-2013). Posteriormente se evapora el solvente y finalmente se pesa el residuo. Ese valor, en mg, se divide entre el volumen de la muestra de agua, en litros, y el resultado se reporta como la concentración de GyA. Si analizamos esta prueba, las grasas y aceites disueltos en el agua prácticamente no quedan atrapados en la tierra diatomácea ya que esta es iónica y no los adsorbe. Los compuestos que quedan atrapados en la tierra son las grasas y aceites no disueltos (emulsionados o en fase libre). La tierra los retiene porque se impregna con ellos. Por lo tanto, el valor de GyA corresponde solamente a aquellos que no están disueltos en el agua.

En la imagen se observa que aunque se suele decir que las grasas y aceites son no solubles en agua, la realidad es que sí lo son. Más bien, hay que decir que son poco solubles en agua. Mientras más corta es la molécula de los ácidos grasos que conforman a la grasa o al aceite, su solubilidad en agua es mayor.

El agua que se trata con carbón activado no debe contener capa de aceite iridiscente o con aceite emulsionado.

→ Hay que coalescer o romper la emulsión antes del CA.



El vaso de la izquierda de la fotografía anterior muestra agua deionizada. El vaso de en medio muestra el mismo tipo de agua con un poco de aceite de oliva que se ve flotando (se le llama “iridiscente”). El vaso de la derecha muestra el mismo tipo de agua, con aceite y después de pasar por la licuadora. En este vaso, el aceite se ha emulsionado en el agua. Es decir, el aceite ha formado muy pequeñas gotas que tardarán tiempo en reunirse entre ellas y flotar. Es importante mencionar que, cuando vamos a tratar agua residual con carbón activado y que dicha agua contenga aceite en fase libre (vaso de en medio), antes hay que eliminar el aceite por decantación o por algún otro método. Y cuando vayamos a tratar agua con aceite emulsionado, antes hay que romper la emulsión (se puede hacer con ácido o con otro antiemulsionante), y luego hay que eliminar la fase libre, antes de tratar el agua con carbón activado. Cuando llega aceite en fase libre o aceite emulsionado al carbón activado, lo impregna, lo bloquea y este ya no adsorbe.



La fotografía anterior muestra una de las plantas que ha construido o en las que ha participado Carbotecnia para remediar agua de pozo contaminada con hidrocarburos. El proceso inicia con coalescedores con los que las micelas que forman la emulsión se ligan entre sí y se juntan con el resto de la fase libre. La fase libre flota y se elimina en sedimentadores inversos que retiran el hidrocarburo mediante bandas oleofílicas.

Posteriormente, el agua se filtra en filtros de antracita que retienen las micelas que no pudieron eliminarse con la coalescencia y los sedimentadores inversos. Finalmente, el agua pasa por camas de carbón activado que adsorben los hidrocarburos disueltos. En este tipo de procesos, el carbón activado requiere lograr una gran pureza en el agua. De lo contrario, el agua presenta olor al hidrocarburo, lo que es inaceptable para los usuarios de la misma. El umbral olfativo de gasolina en agua corresponde a una concentración de 0.1 mg/L a 20°C (muy baja).

Color verdadero (12 marzo 2026)

- El color en agua puede estar asociado a compuestos tóxicos o a compuestos que pueden generarlos como subproductos de la desinfección.
- Agua que se analiza debe estar libre de turbiedad.
- Se mide la transmitancia a 436, 525 y 620 nm.
- Recordar que el CA solamente adsorbe eficientemente colores de origen orgánico.
- Se medirá "coeficiente de absorción espectral máximo"



El parámetro de color verdadero no se limitaba en la versión anterior de la norma 001. La nueva versión lo incluye, aunque se exigirá su cumplimiento hasta el 12 de marzo de 2026. Cuando el origen del color sea orgánico, el carbón activado podrá ser una buena solución. No así cuando el origen del color sea inorgánico (pensemos, por ejemplo, en sulfato de cobre, que da una coloración azul). El análisis de color verdadero se aplica a un agua previamente filtrada o centrifugada para evitar turbiedad. El método de análisis que aplicarán los laboratorios certificados no está claro, aunque es similar al método 2120 D del conocido libro *The Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

Toxicidad aguda (12 marzo 2026)



UT = Unidades de toxicidad
 UT = 100/CE50
 CE50 = Concentración efectiva media (efectos adversos en el 50% de Org. prueba)
 Organismo de prueba: *vibrio fischeri*

INDICATION: MOST POISONS



ANTIDOTE: ACTIVATED CHARCOAL



La toxicidad aguda tampoco se contemplaba en la versión anterior de la norma 001. Este parámetro también se empezará a exigir el 12 de marzo de 2026. Parece que no se ha publicado el método preciso con el que se analizará. No prevemos que haya problema en cumplirlo para la mayoría de los tóxicos, que son orgánicos. La toxicología considera al carbón activado como el antídoto más universal. El carbón se aplica por vía oral y purifica la sangre a lo largo de su paso por el intestino delgado mediante una diálisis intestinal.

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

Parámetros limitados por normas para aguas residuales en que incide el carbón activado

Parámetro	Menor valor limitado como promedio mensual
DBO	20 mg/L
DQO	60 mg/L
COT	15 mg/L
Grasas y aceites	15 mg/L
Color verdadero	Coeficiente de absorción espectral @ 436 nm → 7.0 – 1 @ 525 nm → 5.0 – 1 @ 620 nm → 3.0 – 1
Toxicidad aguda	2 UT a los 15 min
Mercurio	0.005 mg/L

Resumen: concentración máxima de compuestos orgánicos: **20 mg/L (DQO: 60 mg/L)**

Si dejamos de considerar a las GyA (por el hecho de que hay que empezar por eliminarlas antes de tratar el agua con carbón activado), todos los parámetros considerados en las tres normas oficiales mexicanas que aplican a las descargas de aguas residuales pueden reducirse al hecho de que la máxima concentración de compuestos orgánicos permisible en una descarga es de 20 mg/L (es el valor más estricto que exigen las tres normas que aplican al agua residual). Este valor corresponde a una DQO de 60 mg/L.

Valor típico de DQO en agua de distintos orígenes

ORIGEN DEL AGUA	DQO TÍPICO (mg/L)
Pozo profundo (mayor a 50 m)	< 6
Pozo somero (menor a 50 m)	6 a 15
Lago o río	20 a 60
Aguas grises (sanitarias)	< 300
Aguas negras (sanitarias)	< 800
Granja porcícola	10,000 a 40,000
Vinazas de la producción de destilados de agave (residuo de la primera destilación o destrozado)	70,000

Una DQO de 60 mg/L corresponde al nivel alto que tiene el agua de un lago o río. Es decir, el agua residual que se descarga, en el caso de mayor exigencia, debe tener un contenido de compuestos orgánicos similar al que tiene el agua de un lago o río. Un agua gris, que originalmente tiene una DQO de hasta 300 mg/L, debe llevarse a alrededor de 60 mg/L. Un agua negra sanitaria (la que procede de sanitarios, regaderas, lavamanos, lavandería y cocina) debe llevarse de una DQO inicial cercana a 800 mg/L a un valor de alrededor de 60 mg/L. Y hay aguas con mucha mayor carga orgánica que, antes de descargarse deben tratarse para llegar al mismo valor de 60 mg/L. ¿Qué tan difícil es para el carbón activado llegar a este nivel de DQO de 60 mg/L? Normalmente no va a ser complicado. Las siguientes tres imágenes muestran los compuestos orgánicos cuya concentración está limitada en la norma que aplica al agua de la red municipal en México (NOM-127-SSA1-2021). Podemos observar que los parámetros se limitan en niveles del orden de microgramos por litro. Son niveles mucho más bajos que los 20 mg/L de compuestos orgánicos (equivalentes a DQO de 60 mg/L) que hay que alcanzar en un agua residual tratada antes de descargarla.

NOM-127-SSA1-2021

Tabla 10 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Bromodichlorometano	60	µg/L
Bromoformo	100	µg/L
Cloroformo	300	µg/L
Dibromoclorometano	100	µg/L

Tabla 11 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Ácido cloroacético	20	µg/L
Ácido dicloroacético	50	µg/L
Ácido tricloroacético	200	µg/L

Tabla 13 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Formaldehído	900	µg/L

5.10 Compuestos orgánicos sintéticos:

Tabla 14 - Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos	0.01	mg/L
Compuestos orgánicos no halogenados	0.025	mg/L
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables	0.005	mg/L
Compuestos orgánicos volátiles no halogenados	Benceno	10 µg/L
	Estireno	20 µg/L
	Etilbenceno	300 µg/L
	Tolueno	700 µg/L
	Xilenos (suma de isómeros orto, meta y para)	500 µg/L

Tabla A.3 Límites permisibles de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables

Parámetros	Límite permisible	Unidades
COMPUESTOS ORGÁNICOS HALOGENADOS VOLÁTILES		
1,2-Diclorobenceno	1000	µg/L
1,2-Dicloroeteno (cis + trans)	50	µg/L
1,2-Dicloropropano	40	µg/L
1,2-Dicloroetano	30	µg/L
1,3-Dicloropropeno (cis + trans)	20	µg/L
1,4-Diclorobenceno	300	µg/L
Cloruro de Vinilo	0.30	µg/L
Diclorometano	20	µg/L
Tetracloroeteno	40	µg/L
Tetracloruro de carbono	4.0	µg/L
Tricloroeteno	20	µg/L
1,2-dibromoetano	0.40	µg/L
1,2-dibromo-3-cloropropano	1.0	µg/L

Relación entre dosis de CA y disminución de DQO

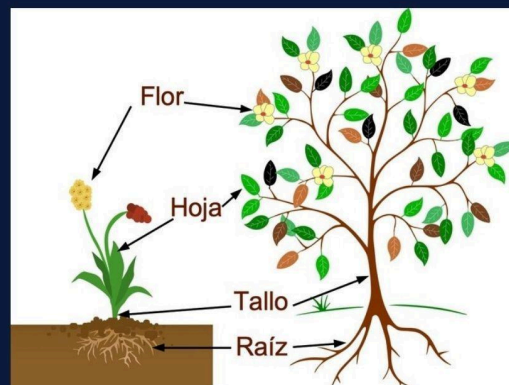
Es común que:

1 g de compuestos orgánicos se adsorben en 3 g de CA

1 g de compuestos orgánicos corresponden a 3 g de DQO

1 mg/L de CA reduce 1 mg/L de DQO

Anteriormente dijimos que 3 mg de carbón activado retienen alrededor de 1 mg de compuestos orgánicos, y que la DQO es alrededor de 3 veces mayor que la concentración de compuestos orgánicos. Esto nos permite concluir que una dosis de 1 mg/L de carbón activado en un agua residual, disminuirá la DQO en alrededor de 1mg/L.



El carbón activado puede producirse a partir de distintos vegetales. Mientras más denso es el vegetal utilizado como materia prima, los poros del carbón son de menor diámetro. El carbón activado más adecuado para cada caso es aquel cuyo diámetro predominante de poros es ligeramente mayor que el diámetro de la molécula que se busca adsorber. Moléculas volátiles y que producen olor se retienen mejor en carbones con poros de diámetro pequeño (microporosos). Moléculas muy grandes, como proteínas, se retendrán mejor en carbones con poros de diámetro grande (macroporosos).

Costo de carbón activado para disminuir 100 mg/L de DQO

$$\text{Dosis} = 100 \text{ mg/L} = 100 \text{ g/m}^3$$

Carbón activado granular	Precio medio \$/kg de carbón activado	Costo disminución de 100 mg/L de DQO \$/m ³
Micro (concha de coco)	65.00	6.50
Gama B (mineral bituminoso)	75.00	7.50
Gama L (mineral lignítico)	198.00	19.80
Mega (madera de pino)	95.00	9.50

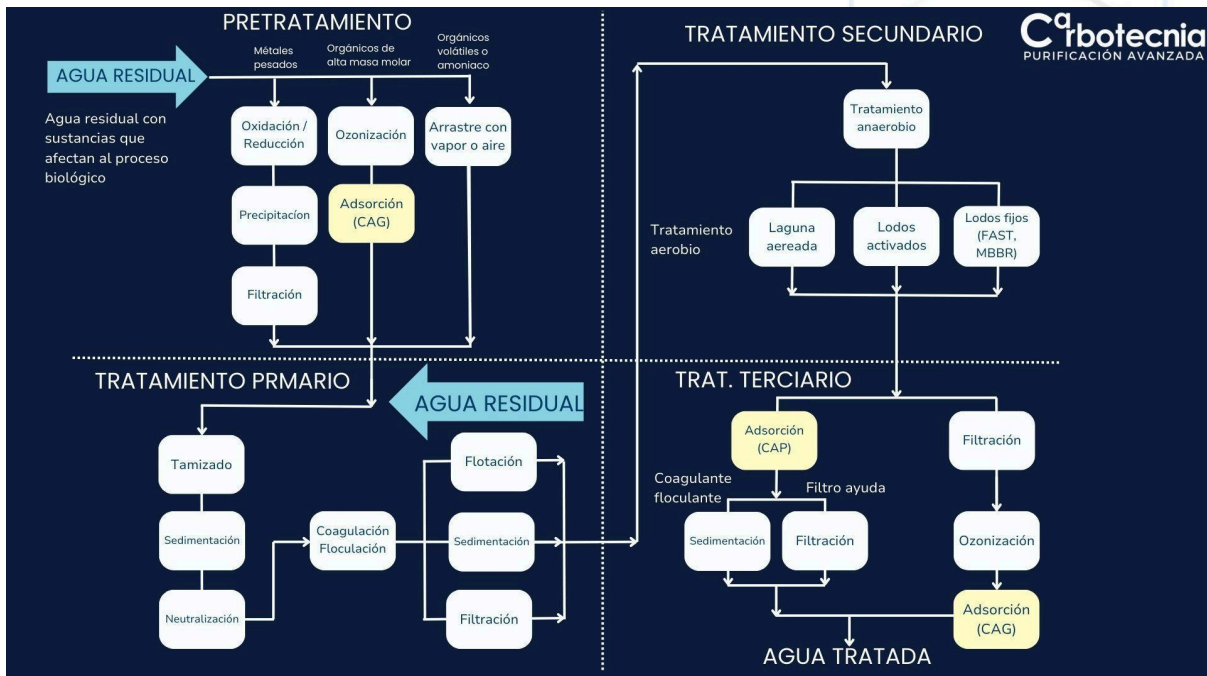
Los carbones activados de distinto tamaño de poro no tienen el mismo precio. El costo depende de la disponibilidad y el costo de las materias primas. En la tabla anterior se muestran precios actuales para distintos tipos de carbón activado que ofrece Carbotecnia. Micro es adecuado para compuestos volátiles. Gama B es adecuado para moléculas entre pequeñas y medianas. Gama L es adecuado para moléculas entre medianas y grandes. Mega es adecuado para moléculas grandes. La columna de la derecha muestra el costo que tendría para un usuario aplicar cada tipo de carbón para disminuir la DQO de un agua residual en un valor de 100 mg/L. El carbón activado suele ser competitivo económicamente frente a otras tecnologías (de disminución de contenido orgánico en agua), cuando la DQO del agua a trata tiene valores no mayores a 100 mg/L (200 mg/L en algunos casos).

Tratamientos para disminuir la concentración de contaminantes orgánicos en aguas residuales biodegradables

Tratamiento	DBO inicial (mg/L)	DBO final (mg/L)
Digestión anaerobia	> 1,000 - 5,000	400 - 2,000
Digestión aerobia	400 - 2,000	30 - 150
Oxidación química	100 - 400	30 - 70
Adsorción en carbón activado	40 a 100	No detectable
Ósmosis inversa	< 10	No detectable

Los valores de DBO iniciales y finales dependen de diversas variables: composición del agua residual, diseño del digestor, tiempo de residencia del agua en el digestor, etc.

La tabla anterior muestra el rango en el que es competitiva cada tecnología para disminuir carga orgánica en un agua residual con alto grado de biodegradabilidad. Un tratamiento biológico anaerobio es el más adecuado para cargas orgánicas muy altas. El carbón activado es adecuado para pasar de cargas orgánicas bajas a no detectables. No hay que confundir esto con el hecho de que el carbón activado sea un adsorbente de alta capacidad. Posee gran capacidad, pero hay que recordar que no está degradando los compuestos orgánicos, como lo hacen la digestión anaerobia, la digestión aerobia o la oxidación.



La imagen anterior muestra distintos tipos de procesos que se aplican en las distintas etapas con las que se trata un agua residual con alto grado de biodegradabilidad. En el pretratamiento, se busca disminuir la presencia de compuestos que afectan al tratamiento biológico. Hay casos en los que se aplica carbón activado en esta etapa. En el tratamiento primario, se lleva el pH a valores intermedios (cerca de la neutralidad) y se retienen

sólidos. El tratamiento secundario es el biológico. Cuando la carga orgánica no es muy alta, no es necesario ni conveniente aplicar un tratamiento anaerobio. En el tratamiento terciario es cuando se suele aplicar el carbón activado. En esta fase se busca el mayor grado de purificación del agua. Cuando se va a requerir coagulación-floculación-sedimentación y no se prevé que pueda ser interesante la reactivación y recuperación del carbón activado, es conveniente aplicarlo en forma de polvo. Cuando no se aplicará coagulación-floculación-sedimentación, suele ser más conveniente aplicar el carbón activado en su forma granular. En este caso, como hemos dicho, el carbón activado puede reactivarse. La reactivación solamente puede hacerse en sitio cuando la totalidad de los compuestos que está reteniendo el carbón activado son pequeños y volátiles. En caso contrario, es necesario enviar el carbón a reactivación a una planta que ofrezca el servicio y que no esté lejos. Cuando este servicio está disponible y no es lejano, la reactivación puede llevar a un ahorro de 40 a 50% respecto al costo de adquirir el carbón virgen. En el proceso de reactivación bien ejecutado, la capacidad de adsorción del carbón activado suele restituirse casi totalmente, aunque se pierde alrededor del 10% del carbón (por rompimiento durante su manejo, tanto en el transporte como en el horno de reactivación).

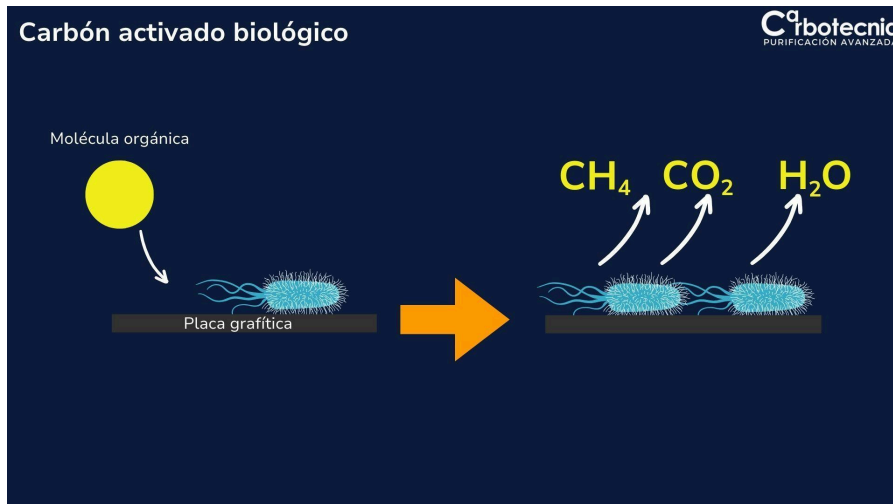
El diagrama anterior también muestra la alternativa de aplicar un oxidante (ozono o peróxido de hidrógeno) antes de tratar el agua con carbón activado granular. Esta oxidación puede ser muy útil en algunos casos. Por ejemplo, puede romper moléculas orgánicas, hacerlas más pequeñas y más adsorbibles.

La magia existe y está a la vista

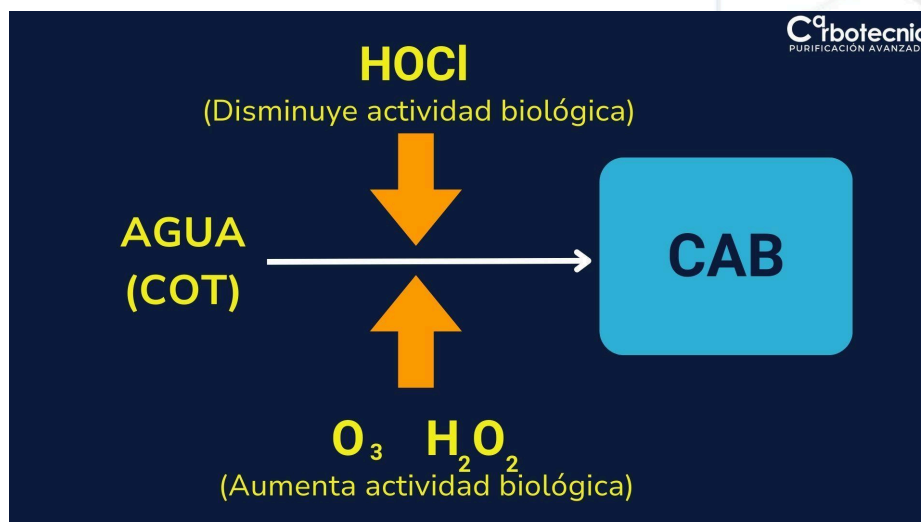
Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA



La “magia” siempre está presente en la vida. Lo son actualmente la generación fotovoltaica, la potabilización de agua en cada casa mediante osmotización del agua municipal, el tratamiento de aguas residuales, la conversión de residuos orgánicos en composta y el interés compuesto. Todos estos procesos generan un gran retorno y muchas veces no los aprovechamos por desconocimiento o porque no los hemos adoptados en nuestra cultura y forma de vida. Un proceso que realmente parece mágico es el carbón activado biológico.



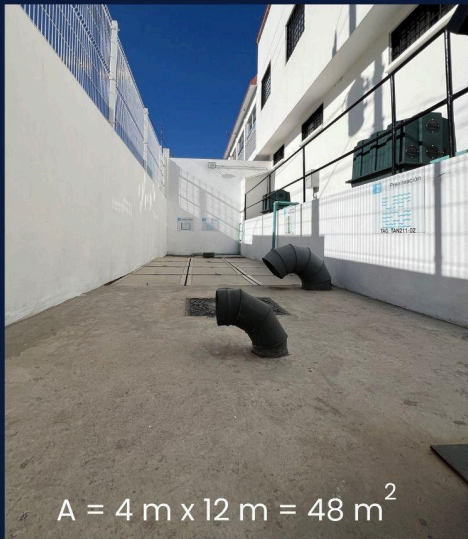
El carbón activado adsorbe moléculas orgánicas que las bacterias no pudieron degradar en el tratamiento biológico (porque la concentración de las mismas no fue suficiente para mantener la actividad biológica en un nivel suficiente). Estas moléculas adsorbidas en el carbón activado se concentran y muy pronto llegan bacterias que se alimentan de ellas. Las bacterias convierten las moléculas orgánicas en metano, dióxido de carbono, agua y más bacterias. Las moléculas orgánicas que degradan las bacterias deja espacio para que el carbón activado adsorba otras moléculas orgánicas que lleguen. De esta manera, se forma una simbiosis muy productiva: el carbón activado adsorbe moléculas orgánicas; las bacterias se alimentan de estas moléculas orgánicas y liberan espacios para que el carbón activado siga adsorbiendo. A esta simbiosis se le denomina “carbón activado biológico”.



Cuando por alguna razón es necesario oxidar el agua antes de tratarla con el carbón activado, si deseamos que se forme el carbón activado biológico, debemos evitar cloro libre (el que procede de hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio o cloro gas) ya que el cloro libre genera subproductos tóxicos que no son muy biodegradables. En caso de requerir oxidar, es mejor utilizar ozono o peróxido de hidrógeno. Ambos generan subproductos de la desinfección que suelen ser menos tóxicos.

PTAR agua sanitaria (sanitarios, regaderas, lavamanos, cocina)

Capacidad para tratar 17 m³/día



La fotografía anterior de la izquierda muestra la PTAR que tiene Carbotecnia. Su función es tratar aguas sanitarias que proceden de regaderas, lavamanos, mingitorios, sanitarios y cocina. Consta de un tratamiento primario, que es simple sedimentación, y secundario aerobio. Es una planta con la tecnología FAST (*fixed activated sludge treatment*). Esta tecnología representó una mejora muy importante respecto a la de lodos activados (utiliza mucho menor área porque requiere mucho menor tiempo de residencia del agua en el tanque en el que se lleva a cabo el tratamiento biológico). La capacidad de esta planta es de 17 m³/día. Los tratamientos primario y secundario ocupan un área de 48 m². En la fotografía de la derecha se puede el tratamiento terciario que consiste en tres recipientes con carbón activado granular conectados en serie y que ocupan un espacio muy pequeño (6 m²). Estos recipientes están dimensionados para tratar 8.5 m³/día (la mitad de lo que puede procesar el tratamiento primario y el secundario). Es así porque actualmente en Carbotecnia solamente estamos tratando esta cantidad de agua.

PTAR agua procedente de sanitarios, regaderas, lavamanos y cocina.

Secundario: Lodos activados fijos ($A = 48 \text{ m}^2$)

Tratamiento secundario	Volumen efectivo (m^3)	Tiempo de residencia (h)
Sedimentación	3.84	5.4
Preaeración	9.45	13.3
Tratamiento biológico	18.15	25.6
TOTAL	31.44	44.3

DQO: 600 → 80 (reducción 87%)

Terciario: Carbón activado biológico (6 m^2)

Tratamiento terciario	Volumen efectivo (m^3)	Tiempo de residencia (h)
Carbón activado biológico	0.47	0.67

DQO: 80 → 14 (reducción 82.5%) Régimen permanente un año

Color verdadero (Pt-Co): 90 → 37.8 (reducción 58%) Régimen permanente un año

Llevamos un año operando, y hemos logrado un carbón activado biológico. En la tabla anterior se muestra que el volumen de los tanques en los que se llevan a cabo los tratamientos primario y secundario es de 31.44 m^3 . Si instaláramos tres recipientes para llevar a cabo el tratamiento terciario de los $17 \text{ m}^3/\text{día}$, el volumen total de los tres recipientes sería de 0.47 m^3 . El tiempo de residencia del agua en los tratamientos primario y secundario es de 44.3 h, mientras que el tiempo de residencia en los recipientes que contienen al carbón activado biológico sería de 0.67 horas.

Los tratamientos primario y secundario están disminuyendo la DQO en promedio, de un valor inicial de 600 mg/L a un valor final de 80 mg/L. La reducción es del 87%. El tratamiento terciario mediante carbón activado biológico está llevando la DQO de un valor inicial promedio de 80 mg/L a un valor final promedio de 14 mg/L. Es una reducción del 82.5%. Podemos decir que, en mucho menor área, mucho menor volumen y mucho menor tiempo, el tratamiento terciario está reduciendo la DQO en la misma proporción que la reduce el tratamiento primario.

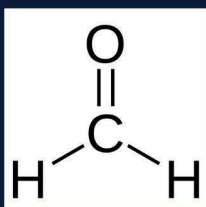
Sabemos que ya es carbón activado biológico porque las reducciones mencionadas han llegado a un régimen permanente. Si no se hubiera formado el carbón activado biológico, un balance de materia muestra que habría sido necesario cambiar el carbón activado después de 70 días de que empezó a operar.

¿Cuánto tiempo durará el carbón activado biológico operando adecuadamente? Puede ser un año, dos, tres, cuatro... Hay casos publicados de carbones activados biológicos que operaron adecuadamente hasta 12 años. Cuando un carbón activado biológico trabaja bien durante mucho tiempo, se debe cambiar por erosión o porque adsorbió moléculas no biodegradables.

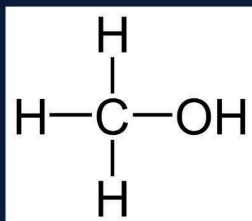
Una empresa importante nos contrató para hacer pruebas de tratamiento de las aguas sanitarias de una de sus plantas (después del tratamiento biológico aerobio que estaba aplicando). Después de 10 meses, decidió detener la prueba. Consideró que el resultado

era positivo y que no requería que el carbón activado biológico presentara una vida útil mayor para hacerlo una alternativa interesante.

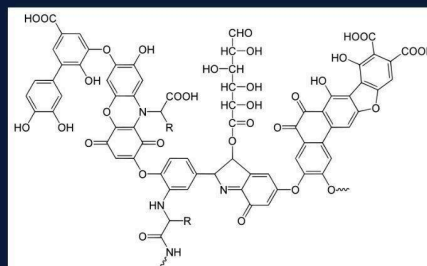
Compuestos orgánicos que no retiene eficientemente un carbón activado



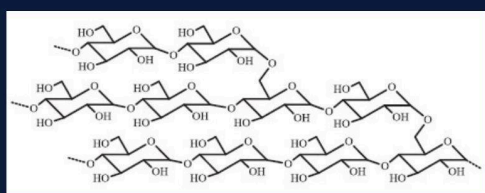
Formaldehído



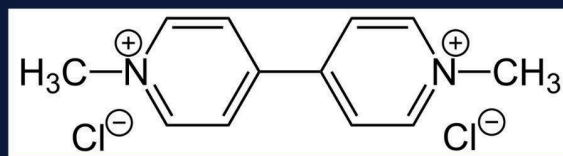
Metanol



Ácido húmicos y fúlvicos



Fragmento de amilopectina



Paraquat

Si un carbón activado puede reducir la concentración de compuestos orgánicos en agua hasta valores muy bajos (como los que exigen las normas de potabilidad) ¿por qué en este caso no está alcanzando una DQO menor a 14 mg/L? Una razón podría ser que el volumen de carbón activado no fuera suficiente. Si este fuera el caso, bastaría agregar un recipiente más en serie. No obstante, este no es el caso del ejemplo que estamos analizando. Cuando el valor de la DQO no disminuye más (o disminuye muy poco) también puede ser que algunas de las moléculas orgánicas presentes en el agua son muy pequeñas y polares, por lo que el carbón activado no las adsorbe. O puede ser que las moléculas son muy grandes (como los ácidos húmicos y fúlvicos o como la amilopectina) y no entran en los poros del carbón. O puede ser que las moléculas orgánicas son pequeñas y iónicas, y el carbón no las atrapa.

En estos casos, puede aplicarse una oxidación posterior al carbón, con el objeto de modificar las moléculas orgánicas restantes o de oxidarlas completamente. Esta oxidación ya no es muy costosa puesto que la DQO es baja. Otra alternativa es osmotizar el agua.

Claves para lograr una cama de carbón activado biológico eficiente



TCCV: 20 min
Frecuencia de retrolavados:
cuando $\Delta P = 0.7 \text{ kg/cm}^2$



El carbón activado biológico que hemos logrado en Carbotecnia tiene un tiempo de contacto en cama vacía de 20 min. Hemos utilizado carbón tipo Gama L (que, como dijimos, se está volviendo escaso en el mundo, por lo que cada día es más costoso; por lo tanto, hay que probar con Gama B o con otro tipo de carbón). Para que el carbón activado biológico funcione bien, es necesario:

- 1) Colocar eliminadores de gases en la parte más alta de la tubería de alimentación de cada recipiente, que permitan que el CO_2 y el metano generados se liberen.
- 2) Retrolavar cada recipiente en cuanto la cama de carbón activado se colmate. Esto es, cuando la caída de presión alcanza un nivel relativamente alto, que puede ser de alrededor de 0.7 kg/cm^2 (10 psi). Para esto, es de mucha ayuda contar con válvulas de instalación superior que se programan para retrolavar por tiempo o por volumen de agua tratado. A algunas de estas válvulas se les puede instalar un medidor de presión diferencial (entre la alimentación y la descarga) para que retrolaven cuando dicha presión alcance el valor determinado por el usuario.
- 3) Retrolavar con el flujo de agua que tenga la velocidad suficiente para lograr la expansión de la cama de carbón. Si no se logra esta expansión, en pocas semanas el carbón se colmatará totalmente o la cama se cuarteará, el flujo se canalizará y parecerá que el carbón se ha saturado.

Costo de tratamiento agua sanitaria mediante CAB

	Trat. Prim. y Sec.	Trat. Terciario
Inversión	\$ 1,700,000	\$ 50,000
Área requerida	48 m ²	6 m ²
Potencia motores	4 HP	1 HP
Costo unitario de EE	\$ 6.98/m ³	\$ 1.74/m ³
Consumo de agua de retrolavados (% del agua tratada)	0	4.2 %
Costo agua retrolavados	0	\$ 0.87/m ³
Costo por consumo de CAG (\$/m ³ agua tratada)	0	\$ 1.70/m ³

Tipo de CAG	Costo consumo de CAG con base en su tiempo de vida útil (\$/m ³ de agua tratada)				
	1 año	2 años	3 años	4 años	5 años
Micro 8x30	1.11	0.56	0.36	0.28	0.22
Gama B 8x30	1.28	0.64	0.43	0.32	0.26
Gama L 8x30	3.39	1.70	1.13	0.85	0.68
Mega 8x30	1.63	0.81	0.54	0.41	0.33

	Trat. Prim. y Sec. (\$/m ³)	Trat. Terciario (\$/m ³)
Costo inversión (20 años de vida útil)	13.70	0.40
Costo operación	6.98	2.57
Costo inversión más operación	20.68	2.97
Gran total	23.65	

Notas:

S = pesos mexicanos

Si no se formara el CAB, el carbón tendría que cambiarse (por virgen o reactivado) cada 70 días.

En la Tabla 1 de la imagen anterior se muestra que en el caso de la PTAR de Carbotecnia, los tratamientos primario y secundario requirieron una inversión de \$1,700,000 (pesos) mientras que el tratamiento terciario para la misma capacidad (17 m³/día) requeriría de una inversión de \$ 50,000. La Tabla 2 muestra el costo por concepto de cambio de carbón activado, de acuerdo al tipo de carbón y al tiempo de vida útil del mismo (operando como carbón activado biológico). La Tabla 3 muestra los costos de inversión y de los principales renglones de operación, tanto para el tratamiento primero y secundario, como para el terciario. Se observa que el costo de los tratamientos primario y secundario es casi siete veces mayor que el costo del tratamiento terciario.

Cálculos:

Costo corriente eléctrica para operar sopladores del tratamiento secundario (operando 24 h/día):

Capacidad = 17 m³/día.

Potencia de motores de sopladores = 4 HP = 2.984 kW.

Tiempo de operación de sopladores = 24 h/día.

Consumo de corriente sopladores = 2.984 x 24 = 71.616 kWh/día.

Tarifa promedio del kWh para industria (GDMTH) \$1.657 \$/kWh. (dato del 26 feb 2024).

Costo corriente sopladores = 71.616 x 1.657 = 118.70/día = \$ 6.98/m³.

Costo corriente eléctrica para operar bomba del tratamiento terciario (operando 24 h/día):

Capacidad = 17 m³/día.

Potencia de motores de sopladores = 1 HP = 0.746 kW.

Tiempo de operación de sopladores = 24 h/día.

Consumo de corriente sopladores = 0.746 x 24 = 17.904 kWh/día.

Tarifa promedio del kWh para industria (GDMTH) \$1.657 \$/kWh. (dato del 26 feb 2024).

Costo corriente sopladores = 17.904 x 1.657 = 29.67/día = \$ 1.74/m³.

Costo de agua de retrolavado de recipientes que conforman el tratamiento terciario:

Un retrolavado por día.

Suponemos 4 recipientes de 12"x52", cada uno con 2 ft³ de CAG.

Tiempo de retrolavado por recipiente = 3 min.

Tiempo de retrolavado total = 12 min.

Velocidad de retrolavado por recipiente (Gama B 8x30): 20 fpm/ft².

Flujo de retrolavado por recipiente = 15.7 gpm.

Volumen de agua requerida para retrolavar los 4 recipientes (12 min) = 188.5 gal = 713,5 L.

Porcentaje de agua tratada que se destina al retrolavado = 713.5/17,000 x 100 = 4.2%

Costo del tratamiento: tomaremos el del tratamiento secundario (\$ 20.68/m³).

Costo agua de retrolavado de tratamiento terciario = (0.713 m³/día) x (\$ 20.68/m³) = \$ 14.74/día.

Costo agua de retrolavado de tratamiento terciario respecto al volumen de agua que trata la PTAR = (\$ 14.74/día)/(17 m³/día) = \$ 0.87/m³ de agua.



Contraste entre el costo de tratamiento agua sanitaria y el costo de agua de la red municipal.

Origen del agua	Costo (\$/m ³)
Municipal Gdl. habitación *	27.72
Municipal CDMX habitación (tarifa media) *	30.60
Municipal Monterrey habitación *	34.11
Municipal Gdl. Industria *	63.08
Municipal CDMX tarifa *	39.98
Municipal Monterrey industria *	87.78
Pago de derechos por pozo concesionado por CONAGUA (un caso en el Edo. de Méx.)	29.00
PTAR agua sanitaria con CAB (2 años)	23.65
PTAR agua sanitaria con CAB (5 años)	22.63
PTAR agua sanitaria sin CAB	39.68
Disposición de agua residual	833.00

* Consumo: 90 m³/mes

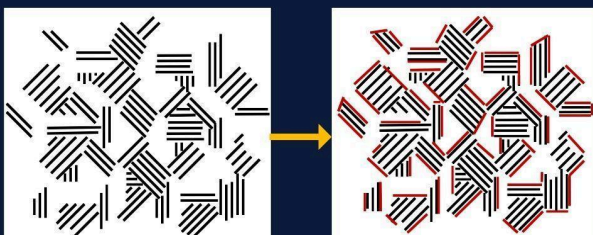
La tabla anterior muestra que el costo de tratar aguas sanitarias es menor que el costo que tiene para los usuarios en México el agua de la red municipal

Tratamiento de agua residual sanitaria y cumplimiento de las normas 001, 002 y 003

1. El CA permite cumplir con los parámetros establecidos por las normas oficiales mexicanas en materia de disposición de aguas residuales a un costo razonable.
2. El costo actual de tratar el agua residual sanitaria, además de ser una obligación (desde la ley y la ética) es menor que el costo del agua de la red municipal que tenemos las casas habitación y las empresas.

Control de olores en cámara de sedimentación

Compuesto	Umbral de percepción olfativa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Sulfuro de hidrógeno	11.34
Metil mercaptano	3.20
Etil mercaptano	1.9
Butil mercaptano	37.5



1 kg de VAPACID/mes para 150 personas.



Un carbón impregnado, como el VAPACID, tiene una gran capacidad para retener sulfuro de hidrógeno y mercaptanos que se generan en el tratamiento primario de la PTAR de Carbotecnia, que es un tanque de sedimentación. La ausencia de aireación en este tanque genera anaerobiosis cuyo resultado es la producción de estos compuestos cuyo umbral olfativo es muy bajo. La alta capacidad de este tipo de carbón, lo hace muy poco costoso.

Gracias por su atención

Tel. + 52 33 3834-0906
ventas@carbotecnia.com.mx

C^arbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA