

**INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA INDUSTRIA DE  
PROCESOS**

**RESIDUOS SÓLIDOS  
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

Instituto de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

1

**DIGESTIÓN ANAEROBIA DE SÓLIDOS**

Principales sustratos:

Lodos de efluentes domésticos  
Residuos sólidos municipales  
Residuos agropecuarios  
Residuos industriales  
Cultivos energéticos

Principales beneficios:

Estabilización de residuos  
Obtención de bioabonos  
Generación de energía renovable:  
(Energía eléctrica, térmica y biometano)

2



3

### Diferencia entre reactores de residuos sólidos y líquidos : mismo TRH and TRB

- Una de las mayores diferencias entre el tratamiento de residuos líquidos y sólidos, es la imposibilidad de separar la materia orgánica de los microorganismos en el último caso.
- En los sistemas de tratamiento de líquidos, el gran desarrollo se dio cuando se pudo separar el TRH del TRB. En el tratamiento de sólidos esto no es posible y debido a ello, los sólidos requieren un TRH mucho mayor, lo que implica volúmenes mayores. Como el TRH y TRB debe ser igual, se requieren TRH de entre 20 y 60 días, entre otras cosas para evitar el lavado de la biomasa.
- Co-digestión: mejora el desempeño del reactor

4

Tipos de reactores de tratamiento de residuos sólidos:

- RCAI
- RTFP
- Batch

5



6



7



8



Arranque: 2007  
 Potencia instalada: 360 kW  
 Sustratos: Estiércol vacuno, purines de cerdo, silo de maíz, silo de gramíneas

9



Arranque: 2006  
 Potencia instalada 4,6 MWel  
 Sustratos: Estiércol vacuno, purines de cerdo, silo de maíz, otros residuos orgánicos

10



Arranque: 2000  
 Capacidad: 50.000 ton/año  
 Sustrato: Fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos

11



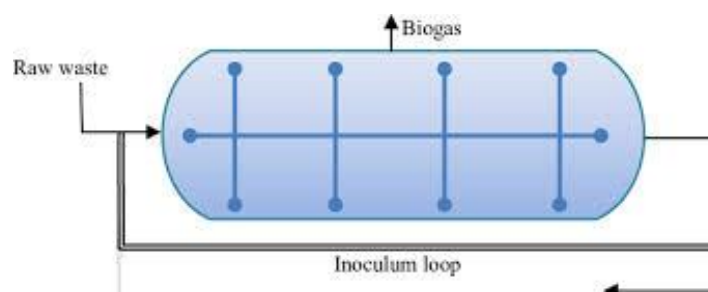
Arranque: 2011  
 Potencia instalada 4,0 MWel  
 Sustratos: Sorgo dulce, estiércol, lodos, purines de cerdo, residuos de matadero y suero

12



Arranque: 1993  
Capacidad: 30.000 ton/año  
Sustratos: Fracción orgánica de Residuo Sólidos Urbanos

13



14

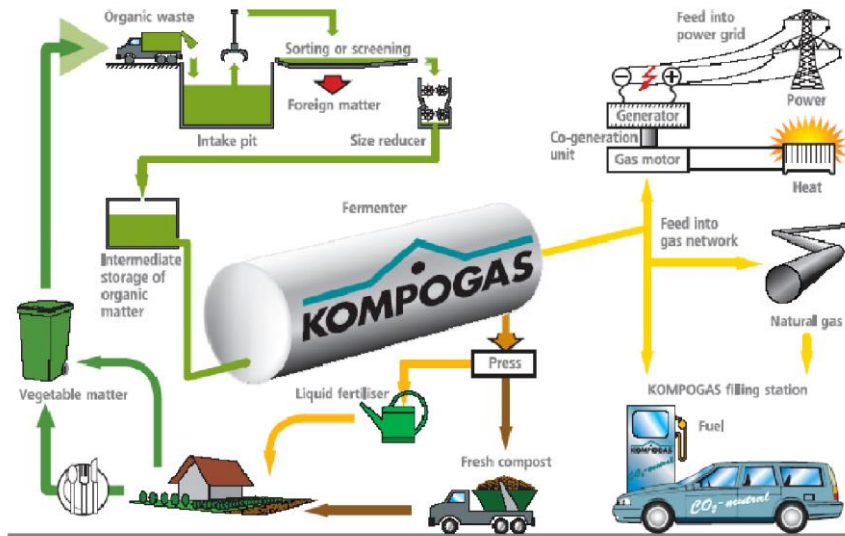


Figure 9 Schematic diagram of Kompostogas AD facility

15



16



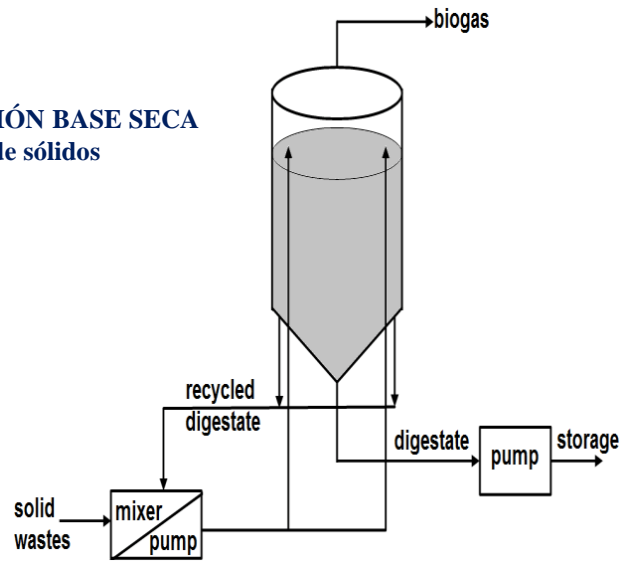


17

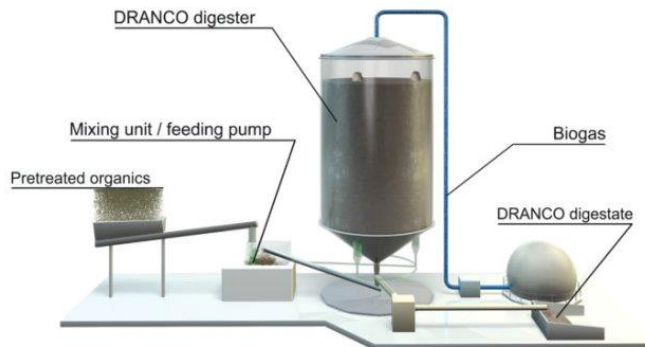


18

**DIGESTIÓN BASE SECA**  
**15-40% de sólidos**



19



20



21



**LA FARFANA SANTIAGO DE CHILE**

22

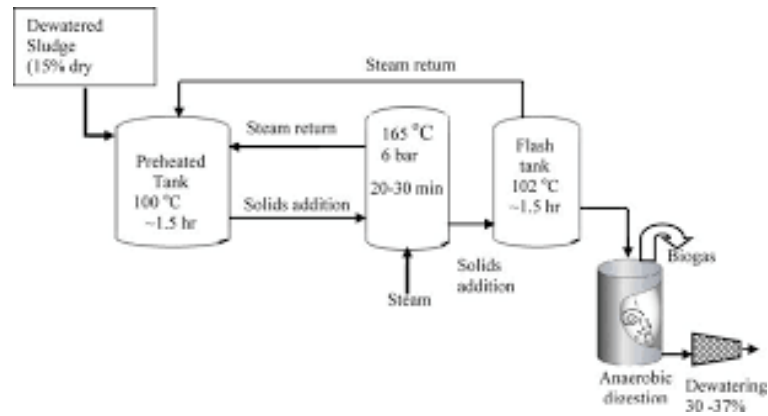


### LA FARFANA SANTIAGO DE CHILE

23



24



### Proceso Cambi, pretratamiento de lodos

25

## Aspectos Cinéticos – Paso limitante

### Sustratos difícilmente biodegradables

El paso de **hidrólisis** ha sido reportado como el que gobierna la velocidad global de degradación.

### Sustratos fácilmente biodegradables

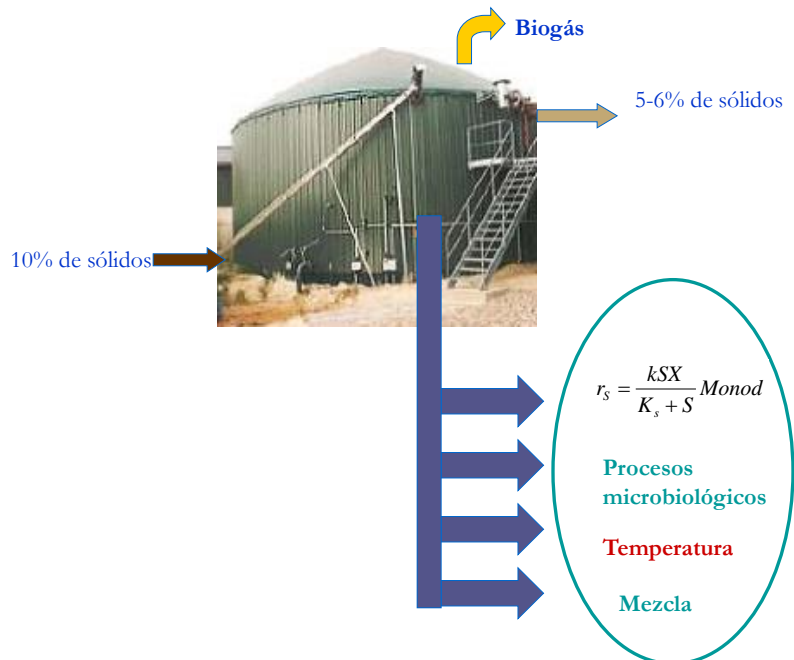
El paso de acetogénesis y la metanogénesis han sido reportados como los que gobiernan la velocidad global de degradación.

**RESIDUOS SÓLIDOS: GENERALMENTE CONTROLA EL PASO DE HIDRÓLISIS**

26

**Para diseñar y operar reactores anaerobios es necesario integrar los aspectos cinéticos, de mezcla y el complejo sistema biológico presente.**

27



28

## VOLUMEN DE REACTOR ( $V_r$ )

$$V_r = (q_e \cdot SV_e - q_s \cdot SV_s) / r$$

$$(\text{m}^3_r) = (\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{kgSV}/\text{m}^3) / (\text{kgSV}/(\text{m}^3_r \cdot \text{d}))$$

Rango normal de  $V_r$ : 5 a 10.000  $\text{m}^3$

## CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA ( $B_v$ )

$$B_v = q_e \cdot SV_e / V_r$$

$$(\text{kgSV}/(\text{m}^3_r \cdot \text{d})) = (\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{kgSV}/\text{m}^3) / (\text{m}^3_r)$$

Rango normal de  $B_v$ : 1 a 10  $\text{kgSV}/(\text{m}^3_r \cdot \text{d})$

## TIEMPO DE RESIDENCIA ( $\tau$ )

$$\tau (\text{d}) = V_r (\text{m}^3) / q_s (\text{m}^3/\text{d}) \sim V_r (\text{m}^3) / q_e (\text{m}^3/\text{d})$$

Rango normal de  $t$ : 15 a 60 días

29

## FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS CLAVES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Determinan:

La velocidad de los procesos de degradación  
El grado de estabilización del residuo.

- 1.-Naturaleza de los sustratos.
- 2.-Concentración de sustratos
- 3.-Concentración de microorganismos
- 4.-Disponibilidad de macro y micronutrientes.
- 5.-Concentración de Inhibidores potenciales.
- 6.-pH
- 7.-Temperatura
- 8.-Estabilidad de las condiciones

30

## Parámetros que influyen en la formación de metano

- **Temperatura**
  - **Ambientes mesofílicos (33-42°C)**
  - **Ambientes termofílicos (55-60°C)**
  - **Ambiente psicrófilico (debajo de 5°C)**

31

## PRODUCCIÓN DE METANO

OBTENCIÓN DE METANO: 350L a PTN por kg DE DQO removida

La DQO es removida como metano:



## Potencial de Biometanización (BMP)

Es un indicador de la cantidad máxima de metano que se puede producir por unidad de masa de residuos alimentado.

Se expresa en  $\text{m}^3\text{CH}_4$  a PTN por kilogramo de SV.  
Se determina mediante ensayo en batch hasta agotamiento o hasta un tiempo definido (ej.: BMP30).

32



## ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

La eficiencia de eliminación de materia orgánica depende de la biodegradabilidad del residuo y del diseño y operación del reactor

Se mide en términos de Sólidos Volátiles (SV)

$$\text{Eficiencia} = (S_{Ve} - S_{Vs}) / S_{Ve}$$

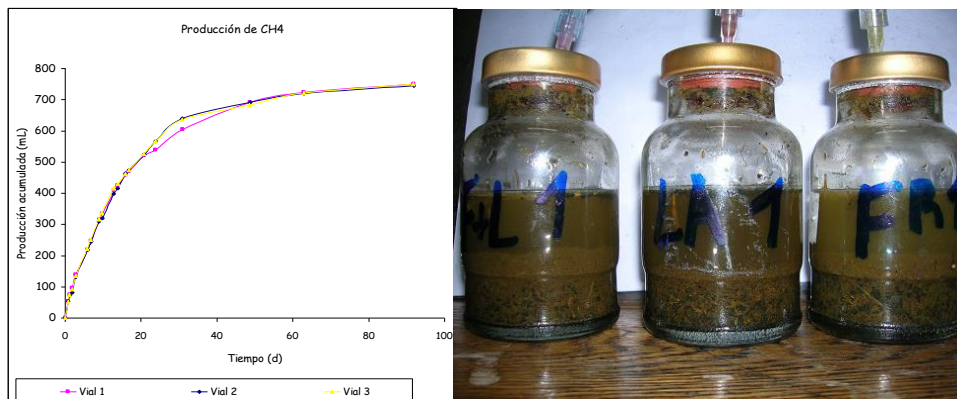
### Biodegradabilidad (BD)

Es una característica de cada residuo, que se mide como la reducción máxima del contenido de SV luego de la digestión hasta agotamiento.

Es un indicador de la máxima eficiencia que podemos esperar en la práctica.

33

### Biodegradabilidad y BMP



Se determinan a partir del mismo ensayo:

**BMP:** producción de metano por unidad de SV de sustrato

**BD:** midiendo SV al inicio y al final (descontando el inóculo)

o calculando el cociente BMP/TMY

34



35