



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA

CONSTITUYENTES EN EL AGUA RESIDUAL (Parte II)

Unidad de aprendizaje: Contaminación y tratamiento de los recursos hídricos

Dra. Mercedes Lucero Chávez
Semestre 2015B



Programa

Ciencias del Agua

Unidad de aprendizaje

Contaminación y tratamiento de los recursos hídricos

PROGRAMA

DCA 802 CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Total: 10 cr.

Teoría Parte I: Contaminación: 2.5h / sem.

Teoría Parte II: Tratamiento: 2.5h / sem.

Objetivo

Tener los conocimientos sobre los diversos modos de contaminación del agua y los métodos de tratamiento esenciales, nociones requeridas en el marco de la gestión integrada del agua.

Contenido de la parte I (Contaminación): clasificación según las fuentes y actividades (puntual, difusa, urbana, industrial, agrícola), tipos de contaminantes y sus efectos en el medio ambiente, parámetros de caracterización de las aguas, nociones de muestreo y análisis de aguas, normatividad.

Contenido de la parte II (Tratamiento): clasificación de los procesos y operaciones unitarias de tratamiento de agua potable, agua residual y lodos. Análisis de valor y selección de trenes de tratamiento, bases de evaluación de la dimensión de las plantas de tratamiento, principios de los principales procesos y operaciones unitarias utilizados en tratamiento (pretratamientos, sedimentación, coagulación, tratamientos biológicos, filtración, cloración, tratamiento de lodo).

CONSTITUYENTES EN EL AGUA RESIDUAL (PARTE II)

Objetivo

Conocer los diferentes constituyentes inorgánicos no metálicos que forman parte del agua residual.

CONTENIDO

Constituyentes inorgánicos no metálicos

- pH
- Cloruros
- Alcalinidad
- Nitrógeno
 - Fuentes de nitrógeno
 - Formas de nitrógeno
 - Ciclo del nitrógeno
- Fosforo
- Sulfuro

CONTENIDO

Constituyentes inorgánicos no metálicos

➤ Gases

- Solubilidad de los gases en agua
- Ley de los gases ideales
- Ley de Henry para gases disueltos
- Oxígeno disuelto
- Sulfuro de hidrógeno
- Metano

➤ Olores

- Efecto de olores
- Detección de olores
- Caracterización y medición de olor

Constituyentes inorgánicos no metálicos

La concentración de los constituyentes pueden afectar el uso del agua natural, residual y residual tratada.



- 1) http://3.bp.blogspot.com/_EZ16vWYvHHg/TEmj3s15G6I/AAAAAAAAQNU/kcLpl9K21NI/s1600/www.BancodelimagenesGratis.com-Rios-2.jpg
- 2) http://www.madrimasd.org/blogs/universo/wp-content/blogs.dir/42/files/804/o_Aguas%20Residuales%20Almeria.jpg
- 3) http://lh6.ggpht.com/GKtF0MzvTvo/T39AOqewLII/AAAAAAAAAHKk/LS4aTQJlvas/s1200/aguas_residuales_04.jpg

pH

Concentración del ion hidrógeno

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Vida biológica (pH 6-9)



$$\frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{\text{H}_2\text{O}} = K$$

Donde :

[] Concentración, mol/L

K: constante



pH

Constante de ionización (K_w)

$$[H^+] [OH^-] = K_w$$

Donde :

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

Temperatura (T) 25°C

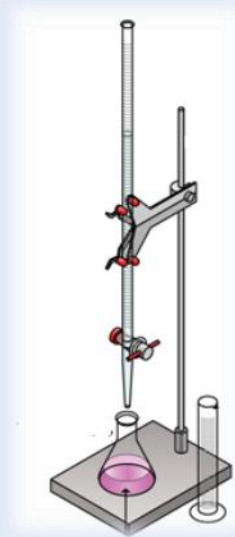
$$pOH = - \log [OH^-]$$

$$pH + pOH = 14$$



Cloruros

- En agua natural resultan de la lixiviación de cloruros de las rocas.
- Intrusión del agua de mar.
- Descargas de agua residual industrial, agrícola y doméstica en agua superficial.
- Métodos convencionales de tratamiento de aguas no reducen cloruros en algún grado significativo.
- Método titulométrico



Alcalinidad

En agua residual resulta de la presencia de $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$

Ayuda a resistir cambios de pH causados por la adición de ácidos.

Método volumétrico, resultados son expresados en mg/L CaCO_3

Definida en términos de cantidades molares:

$$\text{Alcalinidad, eq/m}^3 = \text{meq/L} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

La correspondiente expresión en términos de equivalentes

$$\text{Alcalinidad, eq/m}^3 = (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-) - (\text{H}^+)$$

Alcalinidad

Conversión de meq/L a mg/L CaCO_3

$$\text{Masa de meq de } \text{CaCO}_3 = \frac{100 \text{ mg/mmol}}{2 \text{ meq/mmol}} = 50 \text{ mg/meq}$$

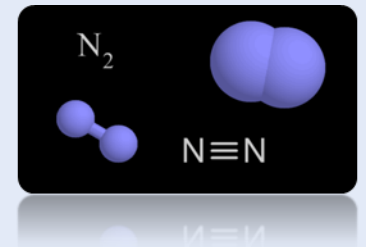


Nitrógeno

- Conocido como nutriente o bioestimulante .
- Forma parte de la síntesis de proteínas.
- Puede ser requerido para evaluar la tratabilidad del agua residual por procesos biológicos.

Fuentes

- Origen animal y vegetal
- Nitrato de sodio procedente de depósitos minerales
- Nitrógeno atmosférico



Formas de nitrógeno

-3	0	1	2	3	4	5
NH ₃	N ₂	N ₂ O	NO	N ₂ O ₃	NO ₂	N ₂ O ₅

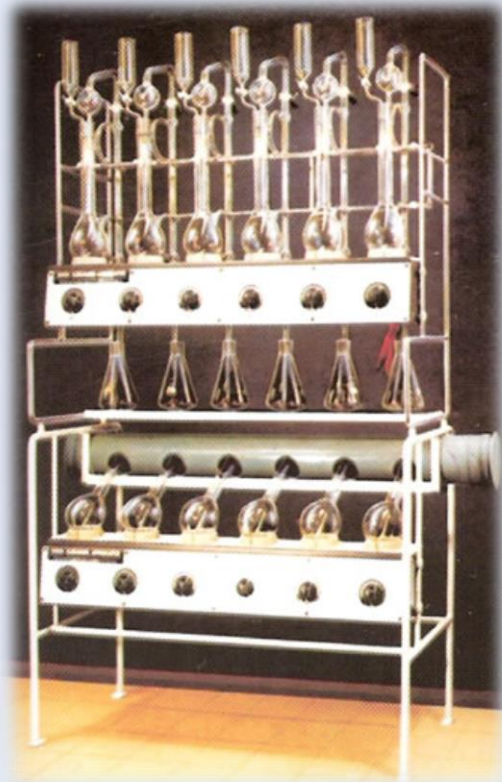
Formas importantes y más comunes son:

-3	-3	0	3	5
NH ₃	NH ₄ ⁺	N ₂	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻

Especies de nitrógeno

Forma de nitrógeno	Abreviatura	Definición
Gas amoniaco	NH_3	NH_3
Ion amonio	NH_4^+	NH_4^+
Nitrógeno amoniacal total	NAT	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitritos	NO_2^-	NO_2^-
Nitratos	NO_3^-	NO_3^-
Nitrógeno inorgánico total	NIT	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Nitrógeno total Kjeldahl	NTK	N orgánico + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrógeno orgánico	N orgánico	$\text{NTK} - (\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+)$
Nitrógeno total	NT	N orgánico + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

Determinación NTK



- 1) http://www.lacocapacitacion.com.ar/imagenes.php?imagen_url=-imagen- aparatos--grandes-- gr_equipo_kjeldahl_.jpg&imagen_ancho=363&imagen_alto=550&imagen_alt=
- 2) <http://www.grupo-selecta.com/notasdeaplicaciones/sin-categoria/metodo-kjeldahl/>
- 3) <http://www.cientecinstrumentos.cl/articulos/lab/kjeldahl.html>

Fracciones de Nitrógeno

Fracción de nitrógeno

- Particulada
- Soluble

Fracciones empleadas

- Amoníaco libre
- Nitrógeno orgánico soluble biodegradable
- Nitrógeno orgánico particulado biodegradable
- Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable
- Nitrógeno orgánico particulado no biodegradable

Nitrógeno orgánico coloidal ha sido clasificado como soluble o disuelto.

Nitrógeno amoniacal

Existe en solución acuosa como ion amonio (NH_4^+) o gas amoniacal (NH_3), dependiendo del pH de la solución



Aplicando la ley de acción de masa y asumiendo que la actividad del agua es 1

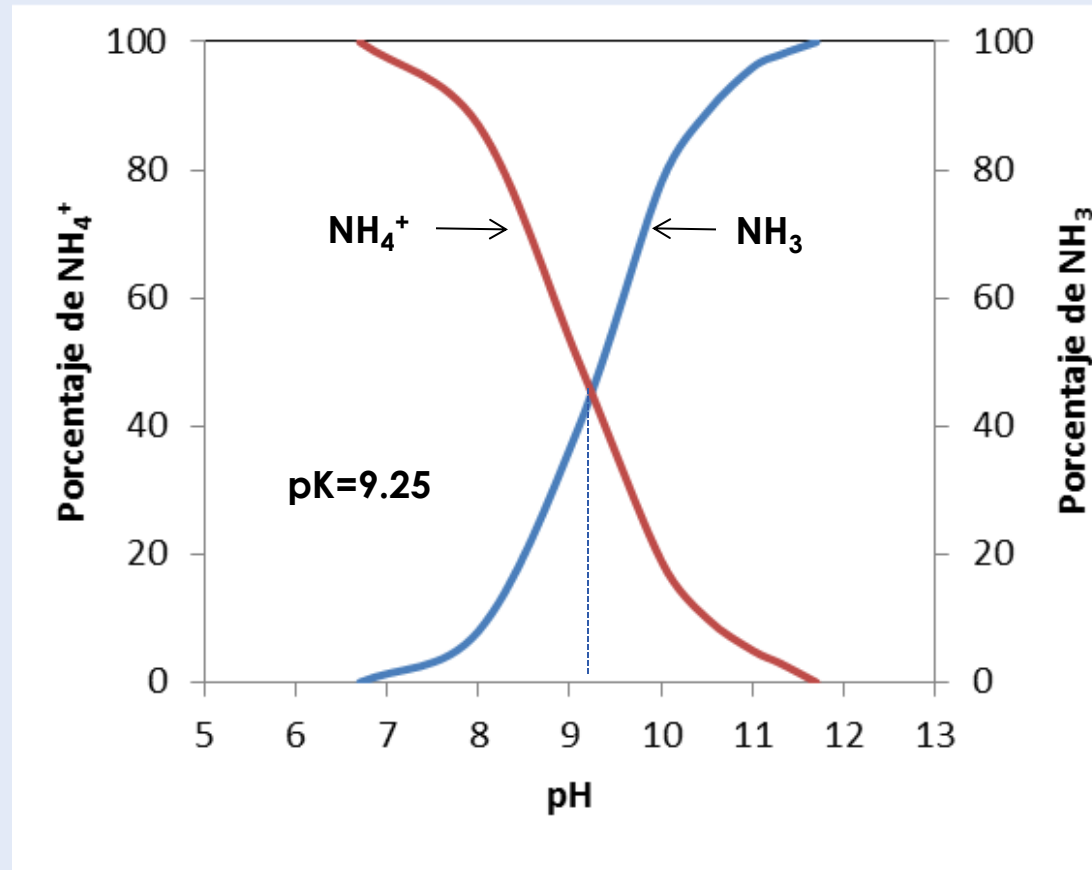
$$\frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = K_a$$

Donde

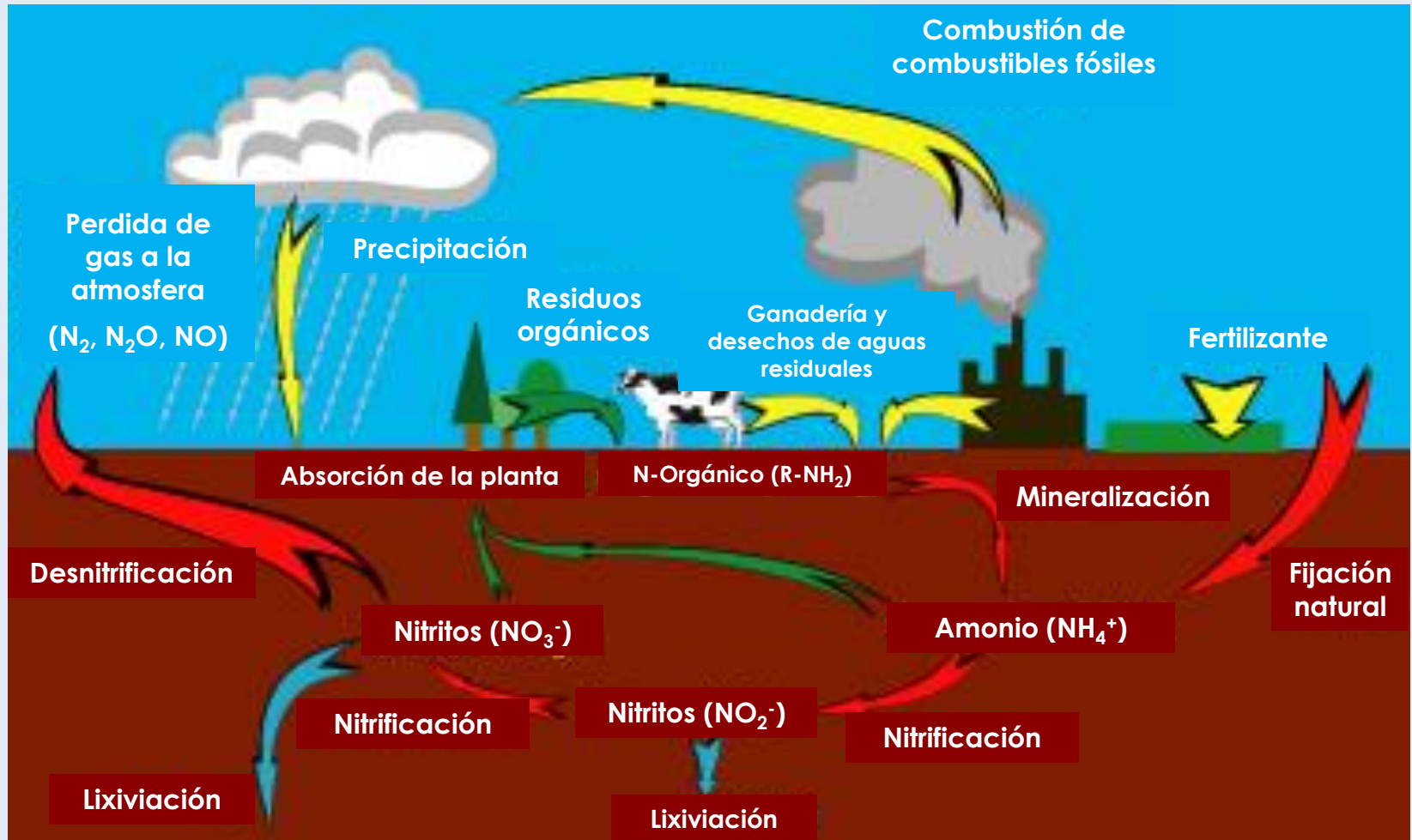
K_a : Constante de ionización del ácido (disociación) = $10^{-9.25}$ o 5.62×10^{-10}

Nitrógeno amoniacal

- El porcentaje de NH_3 puede ser determinado usando la siguiente relación:



Ciclo del nitrógeno



Fósforo

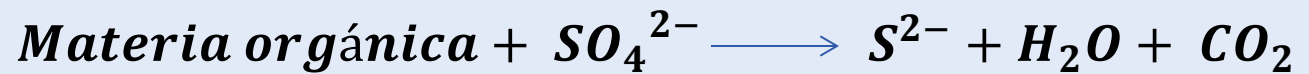
Es esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos.

Las formas de fósforo encontradas en solución acuosa son:

- Ortofosfatos
- Polifosfatos
- Fosfato orgánico

Sulfuro

El sulfato es reducido biológicamente bajo condiciones anaeróbicas:



Gases

Encontrados en agua residual

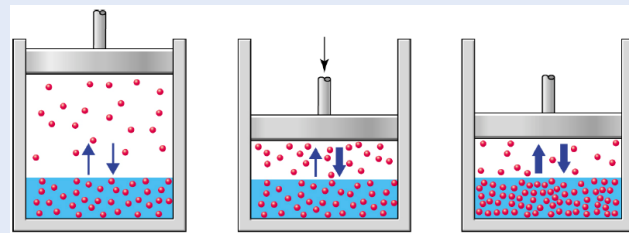
- Nitrógeno (N_2)
- Oxígeno (O_2)
- Dióxido de carbono (CO_2)
- Sulfuro de hidrógeno (H_2S)
- Amoniacó (NH_3)
- Metano (CH_4)



Solubilidad de los gases en agua

Depende de:

- La solubilidad del gas (Ley de Henry).
- La presión parcial del gas en la atmosfera.
- Temperatura.
- La concentración de impurezas en el agua.



Ley de los gases ideales

Derivada de:

- Ley de Boyle ($V \approx T, \text{Constante}$)
- Ley de Charles ($V \approx P, \text{Constante}$)

$$PV = nRT$$

Donde

P: Presión, atm

V: Volumen, L

n: moles del gas, mol

R: Constante de la ley de los gases, 0.08206 Latm/Kmol

T: Temperatura, K

Ley de Henry para gases disueltos

$$P_g = \frac{H}{P_T} X_g$$

Donde:

P_g : Fracción de mol de un gas en aire , mol gas/mol aire

H : Constante de la Ley de Henry, $\frac{\text{atm} \left(\frac{\text{mol gas}}{\text{mol aire}} \right)}{\left(\frac{\text{mol gas}}{\text{mol agua}} \right)}$

P_T : Presión total, normalmente 1 atm

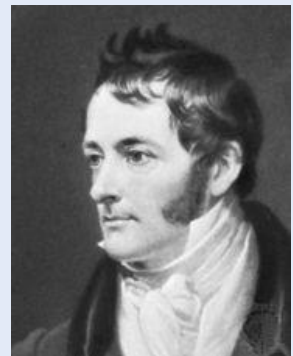
X_g : Fracción mol del gas en agua, $\frac{\text{mol gas}}{\text{mol agua}}$

$$X_g = \frac{\text{mol gas} (n_g)}{\text{mol gas} (n_g) + \text{mol agua} (n_{\text{agua}})}$$

Constante de la Ley de Henry

Es una función de:

- Tipo de gas
- Temperatura
- Naturaleza del líquido



Constantes de la Ley de Henry a 20°C

Parámetro	Constante de Henry (atm)	Constante de la Ley de Henry	Coeficiente de Temperatura	
			A	B
Aire	66,400.00	49.68	557.60	6.724
Amoniaco	0.75	5.61×10^{-4}	1,887.12	6.315
Dióxido de carbono	1,420.00	1.06	1,012.40	6.606
Monóxido de carbono	53,600.00	40.11	554.52	6.621
Cloro	579.00	0.43	875.69	5.750
Dióxido de cloro	1500.00	1.12	4,041.77	6.730
Hidrógeno	68,300.00	51.10	187.04	5.473
Sulfuro de hidrógeno	483.00	0.36	884.94	5.703
Metano	37,600.00	28.13	675.74	6.880
Nitrógeno	80,400.00	60.16	537.62	6.739
Oxígeno	41,100.00	30.75	595.27	6.644
Ozono	5,300.00	3.97	1,268.24	8.050
Dióxido de sulfuro	36.00	2.69×10^{-2}	1270.85	5.680

Fuente: Metcalf & Eddy 2004.

Oxígeno disuelto

- Es requerido para la respiración de organismos aeróbicos en el tratamiento de agua residual.
- Las reacciones bioquímicas que usan oxígeno incrementan con la elevación de la temperatura.
- Es poco soluble en agua.



Sulfuro de hidrógeno

- Incoloro
- Compuesto inflamable
- Olor a huevos podridos
- Tóxico



Metano

- Principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica
- Incoloro
- Inodoro
- Alto valor energético



Aparatos para medir gases

1)



2)



Sensor amoníaco
(NH₃) AQ-ENG



Sensor metano (CH₄)
AQ-MT

1) <http://www.higielectronix.com.co/portal/productos/monitores-de-gases.html>

2) https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-gases-aeroqual-limited-medidor-de-gas-aq-500-det_517035.htm

Olores

- Efecto
- Detección
- Caracterización

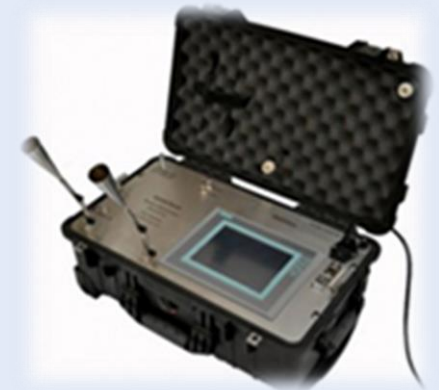


Compuestos con olor asociados con aguas residuales sin tratamiento

Compuestos	Formula química	Cualidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{H}$	A pescado
Amoniacó	NH_3	Amoniacó
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2, \text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	Carne en descomposición
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	Huevos podridos
Mercaptanos (ejemplo: metil y etil)	$\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Col en descomposición
Mercaptanos (ejemplo: butil y crotil)	$(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Zorrillo
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Col podrida
Escatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

Fuente: modificada de Metcalf & Eddy 2004

Aparatos para medir olores



Bibliografía

- Metcalf y Eddy, Inc. (2004). Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. Mc Graw Hill. USA.
- Hounslow, A. W. (1995). Water Quality Data. Analysis and interpretation. CRC. USA.
- Manahan, S. E. (2010). Environmental Chemistry. CRC. USA.
- Manahan, S. E. (2009). Fundamentals of Environmental Chemistry. CRC. USA.