



BIOTECNOLOGÍA DE PROCESOS PARA EL AMBIENTE

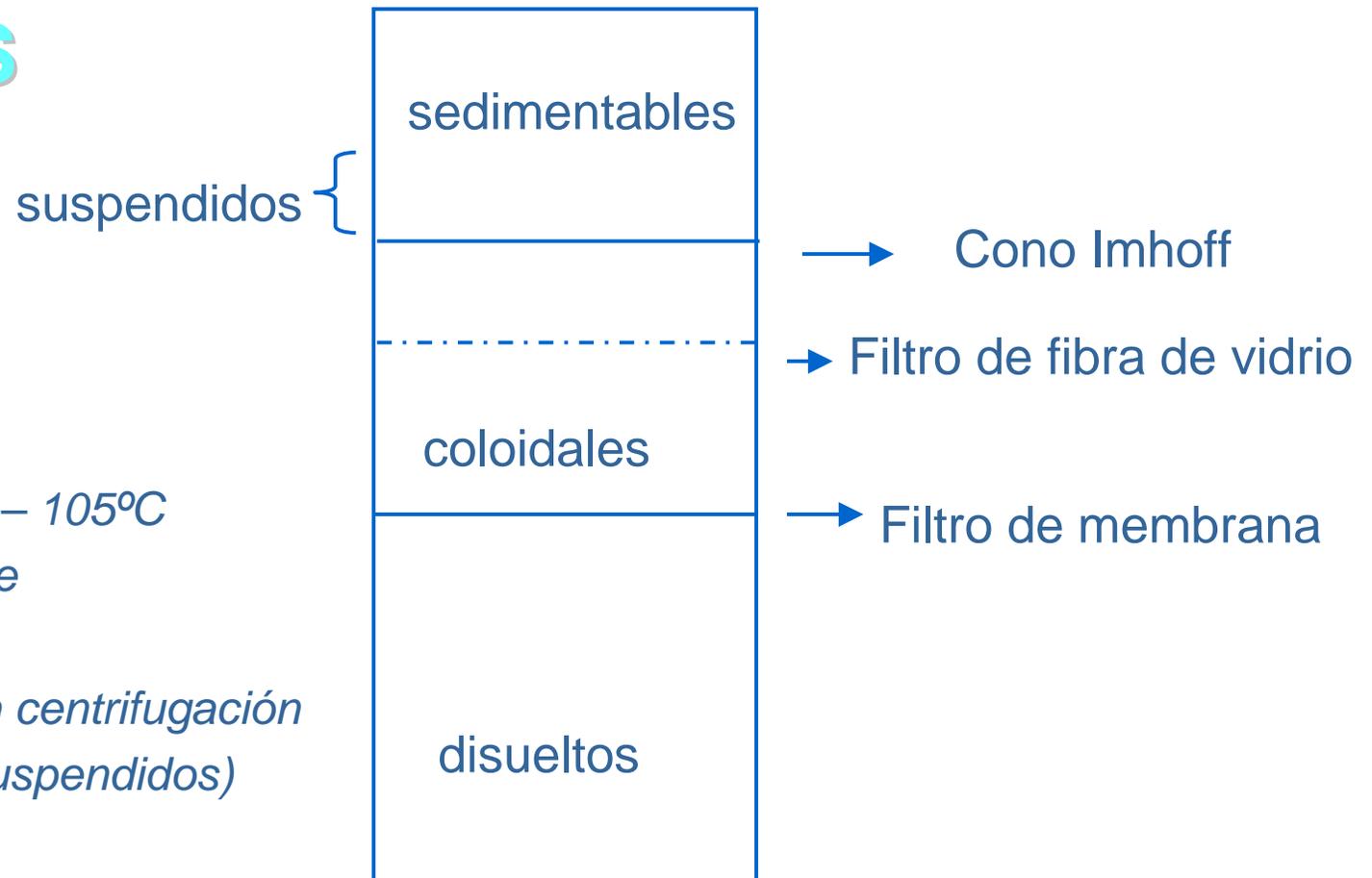
Departamento de Ingeniería de Reactores
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

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)

PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO Y CONTROL

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

■ SÓLIDOS



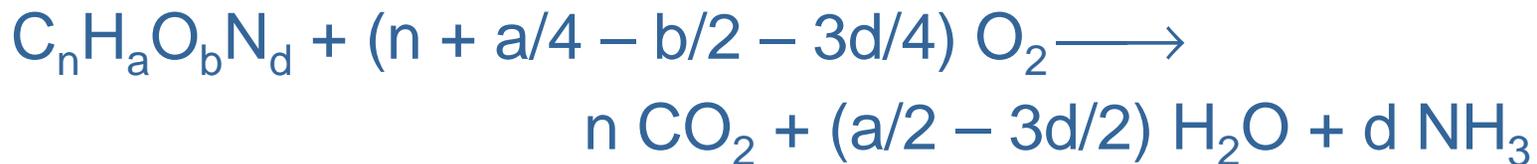
*Residuo seco a 103 – 105°C
hasta peso constante*

*(Alternativamente, la centrifugación
separa los sólidos suspendidos)*

- Todas las fracciones pueden tener material orgánico e inorgánico. Este último se estima como el residuo luego de la calcinación a 550°C
- Los Sólidos Volátiles, que representan la materia orgánica, se calculan por diferencia entre los Sólidos Totales (103 ° C) y los Sólidos Fijos

MATERIA ORGÁNICA

- DQO (COD) – Demanda Química de Oxígeno: oxidación química con bicromato a 150°C.
- COT (TOC) – Carbono Orgánico Total: se incinera en forma controlada la muestra y se mide el CO₂
- DTeO (ThOD) – Demanda Teórica de Oxígeno: se calcula a partir de la estequiometría



Ej: 1 mol de Ac.Acético (60g) requiere 2 moles de O₂ (64g) para oxidarse totalmente; entonces la DQO de 1 g de Ac.Acético es 64/60=1.067g DQO

pH, AGV y ALCALINIDAD



$$K_a = \frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]}$$

$$pH = pK_a + \log_{10} \frac{[Ac^-]}{[HAc]}$$

Alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos. Particularmente importante es la debida al bicarbonato:



$$pH = pK_1 + \log_{10} \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3^*]} \quad [H_2CO_3^*] = [CO_2] + [H_2CO_3] \cong [CO_{2(liq)}]$$

Generación de alcalinidad



En la práctica:

- La medida de **Alcalinidad total** se hace valorando con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 4.3$
- La **alcalinidad debida al bicarbonato** puede asociarse con el gasto de ácido hasta $\text{pH} = 5.75$ (valor empírico)

En la práctica:

- Se asume que la diferencia de alcalinidades (total menos bicarbonato) es debida a los **AGV** (la valoración entre 5.75 y 4.3 daría cuenta del 85% de ellos)

$$AB = AT - 0.85 * 0.83 * AGV$$

- Suele tomarse la relación de alcalinidades

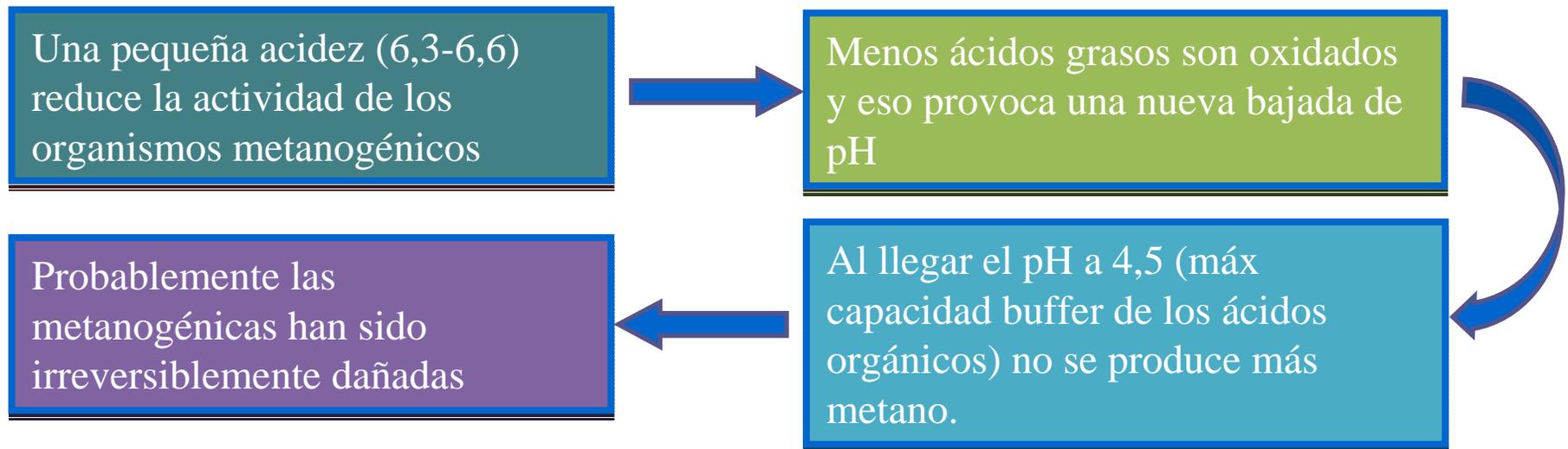
$$a = (AT - AB) / AB$$

Si $a > 0.3$ el procesos se desestabiliza

Parámetros que influyen en la formación de metano

■ pH

- La producción de metano presenta una importante dependencia con el pH y una región muy pequeña donde se da el óptimo.
- Muy importante el control del pH



Tiempo de duplicación de los microorganismos

Acidogénicos 30 min

Acetogénicos 1.4 días

Metanogénicos aceticlásticos 2.6 días

Metanogénicos hidrogenotróficos 6 horas

Aunque los acidogénicos no estén a pH óptimo, tienen crecimiento más rápido

Los metanogénicos aceticlásticos son los más lentos y se dañan por debajo de $\text{pH}=6.6$, por lo tanto es necesario mantener el pH por encima de 6,6

pH ópt: 6.8-7.4

Toxicidad AGV y NH_3

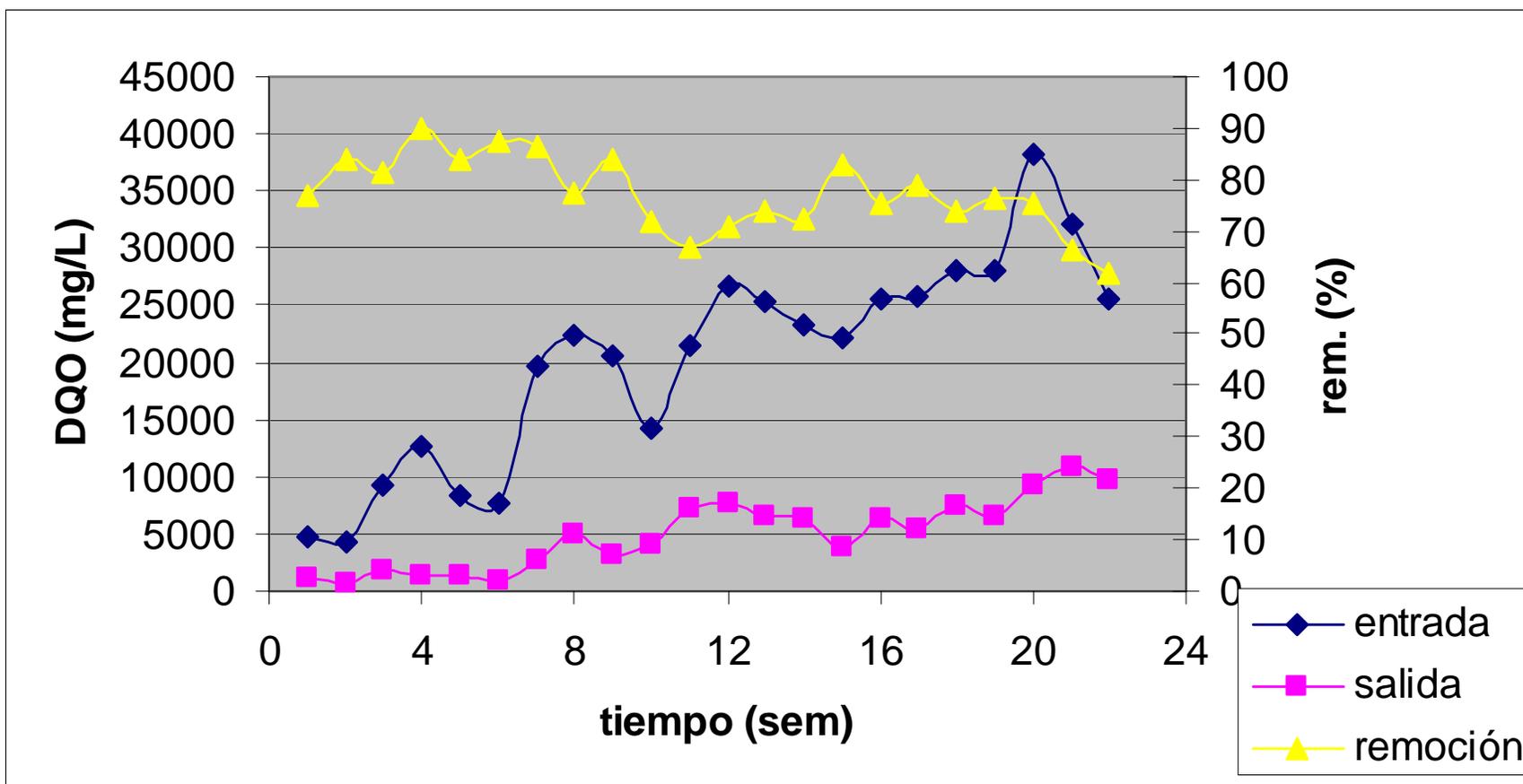
Las especies asociadas son las capaces de atravesar la membrana, por lo tanto:

- Los AGV son más tóxicos a pH bajo
- El amoníaco es más tóxico a pH alto

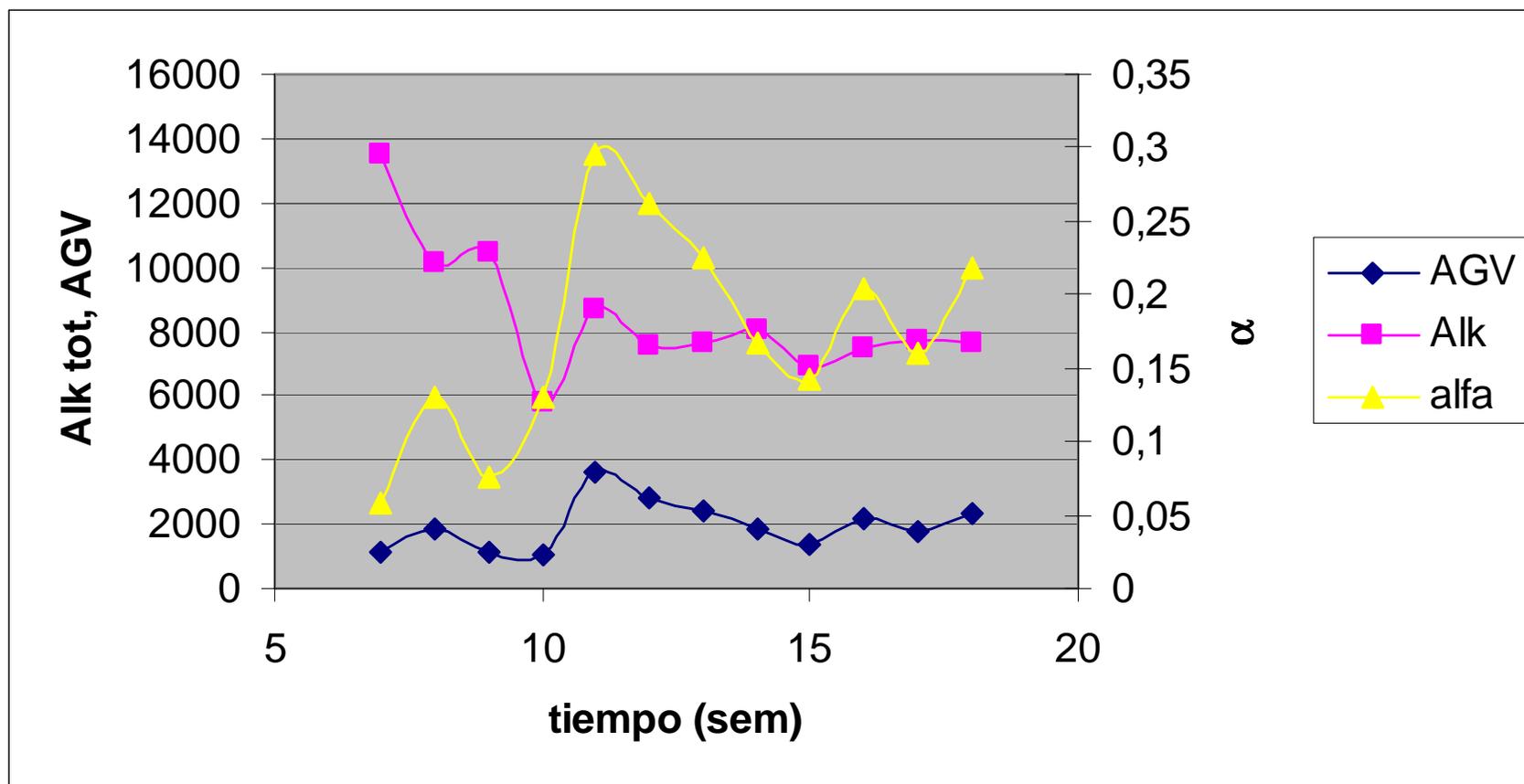
- En el seguimiento de un reactor se elaboran planillas donde se registran los datos a lo largo del tiempo de arranque y operación: DQO_e , DQO_s , AGV_e , AGV_s , AT_e , AT_s , AB_e , AB_s , pH, q, gas producido, composición del biogás, temperatura, etc.
- A partir de los datos registrados se calcula a lo largo del tiempo la eficiencia de remoción de DQO, el caudal de gas producido (por medio de un balance de masa se puede verificar si lo removido concuerda con el biogás producido)

En el arranque se comienza operando con cargas bajas (tanto específicas como volumétricas), de acuerdo a la actividad del lodo del inóculo (y a la cantidad del mismo para la carga volumétrica). Luego a medida que el lodo se aclimata, la carga se va aumentando, a la vez que se verifica la respuesta adecuada de los parámetros de seguimiento.

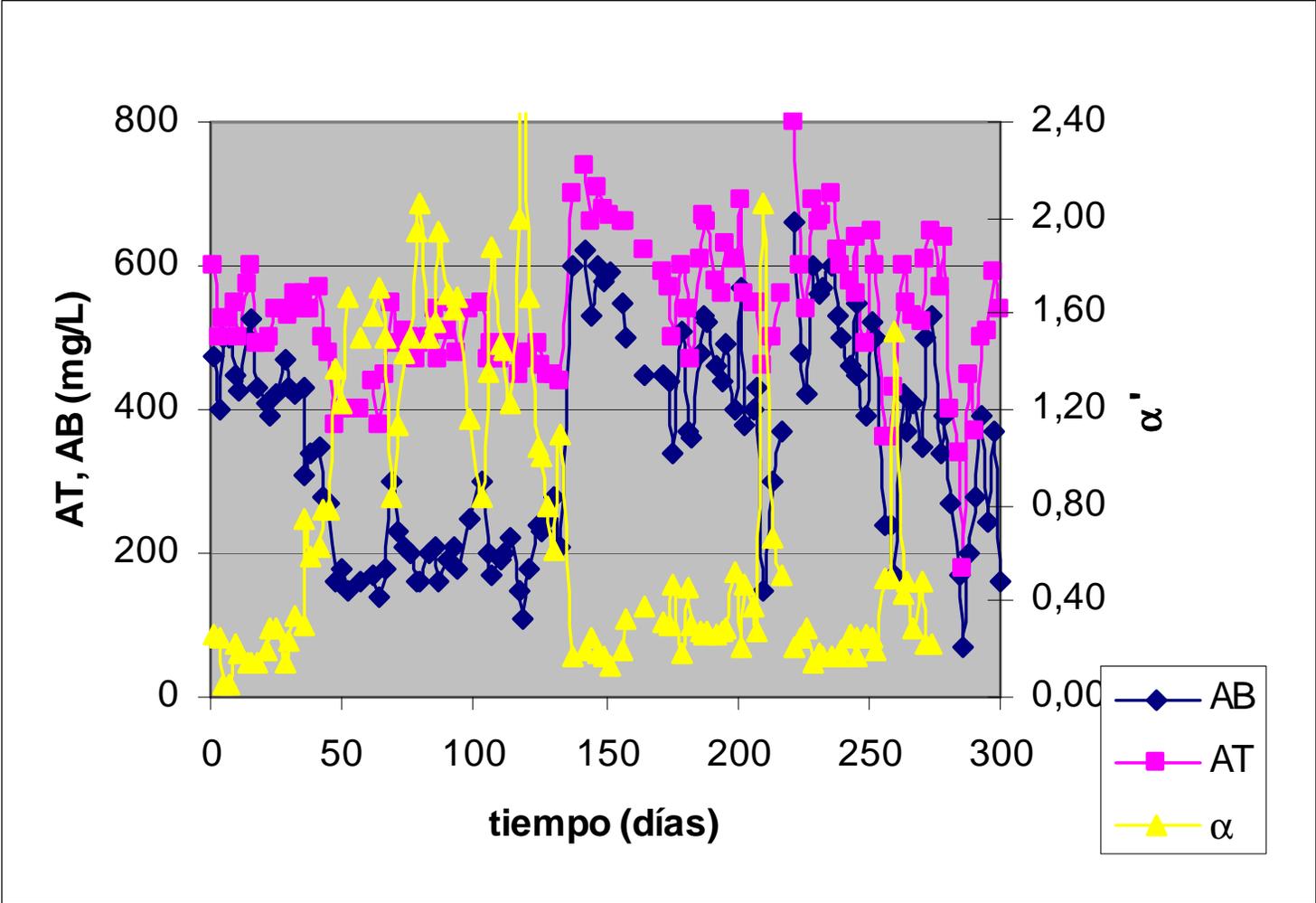
Ej.: lixiviado de relleno sanitario



Ej.: lixiviado de relleno sanitario

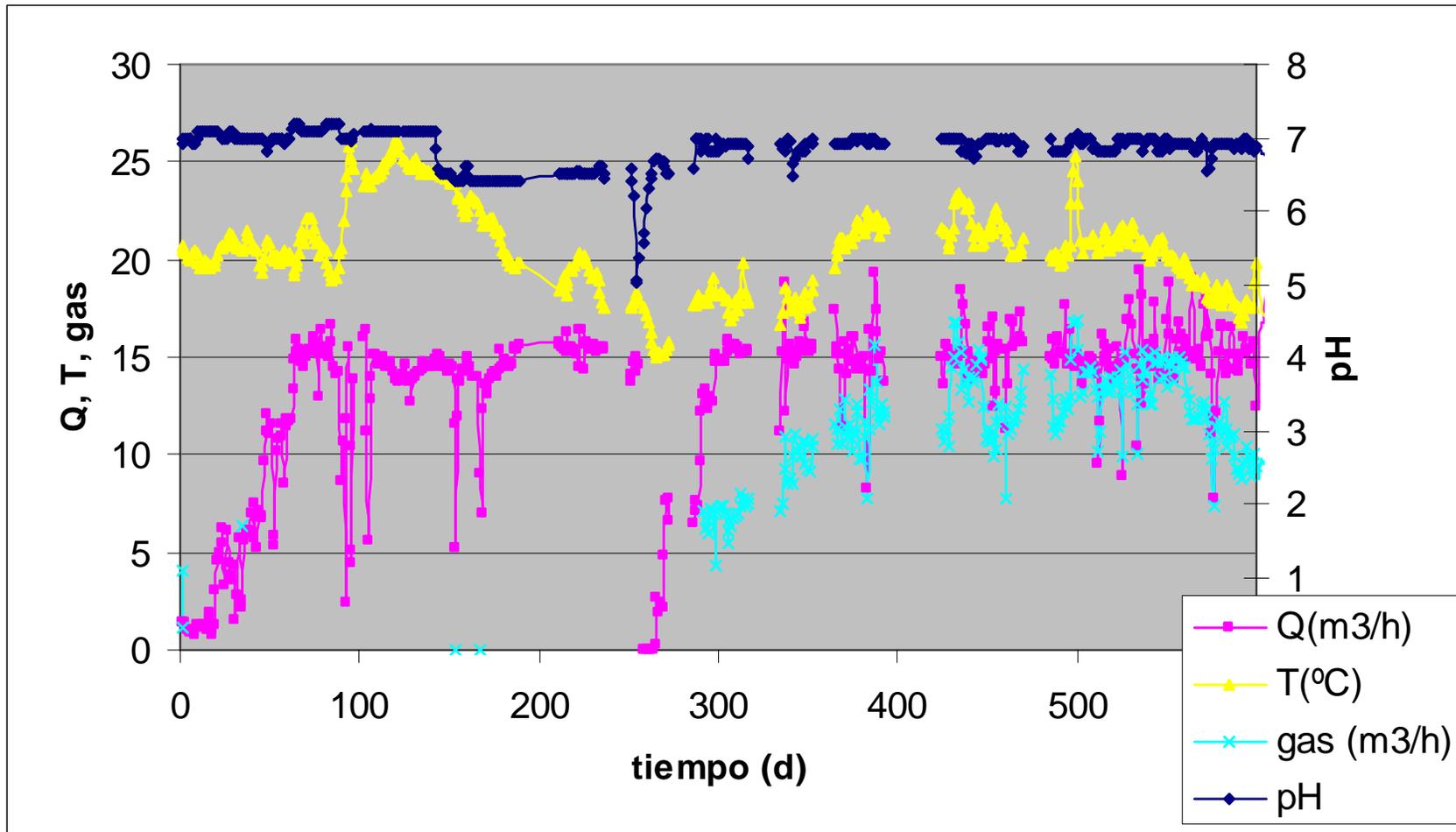


Ej.: efluente lácteo



- Algunos de los parámetros antes mencionados se pueden monitorear y registrar en forma continua:
 1. pH,
 2. temperatura
 3. caudal de líquido
 4. caudal de gas

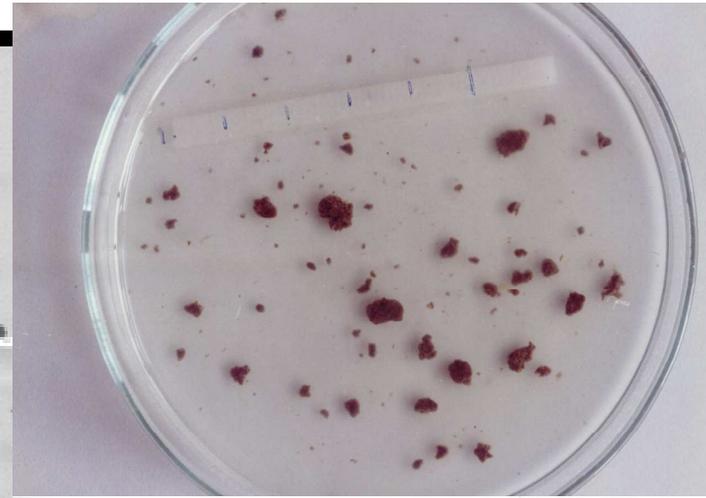
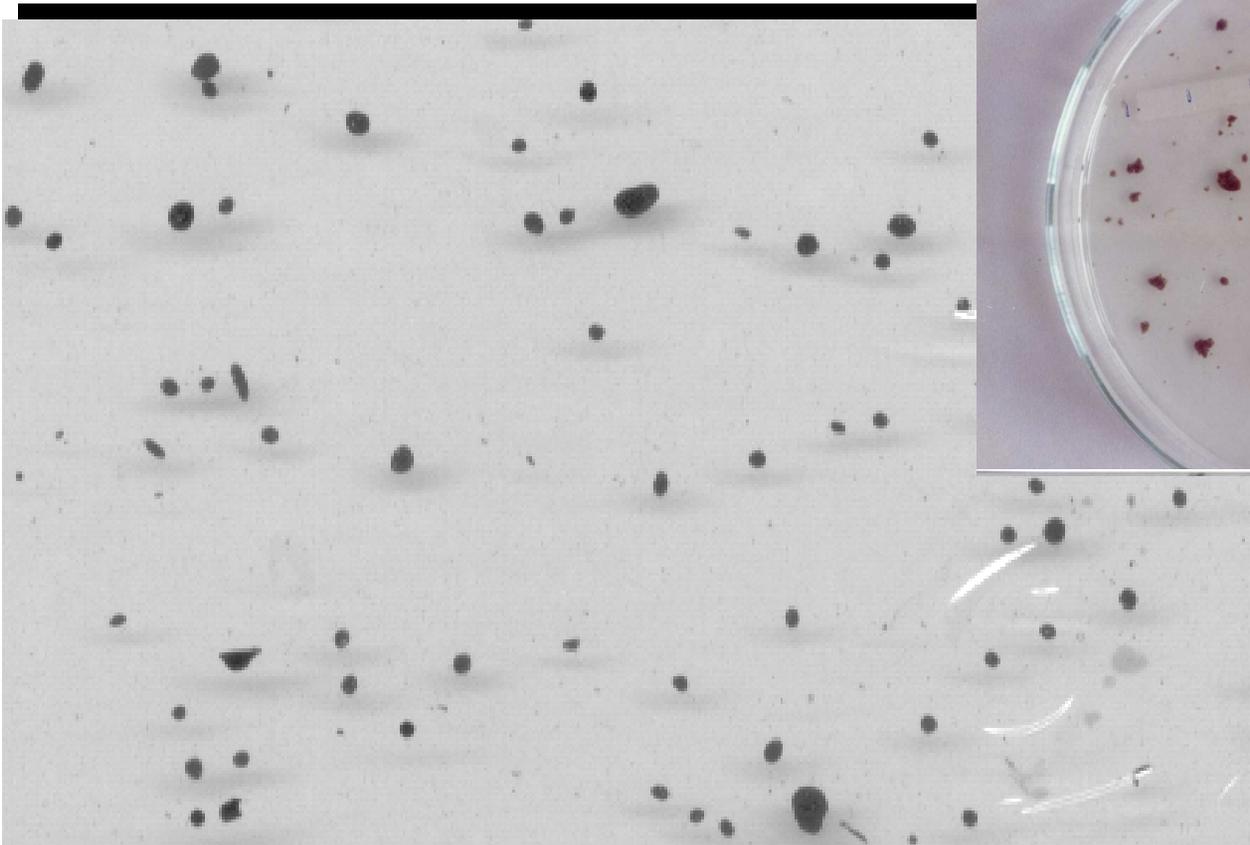
Ej.: efluente maltería



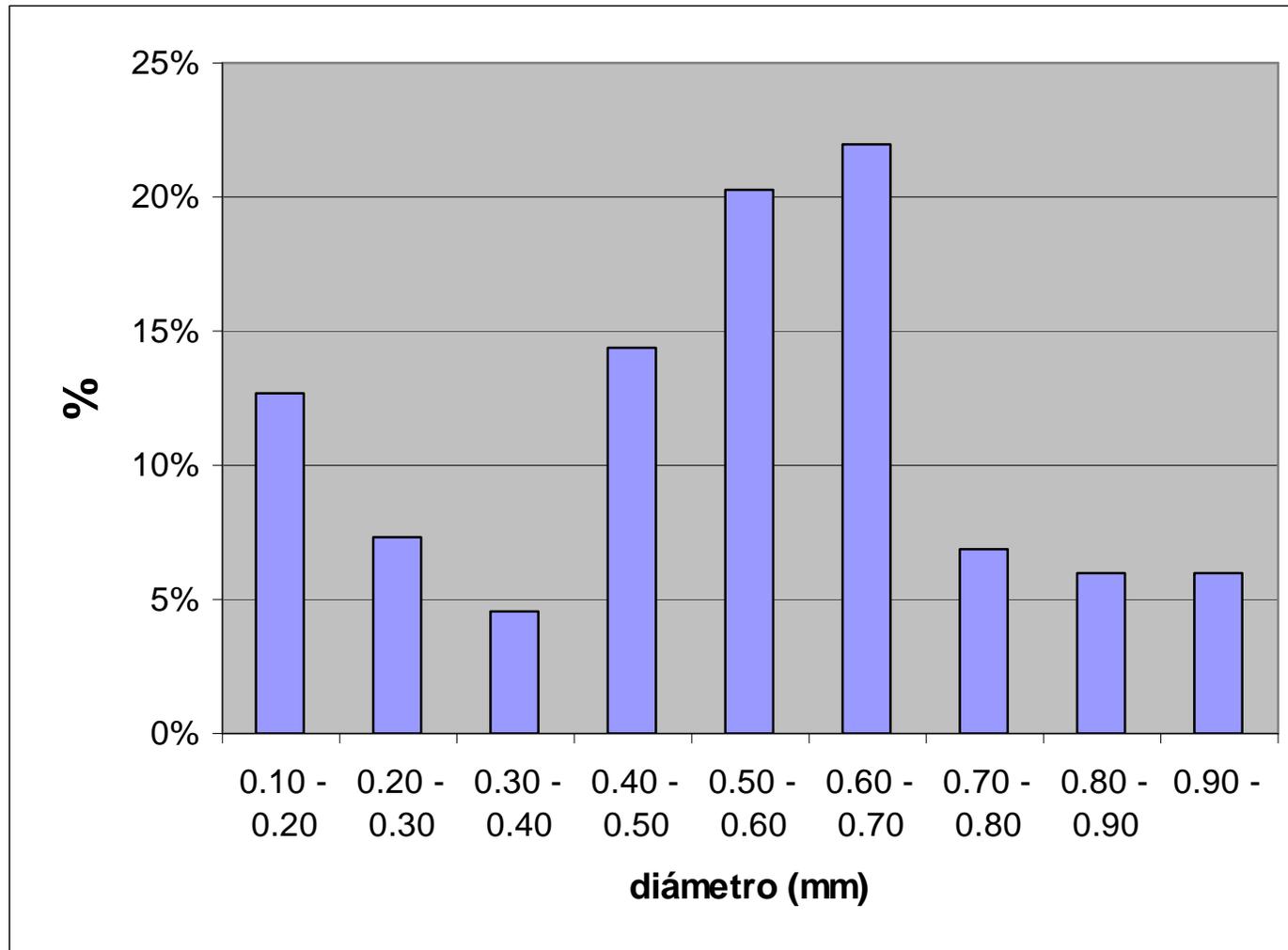
SEGUIMIENTO DE LA BIOMASA

- Otro parámetro que se sigue y se registra es la característica del lodo en el reactor. Para ello se determina a distintas alturas la concentración de SSV y de SSF. Por otra parte se mide además el tamaño de los gránulos que se extraen a las diferentes alturas.
- Con lo anterior se pueden confeccionar perfiles de los sólidos en el reactor y determinar el tamaño medio de gránulo.

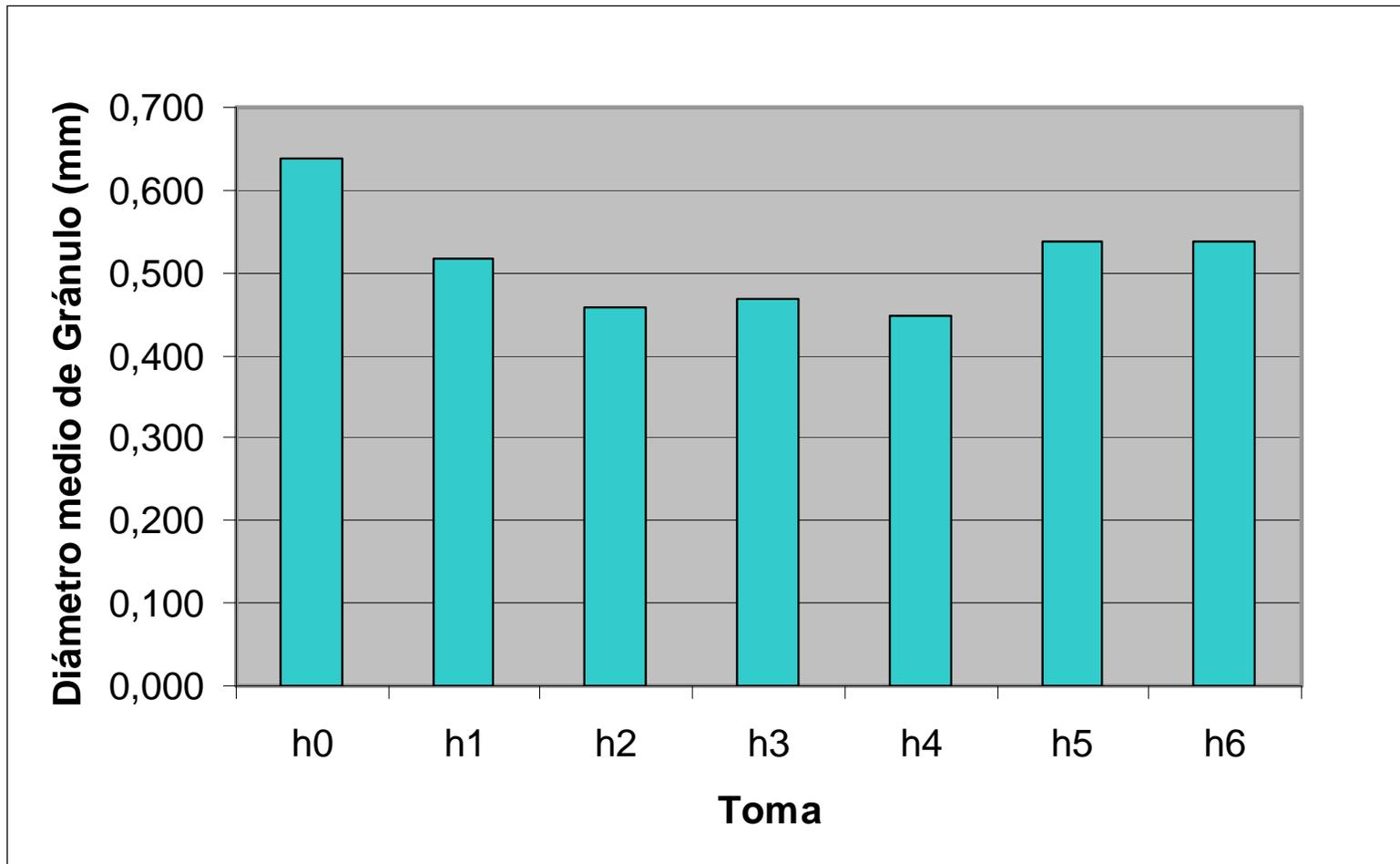
Determinación de tamaños de gránulos



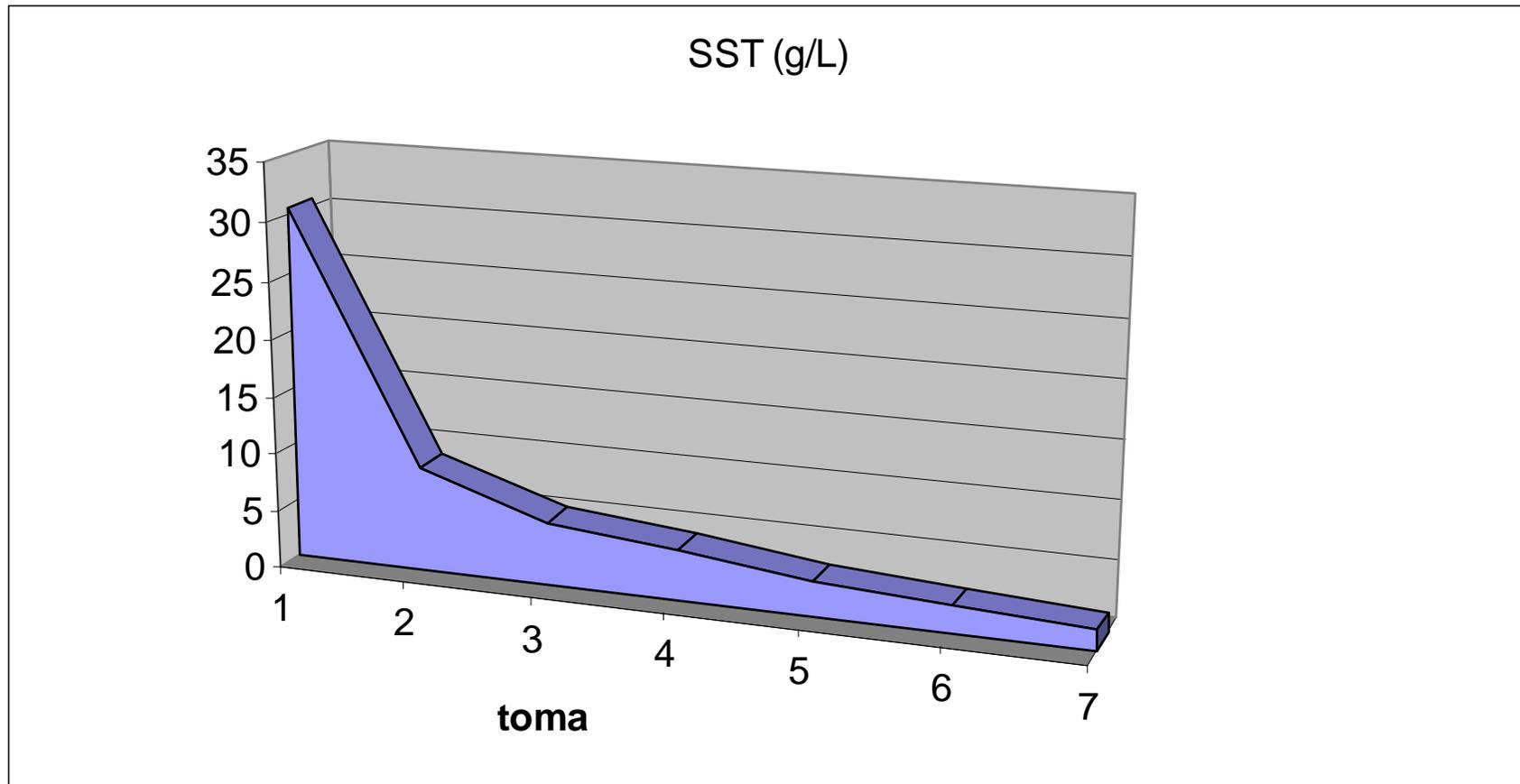
Ej.: granulometría de una muestra



Ej.: diámetro medio en distintas tomas



Ej.: perfil de sólidos



ENSAYOS ANAEROBIOS

- Actividad Metanogénica del lodo
- Biodegradabilidad del agua residual
- Toxicidad de algún componente

- Basados en la medida de la producción de metano o de algún parámetro del agua residual (DQO, AGV, algún sustrato en particular)

SEGUIMIENTO DE LA BIOMASA:

ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECIFICA

- Es un parámetro cinético que refleja la máxima velocidad de consumo de sustrato por unidad de biomasa
- Asumamos cinética de Monod:

$$r_X = \frac{dX}{dt} = \mu_m X \frac{S}{K_S + S}$$

- Rendimiento, Y_{XS} , relación entre el crecimiento bacteriano y el consumo; si se considera constante

$$Y_{XS} = -\frac{r_X}{r_S} = -\frac{(X_0 - X)}{(S_0 - S)}$$

SEGUIMIENTO DE LA BIOMASA:

ACTIVIDAD METANOGENÉICA ESPECÍFICA

- Por tanto

$$r_s = -\frac{dS}{dt} = \mu_m \left(\frac{X_0}{Y_{XS}} + S_0 - S \right) \frac{S}{K_s + S}$$

$$Ac = \frac{1}{X_0} \left(-\frac{dS}{dt} \right) = \left(\frac{Ac_m}{X_0} \right) (X_0 + Y_{XS} (S_0 - S)) \frac{S}{K_s + S}$$

$$si \quad \frac{X_0}{Y_{XS}} \gg (S_0 - S) \quad y \quad S \gg K_s$$

$$Ac \cong Ac_m = \frac{\mu_m}{Y_{XS}}$$

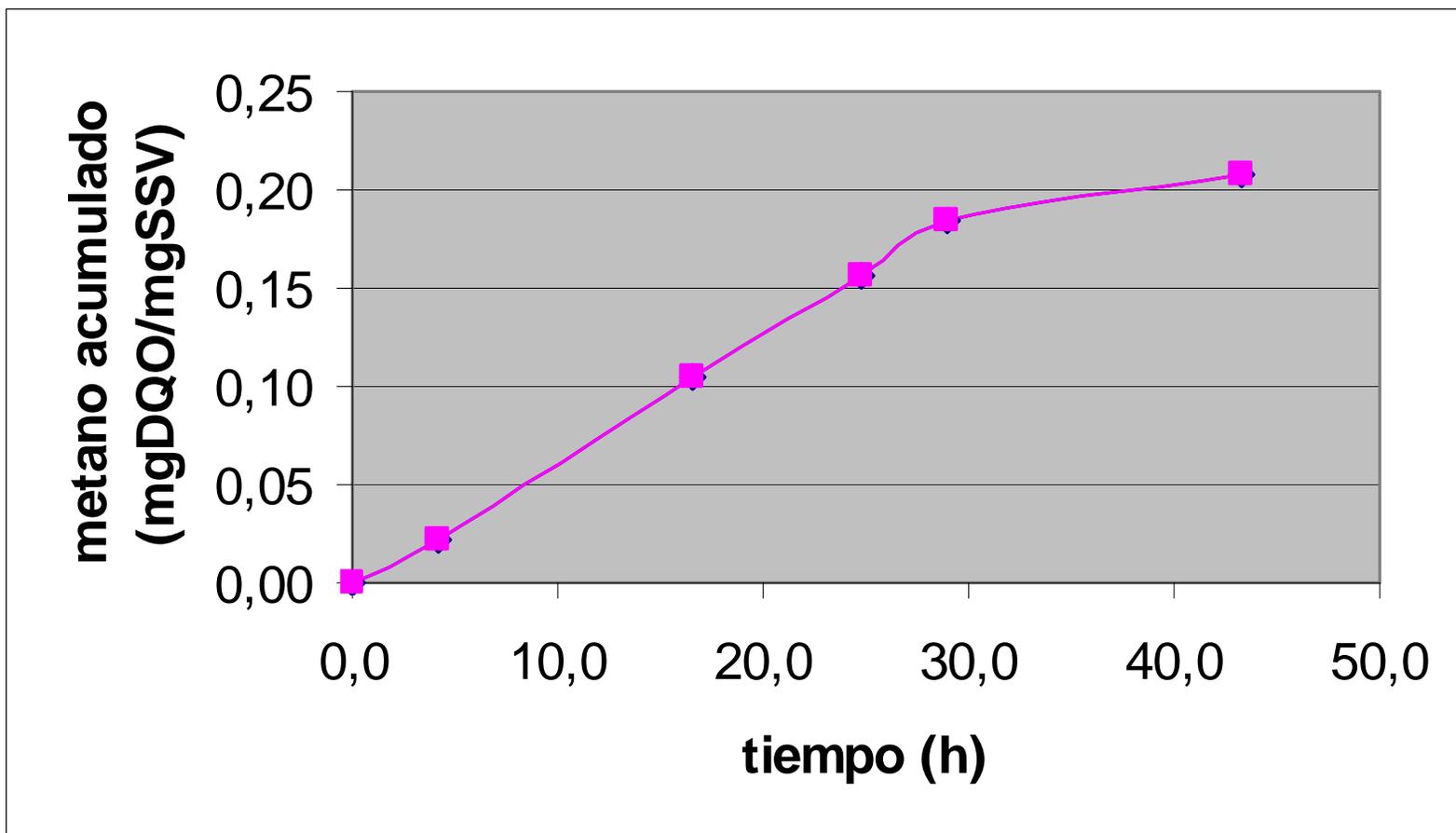
Procedimiento operativo

- Cálculo aproximado de las concentraciones para asegurar las condiciones deseadas
- Colocar en el vial el lodo (lavado), solución buffer, (solución de nutrientes), solución reductora y agua de dilución (previamente calculada)
- Ajustar pH
- Agregar sustrato
- Barbotar con gas inerte y cerrar inmediatamente

Procedimiento operativo

- Introducir jeringa para toma de muestras y conexión a dispositivo de medida de gas
- Conectar con dispositivo de medida de gas (continua) o a intervalos adecuados medir presión y composición de gas
- Dejar en sistema de temperatura controlada / Agitación
- Determinar la pendiente inicial de la gráfica de metano acumulado vs tiempo y dividirla por la cantidad de SSV





AME = 0.15 gDQO/gSSV.d

ENSAYOS ANAEROBIOS

- Actividad Metanogénica del lodo
- Biodegradabilidad del agua residual
- Toxicidad de algún componente

- Basados en la medida de la producción de metano o de algún parámetro del agua residual (DQO, AGV, algún sustrato en particular)

ENSAYOS DE BIODEGRADABILIDAD

- Similares en su operativa a los test de AME
- Son más largos
- Requieren agregado de nutrientes
- Se trabaja con mayor concentración de lodo para evitar limitaciones debidas a la poca biomasa (5 gSSV/L para AME de 0.2 gDQO/gSSV.d)

ENSAYOS DE BIODEGRADABILIDAD

- Evitar concentraciones muy altas que puedan provocar acidificación (hasta 5 gDQO/L)
- Evitar concentraciones altas de tóxicos si los hubiera
- Se toman muestras para determinar DQO y AGV, pues el sustrato al biodegradarse se transforma en metano, AGV y biomasa (se necesitan mayores volúmenes)
- Hay que hacer un blanco con agua destilada para evaluar la degradación del lodo

ENSAYOS DE TOXICIDAD

- Se determina la Actividad a distintas concentraciones de tóxico, evaluándose la reducción de actividad frente a la actividad sin tóxico.

Condiciones experimentales para distintos test

Parámetros	Act. Metanogénica máxima	Act. Acidogénica máxima	Actividad hidrolítica	Act. Metanogénica Global máxima
Sustrato	AGV	glucosa	polímeros	Agua residual
S (gDQO/L)	2	1.5	1.5	5
SSV (g/L)	0.8 – 8	0.5	0.5	0.8 - 8
seguimiento	metano	sustrato	sustrato	metano