



# BIOTECNOLOGÍA DE PROCESOS PARA EL AMBIENTE

Departamento de Ingeniería de Reactores  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay  
Tel: 2711 08 71 (ext 111) – Fax: 2710 74 37  
Contacto: Dra Liliana Borzacconi (e mail: [lilianab@fing.edu.uy](mailto:lilianab@fing.edu.uy))

# Integrantes- BIOPROA

- Integrantes: 10 docentes permanentes
  - 3 Doctores en Ingeniería Química
  - 2 Master en Ingeniería Química, 1 Master en Ingeniería Sanitaria y 1 Master en Biología
  - 2 Ingenieros Químicos
  - Estudiantes avanzados contratados por proyectos
- Colaboración permanente con el Instituto Clemente Estable y el Grupo de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía

# Cursos de grado

- Ingeniería de las Reacciones Químicas
- Dinámica y Control de Procesos
- Tratamiento Biológico de Efluentes y Residuos Sólidos

# Cursos de posgrado

- Diseño y operación de sistemas anaerobios con producción de biogás
- Introducción al Diseño de Reactores para no Ingenieros Químicos
- Diseño y Modelado de Reactores Biológicos

# Experiencias de laboratorio



Laboratorio instrumental



Residuos Líquidos



Residuos Sólidos

# Vinculación Internacional

- Reconocimiento Internacional
  - Dictado de cursos de posgrado en Universidad Católica de Valparaíso (Chile), Universidad de Valladolid (España), Universidad de San Juan (Argentina), Universidad de San Pablo (Brasil), Universidad de Santiago del Estero (Argentina)
  - Miembro del Grupo Latinoamericano de Digestión Anaerobia, perteneciente a la IWA (sede en dos oportunidades del Taller y Simposio Latinoamericano sobre Digestión Anaerobia, 1994 y 2005)
  - Más de 40 publicaciones científicas en revistas internacionales

# BioProa-Vinculación con el medio

- Múltiples convenios con el sector productivo: Empresas privadas y estatales, Ministerios, Intendencias, Consultoras Ambientales
- Apoyo a empresas que suministran tecnología y servicios para el desarrollo y aplicación de sistemas avanzados



# SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE RESIDUOS (Remoción de materia orgánica)

## *Sistema Aerobio*

**Materia orgánica + m.o.+ O<sub>2</sub> (energía) → CO<sub>2</sub> + m.o.**

### Ejemplos

Lodos activados (residuo líquido)

Compostaje (residuo sólido)

## *Sistema Anaerobio*

**Materia orgánica+ m.o. → CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + m.o.**

### Ejemplos

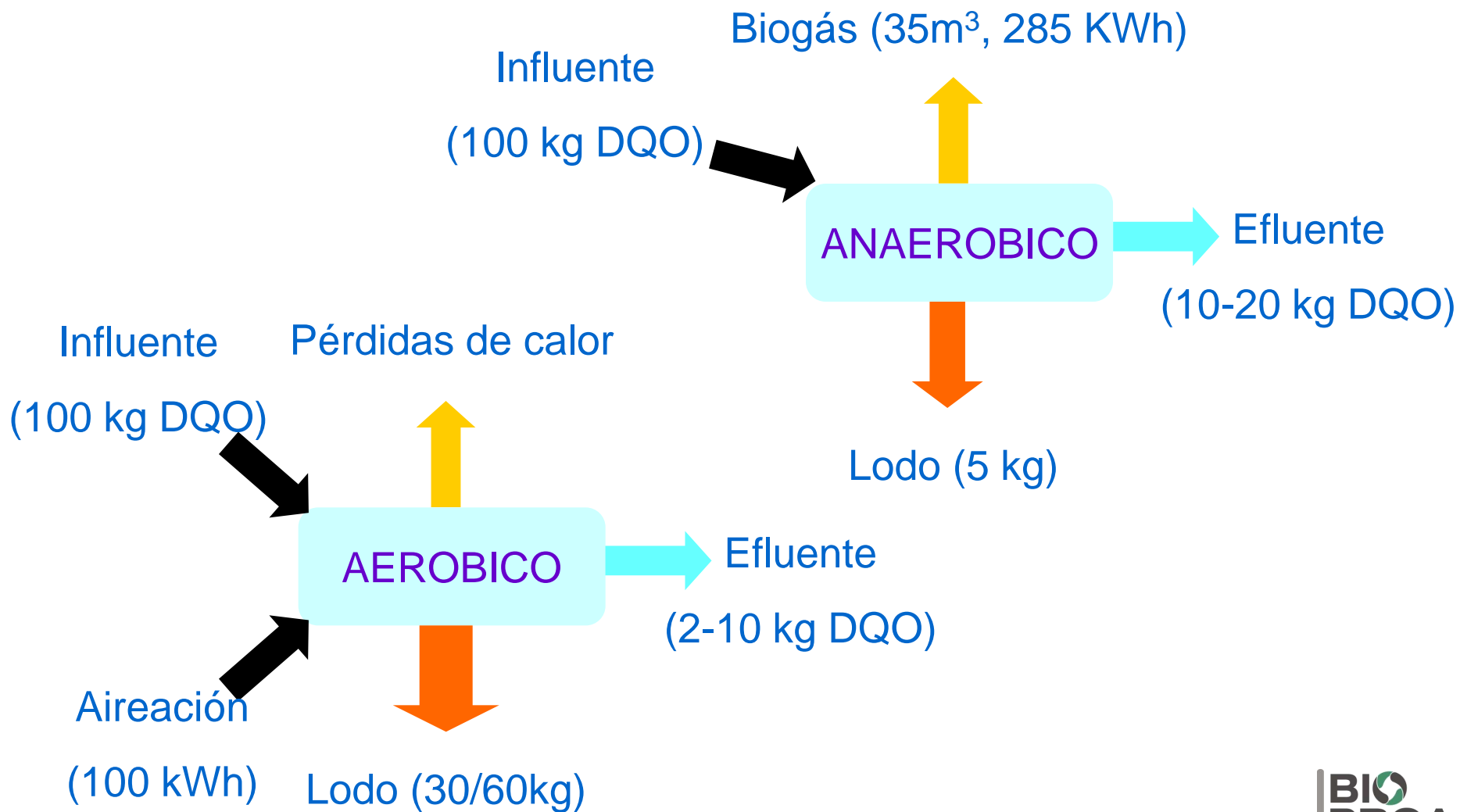
UASB (residuo líquido)

Digestor anaerobio (residuo sólido)

# Tecnología aeróbica o anaeróbica?



# Balances de C y de energía



# 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
  - Alto grado de aceptación y aplicación a nivel internacional
- **Combinado con los sistemas aerobios se logran cumplir los parámetros de vertido**

# Tratamiento de residuos líquidos

# LAGUNAS



- La clave del suceso en las aplicaciones en efluentes de la tecnología anaerobia está en desacoplar el tiempo de residencia hidráulico del líquido con el tiempo de retención del sólido. Esto conduce a menores volúmenes con menores costos de inversión y a su vez a configuraciones más estables y con menores costos de operación.

# Reactor de contacto y reactor UASB

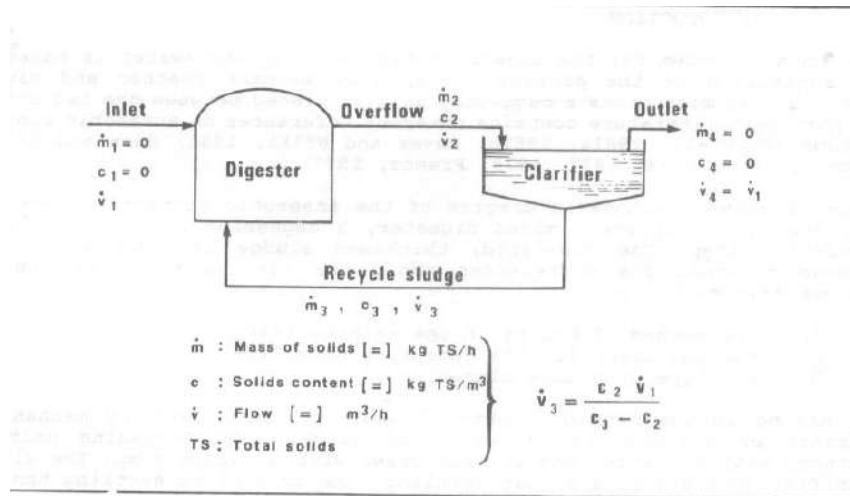
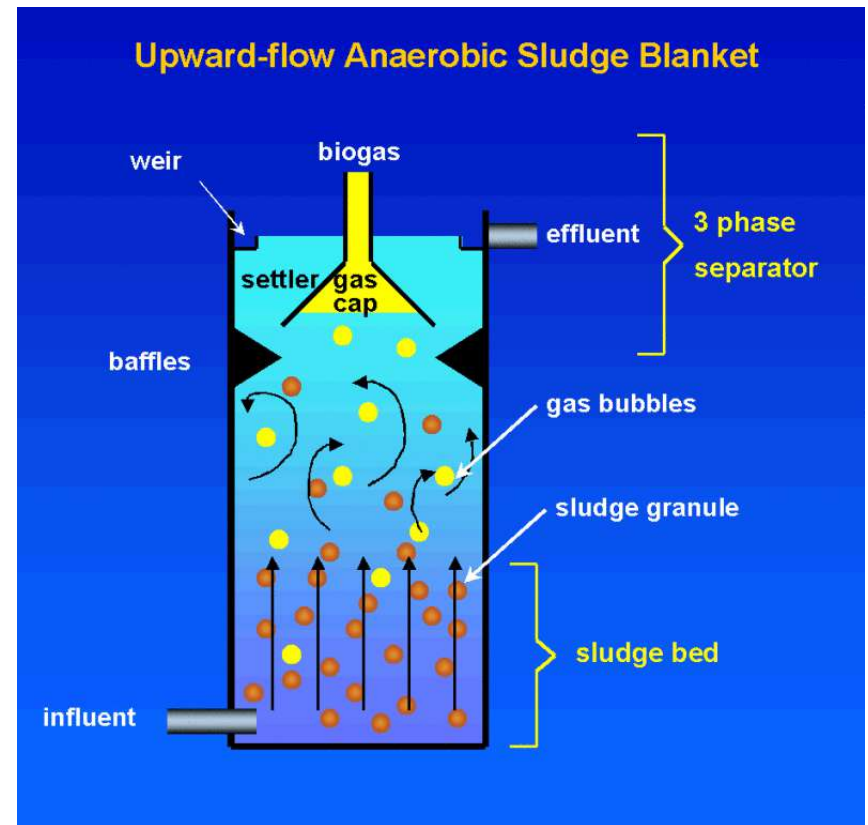


Figure 2. Mass Balance of the Anaerobic Contact Process

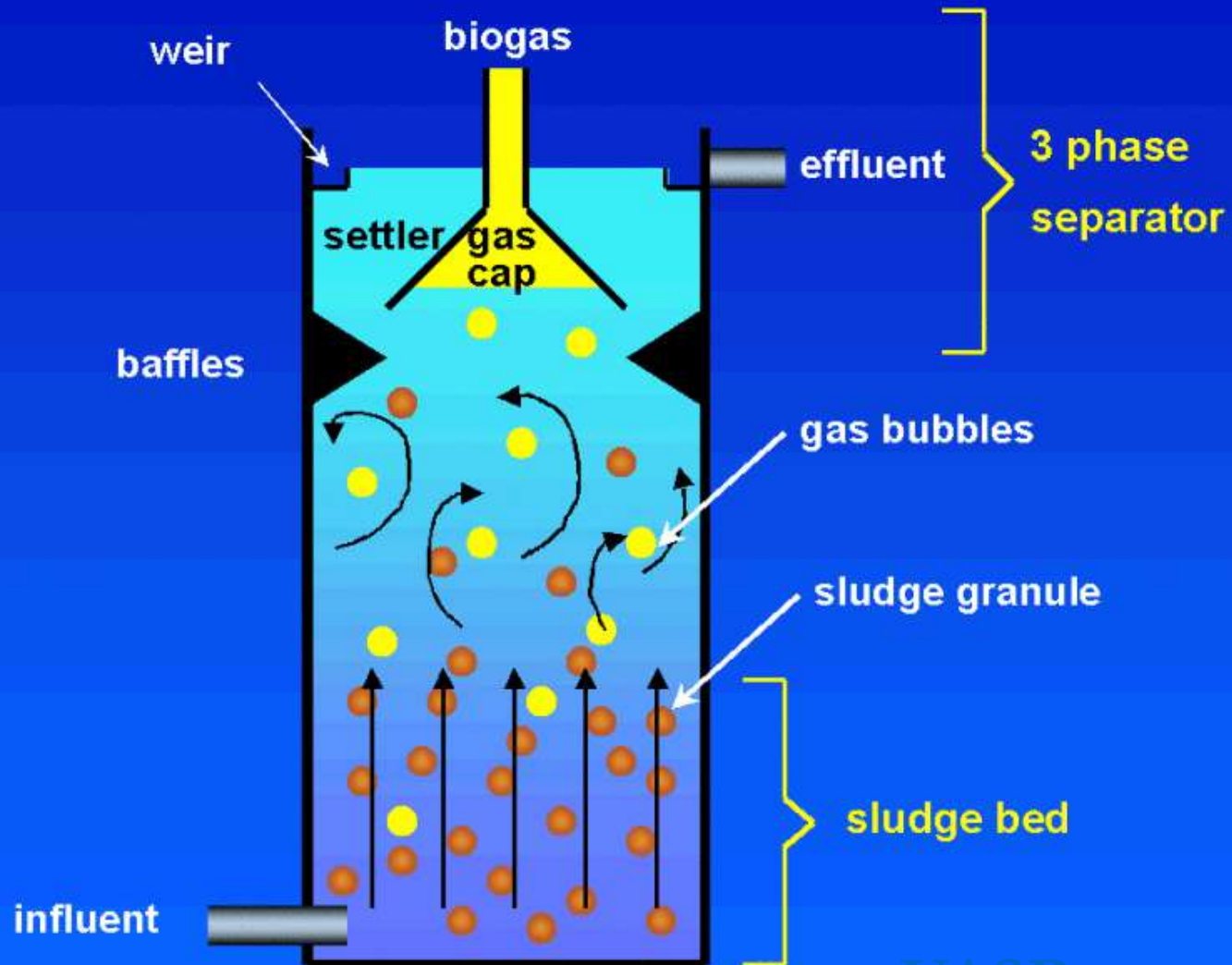
La separación eficiente del tiempo de residencia hidráulico y el celular se dio con la aparición del reactor UASB



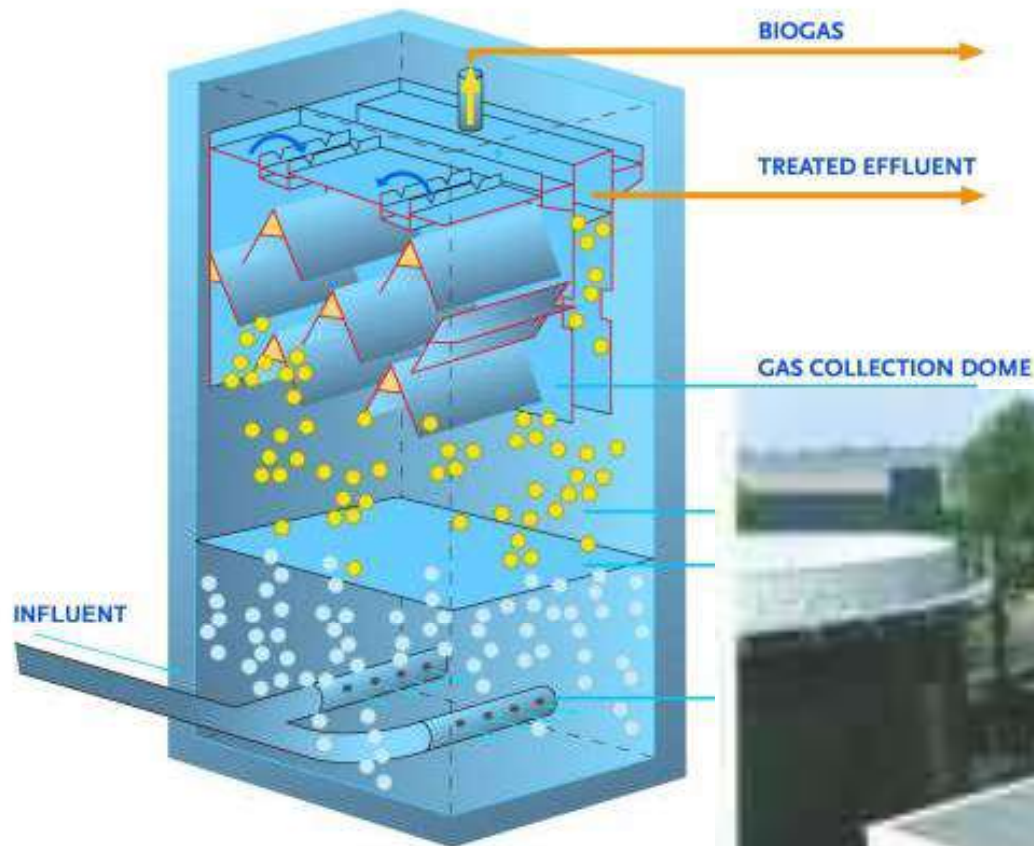


# REACTOR UASB

# Upward-flow Anaerobic Sludge Blanket



UASB

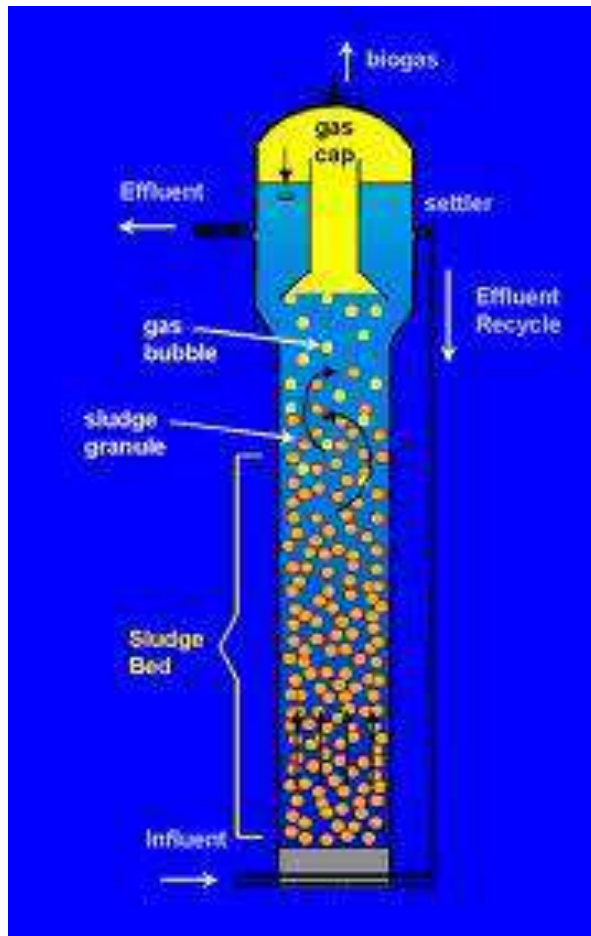


# UASB



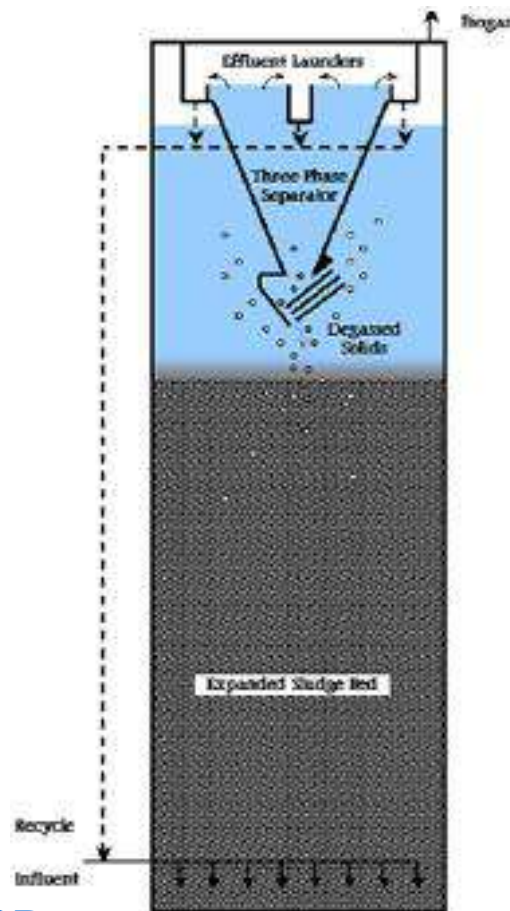
# REACTORES EGSB/IC

# EGSB

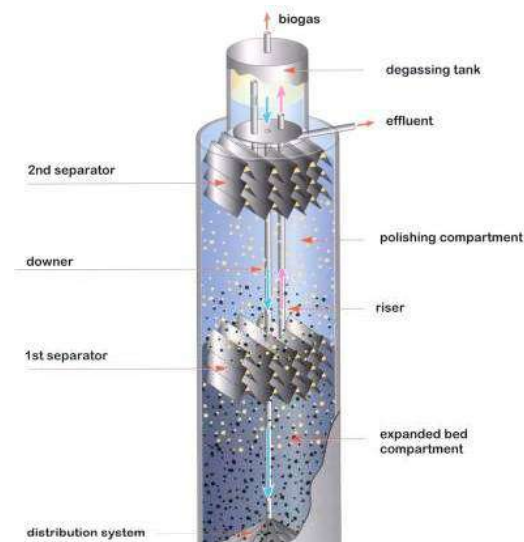


EGSB

Expanded Granular Sludge  
Bed



# IC



# IC

Internal Circulation

# EGSB, IC

Reactor EGSB (Expanded Bed)

Reactor IC (Internal Circulation)





# Tratamiento de efluente de maltería: reactor a escala real





# SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO EN BASE A INDICADORES ECONÓMICOS, ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES

## INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

*(Unidades seleccionadas para la expresión de los indicadores)*

---

### INDICADORES M. AMBIENTALES

Terreno ocupado  
Lodo producido  
Emisiones de CO<sub>2</sub>  
Energía consumida  
Biogás producido

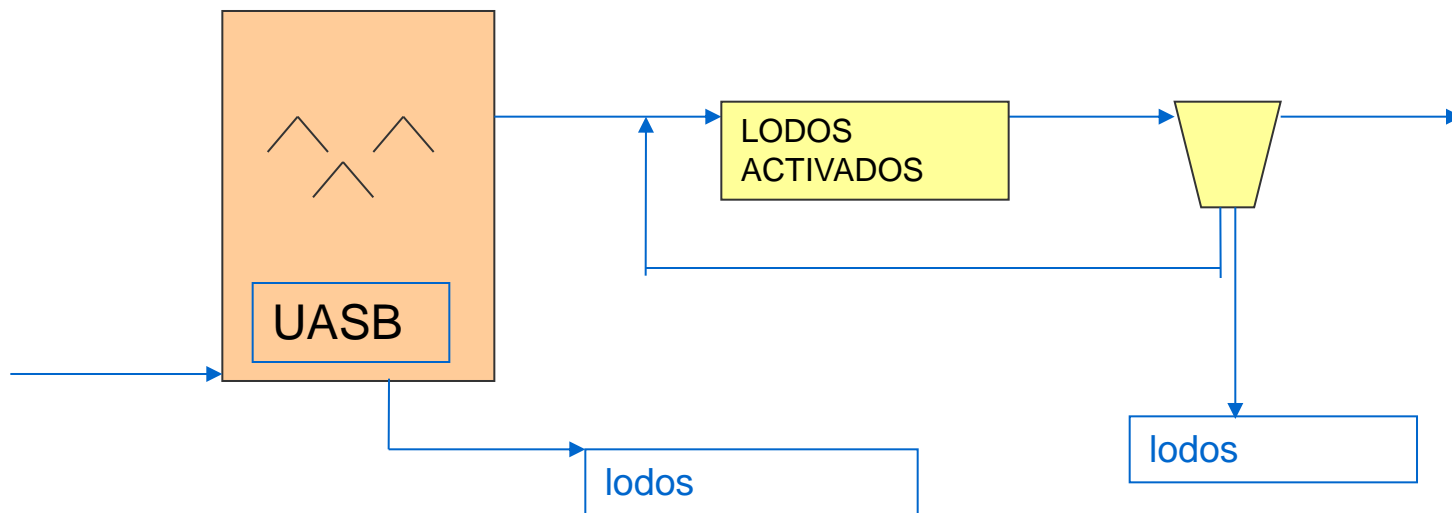
---

### INDICADORES ECONÓMICOS

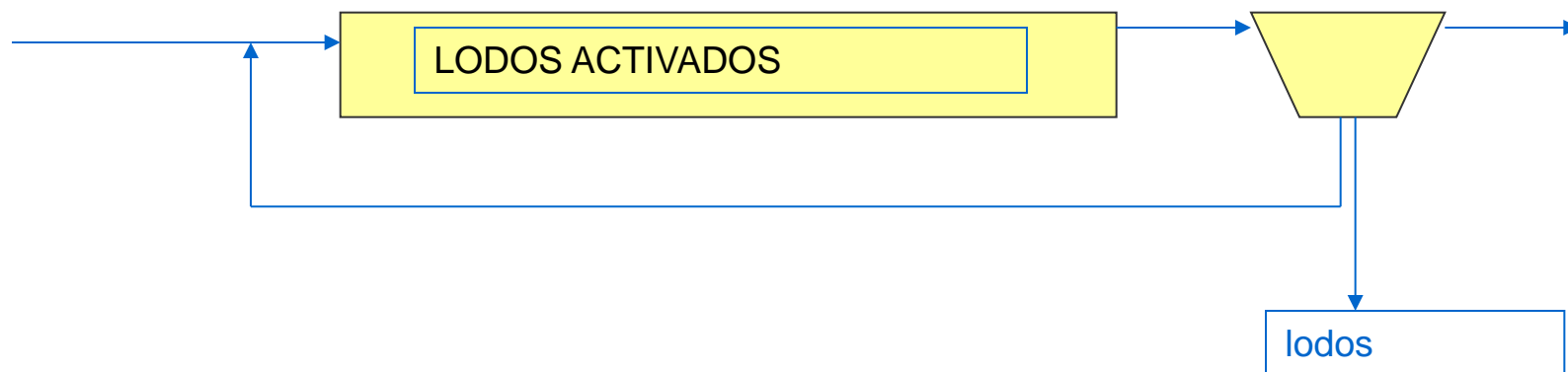
Costo total  
Costo fijo  
Costo de operación  
Valor añadido

# Tratamiento de efluentes de maltería

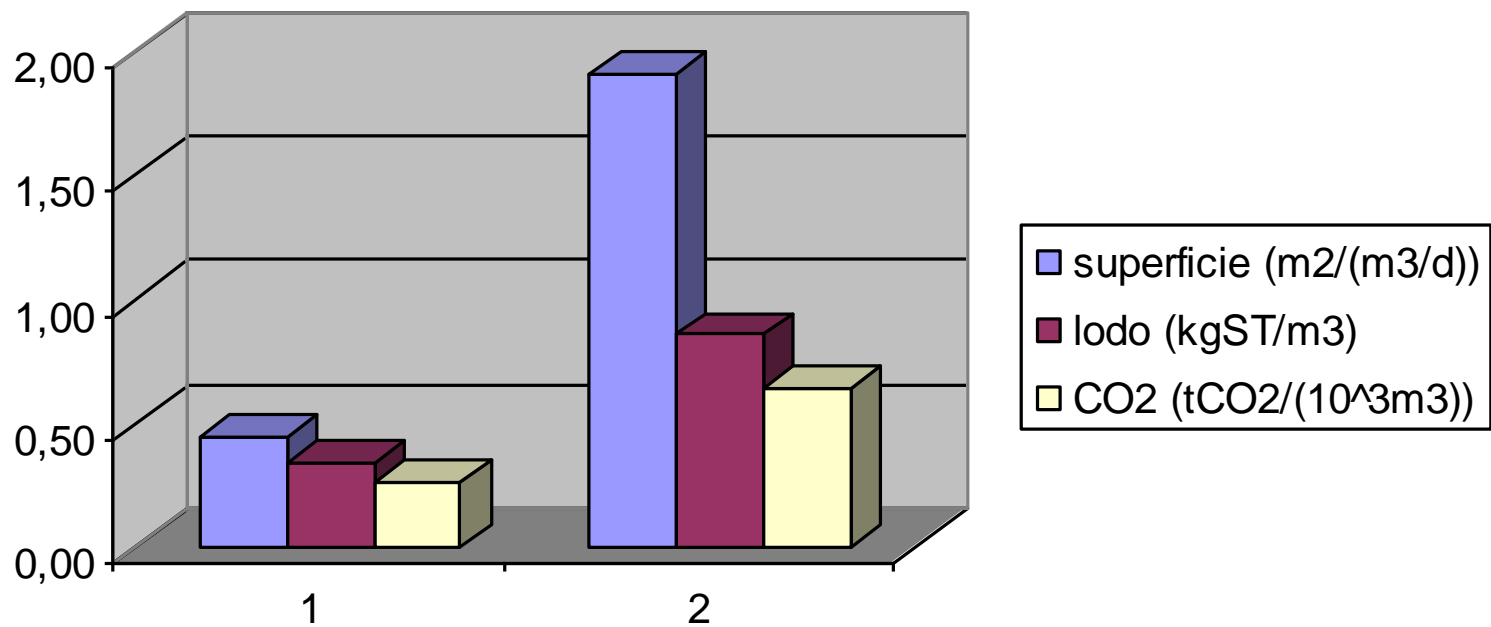
## OPCIÓN 1



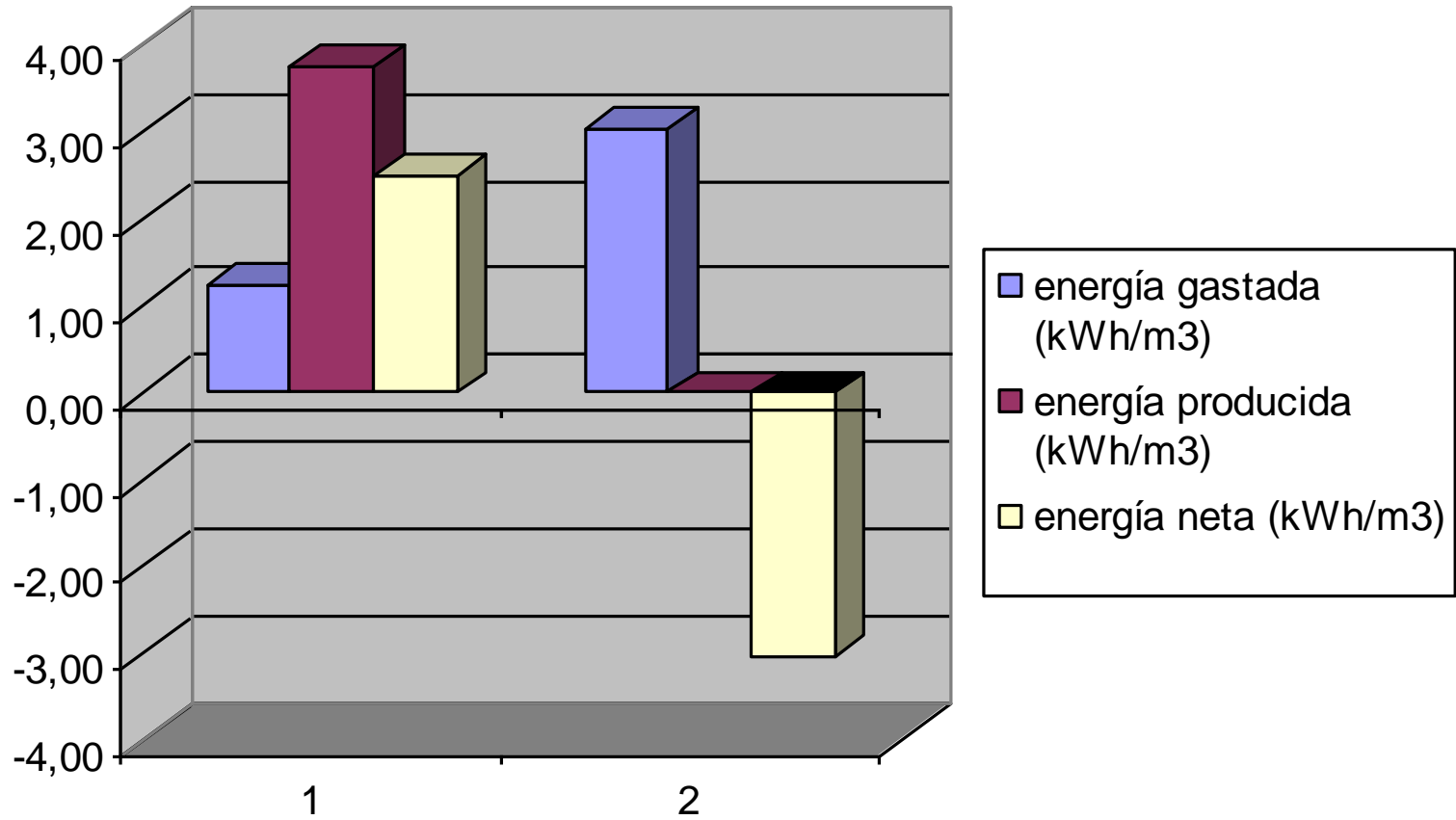
## OPCIÓN 2



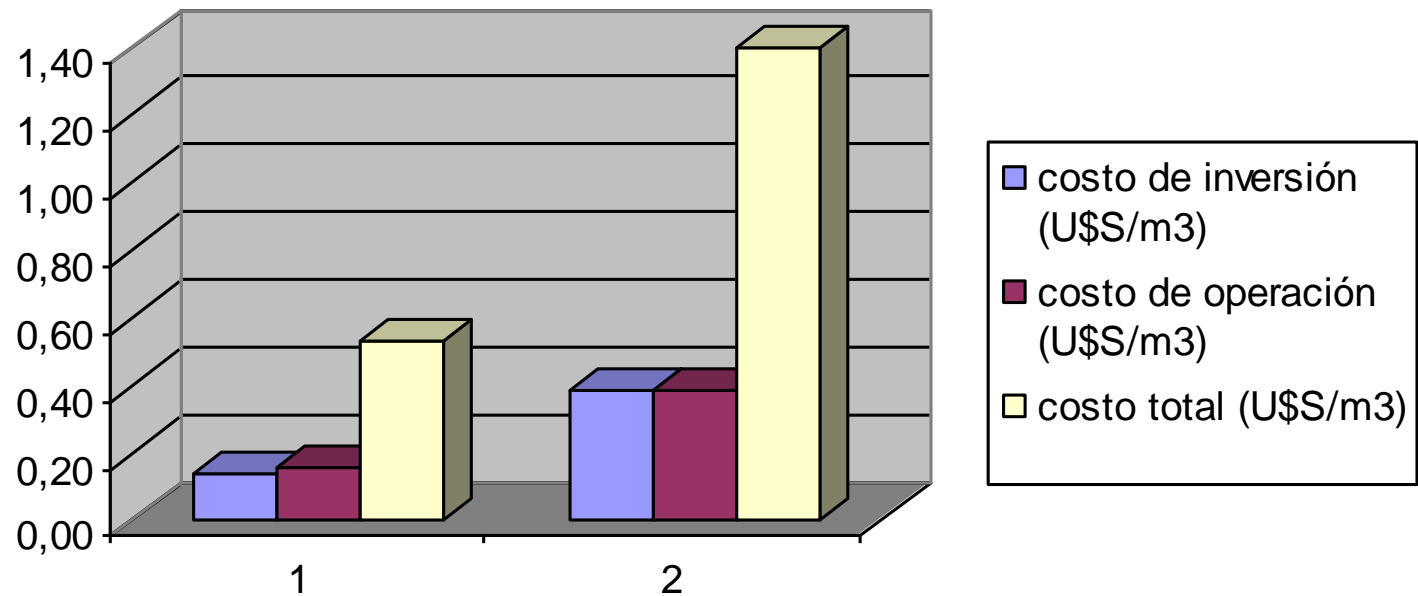
## indicadores ambientales

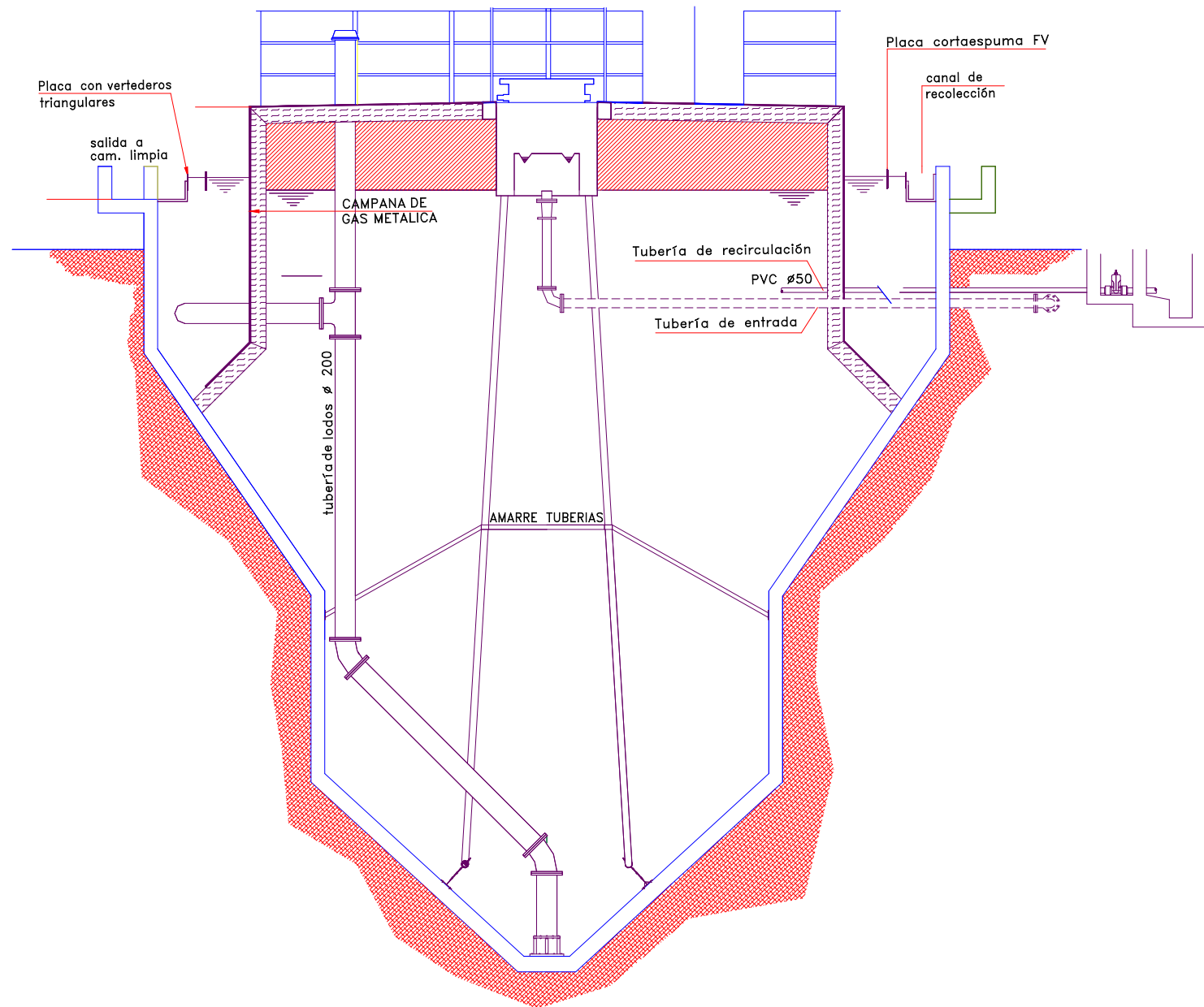


## indicadores energéticos



## indicadores económicos







Liquid collecting channel

03/06/2004



Pipes near the bo



A photograph showing a close-up of industrial pipes at the bottom of a tank. Two white PVC pipes are visible, one on the left and one on the right, both connected to a dark, rusty metal structure. A black flexible hose is also visible in the lower right corner. The background is a dark, rusty metal surface. The text "Pipes at the bottom and sludge purge" is overlaid in the center.

**Pipes at the bottom and  
sludge purge**



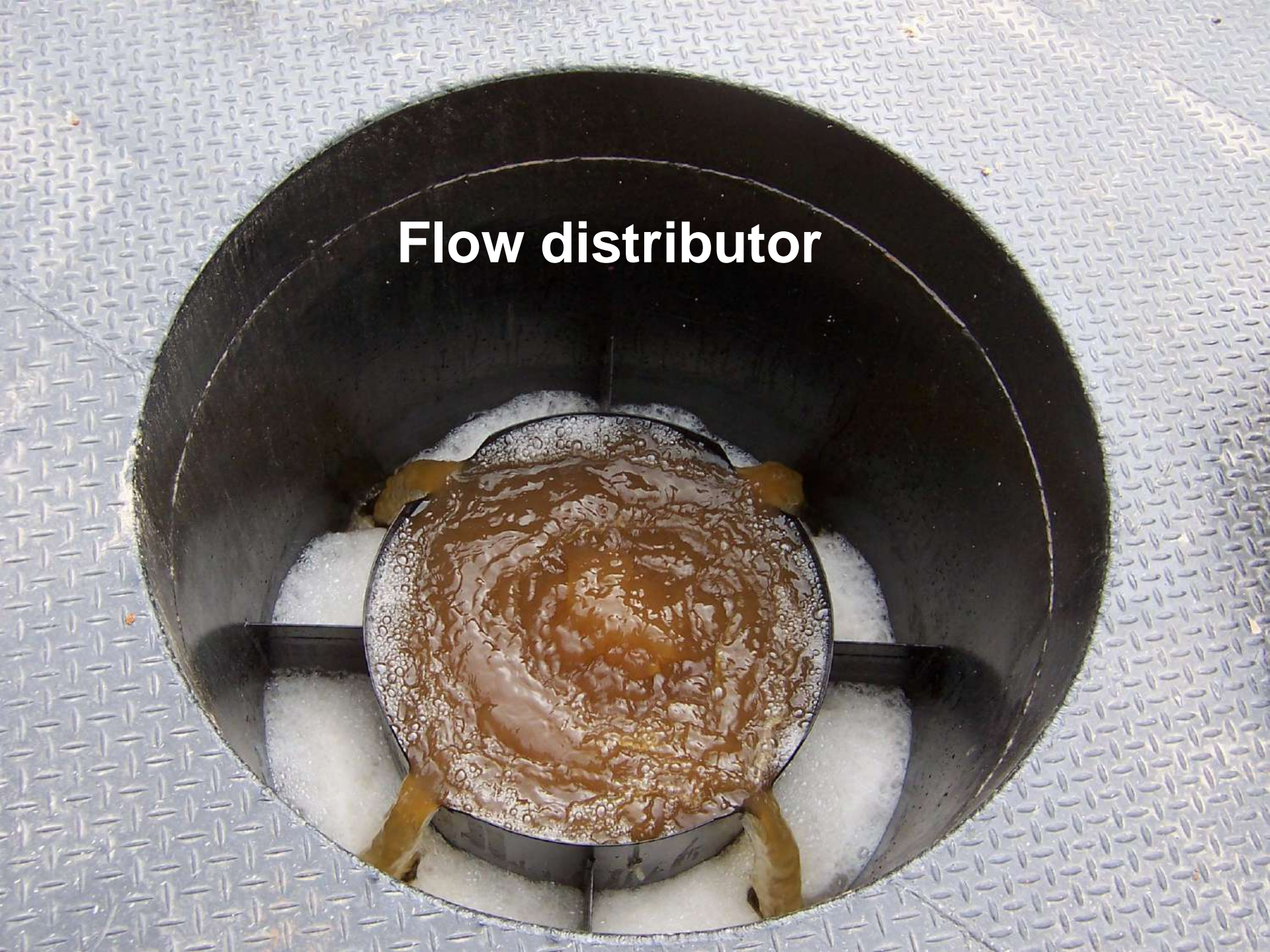


**Flow distributor**

03/06/2004



**Flow distributor**





# Tratamiento de efluente de maltería: reactor a escala real

MOSA



# Arranque de reactores

- ❑ El reactor se inoculó con lodo de una laguna anaerobia. La selección se realizó tomando en cuenta la calidad de los lodos y la distancia a recorrer.
- ❑ Luego de la inoculación se realizó una estrategia de arranque con aumento progresivo de la carga aplicada, hasta llegar a la carga de diseño.

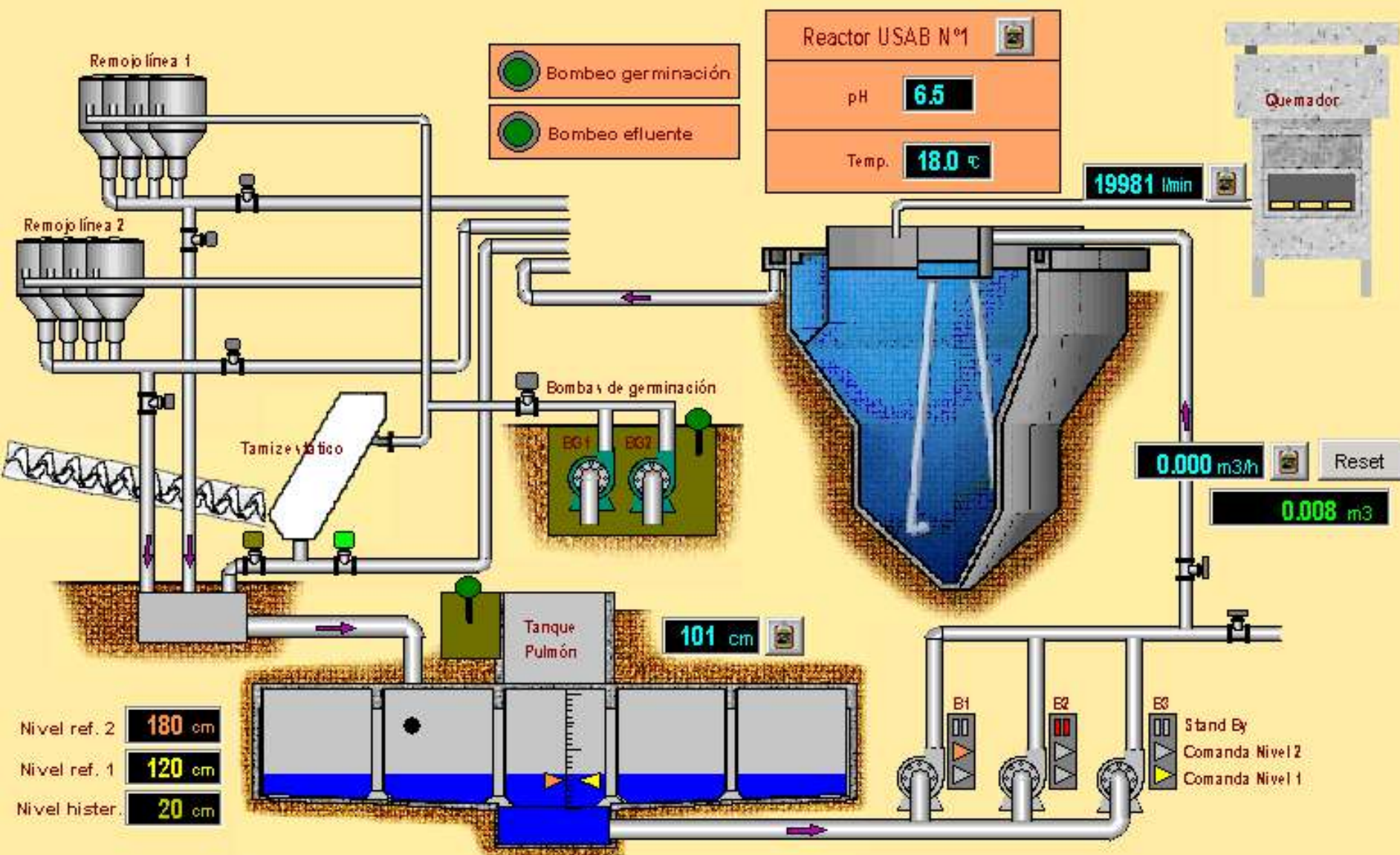
- Eficiencia de remoción mayor al 80%
- Producción de biogás 300 m<sup>3</sup>/d, con un promedio de 77% de metano.



# Planta de tratamiento de efluentes

Fecha: 05/08/2004

Hora: 12:18:08



Preremojo

Remojo

Germinación

Secado

Caldera

VISTA GENERAL



# Industria láctea; caso COLEME





# Tanque pulmón

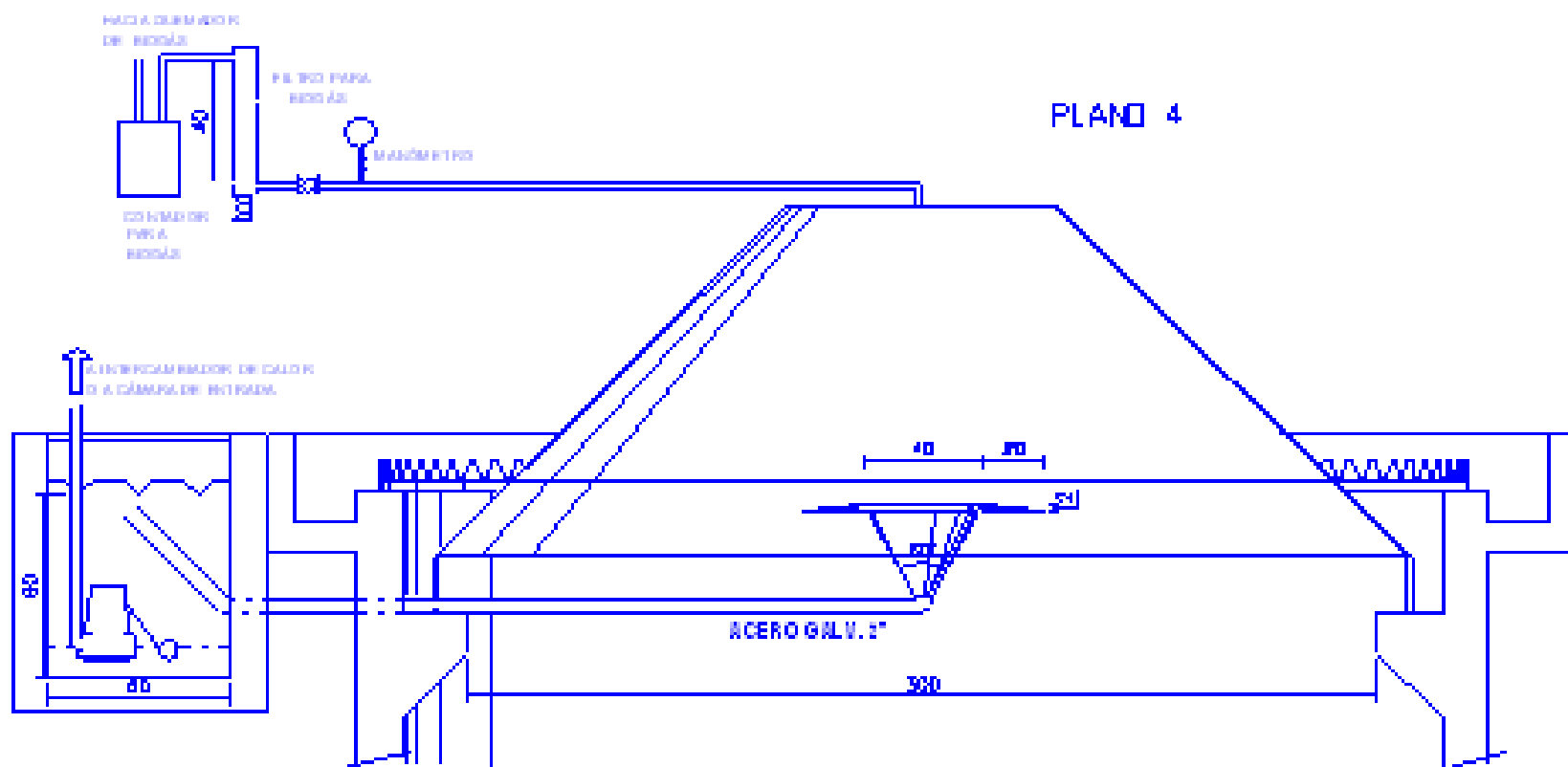


# Industria láctea; caso COLEME

COLEME



## Sistema de extracción de grasas y captación de biogás





## Sedimentador externo





# PROCESO DE GRANULACIÓN DEL LODO



FLOCULENTO

GRANULOS INCIPIENTES

GRANULAR

El IVL bajó: 37mL/g al inicio

18mL/g día 326

12mL/g en el día 380



**Digestor de grasa**

**70% de remoción de Sólidos**

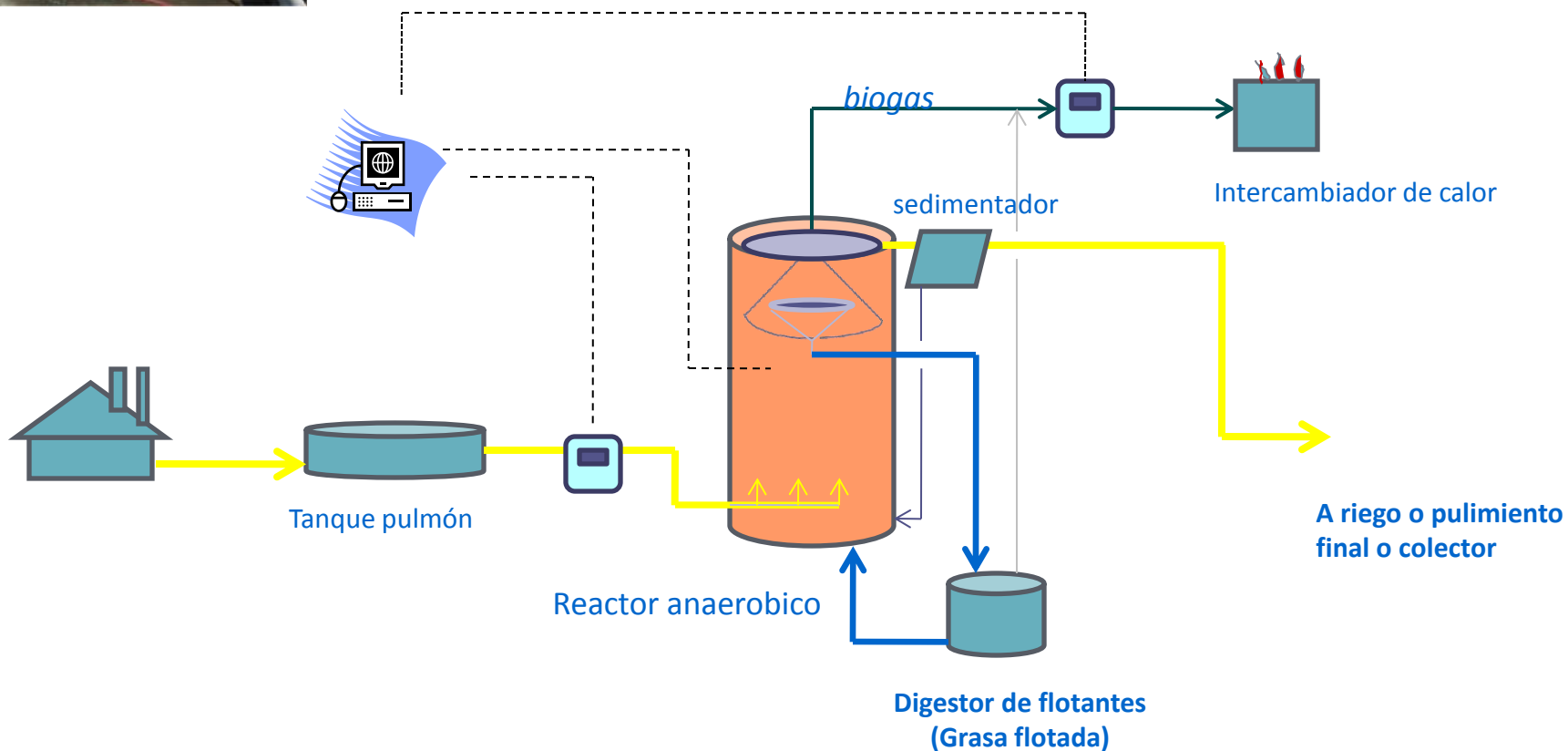


# Resultados y conclusiones

1. Cargas de hasta **5.5 kgDQO/(m<sup>3</sup>.d)** o más y con eficiencia de **REMOCIÓN SUPERIOR al 90% en DQOs**
2. **LAS GRASAS FLOTADAS SE DIGIRIERON CON ALTA EFICIENCIA** en un digestor de alta carga y esto eliminó la necesidad de disponer lodos fuera del sistema.
3. **EL COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ES MÍNIMO:**  
Costo de productos químicos: 0,00\$  
Costo de energía para aireación: 0,00



# Tratamiento de efluente lácteo





# Tratamiento de efluente lácteo



# Traslado del Reactor (Fibra de vidrio)





# Tratamiento de efluente lácteo



## REACTOR PILOTO



## REACTOR PILOTO



# Tratamiento de residuos sólidos

## Diferencia con tratamiento de líquidos: mismo TRH y 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
- ❑ Los reactores son del tipo RCAI o RTFP



# Principales residuos generados en Uruguay\*

- **Industria láctea**
- **Frigoríficos**
- **Industria pesquera**
- **Residuos animales (feed lots, vacas, cerdos, pollos)**
- **Producción de bioetanol**
- **Lodo de plantas aerobias**
- **RSU**
- **Residuos Agroindustriales**

\* Relevamiento nacional, BIOPROA 2013



# Contenido Ruminal Digestión Húmeda

OLECAR



- Estabilización del residuo
- Producción de biogás
- Proyección sobre los volúmenes del Frigorífico Pul:
  - Volumen del reactor: 800m<sup>3</sup>
  - Producción de metano: 560m<sup>3</sup>/día

# PRINCIPALES PLANTAS AGROINDUSTRIALES



Otros establecimientos relevantes: Bodegas, Tambos, Criaderos de cerdos,...



# CODIGESTIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES



INIA\_FPTA

- Co-digestión de grasa de trinchado, lodo de aceitera y contenido ruminal.
- Resultados a escala de piloto:
  - 50 % de reducción de SV
  - 2 m<sup>3</sup> de biogás por día y por m<sup>3</sup> de reactor.

# Reactor en operación







Suelo 1: rico en P y pobre en MO  
Moha: Testigo (izq) y dosis alta de lodo (derecha)



Suelo 2: pobre en P y rico en MO  
Moha: Testigo (izq), dosis media de lodo (centro) y dosis alta de lodo (derecha)



El residuo tratado fue sometido a ensayos agronómicos para estudiar su aplicación como bioabono. Los resultados fueron similares a los de la aplicación de un fertilizante químico



## Elementos del proceso anaerobio que es necesario conocer y controlar:

Parámetros de operación (deben permanecer en el entorno de los valores de diseño)

Control rutinario de desempeño:

- ☐ Medición de caudal de biogás y contenido de metano (balance de masa para corroborar correcto funcionamiento)

- ☐ pH

- ☐ Alcalinidad (AGV, Bicarbonato)

Otros controles:

- ☐ Actividad de la biomasa

- ☐ Presencia de inhibidores

## Consecuencias de no medir y controlar:

- ❑ Malfuncionamiento con incumplimiento de normativas
- ❑ Pérdida de actividad y masa microbiana (reinoculación y re arranque)





MUCHAS GRACIAS!!!