



Ciclo de 20

MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO



AGUASRESIDUALES.INFO

MasterClass 9

"Tratamientos anaerobios y biogás."

María Fernandez-Polanco

Co founder teCH4+ y Profesora Titular
de la Universidad de Valladolid
Dra. Ingeniería Química y tecnología
del Medio Ambiente



17
Marzo

Ciclo de 20
MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

ENFOQUE DEL TEMA

Rev Environ Sci Biotechnol (2015) 14:681–702
DOI 10.1007/s11157-015-9375-5

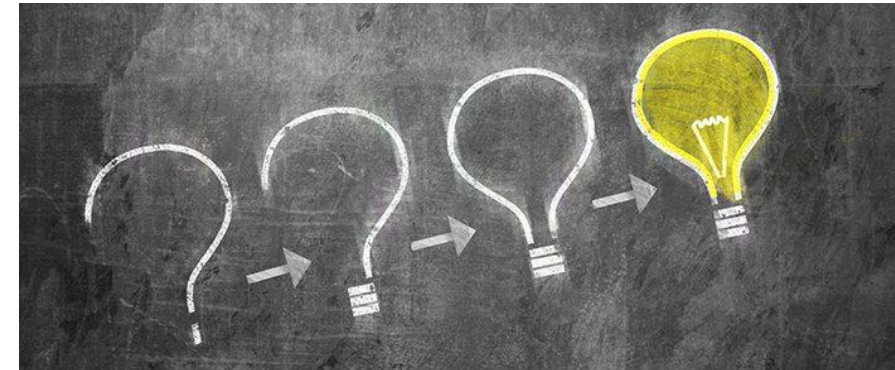


REVIEW PAPER

Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment

J. B. van Lier · F. P. van der Zee ·
C. T. M. J. Frijters · M. E. Ersahin

Published online: 30 August 2015



OBJETIVO 1 Especialista en Tratamiento de AR
Tratamiento de agua residual

OBJETIVO 2
residuo  biosólido + biogás

TRATAMIENTOS ANAEROBIOS Y BIOGÁS

MasterClass
patrocinada por:



OBJETIVO 1 Especialista en Tratamiento de AR
Tratamiento de agua residual

OBJETIVO 2
residuo ➡ biosólido + biogás



TRATAMIENTOS ANAEROBIOS Y BIOGÁS

MasterClass
patrocinada por:



OBJETIVO 1 Especialista en Tratamiento de AR
Tratamiento de agua residual

OBJETIVO 2
residuo ➡ biosólido + biogás



PROBLEMA

CONTAMINANTES A.R.U./A.R.I.

FÍSICOS

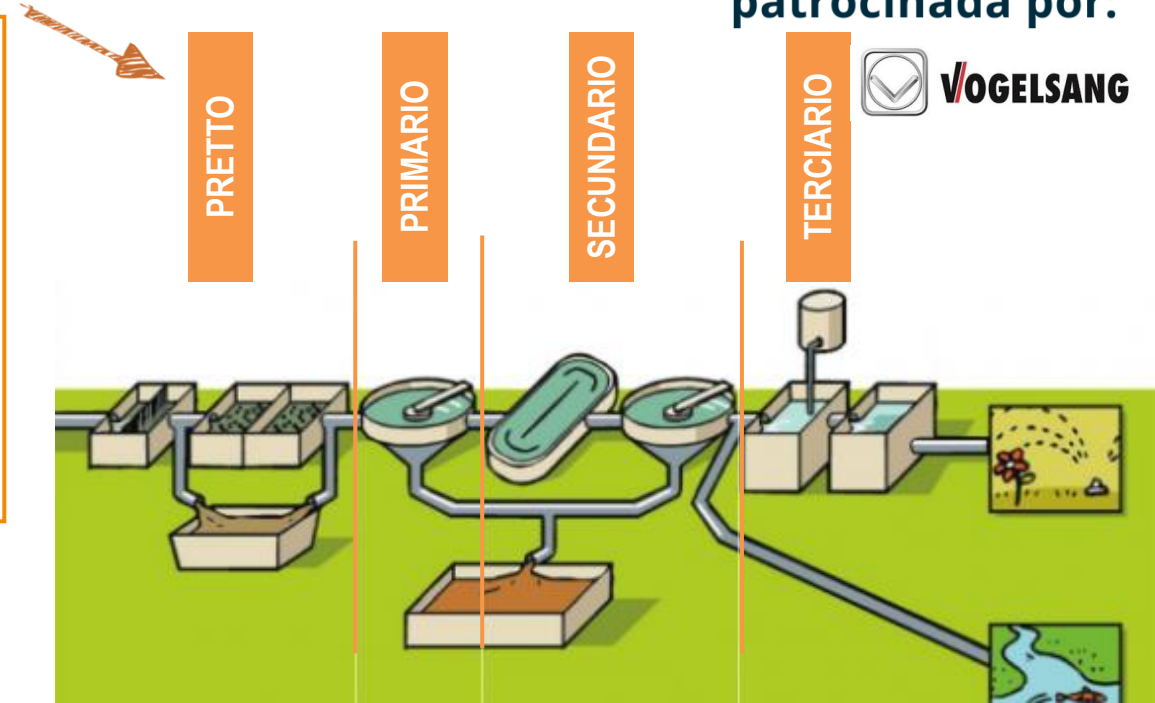
Sólidos
Turbidez
Conductividad
Temperatura
Color, olor
Radioactividad
...

QUÍMICOS

pH
Materia orgánica
Nutrientes (N, P)
Aceites y grasas
Metales pesados
...

BIOLÓGICOS

Virus
Bacterias
...



MasterClass
patrocinada por:



ETAPA	PRETRATAMIENTO	PRIMARIO
ELIMINACIÓN DE:	Objetos gruesos, arenas y grasas	Materia sedimentable y flotante
PROCESO	FÍSICOS	FÍSICOS Y QUÍMICOS
OPERACIONES UNITARIAS	Homogeneización, separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado	Decantación primaria, tratamiento físico-químico (coagulación-floculación)

PROBLEMA

CONTAMINANTES A.R.U./A.R.I.

FÍSICOS

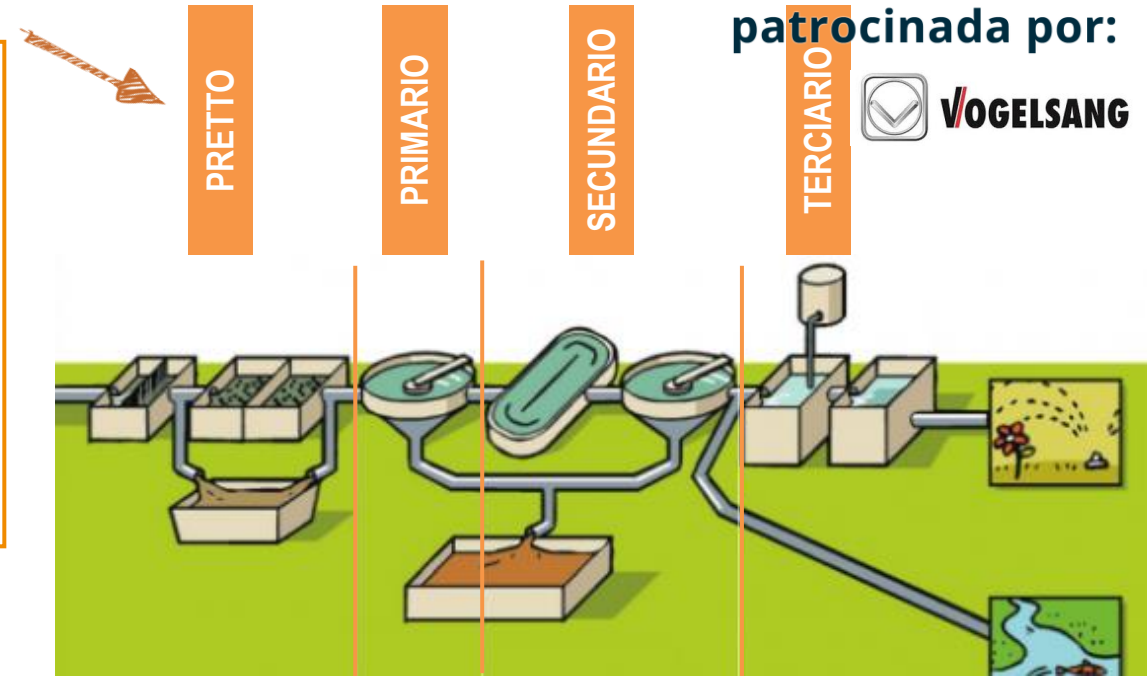
Sólidos
Turbidez
Conductividad
Temperatura
Color, olor
Radioactividad
...

QUÍMICOS

pH
Materia orgánica
Nutrientes (N, P)
Aceites y grasas
Metales pesados
...

BIOLÓGICOS

Virus
Bacterias
...



AGUA
materia orgánica

ETAPA	PRETRATAMIENTO	PRIMARIO
ELIMINACIÓN DE:	Objetos gruesos, arenas y grasas	Materia sedimentable y flotante
PROCESO	FÍSICOS	FÍSICOS Y QUÍMICOS
OPERACIONES UNITARIAS	Homogeneización, separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado	Decantación primaria, tratamiento físico-químico (coagulación-floculación)

PROBLEMA

BALANCE

**MATERIA ORGÁNICA
EDAR AEROBIO (A.R.U.)**

**Eliminación
25%**

Efluente: 10%

**Lodo 1°
30%**

**Lodo 2°
35%**

**LODO
>60% DQO**

**Materia
orgánica
en el
agua
residual**

CONTAMINANTES A.R.U./A.R.I.

FÍSICOS

Sólidos
Turbidez
Conductividad
Temperatura
Color, olor
Radioactividad
...

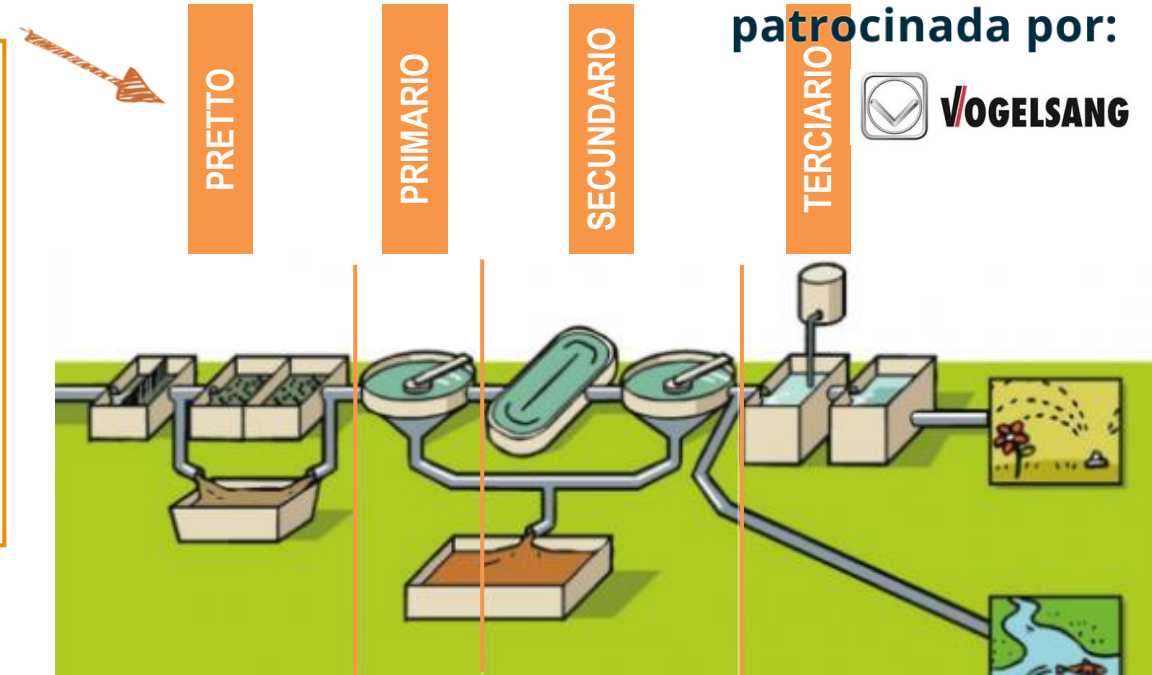
QUÍMICOS

pH
Materia orgánica
Nutrientes (N, P)
Aceites y grasas
Metales pesados
...

BIOLÓGICOS

Virus
Bacterias
...

AGUA
**materia
orgánica**



ETAPA	PRETRATAMIENTO	PRIMARIO
ELIMINACIÓN DE:	Objetos gruesos, arenas y grasas	Materia sedimentable y flotante
PROCESO	FÍSICOS	FÍSICOS Y QUÍMICOS
OPERACIONES UNITARIAS	Homogeneización, separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado	Decantación primaria, tratamiento físico-químico (coagulación-floculación)

PROBLEMA

BALANCE

**MATERIA ORGÁNICA
EDAR AEROBIO (A.R.U.)**

CONTAMINANTES A.R.U./A.R.I.

FÍSICOS

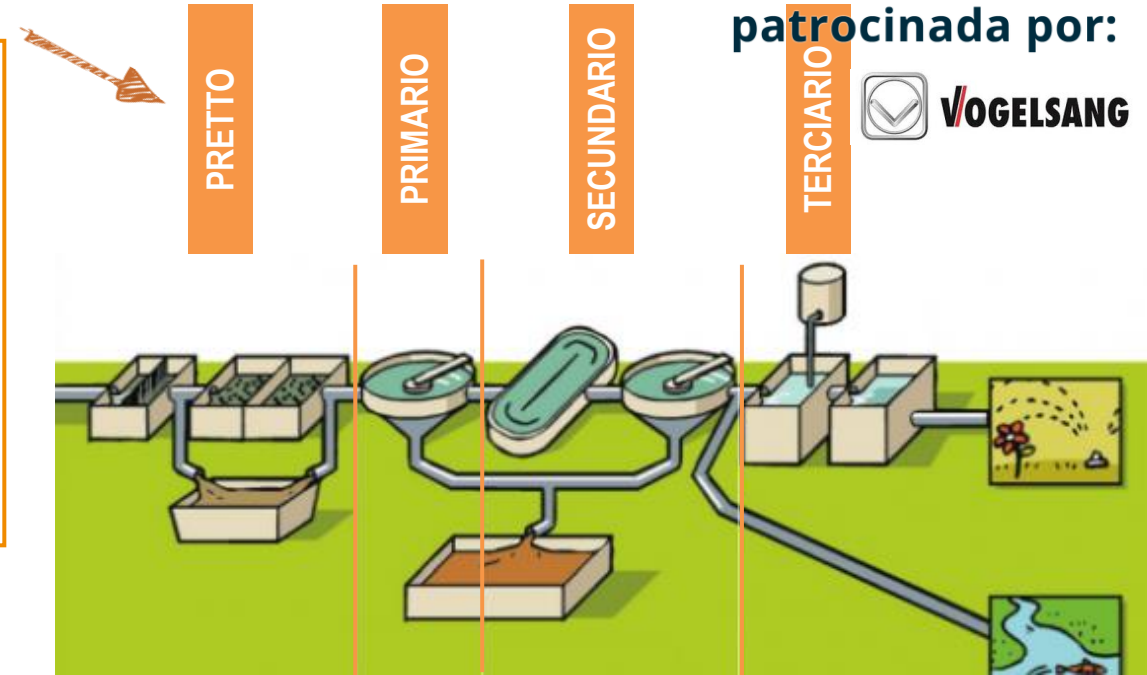
Sólidos
Turbidez
Conductividad
Temperatura
Color, olor
Radioactividad
...

QUÍMICOS

pH
Materia orgánica
Nutrientes (N, P)
Aceites y grasas
Metales pesados
...

BIOLÓGICOS

Virus
Bacterias
...



**Eliminación
25%**

Efluente: 10%

**Lodo 1°
30%**

**Lodo 2°
35%**

**LODO
>60% DQO**

AGUA

**materia
orgánica**

LODO

**materia
orgánica**

ETAPA	PRETRATAMIENTO	PRIMARIO
ELIMINACIÓN DE:	Objetos gruesos, arenas y grasas	Materia sedimentable y flotante
PROCESO	FÍSICOS	FÍSICOS Y QUÍMICOS
OPERACIONES UNITARIAS	Homogeneización, separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado	Decantación primaria, tratamiento físico-químico (coagulación-floculación)

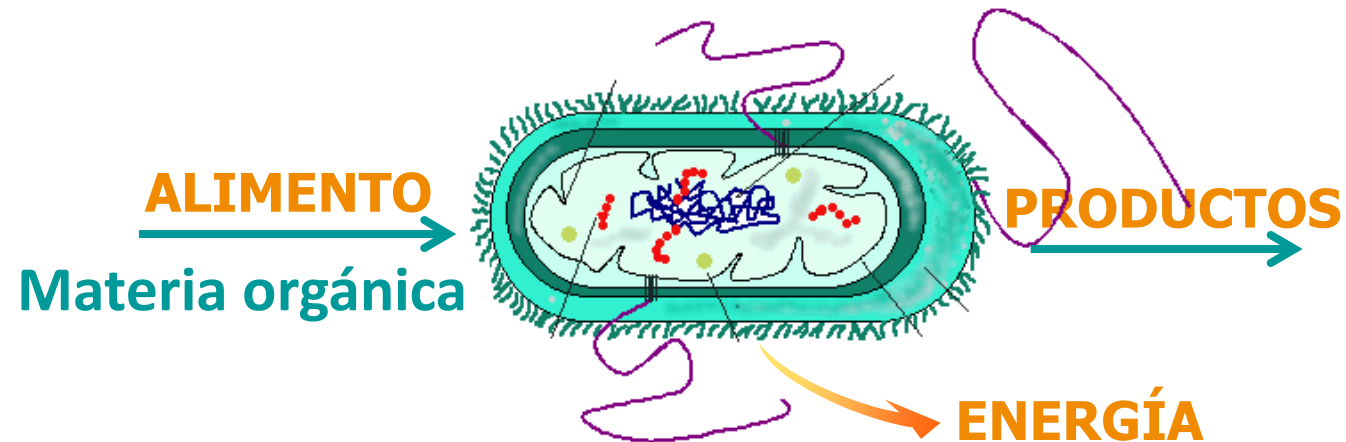
**Materia
orgánica
en el
agua
residual**

PROBLEMA

SOLUCIÓN

**DEGRADACIÓN (OXIDACIÓN) DE LA MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE
POR ACCIÓN DE MICROORGANISMOS (X)
QUE UTILIZAN LA MO COMO SUSTRATO (S) O FUENTE DE ALIMENTO
PARA OBTENER ENERGÍA.**

**PROCESOS
BIOLÓGICOS**

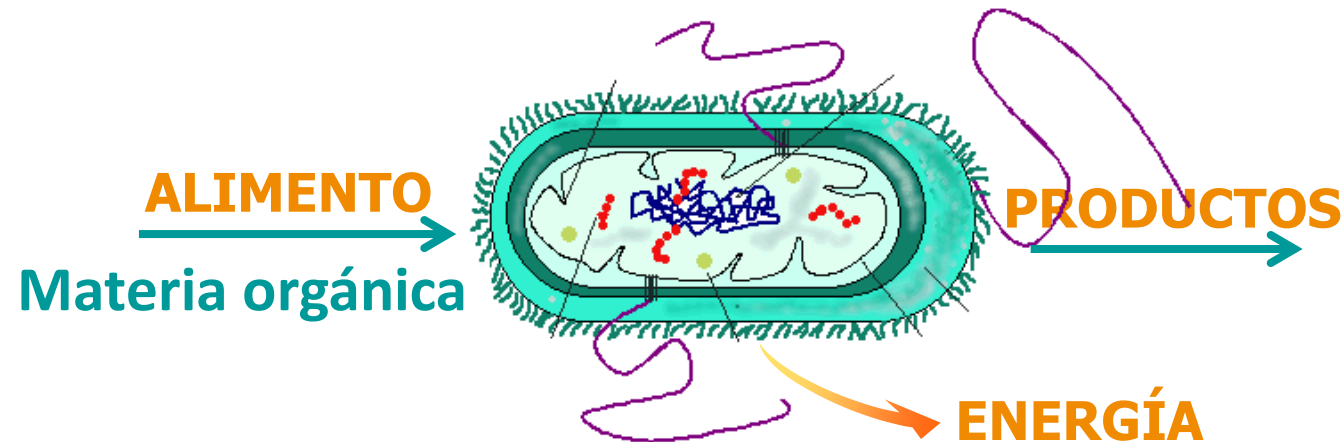


PROBLEMA

SOLUCIÓN

DEGRADACIÓN (OXIDACIÓN) DE LA MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE
POR ACCIÓN DE MICROORGANISMOS (X)
QUE UTILIZAN LA MO COMO **SUSTRATO (S)** O FUENTE DE ALIMENTO
PARA OBTENER **ENERGÍA**.

PROCESOS
BIOLÓGICOS

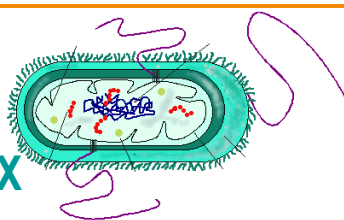


PRINCIPIO DE
CONSERVACIÓN
DE LA MATERIA

AEROBIO → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
ANAEROBIO → $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$

GAS

NUEVOS X
LODO

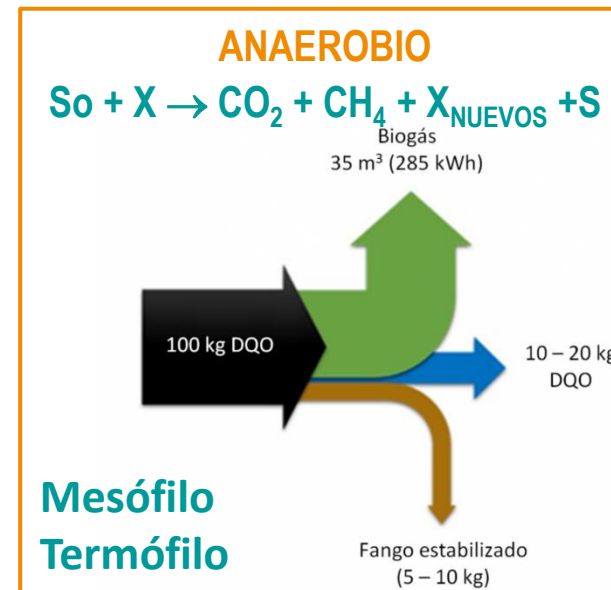
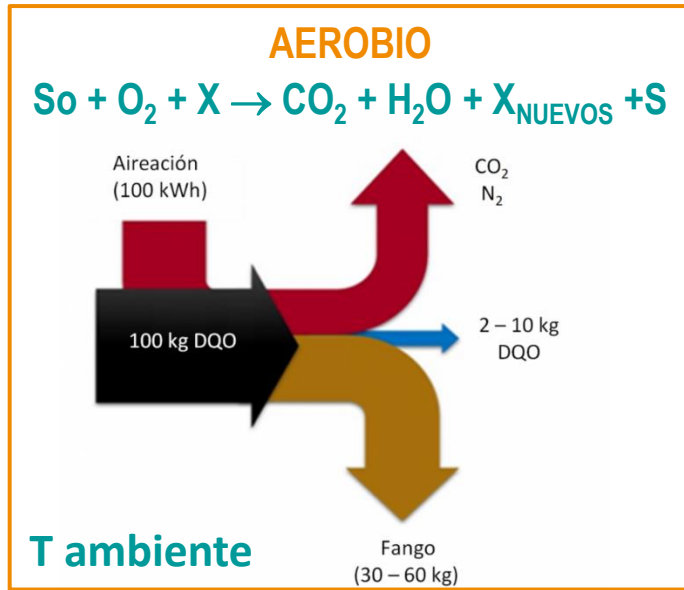


SÓLIDO

M.O. NO BIODEGRADABLE

PROBLEMA

SOLUCIÓN



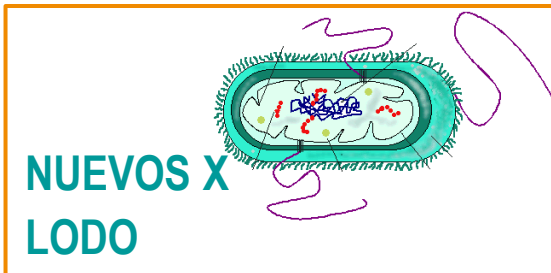
MasterClass
patrocinada por:



**PRINCIPIO DE
CONSERVACIÓN
DE LA MATERIA**

AEROBIO → CO₂ + H₂O
ANAEROBIO → CO₂ + CH₄

GAS

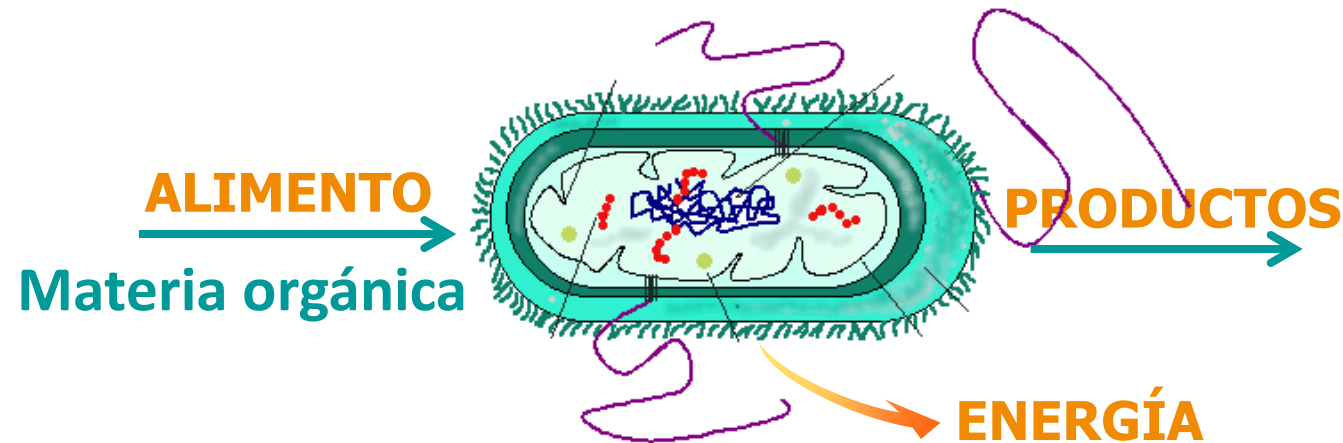


SÓLIDO

M.O. NO BIODEGRADABLE

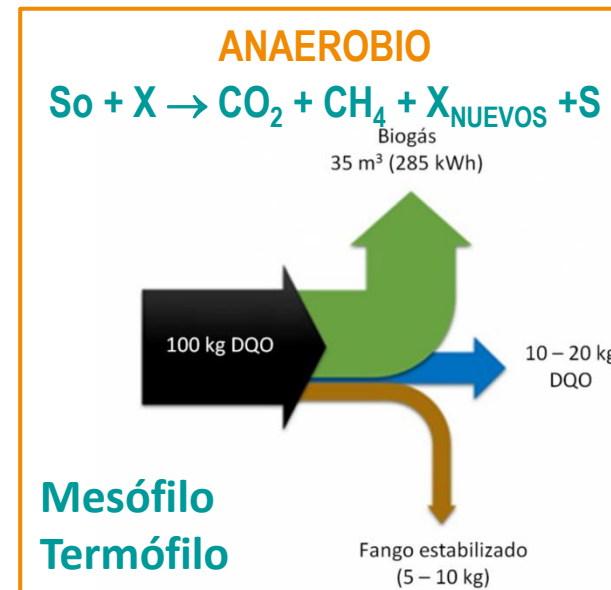
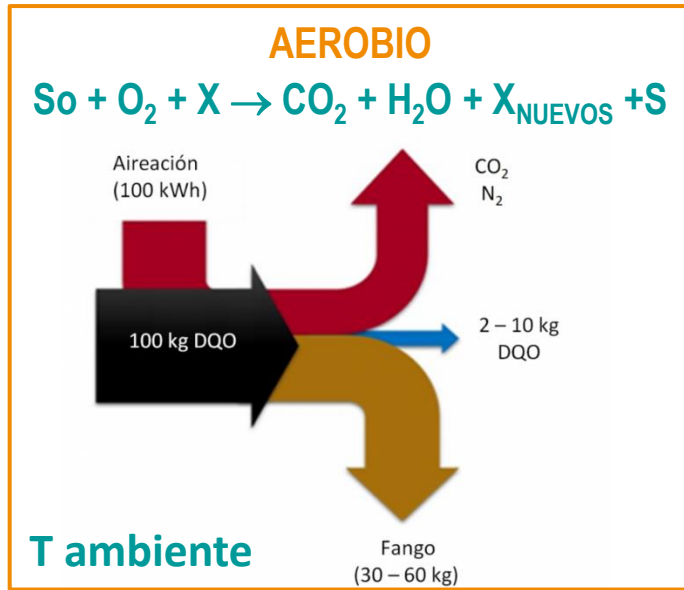
**PROCESOS
BIOLÓGICOS**

**DEGRADACIÓN (OXIDACIÓN) DE LA MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE
POR ACCIÓN DE MICROORGANISMOS (X)
QUE UTILIZAN LA MO COMO SUSTRATO (S) O FUENTE DE ALIMENTO
PARA OBTENER ENERGÍA.**



PROBLEMA

SOLUCIÓN



MasterClass
patrocinada por:



**CADA PROCESO TIENE SU CAMPO DE APLICACIÓN
MUCHAS VECES LOS DOS PROCESOS SE COMPLEMENTAN**

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

OBJETIVOS

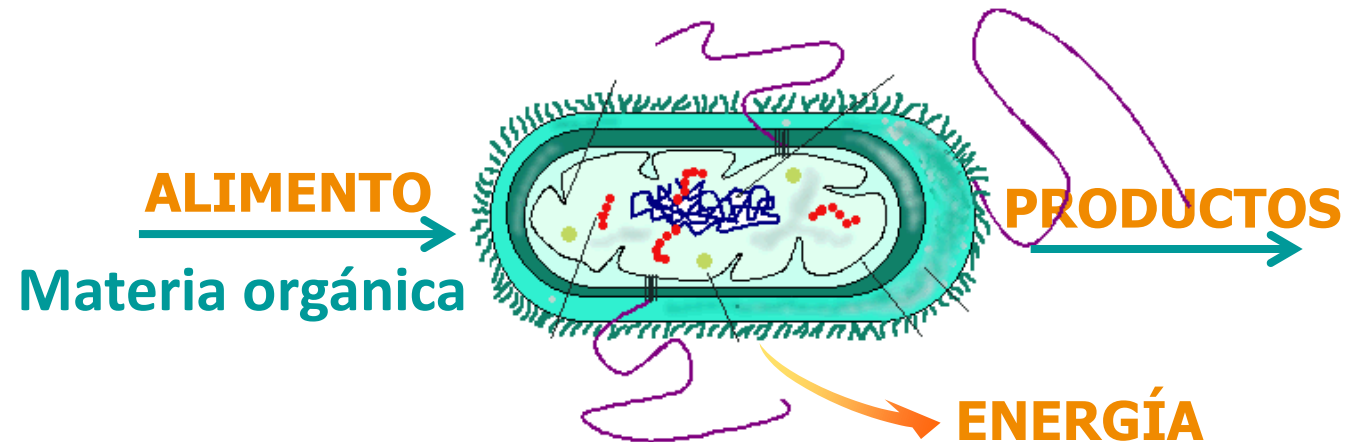
PROCESO ANAEROBIO

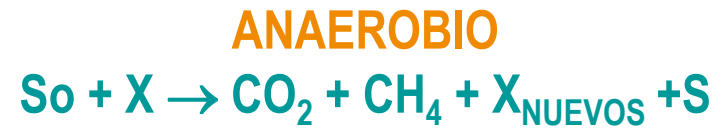
ELIMINACIÓN DE MO biodegradable
BUENOS RENDIMIENTOS
PROCESOS RÁPIDOS
MINIMIZACIÓN DE LODOS
MÁXIMA PRODUCCIÓN DE CH_4



CONOCER EL PROCESO
CONOCER A LOS 
CONDICIONES ÓPTIMAS

**PROCESOS
BIOLÓGICOS**





PROBLEMA

SOLUCIÓN

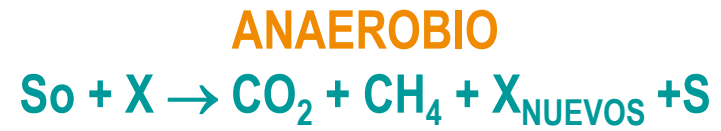
OBJETIVOS

PROCESO

MasterClass
patrocinada por:



V/OGELSANG

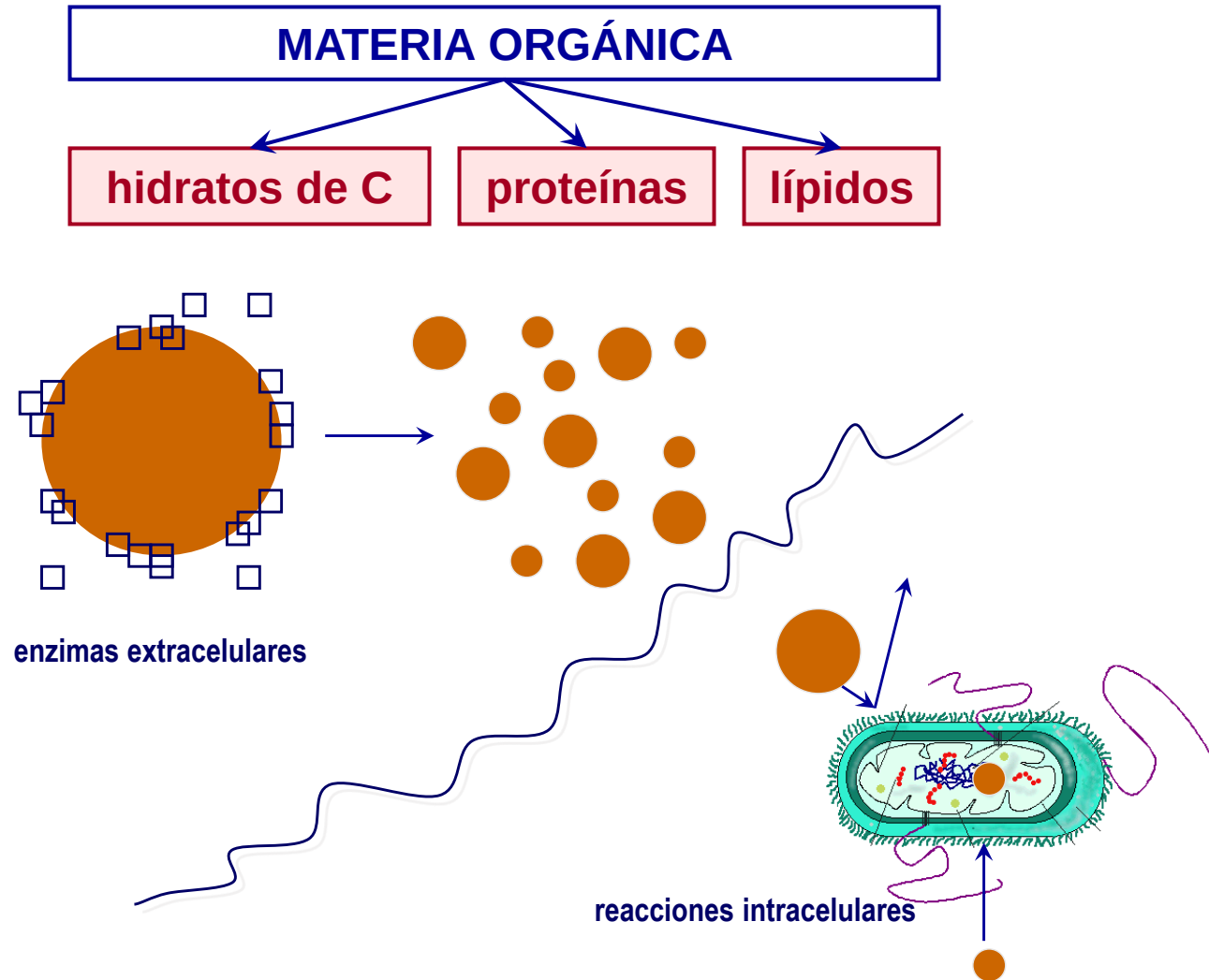


PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

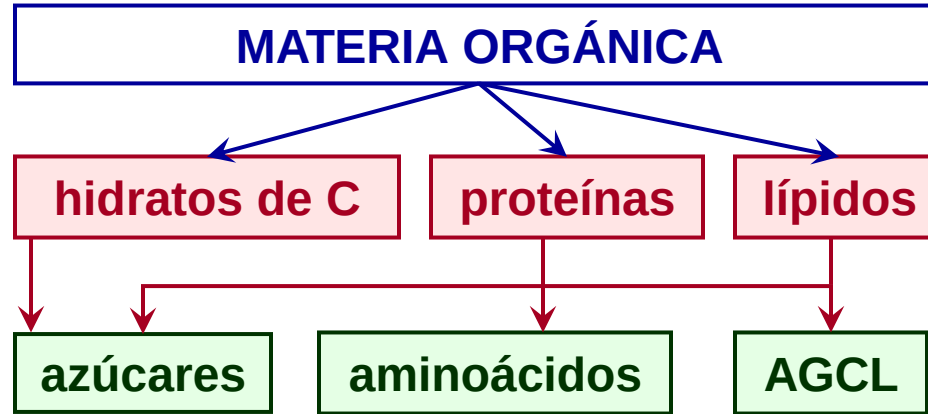


PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

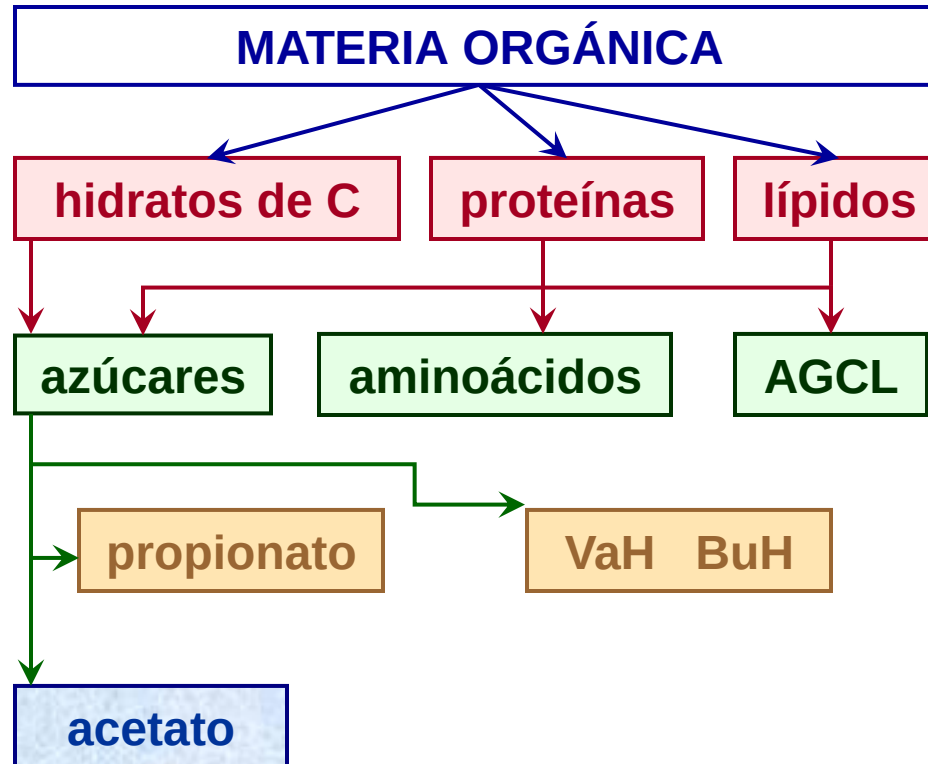


PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



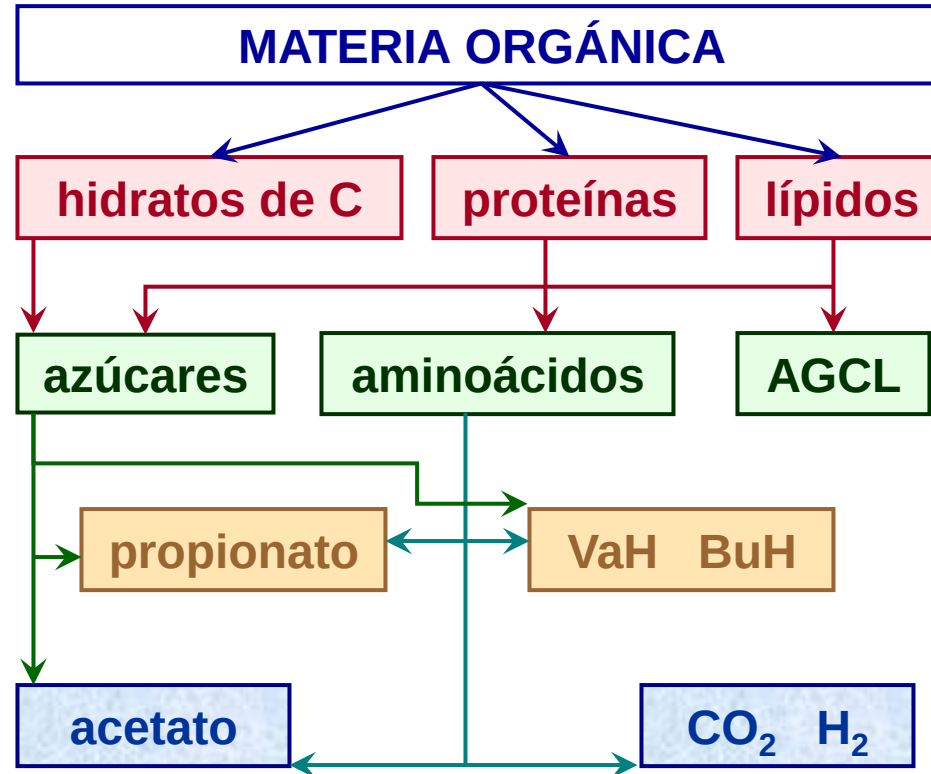
→ acidogénesis de azúcares

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



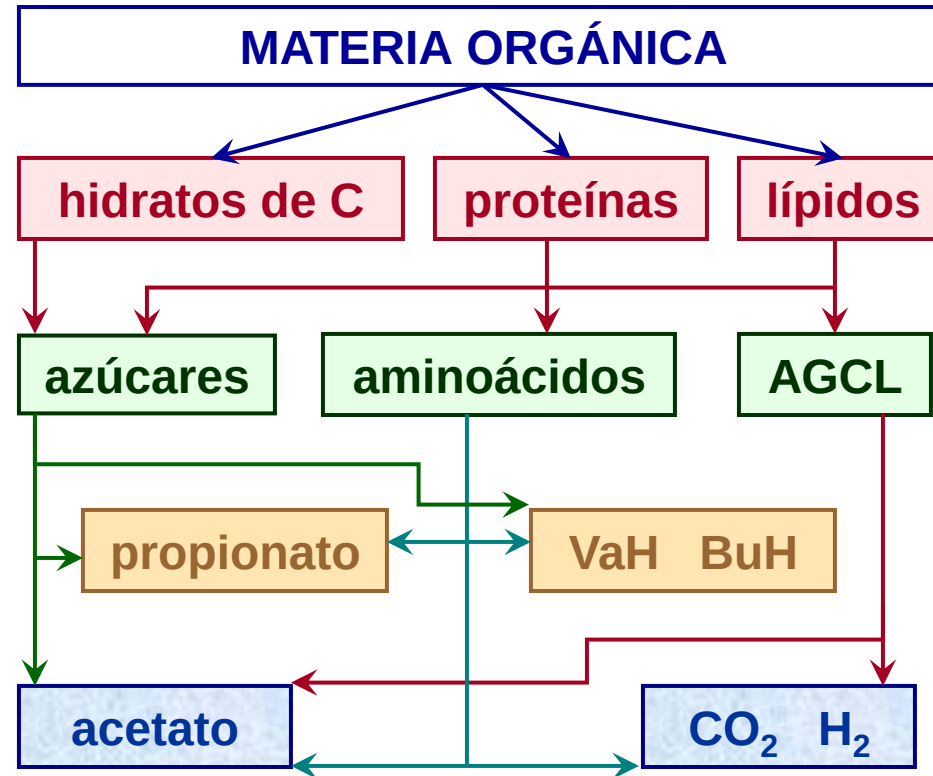
→ acidogénesis de azúcares
→ acidogénesis de aminoácidos

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



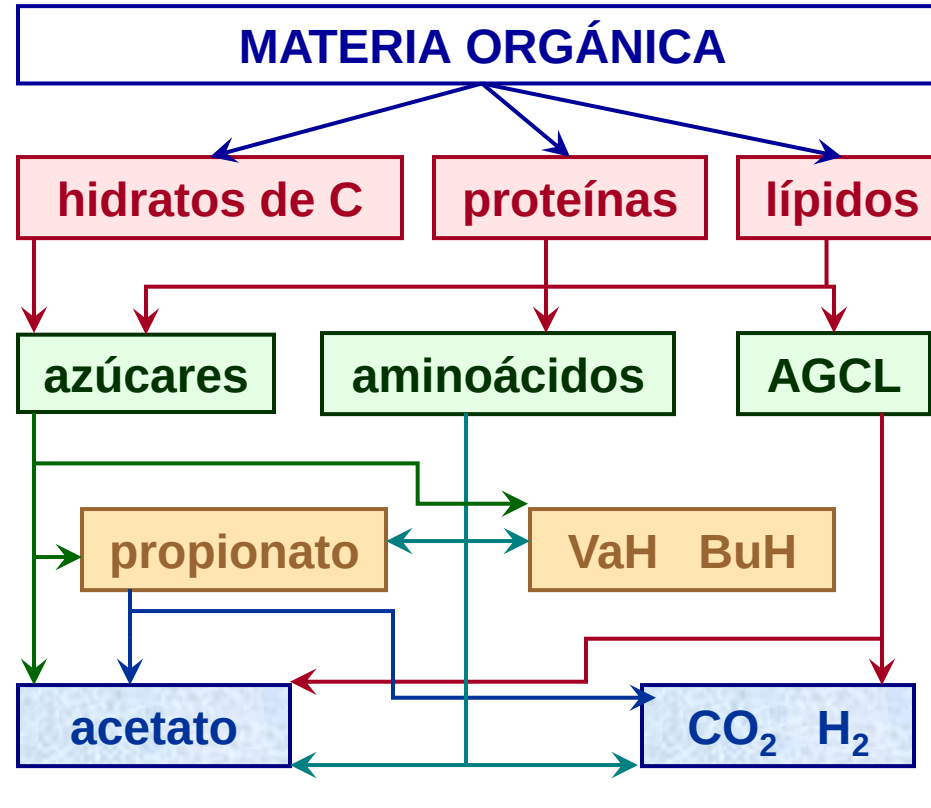
→ acidogénesis de azúcares
→ acidogénesis de aminoácidos
→ acetogénesis de AGCL

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



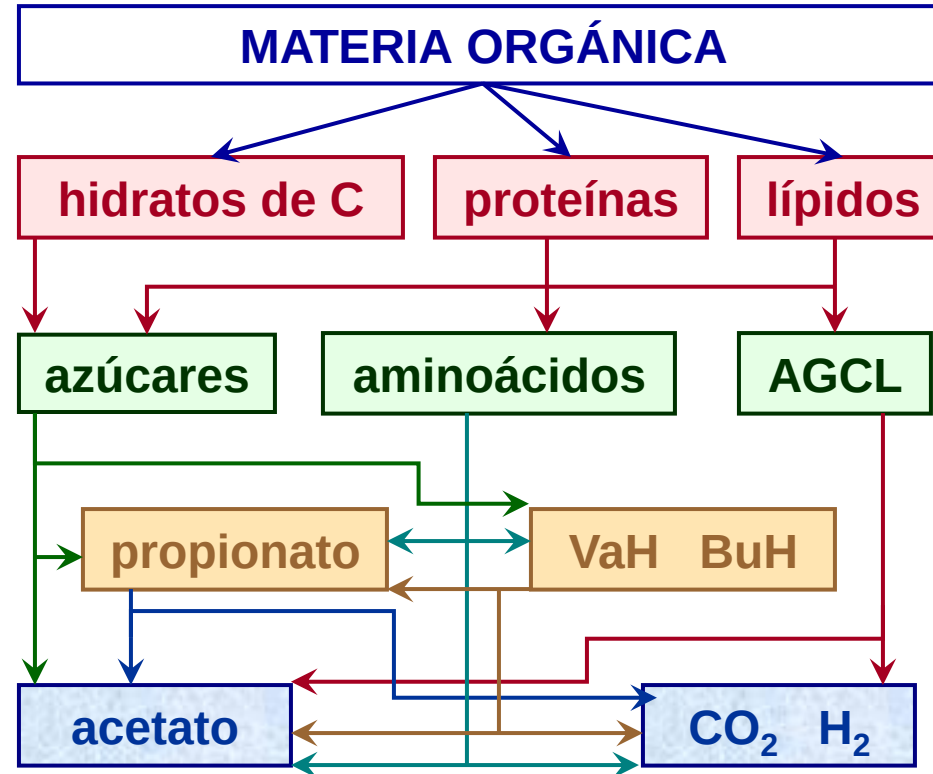
→ acidogénesis de azúcares
→ acidogénesis de aminoácidos
→ acetogénesis de AGCL
→ acetogénesis de propionato

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



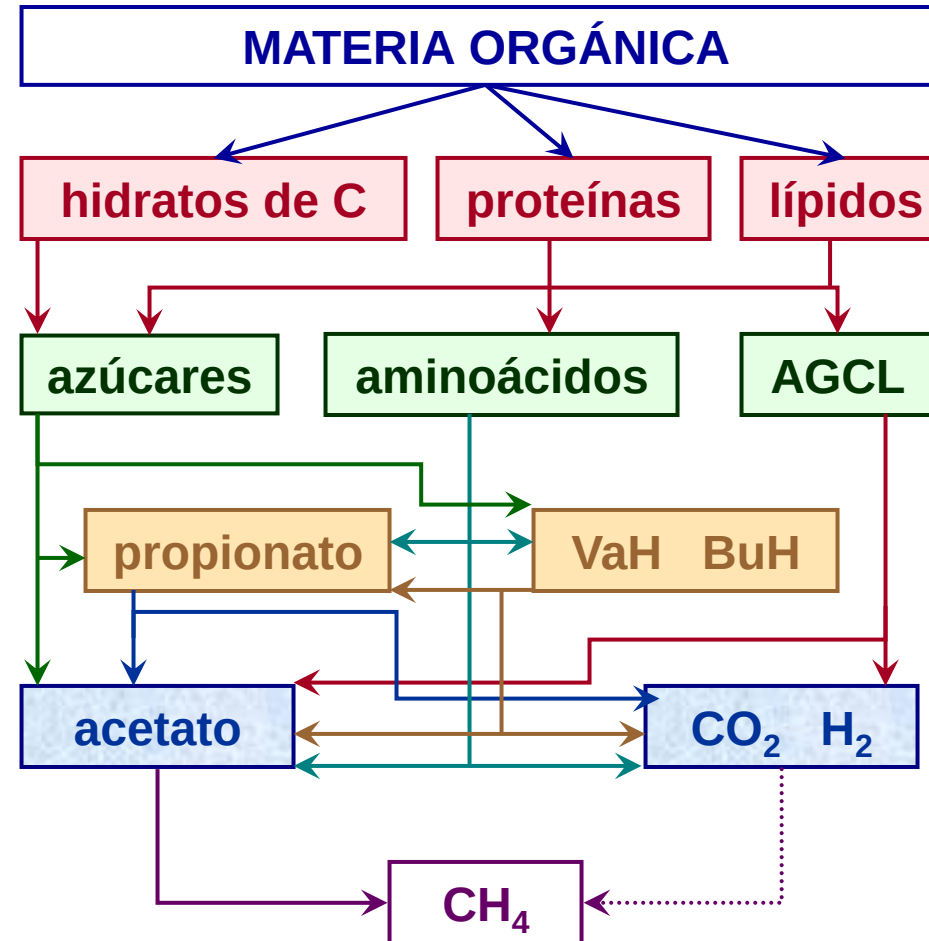
- acidogénesis de azúcares
- acidogénesis de aminoácidos
- acetogénesis de AGCL
- acetogénesis de propionato
- acetogénesis de VaH y BuH

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



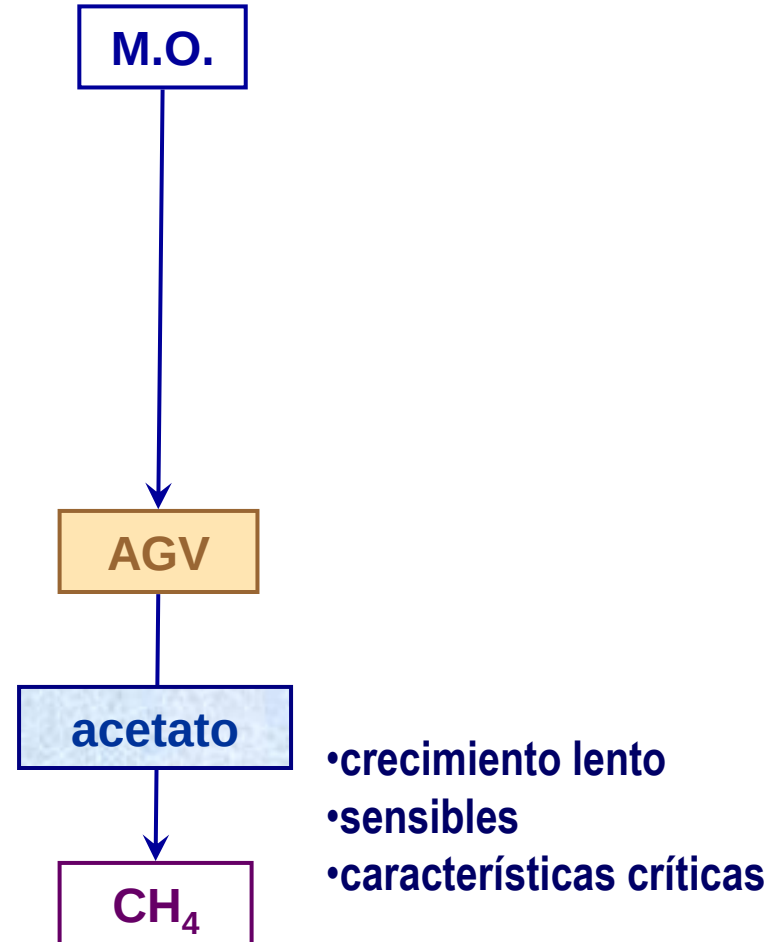
- acidogénesis de azúcares
- acidogénesis de aminoácidos
- acetogénesis de AGCL
- acetogénesis de propionato
- acetogénesis de VaH y BuH
- metanogénesis acetotrófica
- metanogénesis hidrogenotróf.

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

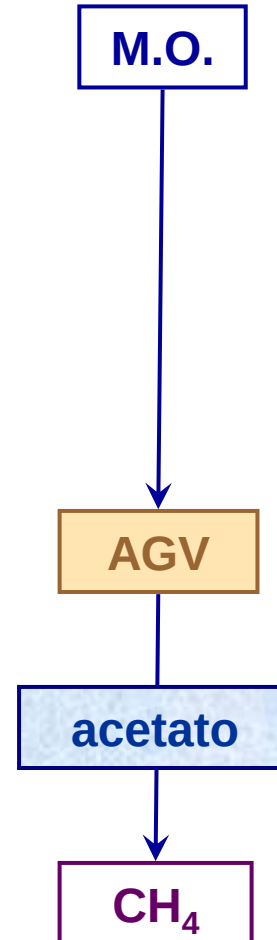


PROBLEMA

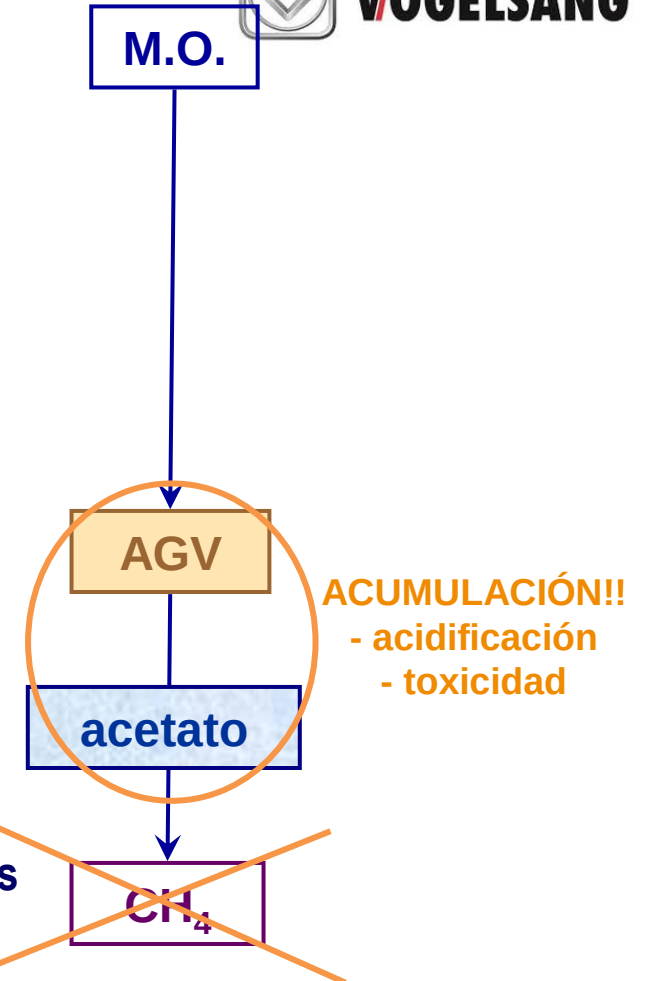
SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO



- crecimiento lento
- sensibles
- características críticas



CUANTIFICACIÓN (X)

SV, SSV, SSVLM (mg/L)

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

MasterClass
patrocinada por:



V/OGELSANG

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

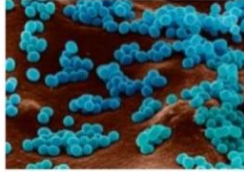
PROCESO

MICROORGANISMOS

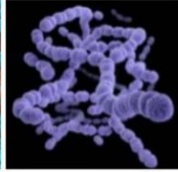
CUANTIFICACIÓN (X)

SV, SSV, SSVLM (mg/L)

FORMA



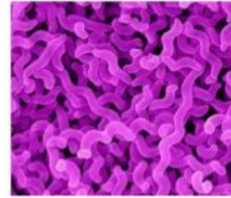
cocos



bacilos



vibrios



espirilos

MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

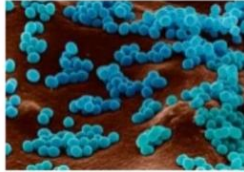
CUANTIFICACIÓN (X)

SV, SSV, SSVLM (mg/L)

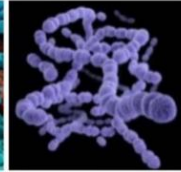
MasterClass
patrocinada por:



FORMA



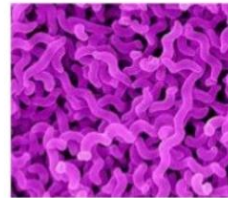
cocos



bacilos



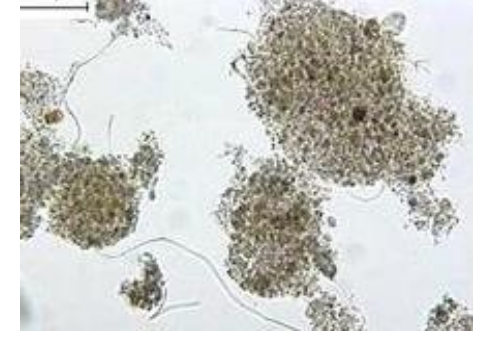
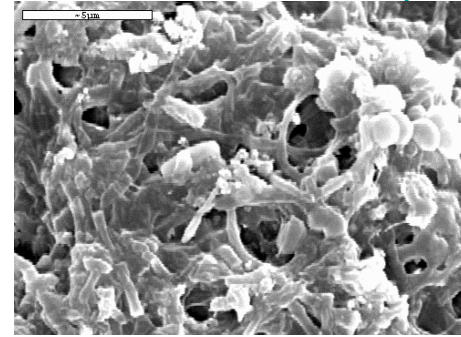
vibrios



espirilos

AGRUPACIÓN

cultivos en suspensión
biopelícula



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

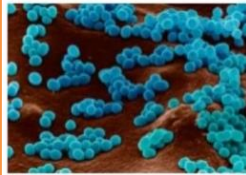
PROCESO

MICROORGANISMOS

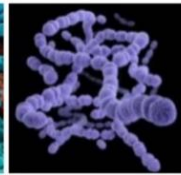
CUANTIFICACIÓN (X)

SV, SSV, SSVLM (mg/L)

FORMA



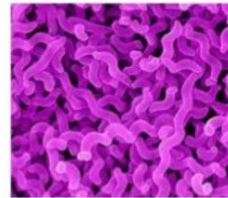
cocos



bacilos



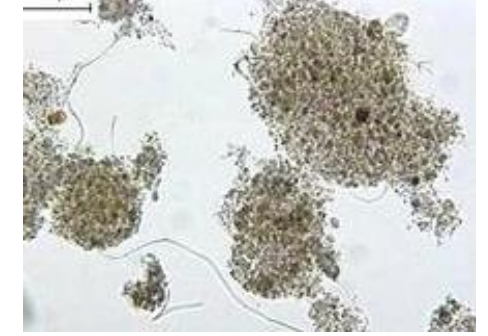
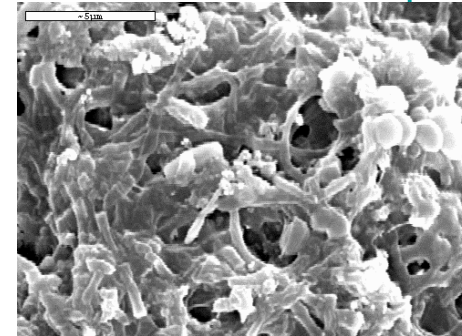
vibrios



espirilos

AGRUPACIÓN

cultivos en suspensión
biopelícula



COMPOSICIÓN

25% MS + 75% agua

ORGÁNICO 90%

INORGÁNICO 10%

TODOS ESTOS ELEMENTOS
DEBEN ESTAR PRESENTES EN
LA "DIETA" DE LOS
MICROORGANISMOS

45-55 % C

22-28 % O

8-13 % N

5-7 % H

P (3%), S (1%), K (1%), Na
(1%), Ca (0.5%), Mg (0.5%), Cl
(0.5%), Fe (0.2%) metales traza
Cu, Mn, Mo, Co, Zn (0.3%)

$C_5H_7NO_2$

(53% C, 12.4% N)

PROBLEMA

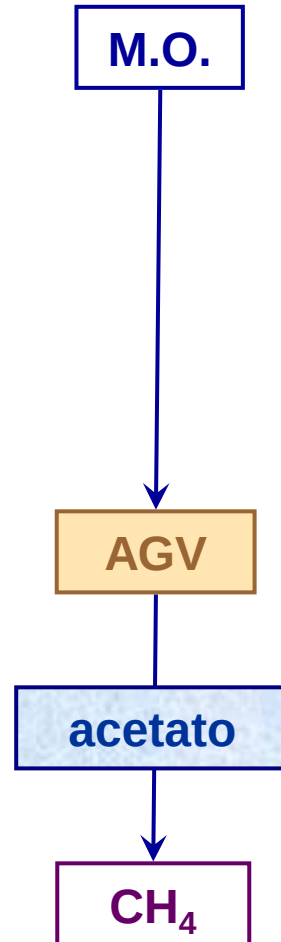
SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS



- crecimiento lento
- sensibles
- características críticas



PROBLEMA

SOLUCIÓN

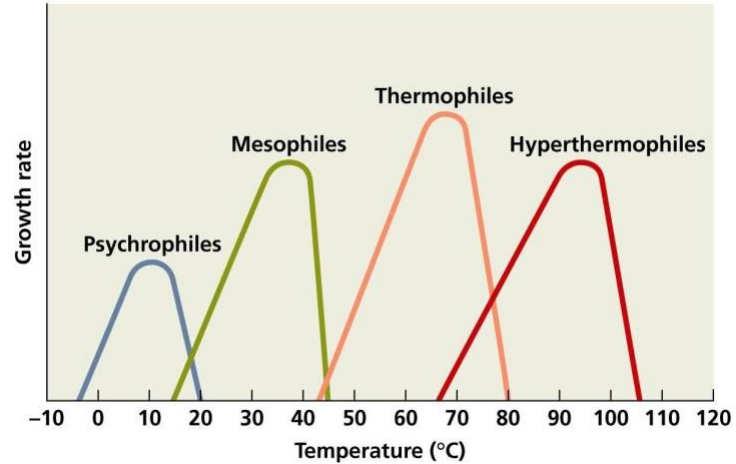
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

TEMPERATURA



- La tasa de crecimiento se duplica por cada 10°C
- A temperatura mayor que la óptima se destruyen las enzimas.
- Mayor temperatura → mayor velocidad de degradación → menor volumen
- Anaerobio: muy importante por el lento crecimiento.

Procesos aerobios: mesófilos a T ambiente

Procesos anaerobios: **mesófilos** (35°C) o **termófilos** (55°C)

Peña M., do Nascimento T., Gouveia J., Escudero J., Gómez A., Letona A., Arrieta J., Fdz-Polanco F. (2019)
Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating municipal wastewater at ambient temperature:
Operation and potential use for agricultural irrigation
Bioresource Technology 282, 285 - 293

PROBLEMA

SOLUCIÓN

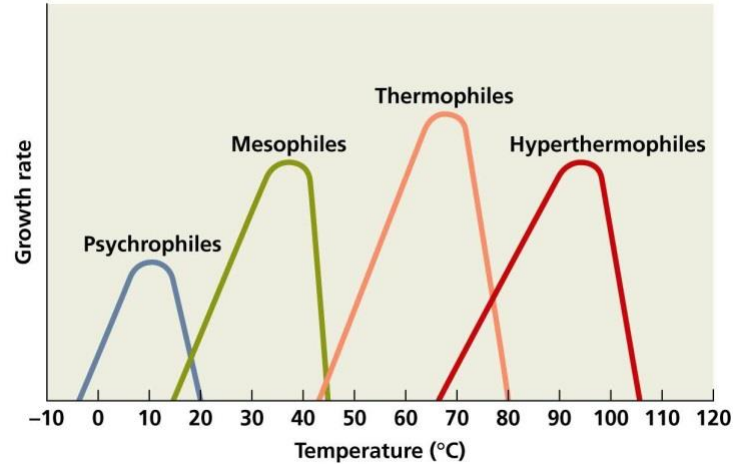
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

TEMPERATURA



- La tasa de crecimiento se duplica por cada 10°C
- A temperatura mayor que la óptima se destruyen las enzimas.
- Mayor temperatura → mayor velocidad de degradación → menor volumen
- Anaerobio: muy importante por el lento crecimiento.

Procesos aerobios: mesófilos a T ambiente

Procesos anaerobios: **mesófilos** (35°C) o **termófilos** (55°C)

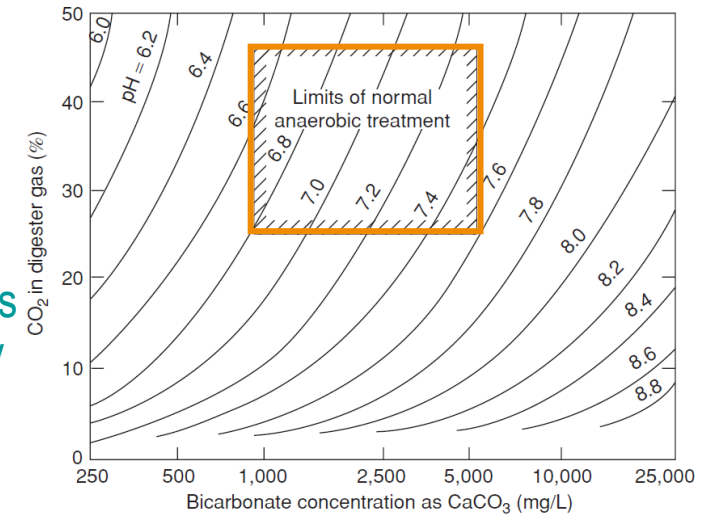
Peña M., do Nascimento T., Gouveia J., Escudero J., Gómez A., Letona A., Arrieta J., Fdz-Polanco F. (2019)
Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating municipal wastewater at ambient temperature:
Operation and potential use for agricultural irrigation
Bioresource Technology 282, 285 - 293

pH

6.6-7.6 problemas de acidificación

ALCALINIDAD

Capacidad del agua para neutralizar ácidos
Concentración de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de un agua (mg CaCO₃/L)



PROBLEMA

SOLUCIÓN

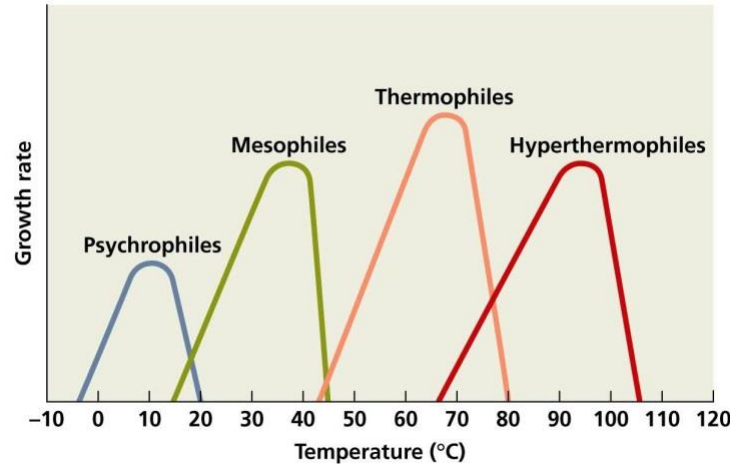
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

TEMPERATURA



- La tasa de crecimiento se duplica por cada 10°C
- A temperatura mayor que la óptima se destruyen las enzimas.
- Mayor temperatura → mayor velocidad de degradación → menor volumen
- Anaerobio: muy importante por el lento crecimiento.

Procesos aerobios: mesófilos a T ambiente

Procesos anaerobios: **mesófilos** (35°C) o **termófilos** (55°C)

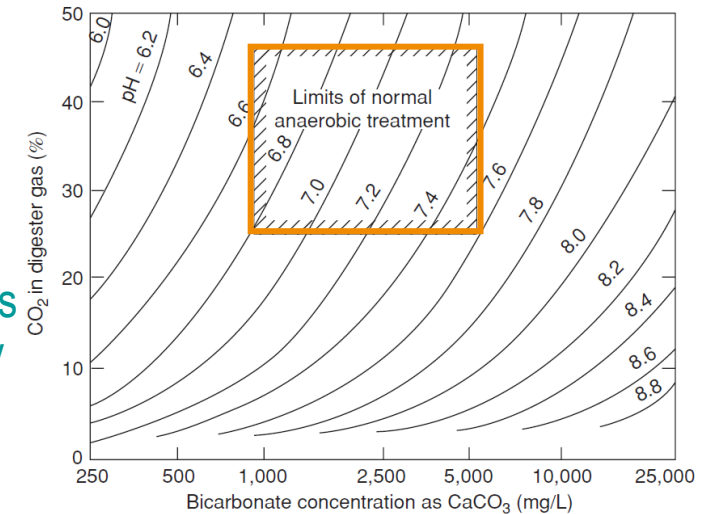
Peña M., do Nascimento T., Gouveia J., Escudero J., Gómez A., Letona A., Arrieta J., Fdz-Polanco F. (2019)
Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating municipal wastewater at ambient temperature:
Operation and potential use for agricultural irrigation
Bioresource Technology 282, 285 - 293

pH

6.6-7.6 problemas de acidificación

ALCALINIDAD

Capacidad del agua para neutralizar ácidos
Concentración de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de un agua (mg CaCO₃/L)



NUTRIENTES

C₅H₇NO₂
(53% C, 12.4% N)

MACRONUTRIENTES N (12,4% del peso de X), P (2% del peso de X), S, K, Na

Alta carga (0.8–1.2 kg DQO/kg SSV·d)

DQO/N/P = 350/7/1

Baja carga (<0.5 kg DQO/kg SSV·d)

DQO/N/P = 1000/7/1

MICRONUTRIENTES

Fe, Co, Ni, Zn, Cu, Mn, Mo, Se, B

MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

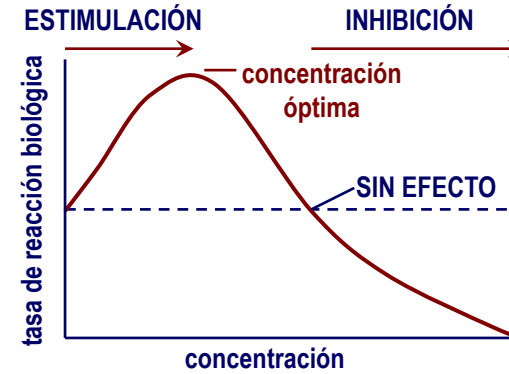
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

INHIBIDORES

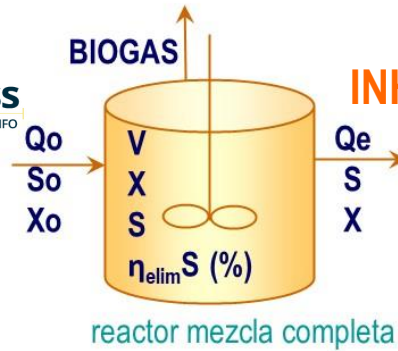
Sales
Amoníaco
Sulfuro
Metales
Tóxicos orgánicos



Ammonia-N (mg/L)	Effects
50–100	Beneficial
200–1,000	No adverse effect
1,500–3,000	Inhibitory effect at higher pH values
Above 3,000	Toxic

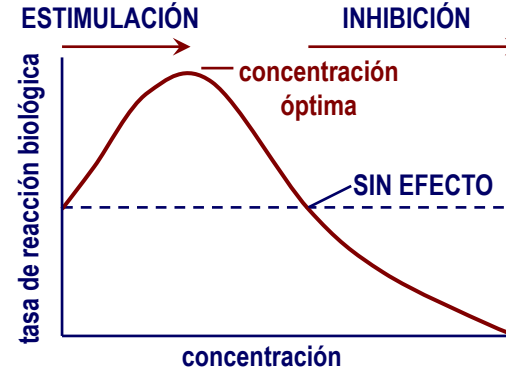
MasterClass
patrocinada por:





INHIBIDORES

Sales
Amoniaco
Sulfuro
Metales
Tóxicos orgánicos



Ammonia-N (mg/L)	Effects
50–100	Beneficial
200–1,000	No adverse effect
1,500–3,000	Inhibitory effect at higher pH values
Above 3,000	Toxic

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

CARGA Relación entre materia orgánica que se puede alimentar diariamente al reactor y:

- volumen reactor

$$CV = \frac{Q_o \cdot S_o}{V} \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{alimentada}}}{\text{m}^3_{\text{reactor}} \cdot \text{d}} \right)$$

- microorganismos

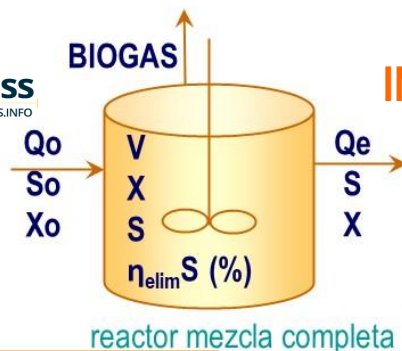
$$\frac{F}{M} = \frac{Q_o \cdot S_o}{X \cdot V} \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{alimentada}}}{\text{kg } X_{\text{reactor}} \cdot \text{d}} \right)$$

SOBRECARGA
BAJA CARGA



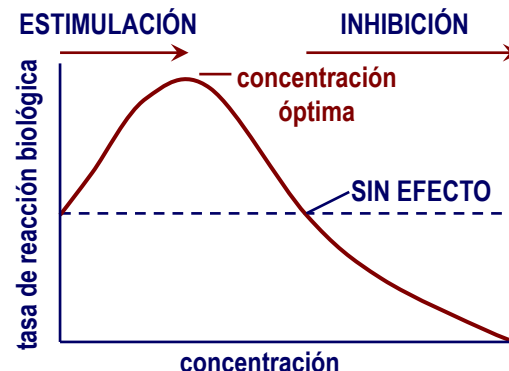
CARGA
ÓPTIMA

Permite calcular el volumen del reactor



INHIBIDORES

Sales
Amoniaco
Sulfuro
Metales
Tóxicos orgánicos



Ammonia-N (mg/L)	Effects
50–100	Beneficial
200–1,000	No adverse effect
1,500–3,000	Inhibitory effect at higher pH values
Above 3,000	Toxic

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

CARGA

Relación entre materia orgánica que se puede alimentar diariamente al reactor y:

- volumen reactor

$$CV = \frac{Q_o \cdot S_o}{V} \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{alimentada}}}{\text{m}^3_{\text{reactor}} \cdot \text{d}} \right)$$

- microorganismos

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_o \cdot S_o}{X \cdot V} \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{alimentada}}}{\text{kg } X_{\text{reactor}} \cdot \text{d}} \right)$$

SOBRECARGA
BAJA CARGA

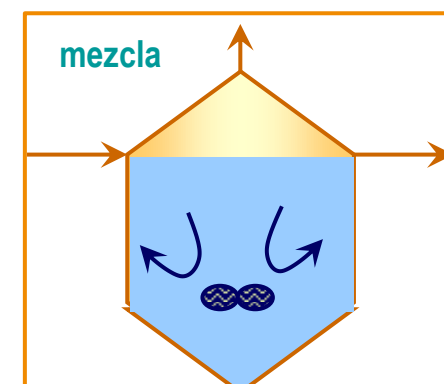
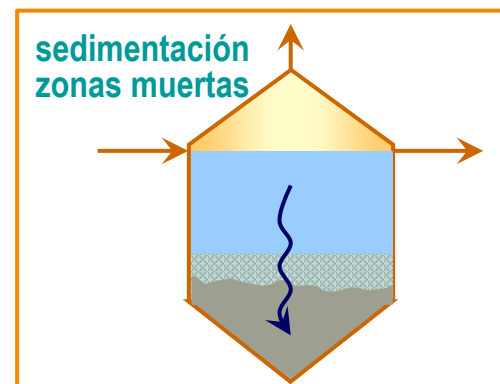


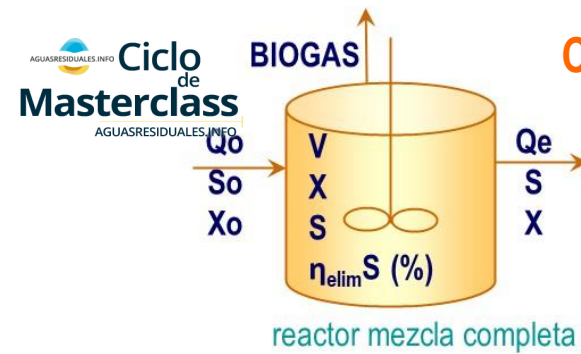
CARGA
ÓPTIMA

Permite calcular el
volumen del reactor

MEZCLA

temperatura y condiciones homogéneas
distribución de nutrientes
mejora el contacto
evita sedimentación
evita zonas muertas





CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS (X)

La concentración de microorganismos en el reactor biológico (X) se cuantifica como SSV (mg SSV/L)

IMPORTANTE: mantener la concentración de X CONSTANTE en el reactor.

ELEVADA CONCENTRACIÓN DE X:

- Mayor carga
- Menor volumen del reactor



PARÁMETRO IMPORTANTE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

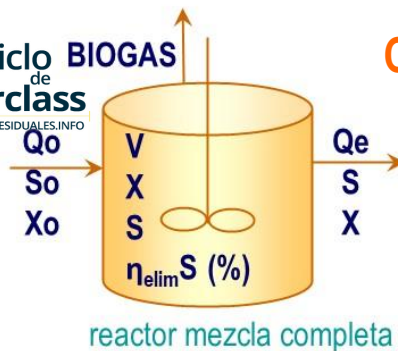
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

MasterClass
patrocinada por:





CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS (X)

La concentración de microorganismos en el reactor biológico (X) se cuantifica como SSV (mg SSV/L)

IMPORTANTE: mantener la concentración de X CONSTANTE en el reactor.

ELEVADA CONCENTRACIÓN DE X:

- Mayor carga
- Menor volumen del reactor



**PARÁMETRO IMPORTANTE EN LA
OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO**

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

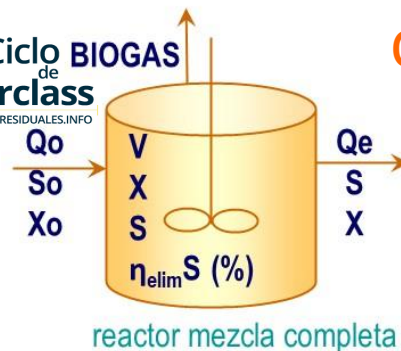
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

RENDIMIENTO CELULAR

$$Y \sim 0,05 \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}} \right)$$



CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS (X)

La concentración de microorganismos en el reactor biológico (X) se cuantifica como SSV (mg SSV/L)

IMPORTANTE: mantener la concentración de X CONSTANTE en el reactor.

ELEVADA CONCENTRACIÓN DE X:

- Mayor carga
- Menor volumen del reactor



PARÁMETRO IMPORTANTE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

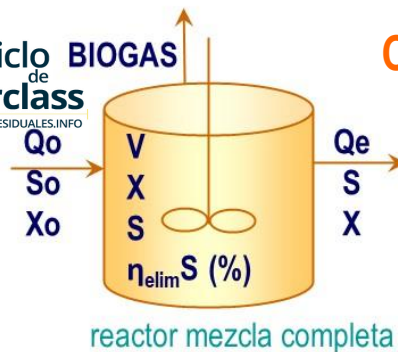
RENDIMIENTO CELULAR

$$Y \sim 0,05 \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}} \right)$$

PRODUCCIÓN DE MICROORGANISMOS (Px)

$$P_x = Y \cdot Q_o \cdot S_o \cdot \eta_{\text{elim}} \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{d} \right)$$

Permite calcular la purga



CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS (X)

La concentración de microorganismos en el reactor biológico (X) se cuantifica como SSV (mg SSV/L)

IMPORTANTE: mantener la concentración de X CONSTANTE en el reactor.

ELEVADA CONCENTRACIÓN DE X:

- Mayor carga
- Menor volumen del reactor



PARÁMETRO IMPORTANTE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

RENDIMIENTO CELULAR

$$Y \sim 0,05 \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}} \right)$$

PRODUCCIÓN DE MICROORGANISMOS (Px)

$$P_x = Y \cdot Q_o \cdot S_o \cdot \eta_{\text{elim}} \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{d} \right)$$

Permite calcular la purga

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO (HRT)

Es el tiempo que permanece el agua/lodo en el reactor.

HRT insuficiente → mala eliminación

HRT elevado → volumen muy grande

$$\text{HRT} = \frac{V_{\text{reactor}}}{Q_o}$$

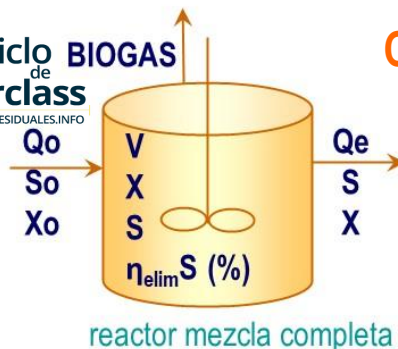
Permite calcular el volumen del reactor

**VALOR
ÓPTIMO**

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG



CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS (X)

La concentración de microorganismos en el reactor biológico (X) se cuantifica como SSV (mg SSV/L)

IMPORTANTE: mantener la concentración de X CONSTANTE en el reactor.

ELEVADA CONCENTRACIÓN DE X:

- Mayor carga
- Menor volumen del reactor



PARÁMETRO IMPORTANTE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

RENDIMIENTO CELULAR

$$Y \sim 0,05 \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}} \right)$$

PRODUCCIÓN DE MICROORGANISMOS (Px)

$$P_x = Y \cdot Q_o \cdot S_o \cdot \eta_{\text{elim}} \left(\frac{\text{kg } X_{\text{generados}}}{d} \right)$$

Permite calcular la purga

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO (HRT)

Es el tiempo que permanece el agua/lodo en el reactor.

HRT insuficiente → mala eliminación

HRT elevado → volumen muy grande

$$HRT = \frac{V_{\text{reactor}}}{Q_o}$$

Permite calcular el volumen del reactor

La selección de la tecnología se basa en la necesidad de mantener una relación SRT/HRT alta para evitar el "lavado" de metanogénicas (crecimiento lento)

TIEMPO DE RETENCIÓN SÓLIDOS/CELULAR – EDAD (SRT)

X muy "joven" poco activo → bajo rendimiento

X muy "viejo" poco activo → bajo rendimiento

$$SRT = \frac{X_{\text{reactor}}}{P_x}$$

La purga permite mantener una edad y una X

VALOR
ÓPTIMO

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

CRITERIOS DE DIMENSIONADO

$$HRT = \frac{V}{Q_0}$$

Permite calcular el volumen del reactor

$$CV = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V}$$

Permite calcular el volumen del reactor

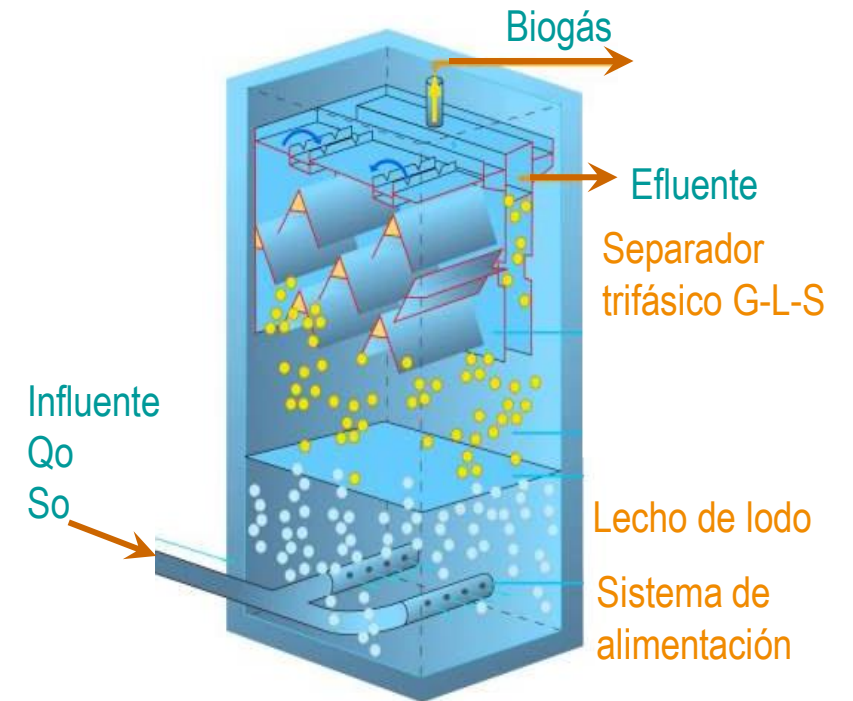
EJEMPLO UASB

CV (Kg DQO/m³.d) 2 < CV < 12

HRT (h) 4 < HRT < 12

Cumplir ambos simultáneamente

Adoptar el más restrictivo CV menor o HRT mayor



VALORES  **dependen del sustrato y de la tecnología**

1.- AGUA RESIDUAL

CV (kg DQO/m ³ _{reactor} ·d)	SSV (mg SSV/L)	F/M (kg DQO/kg SSV·d)	SRT (d)	HRT (h)	% DQO
10-30	10000	1-3	4-10	5-24	80-90

relación SRT/HRT alta
para evitar el “lavado”
de metanogénicas

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

MasterClass
patrocinada por:



MATERIA ORGÁNICA = DQO

VALORES  **dependen del sustrato y de la tecnología**

MasterClass
patrocinada por:



MATERIA ORGÁNICA = DQO

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

1.- AGUA RESIDUAL

CV (kg DQO/m ³ _{reactor} ·d)	SSV (mg SSV/L)	F/M (kg DQO/kg SSV·d)	SRT (d)	HRT (h)	% DQO
10-30	10000	1-3	4-10	5-24	80-90

relación SRT/HRT alta
para evitar el “lavado”
de metanogénicas

2.- LODO

Component	Remarks
Seed inocula	Anaerobically digested sludge or biomass from a digester treating similar waste streams
Start-up	Feed rate at 20% of the design volatile solids loading capacity for the first 20 days; gradual increase in the loading rate between 30 and 40 days; start-up time 30–40 days (seed available), or 60–90 days (without seed available)
Important monitoring parameters	pH, alkalinity, volatile organic acids, and biogas production rate
HRT (or SRT)	15–30 days (high-rate digester); 30–60 days (low-rate digester)
Alkalinity	1,500–3,000 mg/L as CaCO ₃
VFA/ALK (alkalinity) ratio	0.1–0.2 for a healthy digester
Volatile solids loading rate	1.6–4.8 kg/m ³ ·day (100–300 lb/1,000 ft ³ ·day)
Biogas production rate	0.75–1.12 m ³ /kg VS _{removed} (12–18 ft ³ /lb VS _{removed})
Biogas composition	55–70% CH ₄ and 25–35% CO ₂

PRETRATAMIENTOS 

MATERIA ORGÁNICA = SV

PROBLEMA

SOLUCIÓN

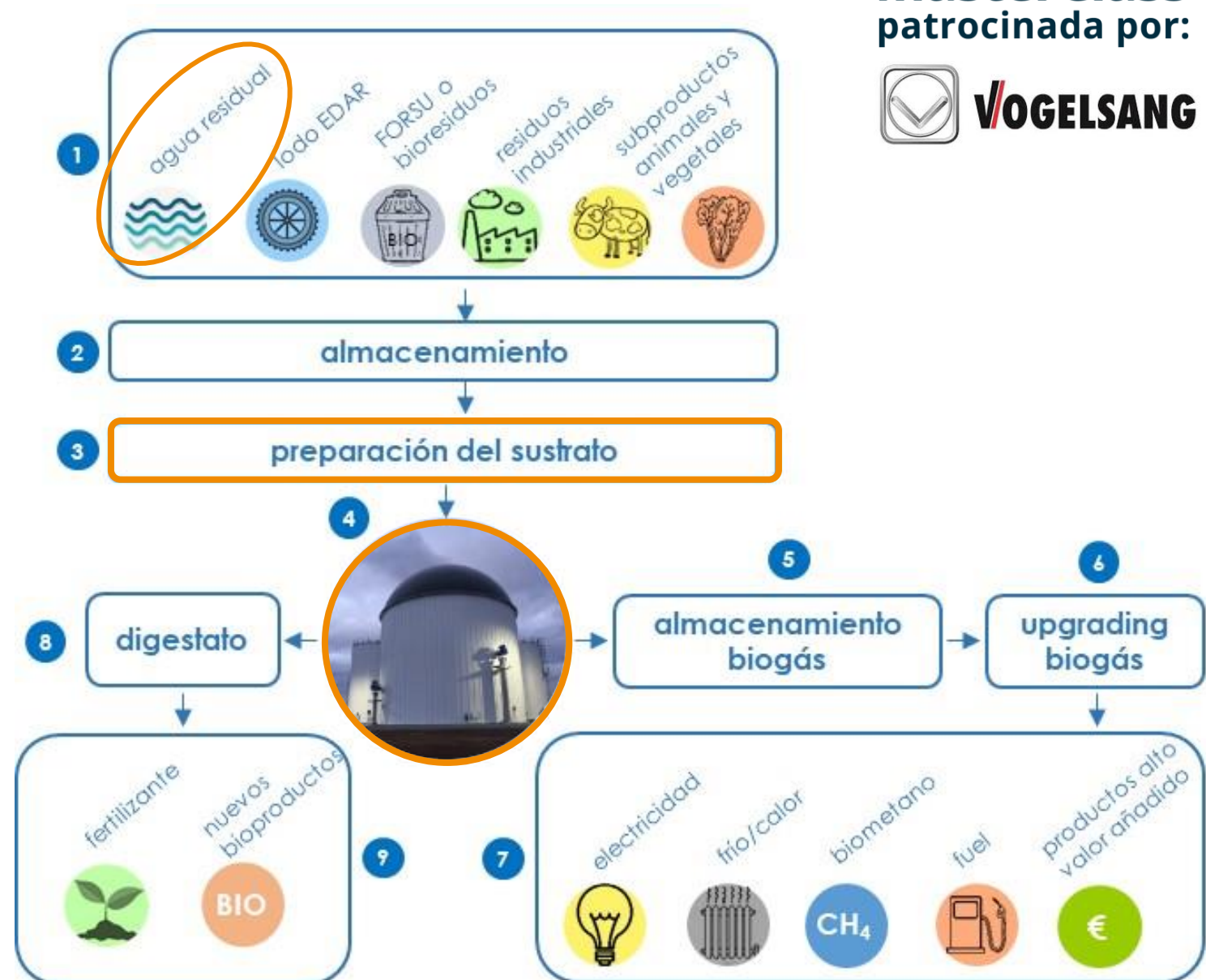
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

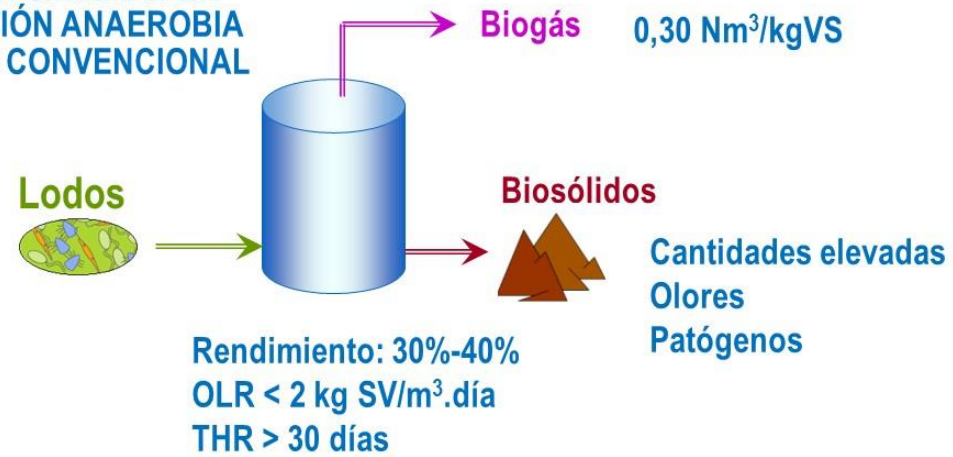
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

**PANORAMA GENERAL DE
LA DIGESTIÓN ANAEROBIA
DE LODOS CONVENCIONAL**



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

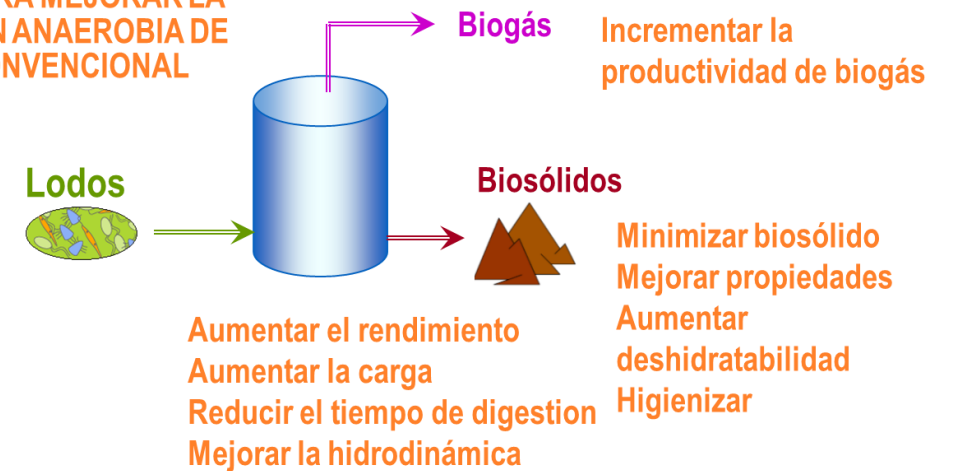
PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

**PANORAMA GENERAL DE
LA DIGESTIÓN ANAEROBIA
DE LODOS CONVENCIONAL**



**RETOS PARA MEJORAR LA
DIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS CONVENCIONAL**



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

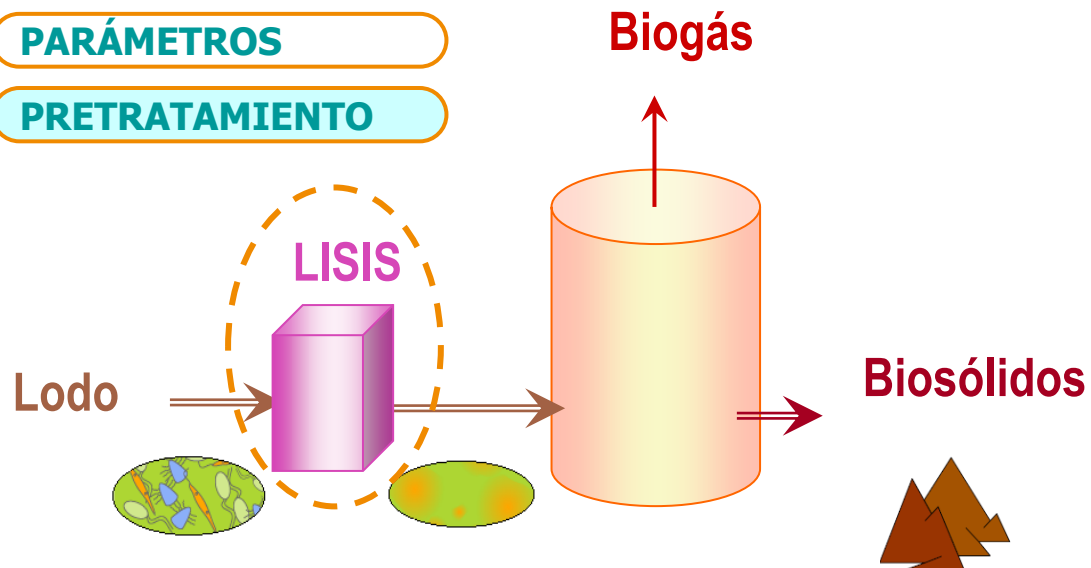
PROCESO

MICROORGANISMOS

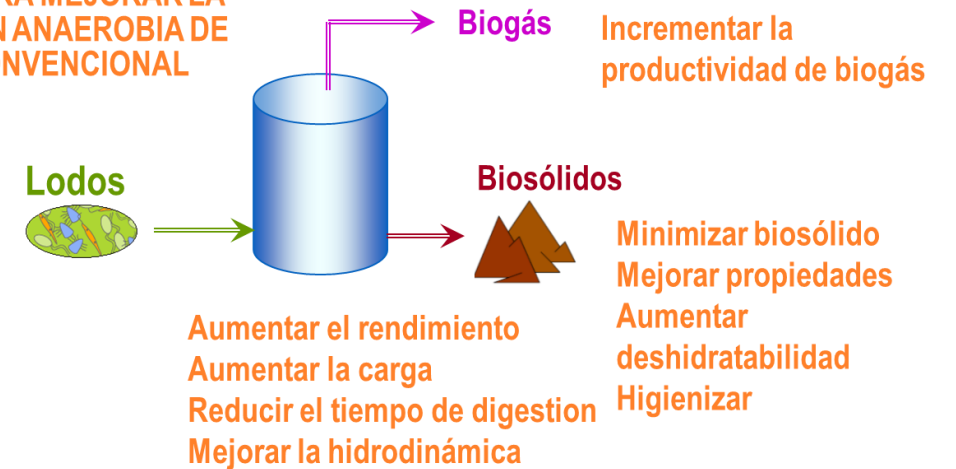
PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

PANORAMA GENERAL DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS CONVENCIONAL



RETOS PARA MEJORAR LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS CONVENCIONAL



PROBLEMA

SOLUCIÓN

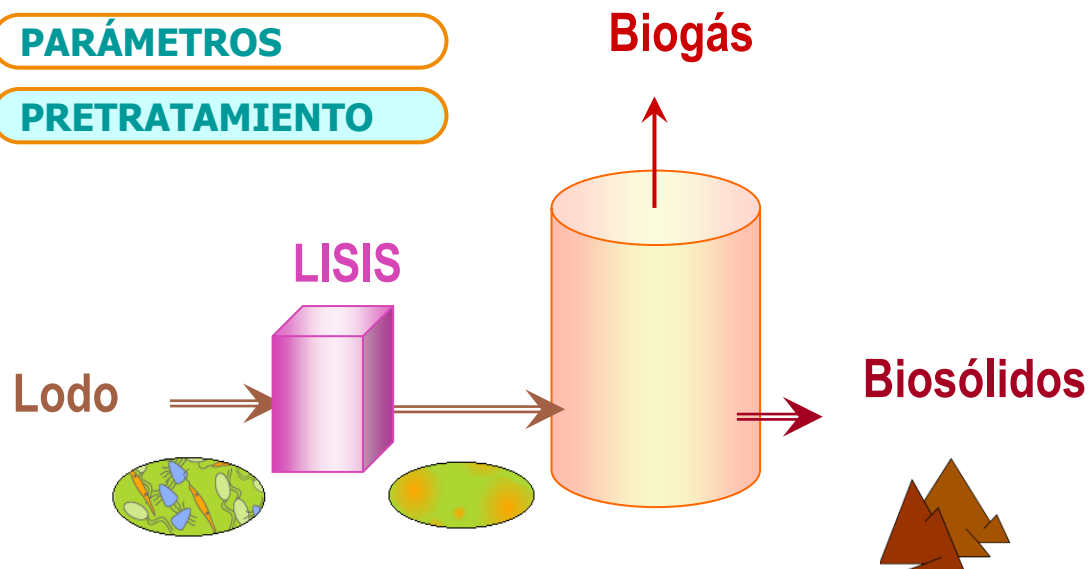
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



Procesos de pretratamiento previo a digestión anaerobia

TODAS LAS TECNOLOGÍAS REPORTADAS (I+D)

FÍSICOS	Mecánicos	Molienda por impacto
		Molinos de bolas agitados
		Pulsaciones de alto rendimiento
		Centrífuga Lysat
	Cavitación	Homogeneizador de alta presión
		Desintegradores de ultrasonidos
	Térmicos	Hidrólisis térmica
		Congelación / descongelación
QUÍMICOS	Radiación	Irradiación con rayos gamma
	Hidrólisis ácida o alcalina	
		Ozono ó Peróxido de hidrógeno
BIOLÓGICOS	Enzimas hidrolíticas	

PROBLEMA

SOLUCIÓN

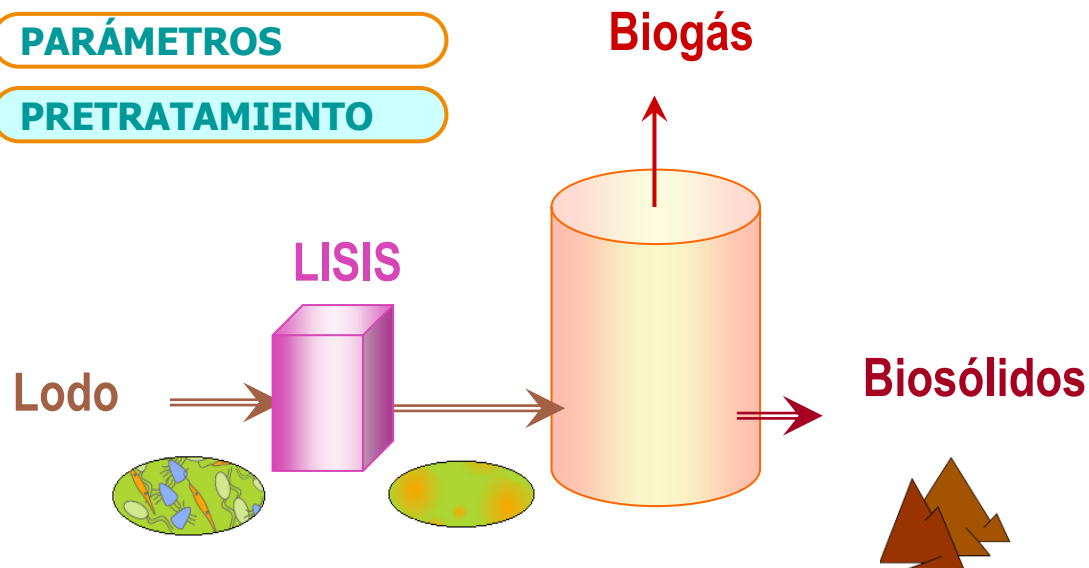
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



Procesos de pretratamiento previo a digestión anaerobia TECNOLOGÍAS COMERCIALES, A ESCALA REAL

FÍSICOS	Mecánicos	Molienda por impacto
		Molinos de bolas agitados
		Pulsaciones de alto rendimiento
		Centrífuga Lysat
	Cavitación	Homogeneizador de alta presión
		Desintegradores de ultrasonidos
	Térmicos	Hidrólisis térmica
		Congelación / descongelación
Radiación	Irradiación con rayos gamma	
QUÍMICOS	Hidrólisis ácida o alcalina	
	Ozono ó Peróxido de hidrógeno	
BIOLÓGICOS	Enzimas hidrolíticas	

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO	Rotura celular	Producción de biogás	Reducción de patógenos	Influencia sobre deshidratabilidad
Molinos de bolas agitados	-	-	-	-
Pulsaciones de alto rendimiento	-	-	-	-
Centrífuga Lysat	+	+	-	+
Homogeneizadores de alta presión	++	++	-	+
Desintegradores de ultrasonidos	++	++	+	-
Hidrólisis térmica	++	++	++	++
Pretratamiento enzimático	++	+	+	+

++ Positiva – muy alta
+ Positiva – alta
- Negativa

MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO	Rotura celular	Producción de biogás	Reducción de patógenos	Influencia sobre deshidratabilidad
Molinos de bolas agitados	-	-	-	-
Pulsaciones de alto rendimiento	-	-	-	-
Centrífuga Lysat	+	+	-	+
Homogeneizadores de alta presión	++	++	-	+
Desintegradores de ultrasonidos	++	++	+	-
Hidrólisis térmica	++	++	++	++
Pretratamiento enzimático	++	+	+	+

HIDRÓLISIS TÉRMICA – Iodos EDAR urbanas

ANDALUCIA

Copero, Ranilla, San Roque

GALICIA

Silvouta (Santiago Compostela), Orense, Vigo

BALEARES

Palma II

CASTILLA Y LEÓN

Burgos

VALENCIA

Pinedo

++ Positiva – muy alta
+ Positiva – alta
- Negativa

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG

HIDRÓLISIS TÉRMICA

Calentamiento del lodo manteniendo equilibrio líquido-vapor

Descompresión desde la presión de operación hasta presión atmosférica, lenta o súbitamente (“steam explosion”)

PROBLEMA

SOLUCIÓN

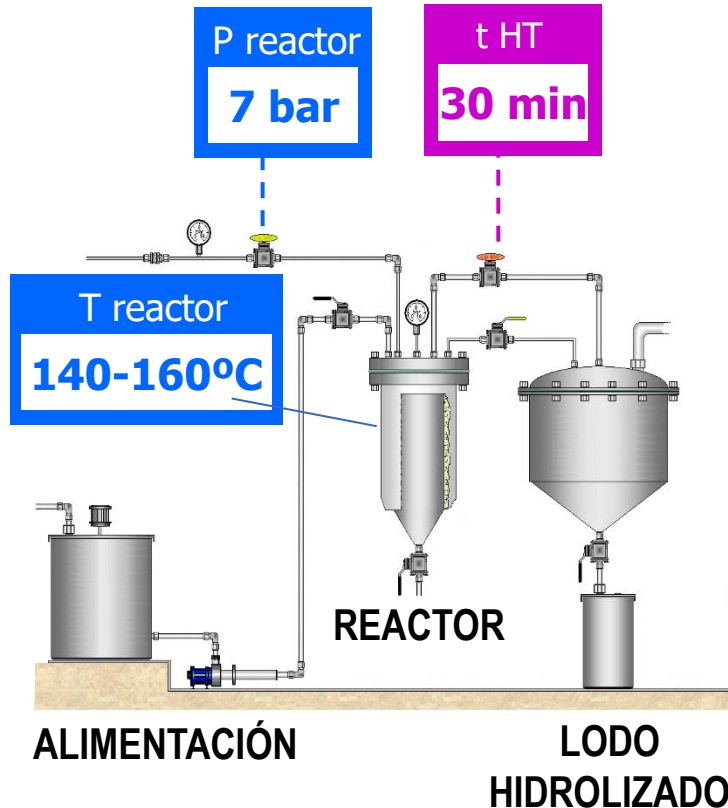
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

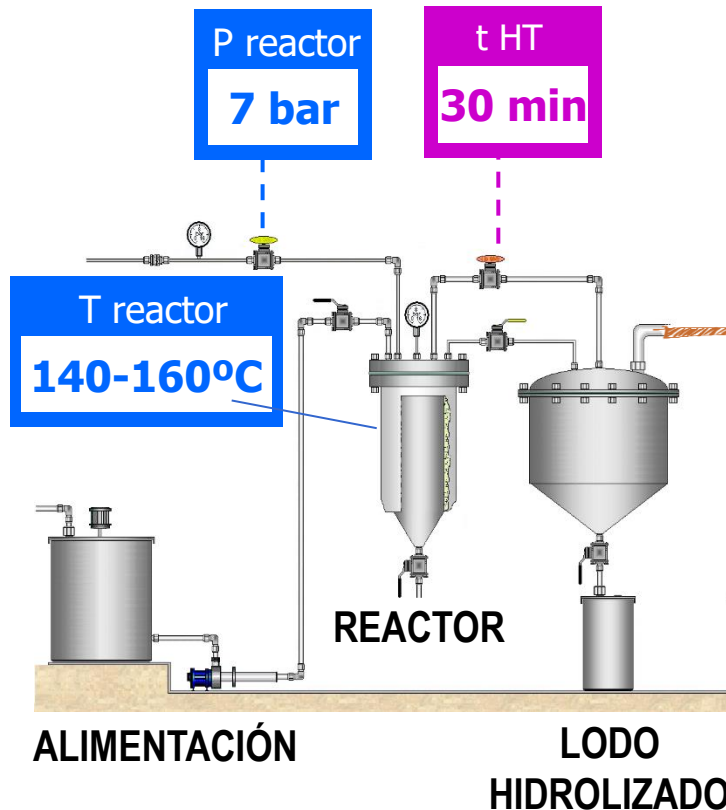
PRETRATAMIENTO



HIDRÓLISIS TÉRMICA

Calentamiento del lodo manteniendo equilibrio líquido-vapor

Descompresión desde la presión de operación hasta presión atmosférica, lenta o súbitamente ("steam explosion")



CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TECNOLOGÍAS DE HIDRÓLISIS TÉRMICA

BIOGÁS	Manteniendo el THR, los incrementos 40 - 60% para fango biológico 10 - 25 % para fango mixto
BIOSÓLIDO	Menor producción (proporcional al incremento biogás) Menor viscosidad Mejor deshidratabilidad (SST > 30%) Higienización: EPA clase A No recrecimiento de patógenos No olor en almacenamiento y/o uso
PROCESO ANAEROBIO	Menor energía en agitación. Concentración de SSV mas elevada (10% SST) Mayores cargas orgánicas aceptables (4 kg SV/m³.d) Eliminación de espumas (rotura de filamentosas) Eliminación de compuestos emergentes

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

Procesos con explosión de vapor

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

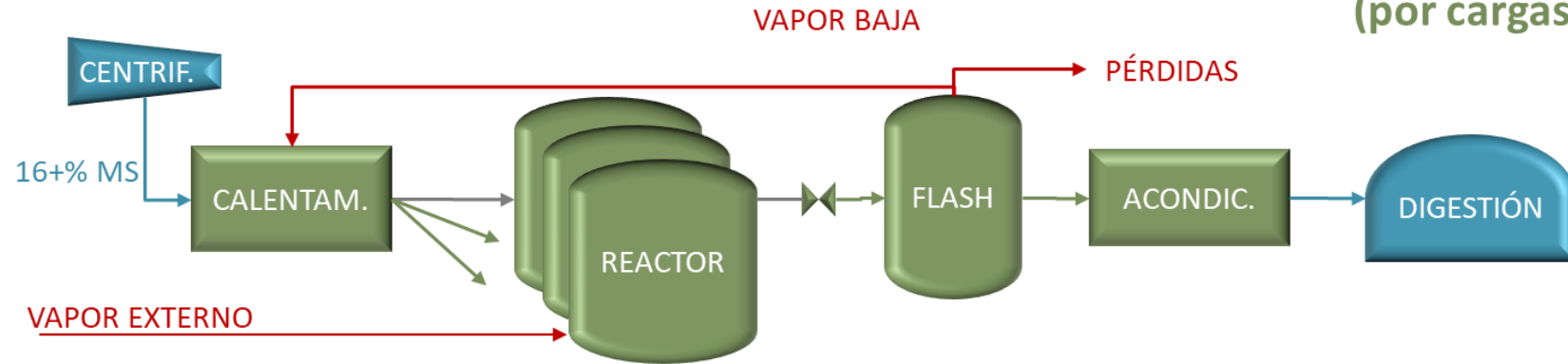
PROCESO

MICROORGANISMOS

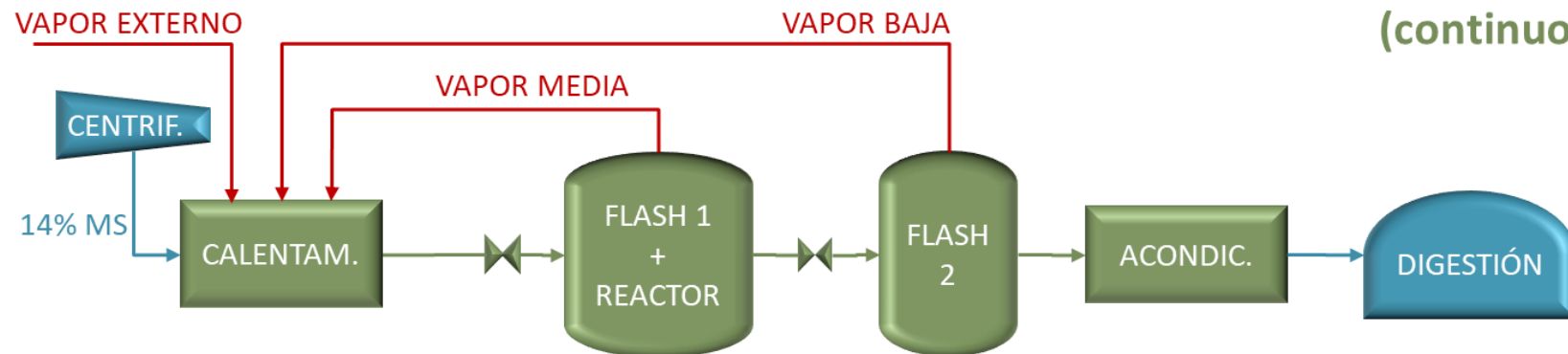
PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

Cocción + flash
(por cargas)



Flash + Cocción + Flash
(continuo)



Proceso $teCH_4^+$

PROBLEMA

SOLUCIÓN

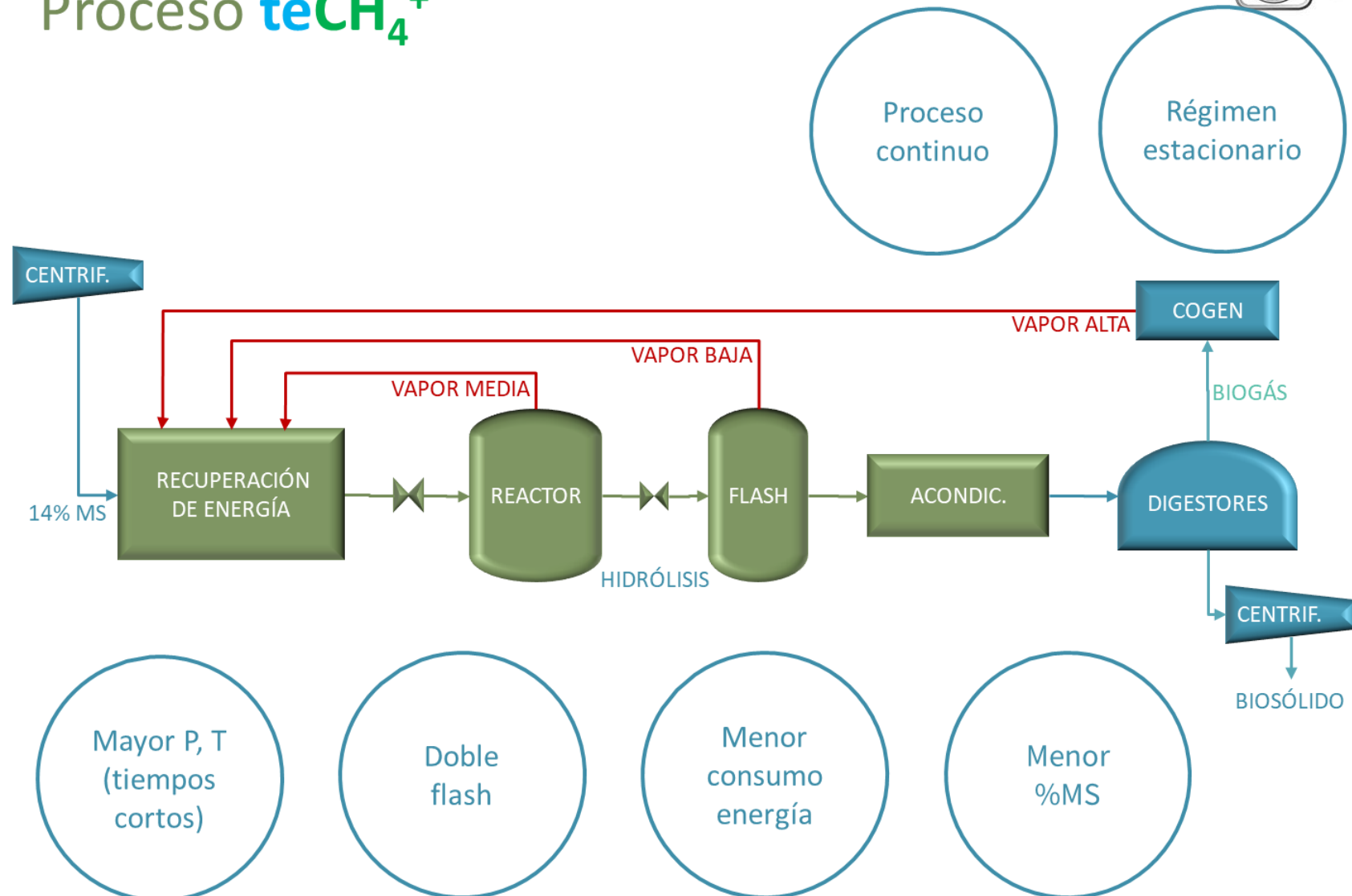
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

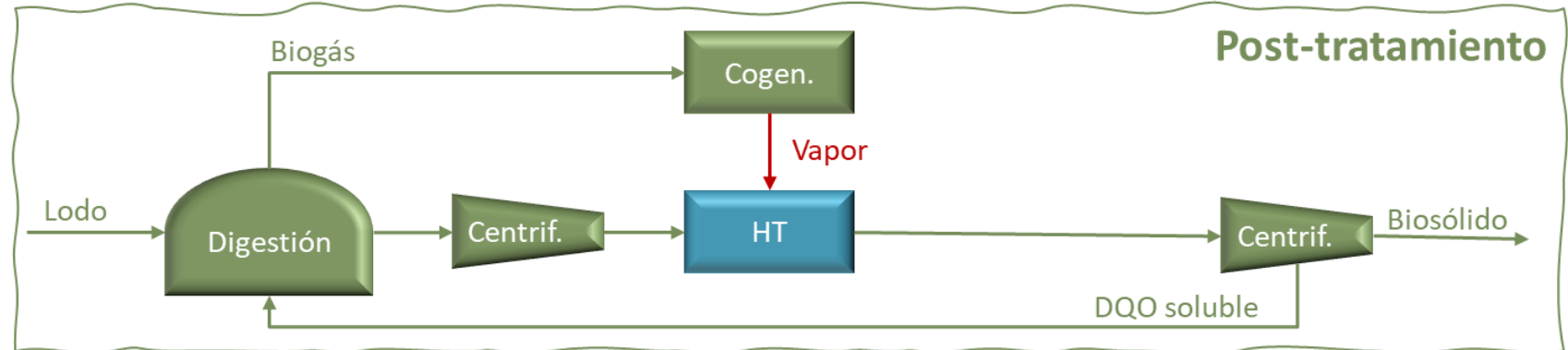
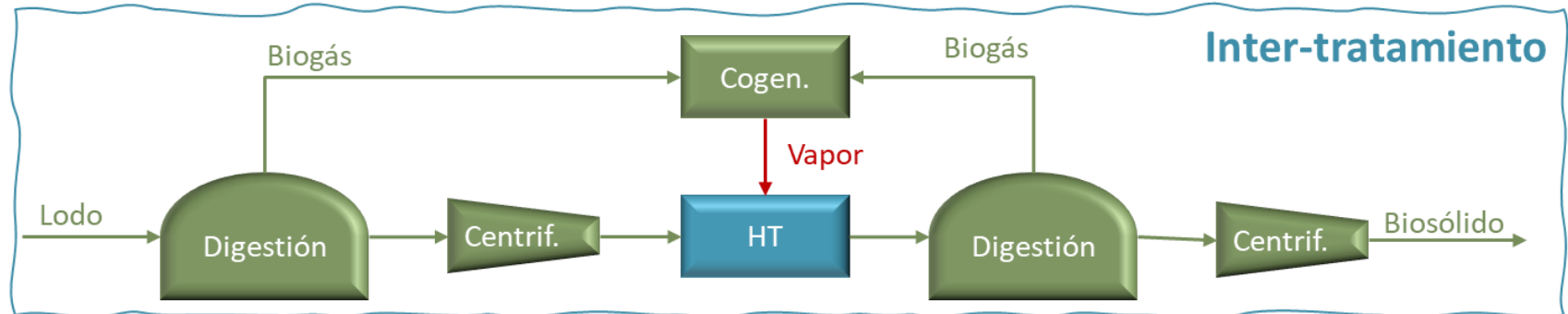
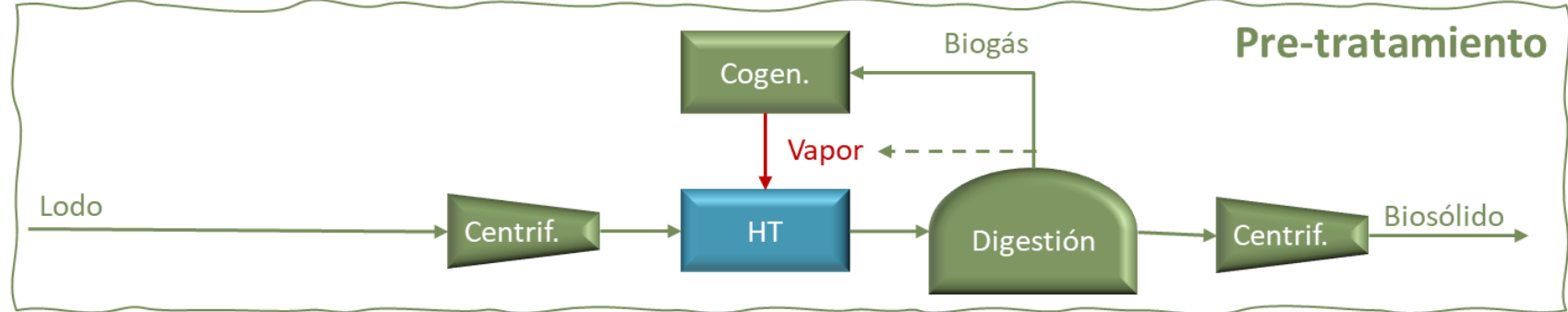
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

Posibles configuraciones (misma HT)



MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG

Cronología

teCH₄

PROBLEMA

SOLUCIÓN

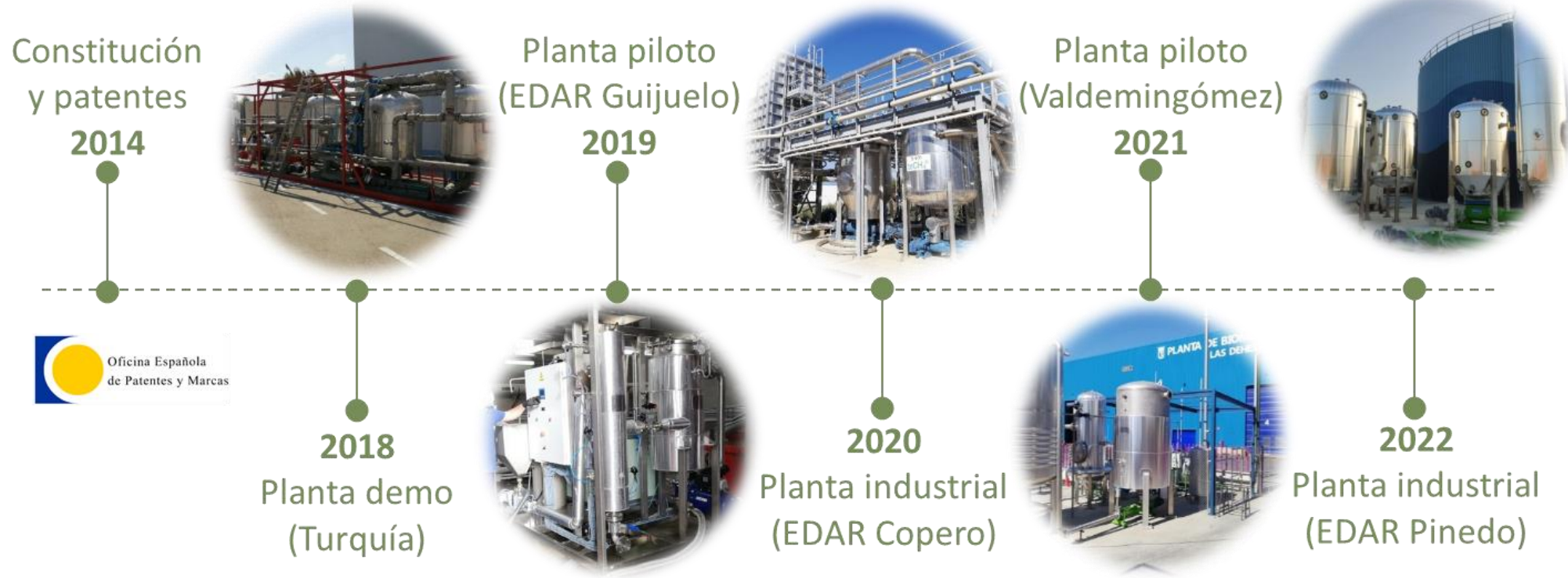
OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

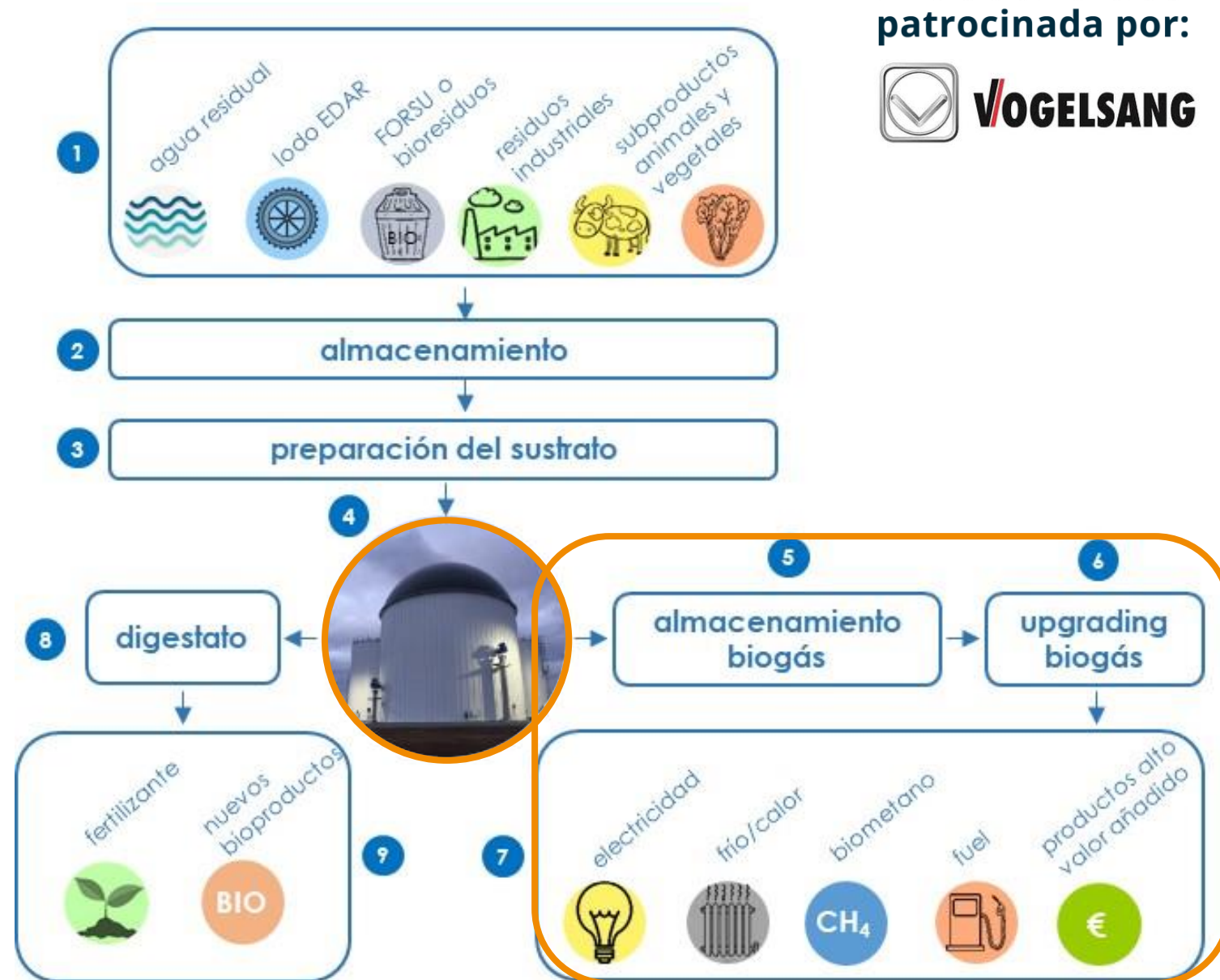
PROCESO

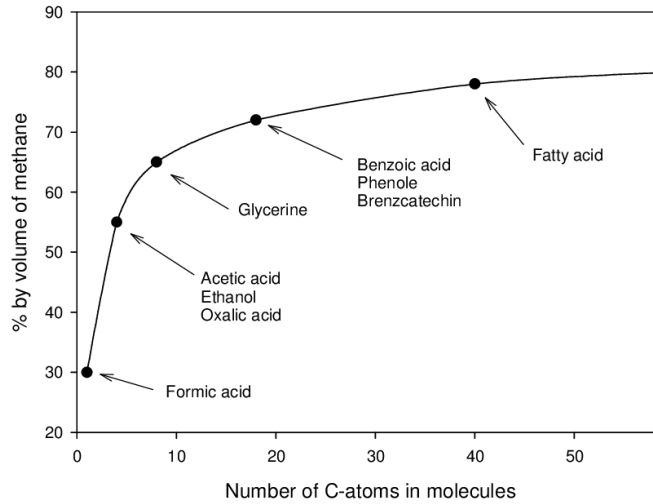
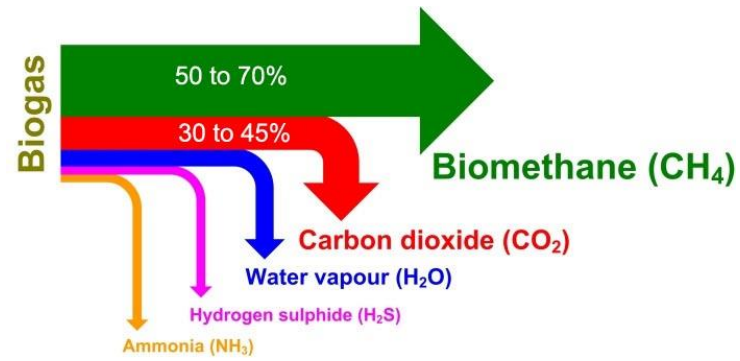
MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

BIOGÁS





% teórico de CH₄

Waste Type	Reaction	CH ₄ in Biogas (%)
Carbohydrate	$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	50
Protein	$4C_{11}H_{24}O_5N_4 + 58H_2O \rightarrow 33CH_4 + 15CO_2 + 19NH_4^+ + 16HCO_3^-$	69
Lipids	$4C_{15}H_{90}O_6 + 98H_2O \rightarrow 139CH_4 + 61CO_2$	70
Primary sludge	$C_{10}H_{19}O_3N + 4.5H_2O \rightarrow 6.25CH_4 + 3.75CO_2 + NH_3$	62.5
Waste-activated sludge	$C_5H_7O_2N + 3H_2O \rightarrow 2.5CH_4 + 2.5CO_2 + NH_3$	50

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

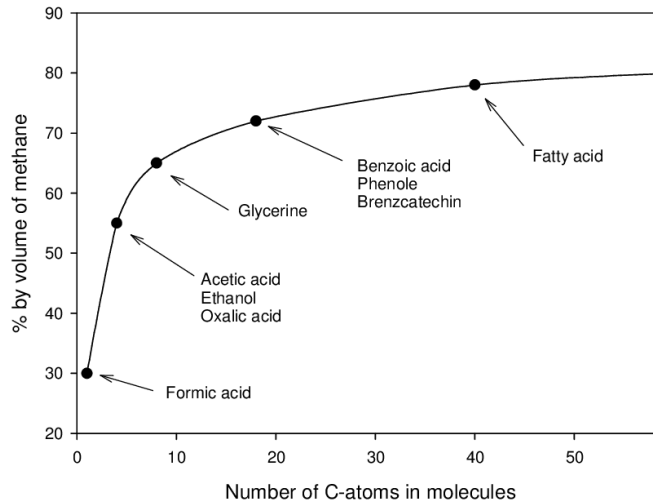
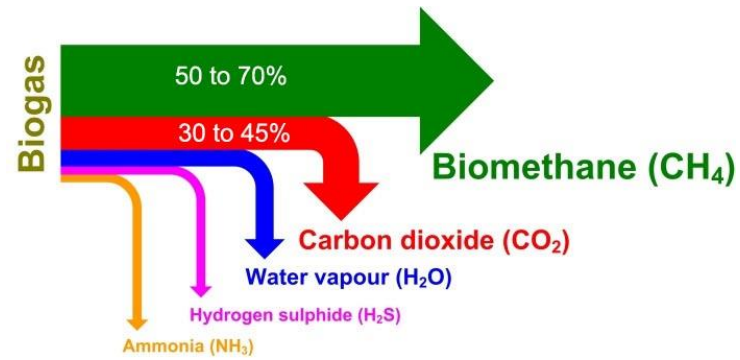
PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG



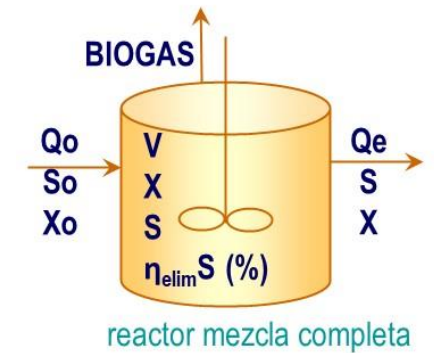
% teórico de CH₄

Waste Type	Reaction	CH ₄ in Biogas (%)
Carbohydrate	$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	50
Protein	$4C_{11}H_{24}O_5N_4 + 58H_2O \rightarrow 33CH_4 + 15CO_2 + 19NH_4^+ + 16HCO_3^-$	69
Lipids	$4C_{15}H_{90}O_6 + 98H_2O \rightarrow 139CH_4 + 61CO_2$	70
Primary sludge	$C_{10}H_{19}O_3N + 4.5H_2O \rightarrow 6.25CH_4 + 3.75CO_2 + NH_3$	62.5
Waste-activated sludge	$C_5H_7O_2N + 3H_2O \rightarrow 2.5CH_4 + 2.5CO_2 + NH_3$	50

producción específica de biogás

Substrate	m ³ /kg
Fats	1.2–1.6
Scum	0.9–1.0
Grease	1.1
Crude fibers	0.8
Protein	0.7
Carbohydrates	0.7

$$0,35 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}$$



$$CH_4 \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{d}} \right) = Q_o \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \cdot S_o \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{alim}}}{\text{m}^3} \right) \cdot \eta_{\text{elim}} \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{elim}}}{\text{kg DQO}_{\text{alim}}} \right) \cdot 0,35 \frac{\text{Nm}^3 \text{ CH}_4}{\text{kg DQO}_{\text{elim}}}$$

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

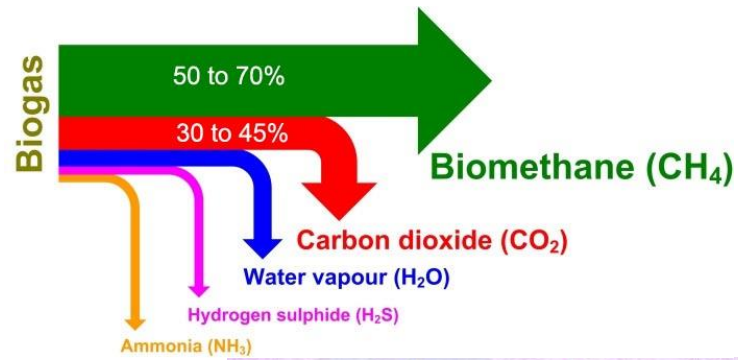
PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

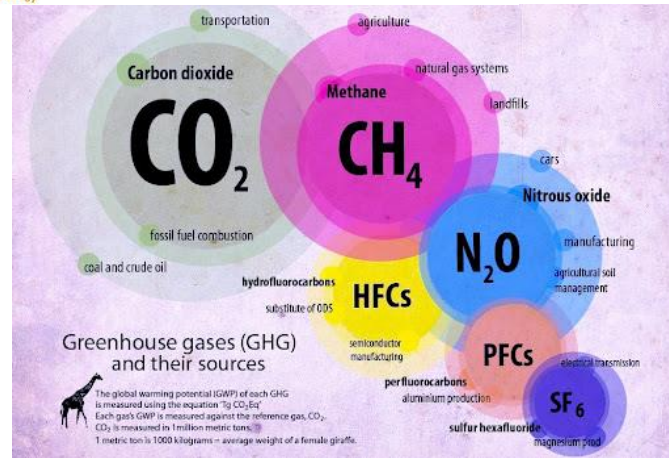
PROCESO

MICROORGANISMOS

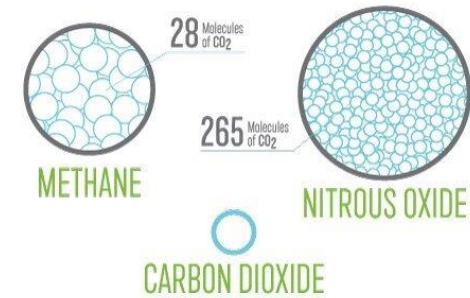
PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

BIOGÁS



STRENGTH OF GREENHOUSE GASES

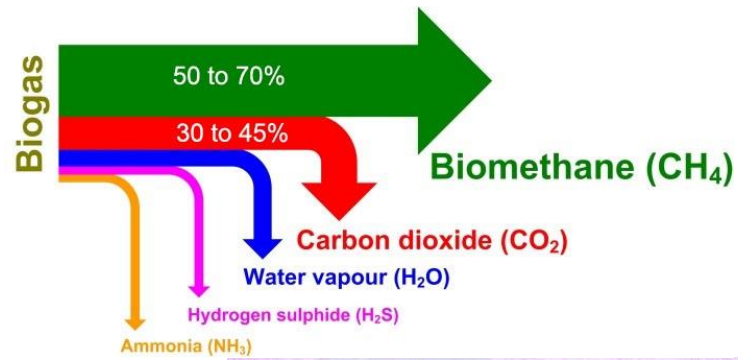


Global warming potential based on 100-year horizon
Source: IPCC AR5

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

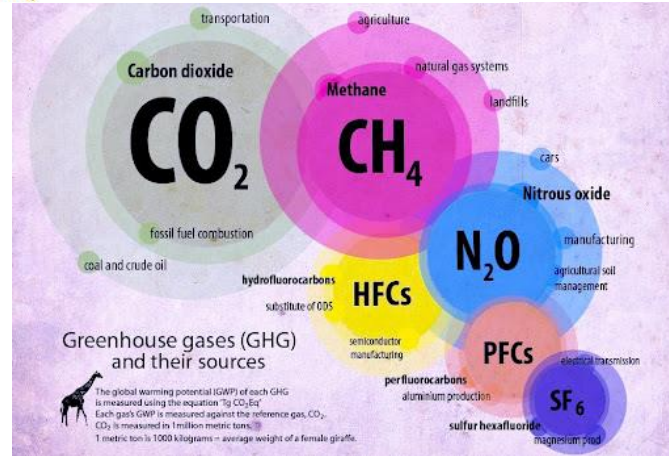
PROCESO

MICROORGANISMOS

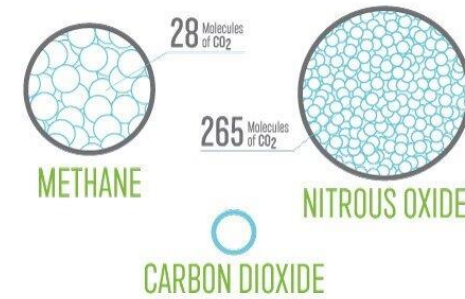
PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

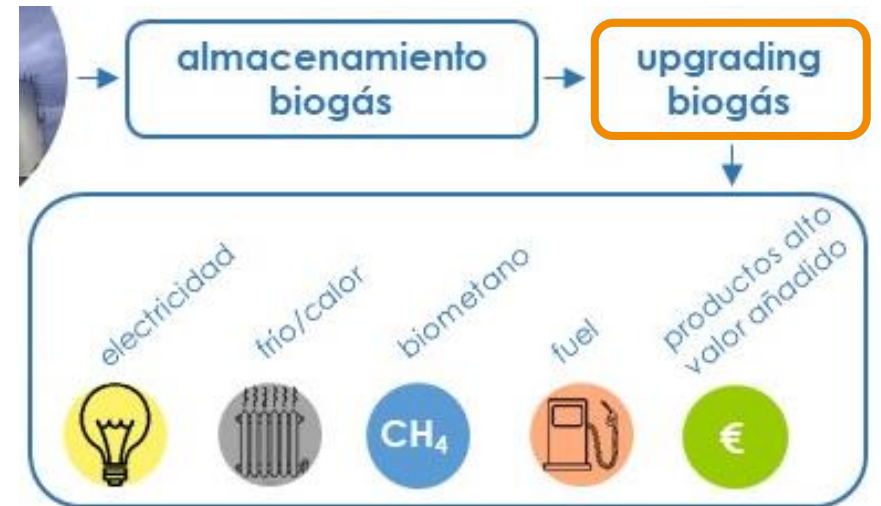
BIOGÁS



STRENGTH OF GREENHOUSE GASES



Global warming potential based on 100-year horizon
Source: IPCC AR5



MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG

Resolución de 8 de octubre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifican las normas de gestión técnica del sistema NGTS-06, NGTS-07 y los protocolos de detalle PD-01 y PD-02

Los gases procedentes de fuentes no convencionales, tales como el biogás, el gas obtenido a partir de biomasa u otro tipo de gas producido mediante procesos de digestión microbiana, deberán cumplir con las especificaciones de calidad de la siguiente tabla:

Tabla 4: Especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista (0°C, V(0°C, 1,01325 bar)

Propiedad (*)	Unidad	Mínimo	Máximo
Metano (CH ₄).	mol %	90	
CO	mol %	–	2
H ₂	mol %	–	5
Compuestos Halogenados: – Flúor/Cloro.	mg/m ³	–	10/1
Amoníaco.	mg/m ³	–	3
Mercurio.	µg/m ³	–	1
Siloxanos.	mg/m ³	–	10
Benceno, Tolueno, Xileno (BTX).	mg/m ³	–	500
Microorganismos.		Técnicamente puro.	
Polvo/Partículas.		Técnicamente puro.	



MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

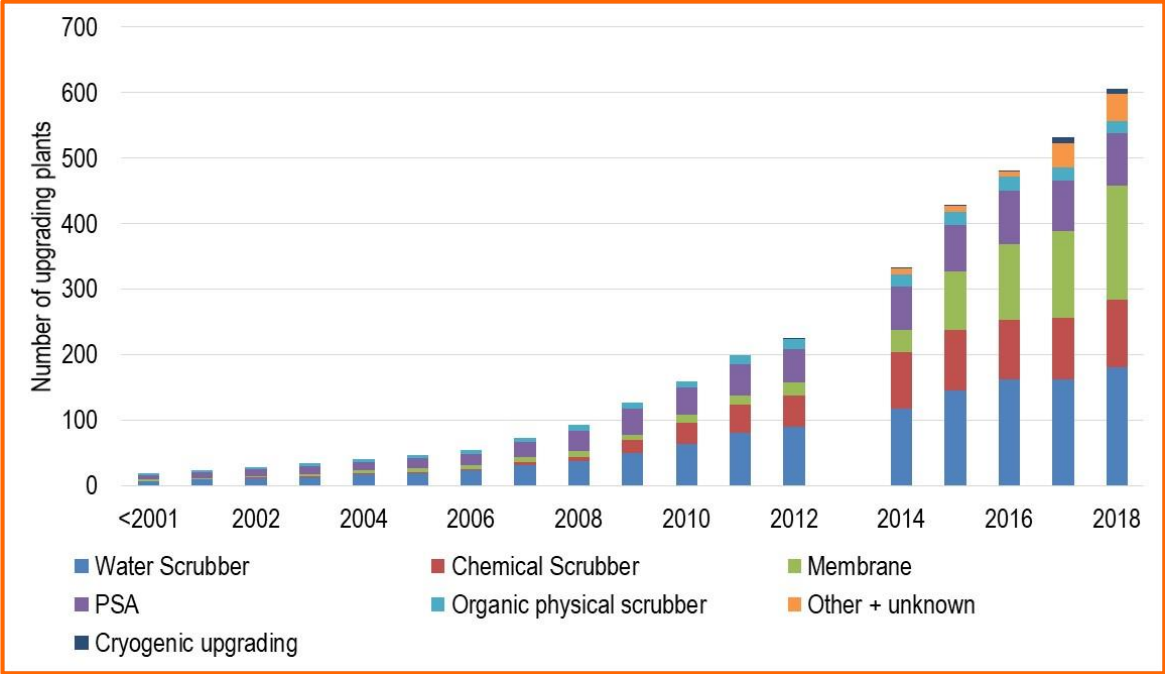
PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

Fuente: IEA Bioenergy Task 37
<http://task37.ieabioenergy.com/plan-t-list.html>

- PROBLEMA
- SOLUCIÓN
- OBJETIVOS
- PROCESO
- MICROORGANISMOS
- PARÁMETROS
- PRETRATAMIENTO
- BIOGÁS

EVOLUCIÓN DEL UPGRADING DE BIOGÁS (datos final 2019)



Country	Number of plants
Germany	203
United Kingdom	96
Sweden	69
The Netherlands	53
France	47
Switzerland	45
Denmark	34
Austria	13
Finland	17
Canada	11
South Korea	10
Brazil	5
Estonia	2
Ireland	1
Australia	0
TOTAL	606

PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

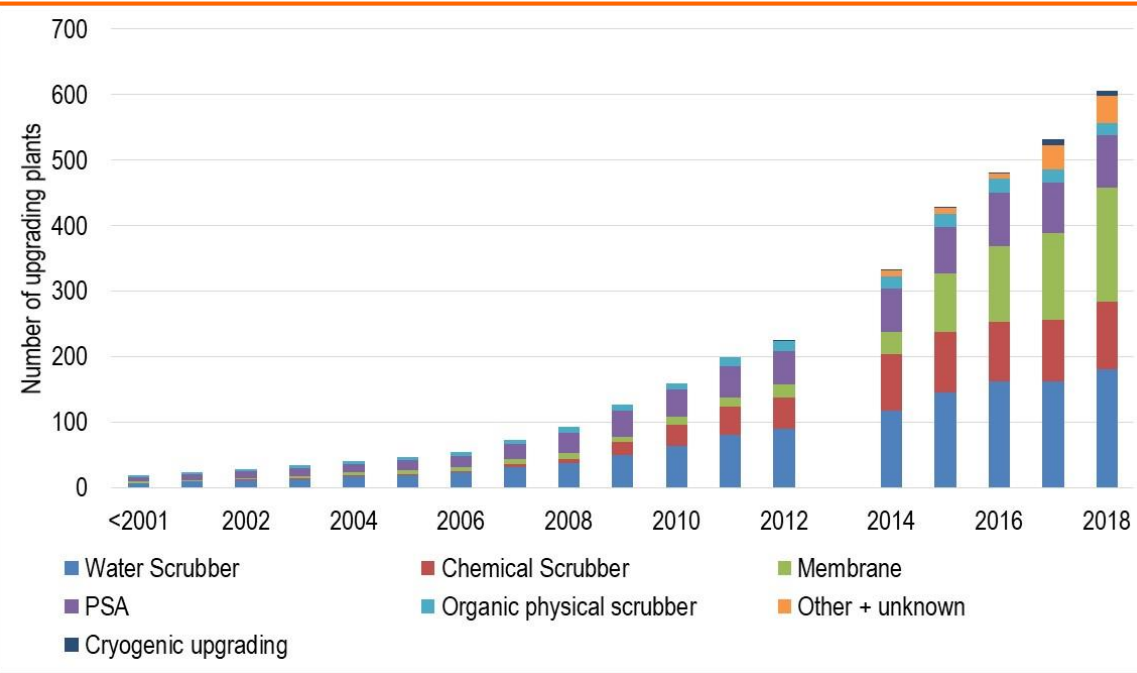
BIOGÁS

MasterClass
patrocinada por:



VOGELSANG

EVOLUCIÓN DEL UPGRADING DE BIOGÁS (datos final 2019)



Country

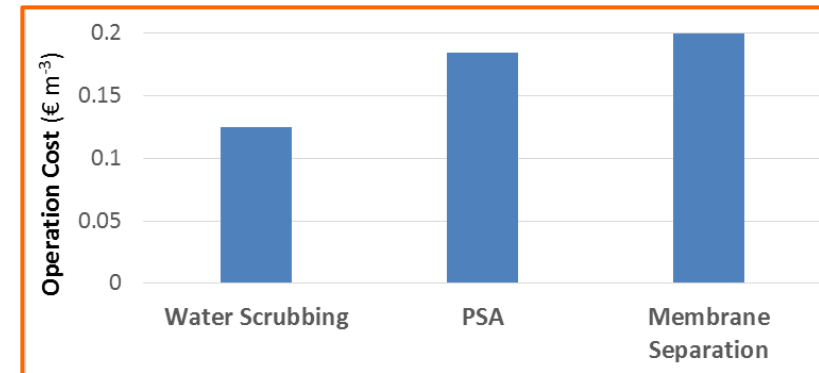
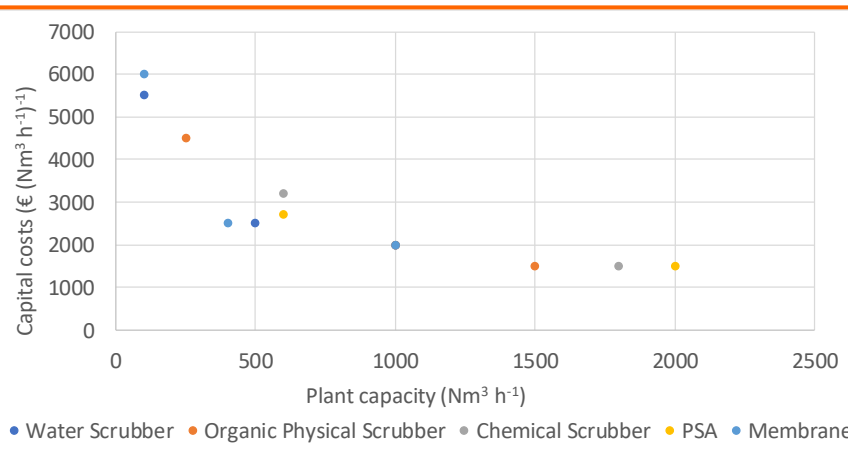
Germany
United Kingdom
Sweden
The Netherlands
France
Switzerland
Denmark
Austria
Finland
Canada
South Korea
Brazil
Estonia
Ireland
Australia

Number of plants

203
96
69
53
47
45
34
13
17
11
10
5
2
1
0

TOTAL

606



Consumo energético

3 – 12% del contenido energético del biogás

UPGRADING BIOLÓGICO

Generación de valor añadido frente a tecnologías fisicoquímicas

MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

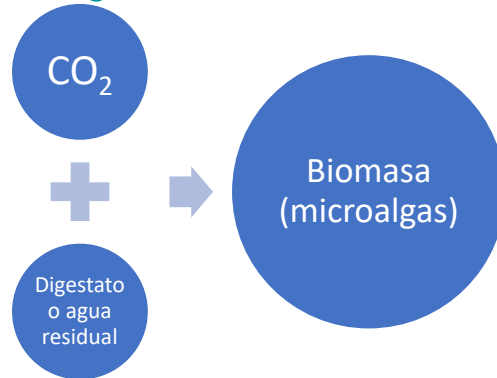
MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

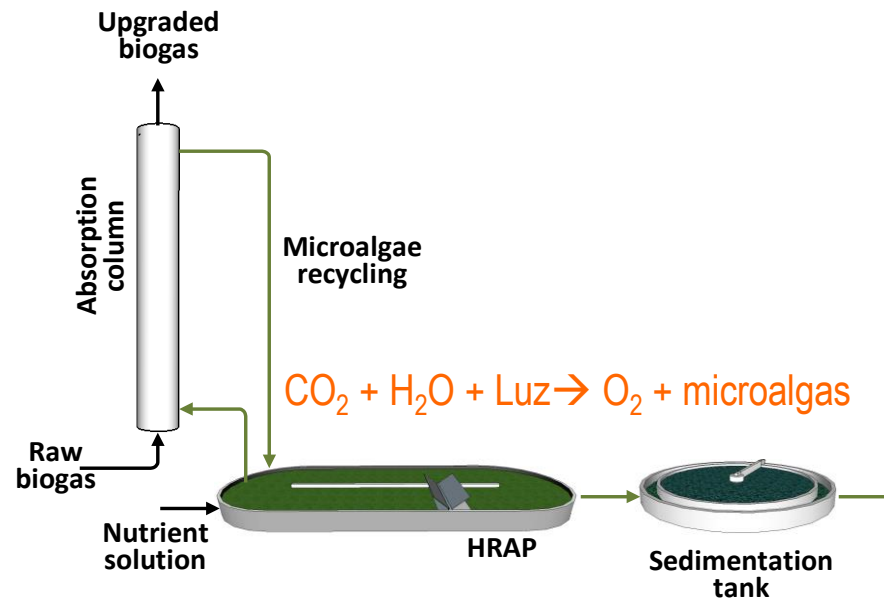
PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

Upgrading fotosintético



Tratamiento de agua residual o digestato
Acumulación de C, N, P... como microalgas



UPGRADING BIOLÓGICO

Generación de valor añadido frente a tecnologías fisicoquímicas

MasterClass
patrocinada por:



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

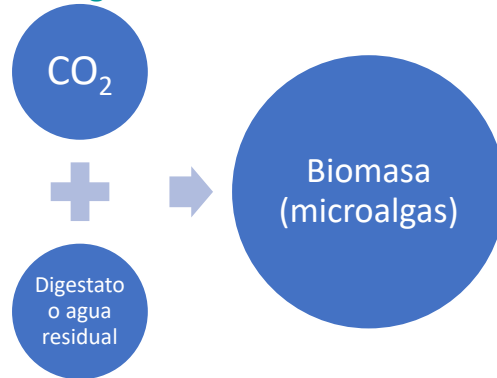
MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

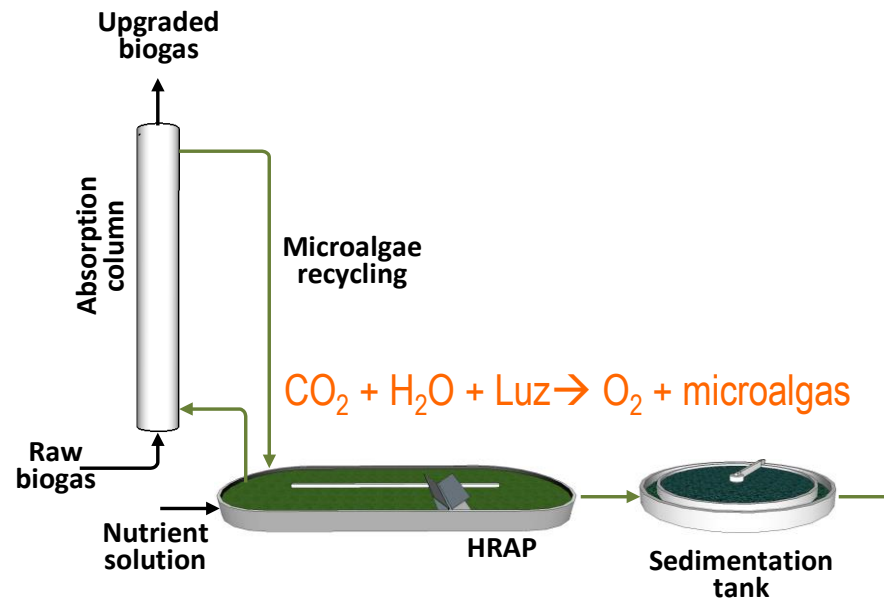
PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

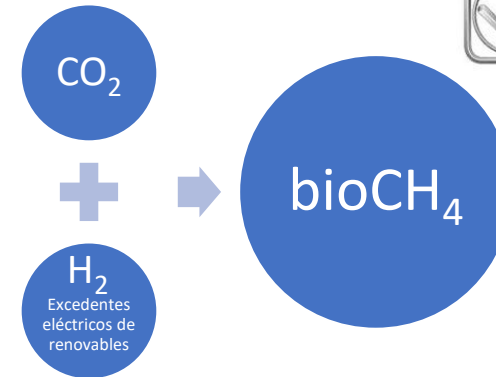
Upgrading fotosintético



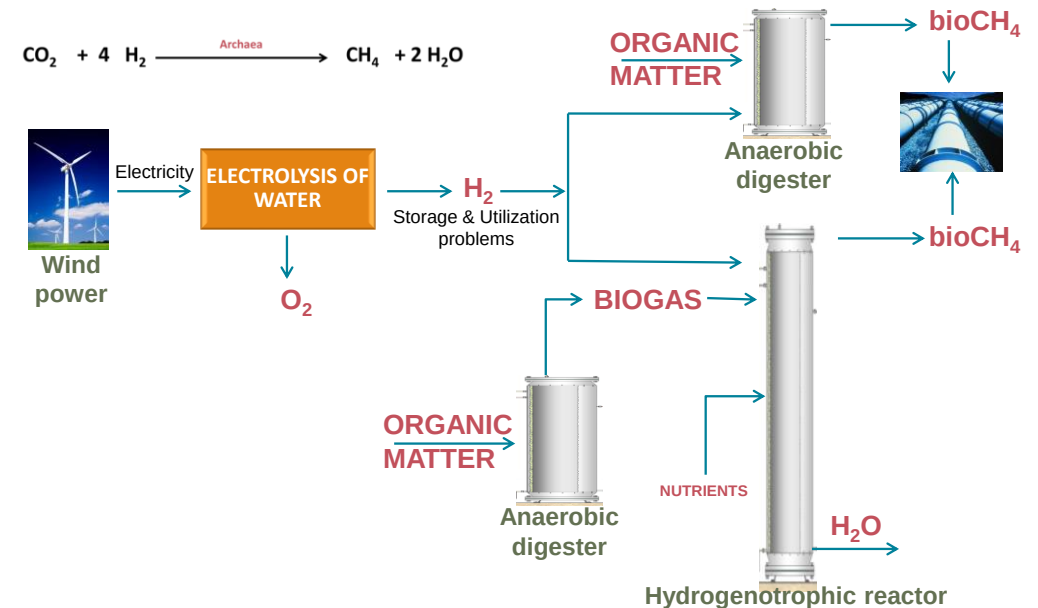
Tratamiento de agua residual o digestato
Acumulación de C, N, P... como microalgas



Upgrading hidrogenotrófico



Conversión de CO₂ en bioCH₄
Almacenamiento de energía (power-to-methane)



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

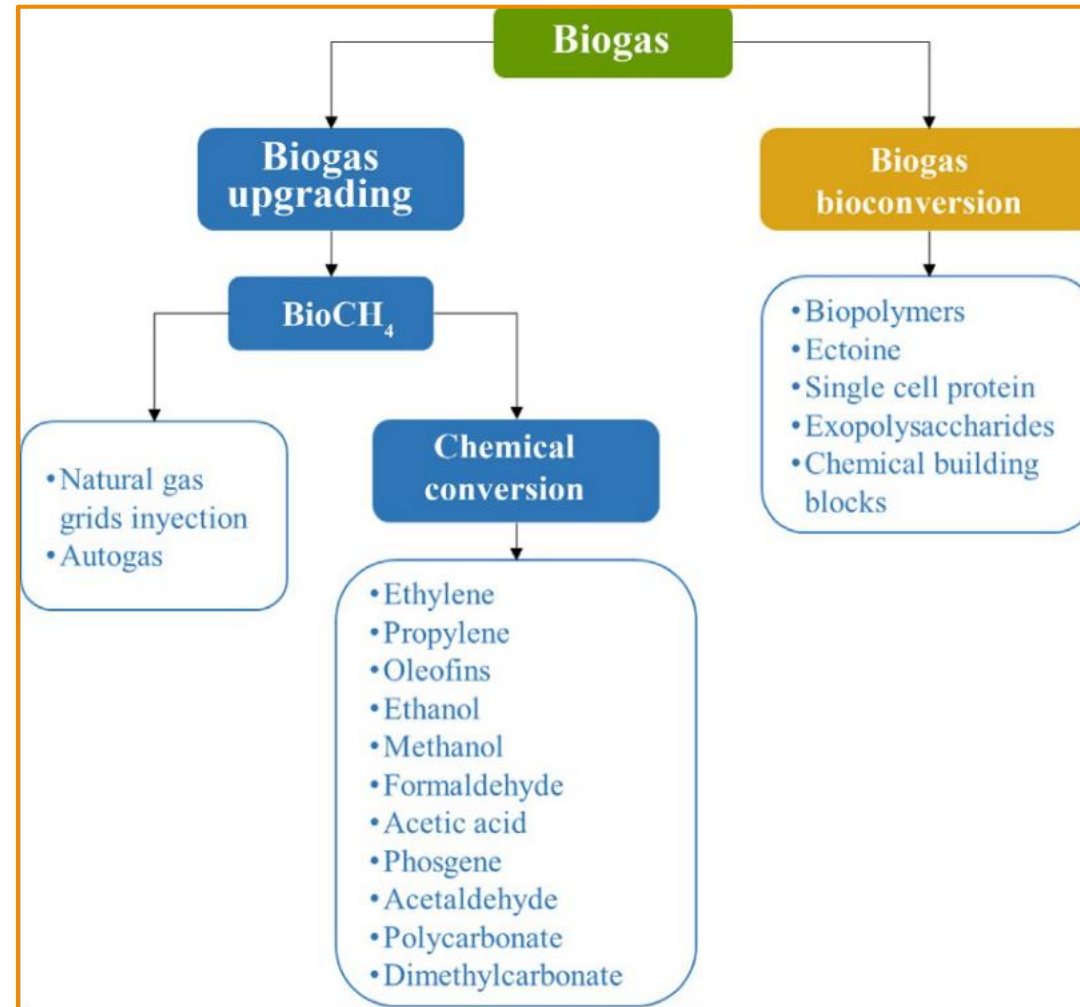
PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

BIOGÁS



PROBLEMA

SOLUCIÓN

OBJETIVOS

PROCESO

MICROORGANISMOS

PARÁMETROS

PRETRATAMIENTO

BIOGÁS

BIOSÓLIDO

Reducción 50% SV
Estabilizado
Higienizado



MasterClass
patrocinada por:



Muchas gracias por su atención.



Ciclo de 20
MasterClass
AGUASRESIDUALES.INFO