

INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA INDUSTRIA DE
PROCESOS

**TRATAMIENTOS SECUNDARIOS
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

Instituto de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

1

Tratamiento biológico de efluentes

• Los objetivos del tratamiento biológico son: transformar la materia orgánica biodegradable en productos finales aceptables, capturar los sólidos coloidales en bioflóculos, transformar o remover nutrientes (N y P) y en algunos casos remover o reducir la concentración de ciertos compuestos complejos.

• Antes del reactor biológico existe en general algún tipo de pre-tratamiento que remueve los sólidos groseros, sólidos sedimentables, etc.

• Luego puede haber un sistema de pos-tratamiento, desinfección, etc., según el uso final o vertido.

2

REMOCIÓN BIOLÓGICA DE MATERIA ORGÁNICA

En los sistemas aerobios para la remoción de la materia orgánica se utiliza el oxígeno como aceptor externo de electrones.

En los sistemas anaerobios no hay un aceptor externo de electrones, la misma materia orgánica actúa parte como oxidante y parte como reductor.

La remoción biológica de materia orgánica involucra reacciones redox a partir de las cuales los microorganismos involucrados obtienen energía.

3

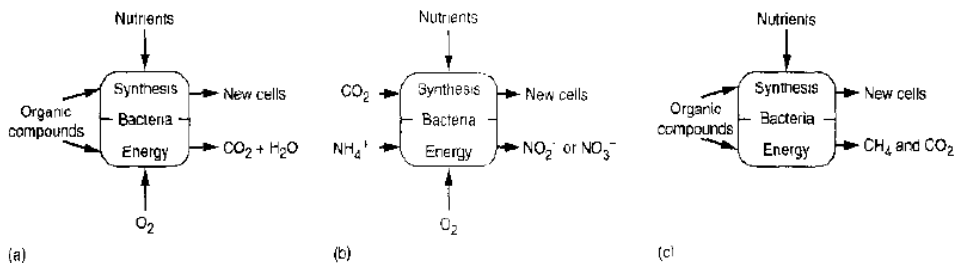


Figure 7-9

Examples of bacteria metabolism: (a) aerobic, heterotrophic (b) aerobic autotrophic, (c) anaerobic, heterotrophic

4

Reacciones y Potenciales de Oxidación Reducción

5

Potenciales Redox – Torre de electrones

Par redox	E° ' (V)
CO ₂ /gluc	-0.43
2H ⁺ /H ₂	-0.42
CO ₂ /Metanol	-0.38
CO ₂ /Acetato	-0.28
SO ₄ ²⁻ /H ₂ S	-0.22
Fumarato/Succinato	+0.02
NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻	+0.42
Fe ⁺³ /Fe ⁺²	+0.76
1/2O ₂ /H ₂ O	+0.82

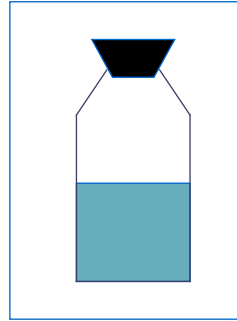
- La sustancia oxidada de la pareja en la parte superior de la torre tiene la tendencia más baja para aceptar electrones
- La sustancia oxidada de la pareja en la parte inferior tiene la mayor tendencia a aceptarlos
- El oxígeno en la parte inferior es el aceptor de electrones más favorable (oxidante poderoso)

6

Digestión biológica de compuestos orgánicos

Sistema cerrado en la oscuridad

- Agua
- Nutrientes
- Materia orgánica

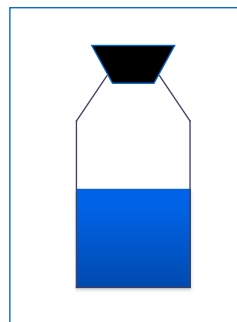


7

Digestión biológica de compuestos orgánicos

Sistema cerrado en la oscuridad

- Agua
- Nutrientes
- Materia orgánica
- Se agrega biomasa



8

Digestión biológica de compuestos orgánicos

- Las bacterias empiezan a degradar la materia orgánica de acuerdo con la siguiente ecuación:



$$\Delta G^{o'} = -8.5 \text{ kJ/mol}$$

9

Digestión biológica de compuestos orgánicos

- Si la botella contiene oxígeno este será utilizado como aceptor de electrones hasta que se acabe.



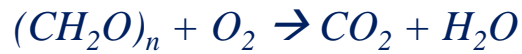
$$\Delta G^{o'} = -109 \text{ kJ/mol}$$

Respiración aerobia

10

Digestión aeróbica de compuestos orgánicos

- La combinación de ambas reacciones da:



$$\Delta G^{o'} = -117.5 \text{ kJ/mol}$$

11

Digestión anaeróbica de compuestos orgánicos

- En la digestión anaerobia una parte de la molécula actúa como oxidante y otra como reductor, resultando



$$\Delta G^{o'} = -16.3 \text{ kJ/mol}$$

12

Distintos aceptores finales de electrones

Reacción	ΔG° ' (kJ/mol)	E° ' (mV)
$(\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-117.5	810
$\text{CH}_2\text{O} + 4/5\text{NO}_3^- + 4/5\text{H}^+ \longrightarrow \text{CO}_2 + 2/5\text{N}_2 + 7/5\text{H}_2\text{O}$	-112.0	750
$(\text{CH}_2\text{O}) + 1/2\text{SO}_4^{2-} + 1/2\text{H}^+ \longrightarrow \text{CO}_2 + 1/2\text{HS}^- + \text{H}_2\text{O}$	-18	-220
$(\text{CH}_2\text{O}) \longrightarrow \text{CO}_2 + 1/2\text{CH}_4$	-16.3	-250

13

SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE RESIDUOS

Sistema Aerobio

Materia orgánica + O₂ (energía) → CO₂ + células

Ejemplos

Lodos activados (efluente líquido)

Compostaje (residuos sólidos)

Sistema Anaerobio

Materia orgánica → CH₄ + CO₂ + células

Ejemplos

UASB (efluente líquido)

Digestor anaerobio (residuo sólido)

14

Criterios de sostenibilidad para sistemas de tratamiento de efluentes

- **Alta eficiencia de remoción para: DQO/DBO, sólidos suspendidos, N, P, etc**
- **Tecnología robusta: estable frente a cortes de energía, sobrecargas, tóxicos, etc**
- **Flexible a futuros cambios**
- **Simple en la operación, mantenimiento y control**
- **Número limitado de pasos de tratamiento**

15

Criterios de sostenibilidad para sistemas de tratamiento de efluentes

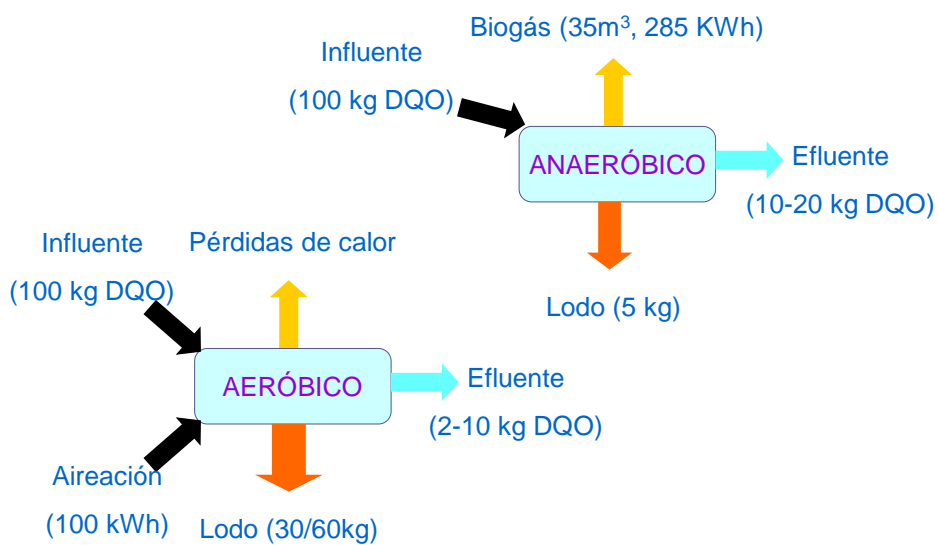
- **Ausencia de problemas de disposición**
- **No generación de olores molestos**
- **Aplicable a cualquier tamaño**
- **Existencia de experiencia local**
- **Costos de capital y operativos accesibles**
- **Diseñados para la recuperación de subproductos**

16

Sistema anaerobio o sistema aerobio?

17

Balances de C y energía



18

Comparación entre tratamiento aerobio y anaerobio para industria azucarera (Lema y Omil, 2001)

	ANAEROBIO	AEROBIO
Carga (tonDQO/año)	22.400	22.000
Prod. Lodos (ton/año)	1.500	7.500
Costos manejo lodos (€/año)	225.000	900.000
(% de las ventas)	0.3	1.5
Consumo neto de energía (MWh/año)	-	31.400
(% de las ventas)	-	0.25
Producción neta de energía (MWh/año)	26.880	-
(% de retorno en las ventas)	0.2	-
Superficie (m ²)	2.500	10.000

19

Aerobio vs. anaerobio

	Aeróbico	Anaeróbico
Reacción	$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$
Energía libre	-2840 KJ/mol glucosa	-393 KJ/mol glucosa
Balance de carbono	50% CO ₂ , 50% biomasa	95% CH ₄ +CO ₂ , 5% biomasa
Balance de energía	60% m.o, 40% calor	90% en CH ₄ , 5% m.o, 5% calor
Crecim. de Biomasa	rápido	lento
Gasto de energía	Si (aireación)	No

20

REACTORES BIOLÓGICOS PARA TRATAMIENTO DE RESIDUOS

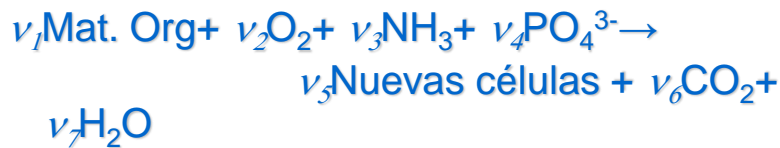
- **En la digestión anaerobia:**
 - Los residuos se tratan sin gasto de energía y con producción de biogás
 - El sólido que se genera está estabilizado y puede utilizarse como mejorador de suelos
 - Se evita la generación descontrolada de gases de efecto invernadero
 - Requerimiento de nutrientes (N y P) en los sistemas anaerobios es menor
 - Alto grado de aceptación y aplicación a nivel internacional
- **Combinado con los sistemas aerobios se logran cumplir los parámetros de materia orgánica y nitrógeno para cumplir las condiciones de vertido**
- **Potencial para desarrollar empresas nacionales que suministren la tecnología y los servicios empleando conocimiento y mano de obra nacional**

21

Sistemas Aerobios

22

Oxidación de la materia orgánica utilizando oxígeno como aceptor de electrones:



Otros oxidantes tienen menor potencial (nitrato, sulfato, etc.)

23

- **Sistemas de biomasa suspendida**
 - Lodos activados y sus variantes
 - Lagunas airea
- **Sistemas de biomasa fija**
 - Filtros percoladores
 - Biodiscos (RBC)
 - Lechos empacados

24

Lodos Activados



25



26



27

Variantes: Oxidation Ditch, sistemas en carousel



28