



# ASPECTOS GENERALES DEL MANEJO DE LODOS

**Dr. José Antonio Barrios Pérez**

**CURSO SOBRE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES  
DE PLANTAS DE TRATAMIENTO**

**México, D.F., 3 y 4 de diciembre de 2009.**

# LODO RESIDUAL

- Son **sólidos** con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, **que no han sido sometidos a procesos de estabilización.**



# BIOSÓLIDO

- **Lodos** que han sido **sometidos a procesos de estabilización** y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser **susceptibles de aprovechamiento** (NOM-004-SEMARNAT-2002).



# **TIPOS DE LODOS Y PROPIEDADES**

# TIPOS DE LODOS Y PROPIEDADES



## Primario

- → sedimentadores primarios
- color grisáceo
- oloroso
- 50-60% de los sólidos suspendidos del influente
- fácilmente deshidratable
- sólidos totales: 4 - 10%
- sólidos volátiles: 60 - 80%



## Lodo activado

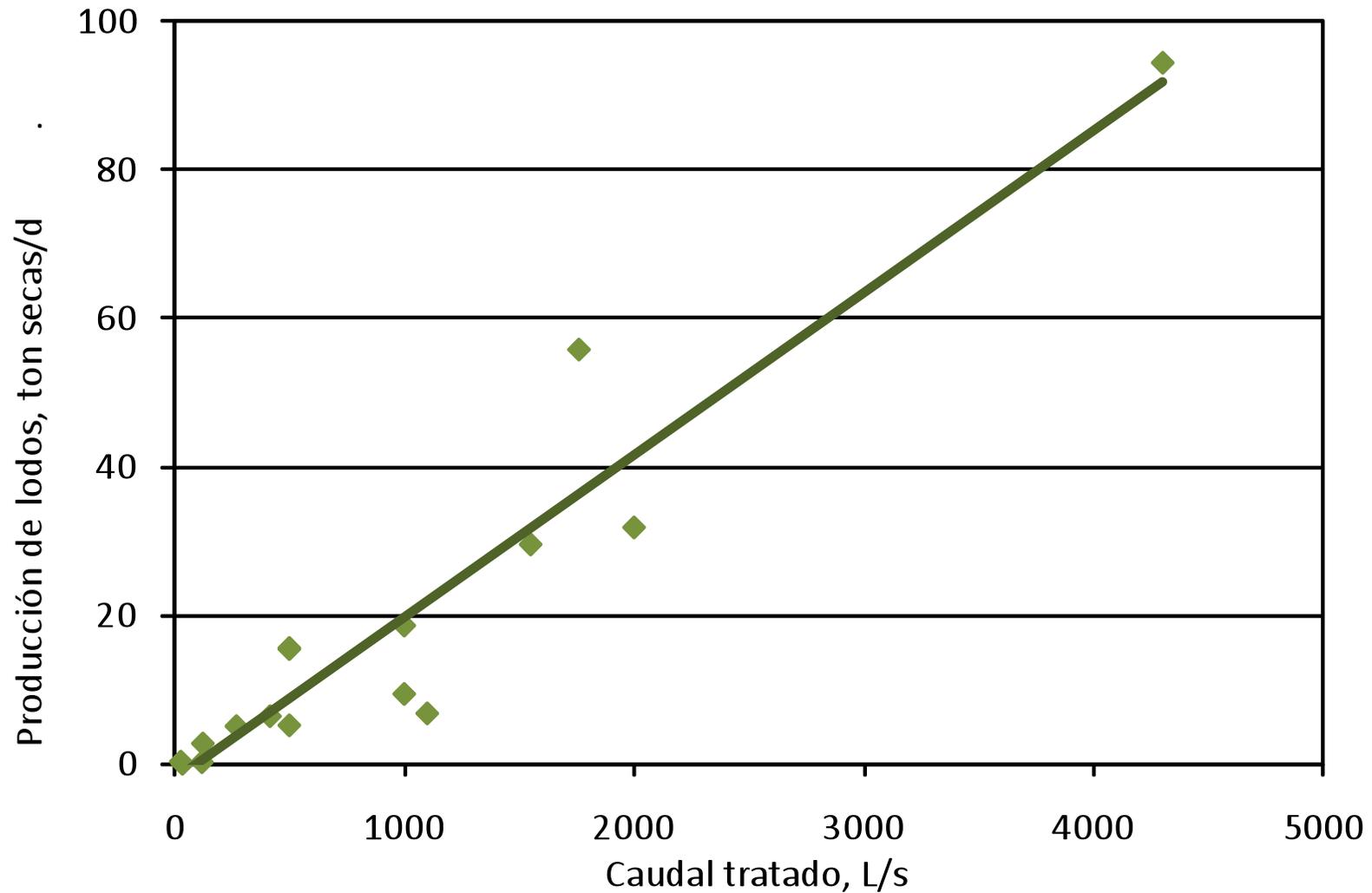
- color café oscuro
- suspensión flocculenta de biomasa activada
- alto contenido de agua
- difícil de deshidratar
- sólidos totales: 0.5 - 2.0%
- sólidos volátiles: 70 - 80%



## Lodo químico

- Tratamiento primario con químicos
- color café oscuro/negro
- suspensión semi-flocculenta
- fácil de deshidratar
- sólidos totales: 0.5 - 10.0%
- sólidos volátiles: 50 - 70%

# PRODUCCIÓN DE LODOS



# **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA**

# CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

- Representa la humedad del lodo
- Se mide por diferencia de pesos (peso de sólidos secos/peso de la muestra húmeda)
- Secado a 103 - 105° C
- 1% ST  $\approx$  10 g de sólidos secos/L de lodo
- A mayor sequedad del lodo, menor volumen



# CONCENTRACIÓN DE SV Y SF

- Calcinación del residuo de la prueba de ST a 550° C
- Sólidos volátiles (SV):
  - Representan la materia orgánica de los lodos
  - Se emplean para evaluar la estabilidad del lodo
- Sólidos fijos (SF):
  - Sólidos no volátiles o inorgánicos

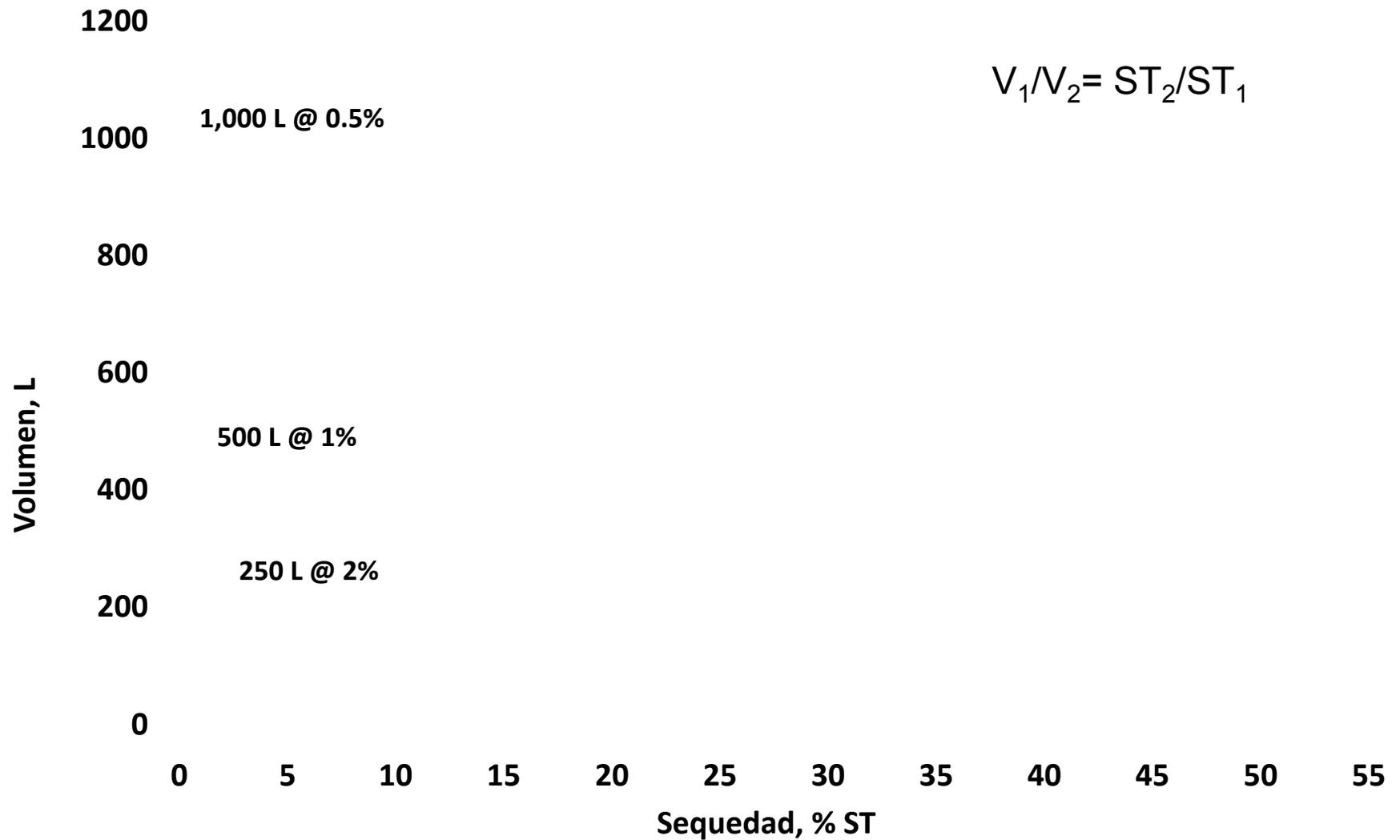


# AGUA EN LOS LODOS

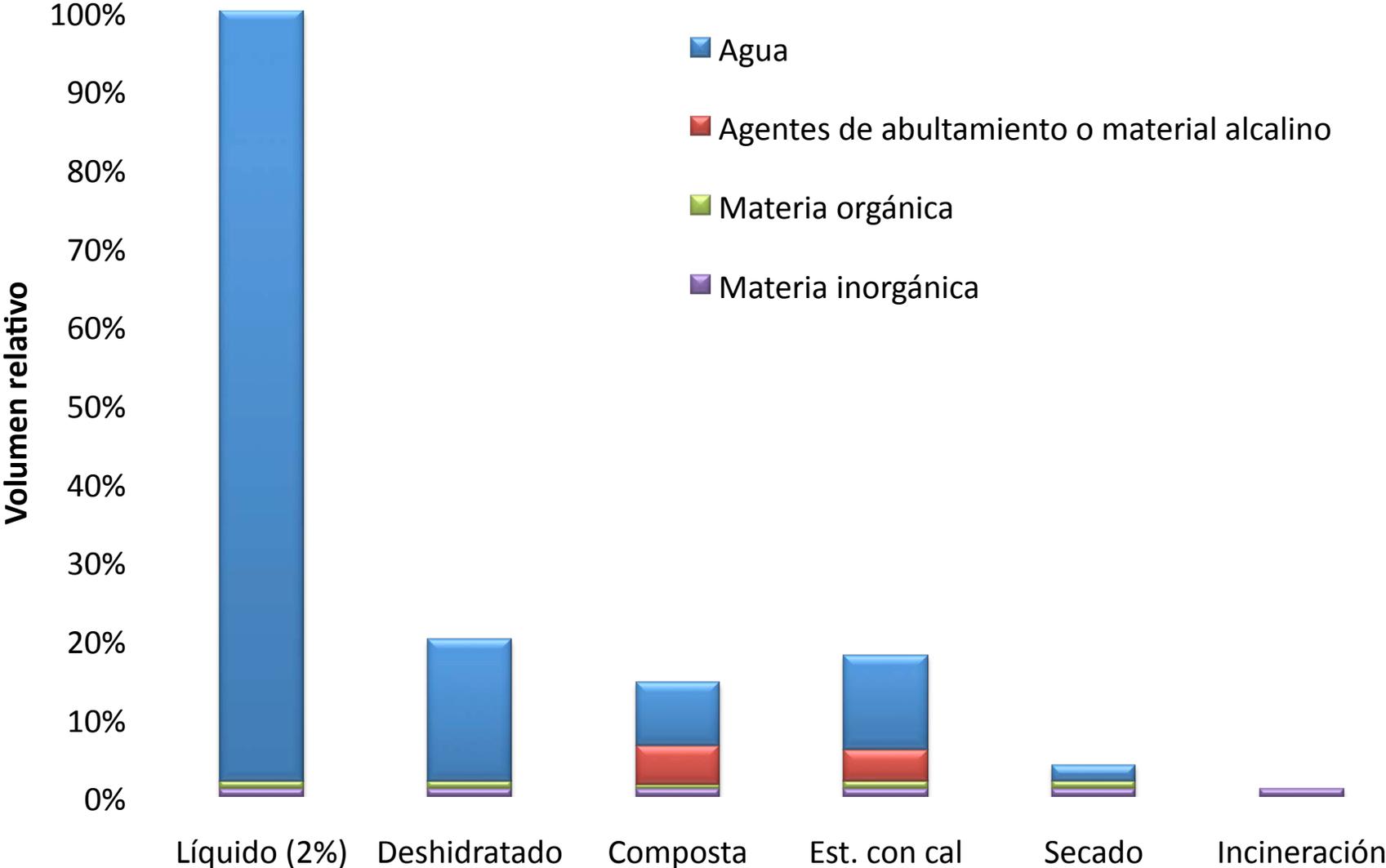
- Agua libre: puede ser separada por gravedad o por medios mecánicos, 70-75%
- Agua intersticial: se encuentra entre los flóculos debido a fuerzas capilares
- Agua superficial: cubre la superficie de las partículas de lodo en varias capas
- Agua intracelular y ligada: parte de las células



# SEQUEDAD vs. VOLUMEN



# VOLUMEN EN DIFERENTES ETAPAS



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Nitrógeno:
  - Nutrimiento crítico para las plantas
  - N orgánico: no asimilable
  - N inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ): asimilable
  - Conversión  $\text{N}_{\text{org}} \rightarrow \text{N}_{\text{inorg}}$ :  $f(\text{pH}, \text{humedad}, \text{temperatura}, \text{O}_2)$
  - Plantas requieren de 50 a 350 kg/ha de N
  - Exceso de nitrógeno puede contaminar el agua subterránea o superficial ( $\text{NO}_3^-$ )

# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Nitrógeno:
  - Mineralización ( $N_{org} \rightarrow N_{inorg}$ )

Porcentaje de mineralización del N orgánico original				
Tiempo después de la aplicación, años	Lodo primario crudo y lodo activado	Lodo digerido aerobiamente y estabilizado con cal	Lodo digerido anaerobiamente	Lodo composteado
0-1	40	30	20	10
1-2	20	15	10	5
2-3	10	8	5	3

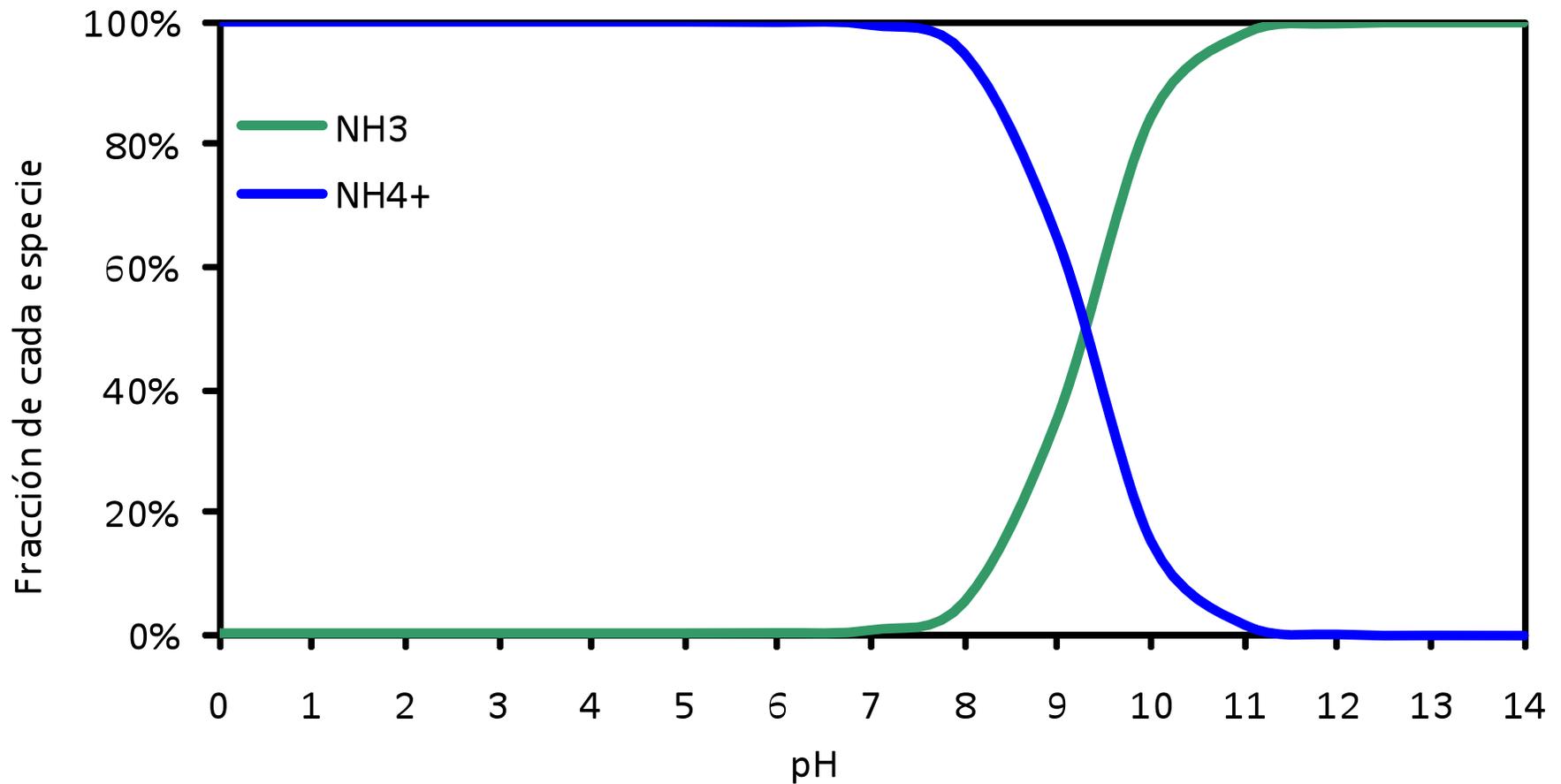
- Factor limitante, siempre y cuando se cumplan los límites de aplicación por metales

Fuente: Girovich, 1996



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Especiación del N amoniacal



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Fósforo
  - 2º nutrimento crítico para las plantas
  - P orgánico → ortofosfatos (asimilables)
  - Poca solubilidad a  $\text{pH} < 5.5$  o  $> 7.5$
  - Contenido en lodos depende del P en el agua residual y el proceso de tratamiento
  - Requerimientos de P en cultivos: 0 – 95 kg/ha
  - Recurso limitado



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Potasio:
  - Ayuda a mantener la permeabilidad de la célula
  - Incrementa la resistencia de la planta a enfermedades
  - En suelos no siempre está biodisponible (fertilizantes)
  - Presente en minerales que lo liberan por intemperismo
  - Requerimientos de potasio: 170 kg/ha



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Otros nutrimentos inorgánicos:
  - Calcio: generalmente presente en el suelo, aporte importante en lodos estabilizados con cal
  - Magnesio: indispensable para la formación de clorofila; contenido bajo en lodos
  - Azufre: presente como sulfato en los lodos



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Micronutrientes:
  - Fe, Zn, Cu, Mn, B, Na, Cl
  - pH del suelo y lodos afecta su disponibilidad
  - Metales solubles en pH ácido, a pH neutro o alcalino forman óxidos o hidróxidos no disponibles
  - En exceso pueden causar fitotoxicidad



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Materia orgánica:
  - Mejora la estructura física del suelo
  - Evita la erosión
  - Incrementa la retención de agua
  - Favorece el desarrollo de vegetación
  - Favorece el intercambio de aire a las raíces de las plantas
  - Incrementa la capacidad de intercambio de nutrientes planta«suelo
  - Fuente de nutrimentos para las plantas
  - Mejora la infiltración, aeración y agregación de las partículas del suelo
  - Repercute en la productividad del suelo, formación de humus, densidad, agregación, porosidad y retención de agua



# COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Compuestos orgánicos:
  - No han sido encontrados en cantidades que representen riesgo a la salud o al ambiente
  - En cantidades traza generalmente se ligan a partículas del suelo
  - El suelo amortigua los efectos tóxicos potenciales
  - La mayoría de los estudios concluye que no representan un riesgo si se consideran los criterios de aplicación



# BACTERIAS

- Organismos vivos más pequeños
- Incluyen actinomicetos, coliformes (fecales y totales), estreptococos y salmonelas.
- Pueden causar enfermedades como:
  - Cólera (*Vibrio cholera*)
  - Tifoidea (*Salmonella typhi*)
  - Tétanos (*Clostridium tetani*)
  - Tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*)



# BACTERIAS

- Coliformes fecales:
  - Habitan el intestino de los animales de sangre caliente y humanos
  - Son indicadores de contaminación
  - Alta concentración en lodos
  - Incluyen a *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*
- Coliformes totales
  - Incluyen a los fecales además de otros coliformes presentes en suelos

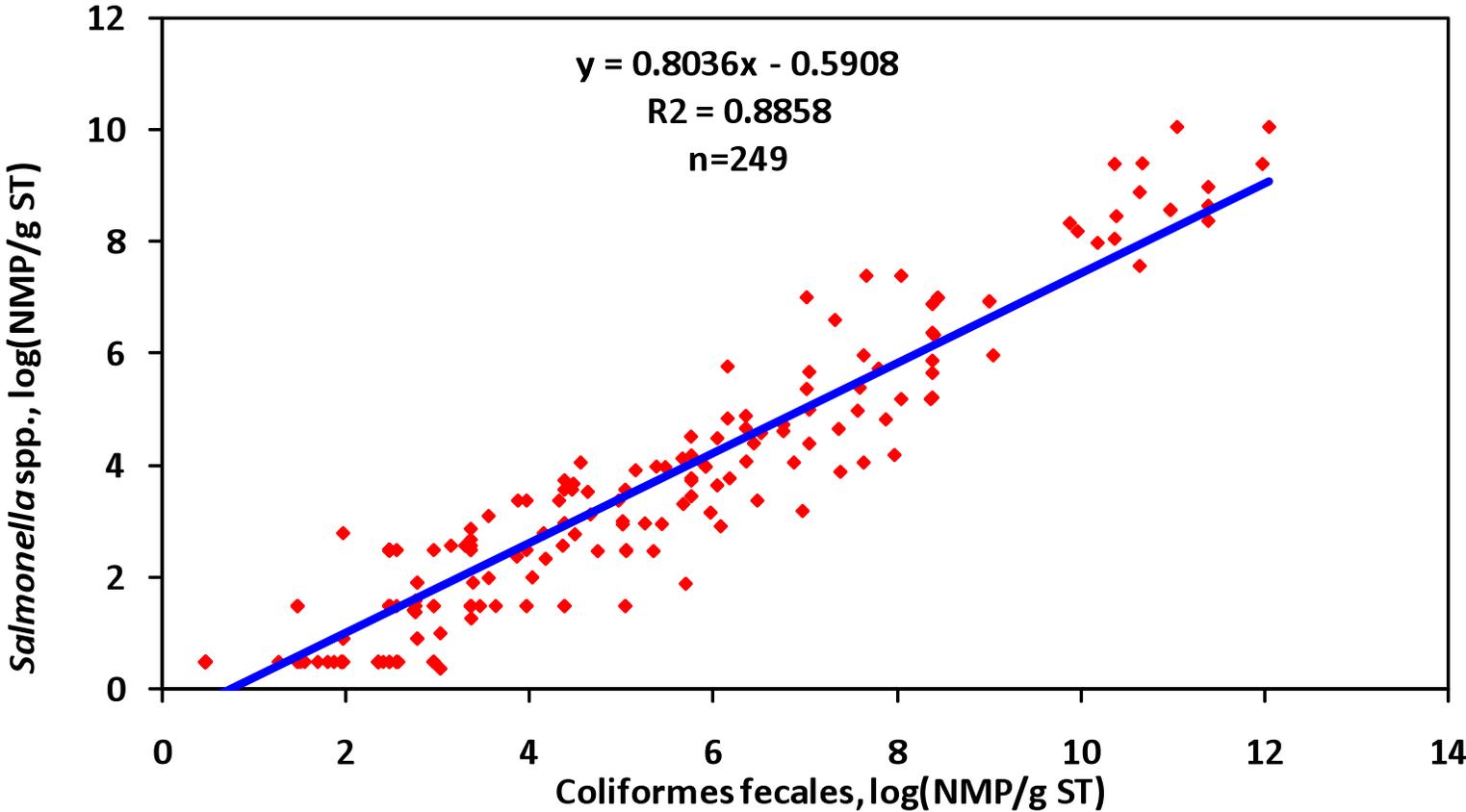


# BACTERIAS

- *Salmonella* spp.:
  - Bacterias patógenas predominantes en agua residual
  - Causan diversas enfermedades como gastroenteritis y tifoidea.
  - Habitan el tracto intestinal del hombre y animales
  - Se adquiere por ingestión de alimentos o agua contaminada
  - ~2 logs por debajo de coliformes fecales



# BACTERIAS



Fuente: Grupo Tratamiento y Reúso,  
Instituto de Ingeniería UNAM

# VIRUS

- Extremadamente pequeños (0.01 – 0.25  $\mu$ )
- Más de 100 diferentes virus pueden presentarse en lodos
- Enfermedades:
  - Erupciones cutáneas
  - Fiebre
  - Infecciones respiratorias
  - Gastroenteritis
  - Conjuntivitis
  - Parálisis
  - Hepatitis



# CALIDAD DE LODOS: BACTERIAS Y VIRUS

País y tipo de lodo	Coliformes fecales	<i>Salmonella</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacteriófagos	Referencias
AUSTRALIA					Sidhu <i>et al.</i> , 2001
Crudo		2 - 3			
ESTADOS UNIDOS					Reimers <i>et al.</i> , 1986
Crudo	7.3	3.3	3.4	4.6 - 6.1	
GHANA					Hall, 2000
Crudo	4.2				
JAPÓN					Hays, 1977;
Crudo	5	1.6		3.3 - 4.5	Watanabe, 1997
MÉXICO					Jiménez <i>et al.</i> , 2001;
Crudo	< 12	< 8	< 7	< 6	Barrios <i>et al.</i> , 2001;
REINO UNIDO					Crewe, 1984; Michel
Crudo	4.6 - 6.1	2.1 - 4.6	3.0 - 5.2		and Rooksby, 2000.

Concentraciones en unidades logarítmicas

# PROTOZOOS

- Organismos muy pequeños (5 – 1000  $\mu\text{m}$ )
- Papel importante en la reducción de bacterias
- Muchos son parásitos
- Incluyen *Entamoeba*, *Giardia* y *Cryptosporidium*

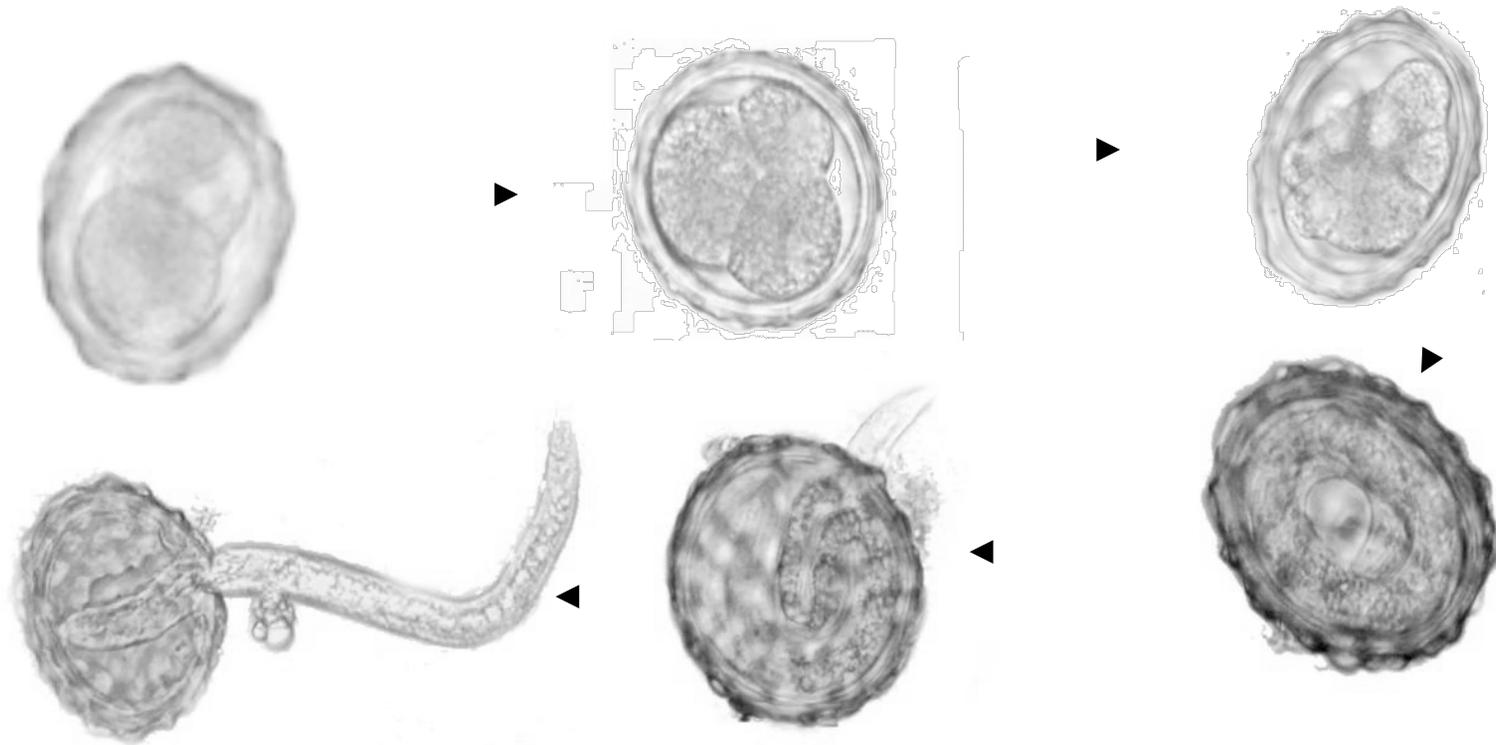


# HELMINTOS

- Gusanos intestinales parásitos
- *Ascaris* más común de todos (infecta a casi 1,500 millones de personas en el mundo)
- Sus huevos y quistes son muy resistentes y se acumulan en lodos
- Los huevos son excretados en las heces y pueden sobrevivir hasta varios años



# HELMINTOS



Desarrollo de un huevo de *Ascaris* spp. (Jiménez *et al.*, 2001).

# CALIDAD DE LODOS: PROTOZOOS Y HELMINTOS

País y tipo de lodo	Protozoos	Huevos de helmintos	Referencias
ALEMANIA			Schuh <i>et al.</i> , 1985
Crudo		< 1.1	
BRASIL			Andreoli <i>et al.</i> , 2001
Crudo	$7.7 \times 10^1 - 3.1 \times 10^3$	< 10	
EGIPTO			Hall, 2000
Crudo		67	
ESTADOS UNIDOS			Reimers <i>et al.</i> , 1986
Crudo	$2.1 \times 10^2$ <sup>(G)</sup>	2.0 - 13.0	
FRANCIA			Stien, 1989; Gaspard
Crudo	$1.9 \times 10^3 - 5.7 \times 10^3$	4.4 - 7.7	<i>et al.</i> , 1997.
GHANA			Hall, 2000
Crudo		76	
MÉXICO			Barrios <i>et al.</i> , 2001;
Crudo	$1.3 \times 10^2 - 4.2 \times 10^4$ <sup>(G)</sup>	73 - 177 <sup>(V)</sup>	Jiménez <i>et al.</i> , 2001.
REINO UNIDO			Crewe, 1984; Michel
Crudo		< 6	and Rooksby, 2000.

<sup>(G)</sup>: *Giardia*

<sup>(V)</sup>: viables

# SUPERVIVENCIA DE PATÓGENOS

Patógeno	Suelo		Plantas	
	Máximo absoluto	Máximo común	Máximo absoluto	Máximo común
Bacterias	1 año	2 meses	0.5 años	1 mes
Virus	1 año	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes de protozoos	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

Fuente: EPA, 1992



# REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS POR DIFERENTES PROCESOS

Proceso	Bacterias	Virus	Parásitos (protozoos y helmintos)
Digestión aerobia <sup>(a)</sup>	0.5 – 4.0	0.5 – 2.0	0.5
Digestión anaerobia <sup>(a)</sup>	0.5 – 4.0	0.5 – 2.0	0.5
Producción de composta <sup>(a)</sup>	2.0 – 4.0	2.0 – 4.0	2.0 – 4.0
Secado con aire <sup>(a)</sup>	0.5 – 4.0	0.5 – 2.0	0.5 – 4.0
Estabilización con cal <sup>(a,b)</sup>	< 9.5	4.0	2

(a) Barber, 2001

(b) Jiménez *et al.*, 2000

# **TRATAMIENTO DE LODOS**

# ESPESAMIENTO

- Aumenta la concentración de sólidos
- Reduce el volumen del lodo
- Puede ser por:
  - Gravedad
  - Flotación
  - Centrifugación



# ESTABILIZACIÓN

- Reducir e inactivar organismos patógenos y eliminar olores desagradables, lodos que pueden ser reusados o depositados sin provocar daños al ambiente o a la salud humana.
  - Digestión anaerobia
  - Digestión aerobia.
  - Estabilización alcalina
  - Producción de composta



# DIGESTIÓN ANAEROBIA

- Degradación biológica de materia orgánica en ausencia de oxígeno
- Mesofílica (35°C) o termofílica (55°C)
- Produce energía reutilizable (CH<sub>4</sub>)
- La mayoría de los huevos de helmintos resisten al proceso mesofílico
- 15 días a 35 – 55° C ó 60 días a 20° C
- Reportes de inactivación de helmintos varían en resultados



# DIGESTIÓN AEROBIA

- Degradación biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno
- Mesofílica (35°C) o termofílica (55°C)
- Destrucción de helmintos por encima de 50°C
- La DA mesofílica no reduce considerablemente los huevos de helmintos
- Requieren energía para la aireación y mezclado



# ESTABILIZACIÓN ALCALINA

- Adición de suficiente material alcalino para elevar el  $\text{pH} > 12$  por 2 horas
- Reducciones de 0.5 a 2 log en huevos de helmintos
- Proceso relativamente económico
- Eficiencia mayor empleando cal viva ( $\text{CaO}$ )
- Incrementa la masa de lodos



# PRODUCCIÓN DE COMPOSTA

- Proceso aerobio para estabilizar la materia orgánica de los lodos
- Reduce significativamente la concentración de bacterias y huevos de helmintos
- Requiere generalmente un agente de abultamiento (aserrín, paja, etc) y aireación (energía)
- Temperatura óptima de 55° C
- Reducción de 2 a 4 log en huevos de helmintos

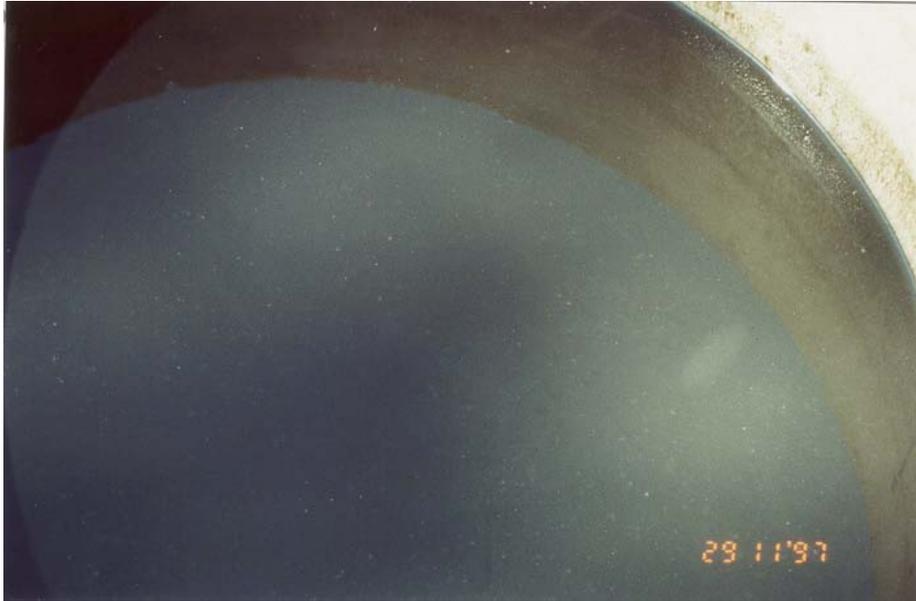


# ACONDICIONAMIENTO

- Facilitar la separación del agua en exceso
- Representa un costo importante de O&M
- Térmico
- Químico
  - Polielectrolitos
  - Sales metálicas



# ACONDICIONAMIENTO

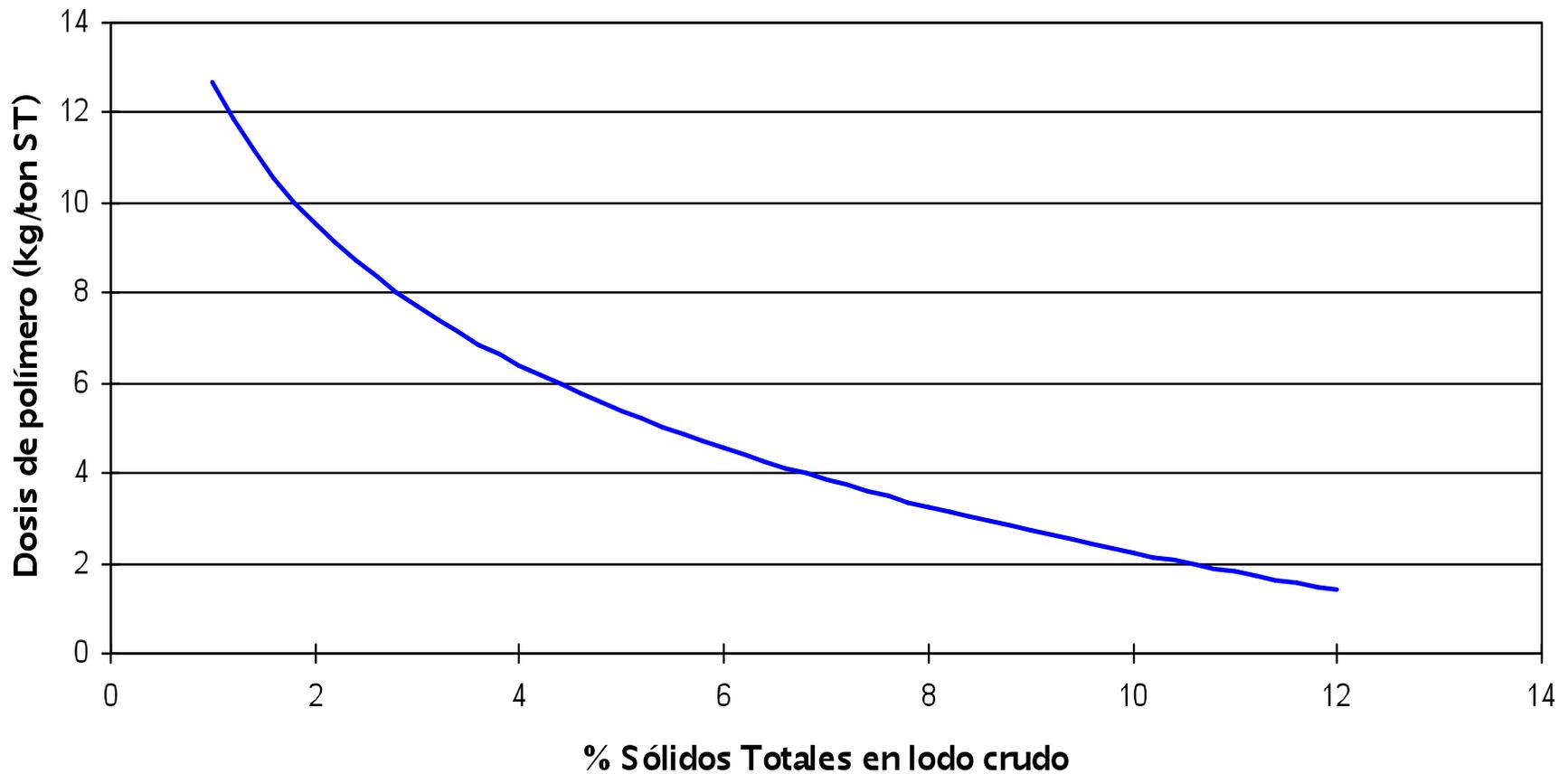


**Lodo crudo**

**Lodo acondicionado**



# ACONDICIONAMIENTO



Acondicionamiento de lodos fisicoquímicos con polímeros orgánicos: Pruebas REF

# DESHIDRATACIÓN

- Separar el agua en exceso hasta una sequedad de 50%
  - Lechos de secado
  - Filtros banda
  - Filtros prensa
  - Centrífugas



# DESHIDRATACIÓN

- Lechos de secado
  - Requieren mayor área que los sistemas mecánicos
  - Pueden ser lechos de arena, pavimento, material sintético, etc.
  - Pueden generar olores
  - Dependen del clima



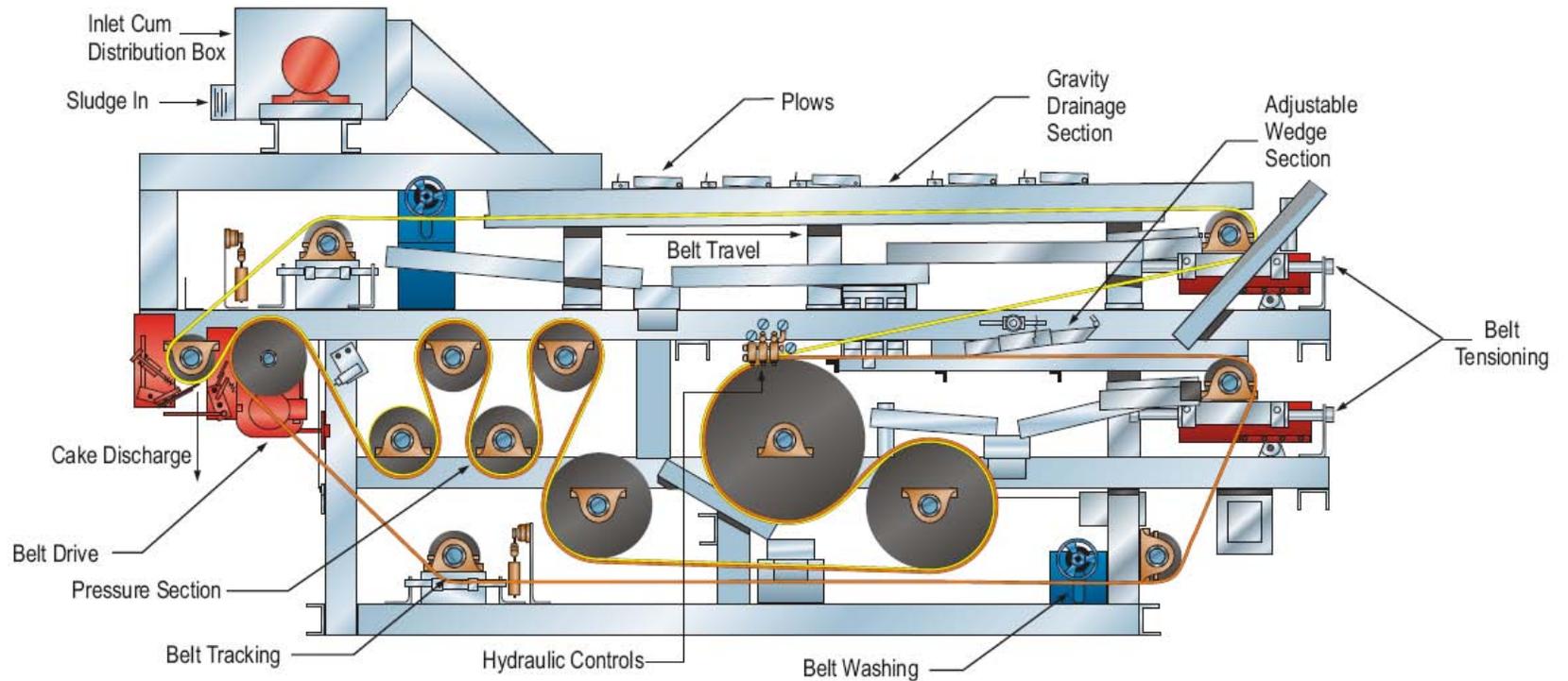
# DESHIDRATACIÓN

- Filtros banda
  - Operan en tres etapas:
    - Drenaje por gravedad
    - Compresión
    - Corte
  - Proceso continuo
  - Conforme el  $\emptyset$  de los rodillos disminuye, la compresión y el corte aumentan
  - Logra ST de 16 – 30%
  - Parámetros de control:
    - Carga de sólidos
    - Velocidad de las bandas



# DESHIDRATACIÓN

**Filtro  
banda**



Fuente: Triveni Group.



# DESHIDRATACIÓN

Filtro banda



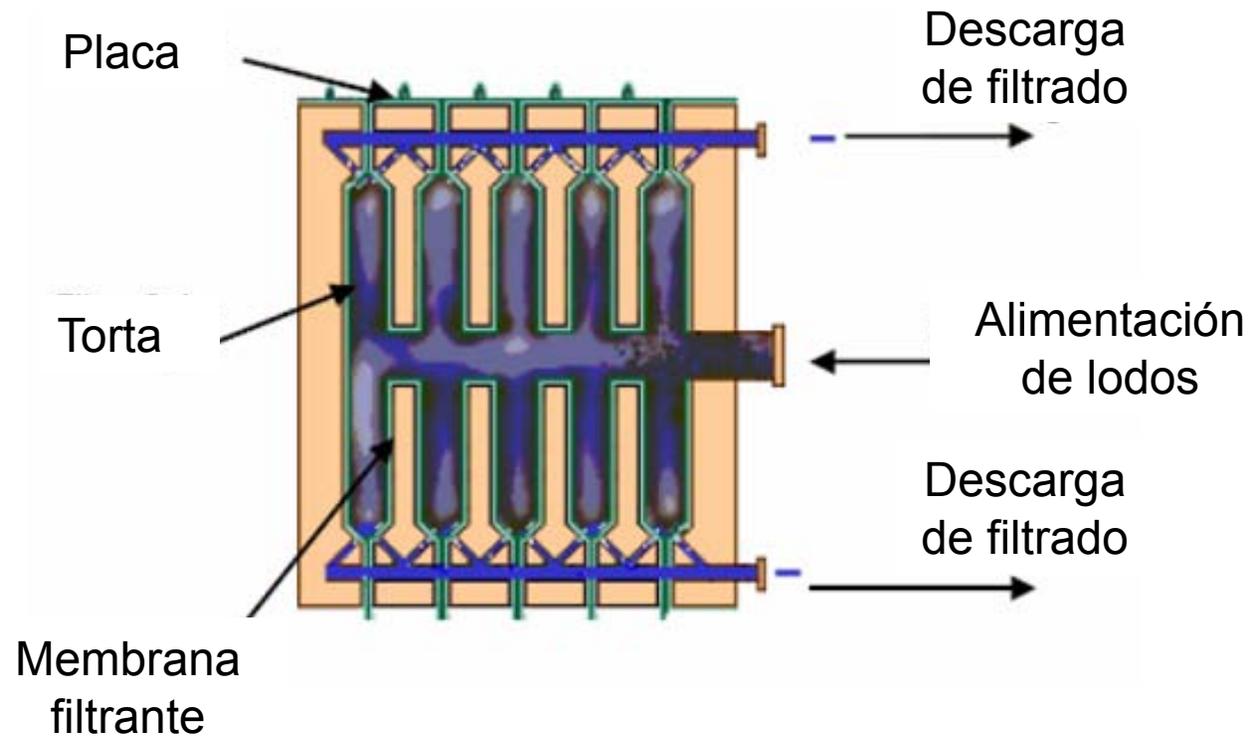
# DESHIDRATACIÓN

- Filtros prensa
  - De volumen fijo o variable
  - Operan en lotes (*batch*)
  - Alcanzan sequedades de hasta 40%
  - Presiones > 100 psi
  - Operan hasta que el filtrado se detiene
  - Problemas por taponamiento del material filtrante y dificultad para desalojar la torta
  - Generalmente operan automáticamente



# DESHIDRATACIÓN

## Filtro prensa

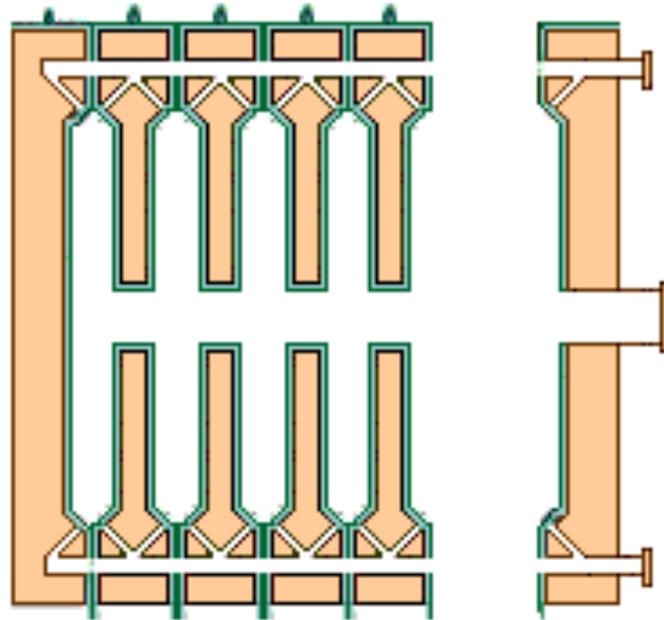


Fuente: **Micronics.**



# DESHIDRATACIÓN

Filtro prensa



Fuente: **Micronics**



# DESHIDRATACIÓN

Filtro prensa



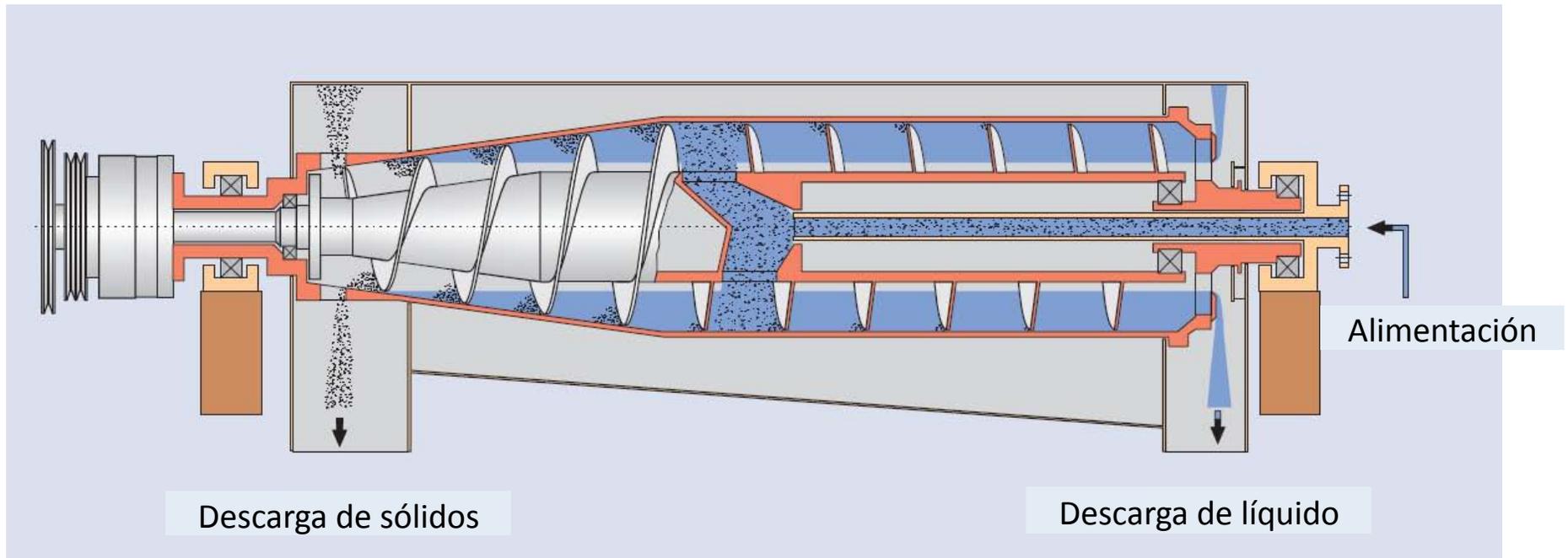
# DESHIDRATACIÓN

- Centrífuga
  - Generalmente de tazón sólido
  - Proceso continuo
  - El tazón gira a una velocidad y el tornillo a otra
  - Alcanzan sequedades del 25 – 35% ST
  - Parámetros de control:
    - Carga de sólidos
    - Velocidad diferencial tazón/tornillo
  - Pueden aplicar fuerzas de 3,000 g



# DESHIDRATACIÓN

## Centrífuga



Fuente: **FLOTTWEG**.



# DESHIDRATACIÓN

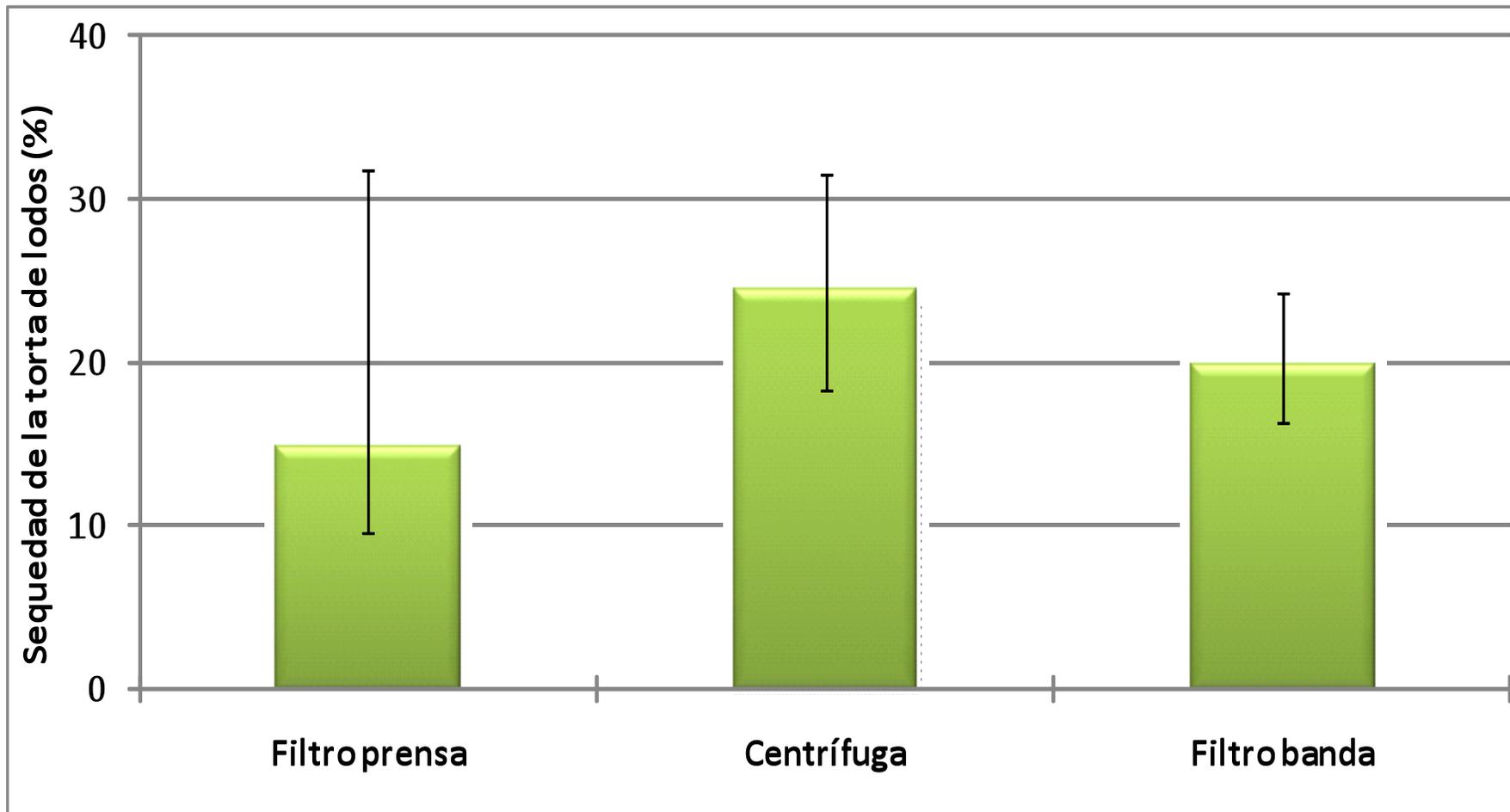
Centrífugas



Fuente:  
**FLOTTWEG.**



# DESHIDRATACIÓN



Pruebas con lodo fisicoquímico

# SECADO

- Eliminar hasta un 90% del agua del lodo
- Procesos térmicos
- Costo energético alto
- Temperaturas  $> 80^{\circ}\text{C}$
- Buena calidad microbiológica (desinfectado) y producto sin olores



# OXIDACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

- Reducción del contenido orgánico a cenizas
  - Incineración
    - Costo elevado
    - Requiere control de emisiones
    - Se reduce la masa de manera considerable
    - Puede aplicarse en lodos peligrosos o con metales
    - Alternativa cuando no se tiene espacio para almacenar lodos y el reuso no es permanente
    - El subproducto (ceniza) casi siempre carece de valor (joro en Japón!)



# **REDUCCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LADOS**

# JUSTIFICACIÓN

- Incremento en el caudal de agua residual tratada → incremento de lodos
- Reúso de lodos en aplicaciones temporales
- Falta de espacio para almacenar lodos
- Resistencia al uso de lodos en la agricultura
- Alto costo del manejo de lodos



# ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN

- Lodos primarios:
  - Desintegración
    - Oxidación química
      - Ozono: rompe las células y oxida parcialmente los compuestos orgánicos disueltos
    - Mecánica
      - Alta presión o tensión rompe las células (ultrasonido, homogenizador)
    - Térmica
      - Lodo líquido o espesado
      - Temperaturas de 150°C



# ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN

- Lodos biológicos:
  - Reducción de la producción de biomasa
    - Incremento en la edad del lodo
    - Modificación del proceso biológico (proceso con alta concentración de oxígeno, operación en etapas)
  - Desintegración



# ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN

- Lodos químicos:
  - Cambio de coagulante
    - Sulfato de aluminio → policloruros de aluminio (PAC's)
  - Reducción en la dosis de coagulante
    - Selección apropiada (distribución del tamaño de partícula)



# **MANEJO DE LODOS**

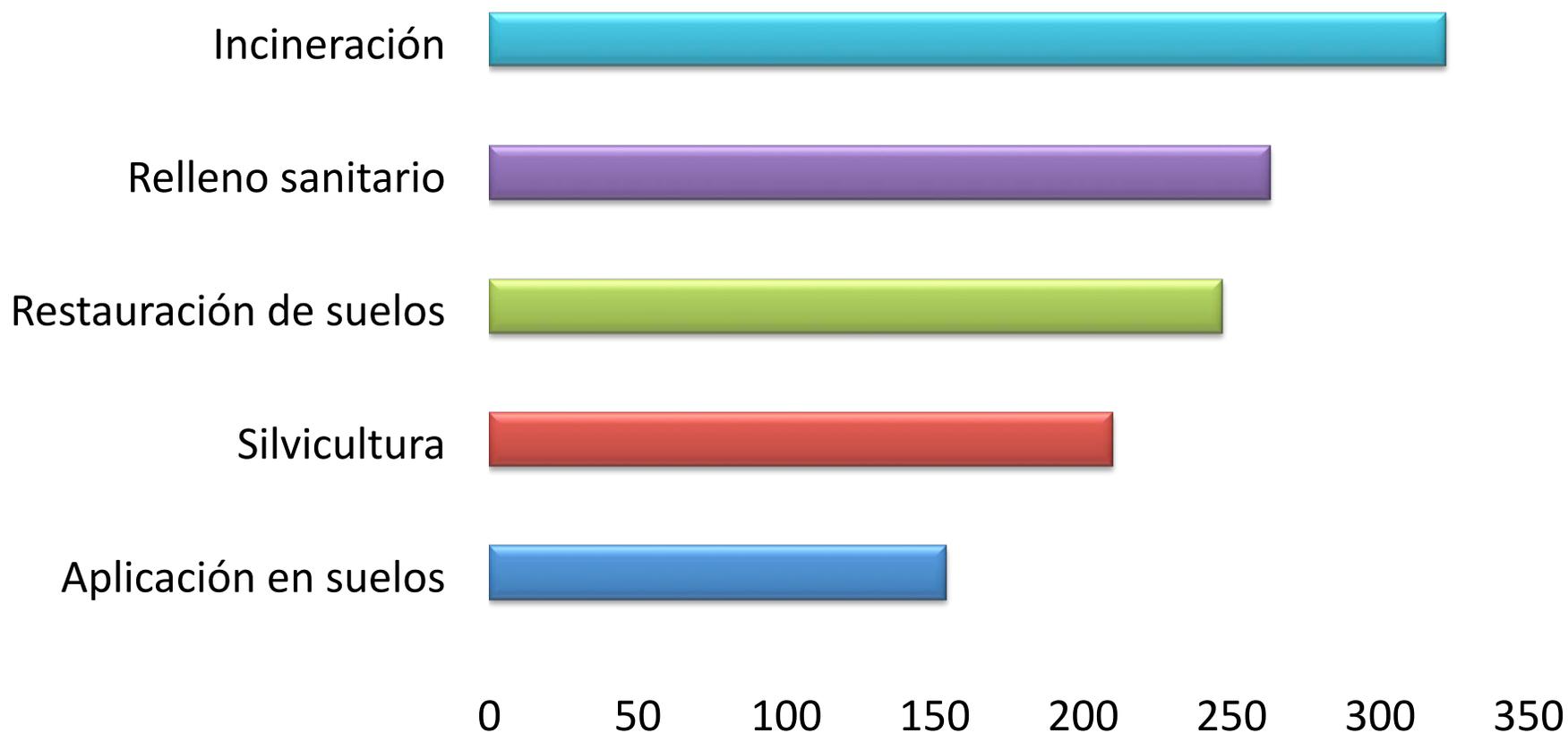
# PROBLEMÁTICA DE LOS LODOS

- Representan hasta el 60% del costo de O&M de una PTAR
- En muchos casos no son revalorizados
- Requieren de un adecuado programa de manejo
- Contenido de microorganismos



# COSTO DEL TRATAMIENTO Y MANEJO DE LODOS

Costo (Euros/t ST)



Fuente: Comunidad Europea, 2002.

# ¿REÚSO O DEPÓSITO?

- Reúso: aprovechamiento benéfico

- Suelos agrícolas y forestales
- Parques y jardines
- Restauración de suelos
- Materiales diversos



- Depósito: destino final

- Relleno sanitario
- Monorrelleno
- Zanjas



# BENEFICIOS DEL REÚSO

- Proporcionan macro y micro nutrientes
- Incrementan el rendimiento de los cultivos y mantienen los nutrientes en la zona de la raíz
- Actúan como fertilizantes de liberación controlada (N)
- Se utiliza un subproducto como insumo en la producción agrícola
- Proporcionan materia orgánica a los suelos



# BENEFICIOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN BIOSÓLIDOS APLICADOS EN SUELOS

- Mejora la estructura física del suelo
- Evita la erosión
- Incrementa la retención de agua
- Favorece el desarrollo de vegetación
- Favorece el intercambio de aire a las raíces de las plantas
- Incrementa la capacidad de intercambio de nutrientes planta«suelo
- El crecimiento de las plantas es más vigoroso y disminuye el daño causado por insectos



# EL REÚSO DE LODOS ¿NUEVA PRÁCTICA?

- Imperio romano: desechos humanos en la agricultura
- Antiguos chinos: usaban *night soil* en la agricultura
- EUA (1880): 103 de 222 ciudades usaban los desechos humanos en la agricultura
- Tendencia actual: prohibición de la descarga al mar, restricciones en el depósito en rellenos sanitarios → fomentar la aplicación en suelos



# REÚSO DE BIOSÓLIDOS EN EL MUNDO

- Estados Unidos genera cerca de 8 millones de toneladas anuales, de las cuales el 67% se aplica en suelos agrícolas.
- El Reino Unido reutiliza el 61% de los 1.4 millones de toneladas anuales.
- España aplica 670 mil toneladas (66% de los lodos que genera anualmente) en suelos.



# USO DE LODOS EN LA UE



Fuente: EEA, 2001.

# ESTADOS UNIDOS



# ESTADOS UNIDOS



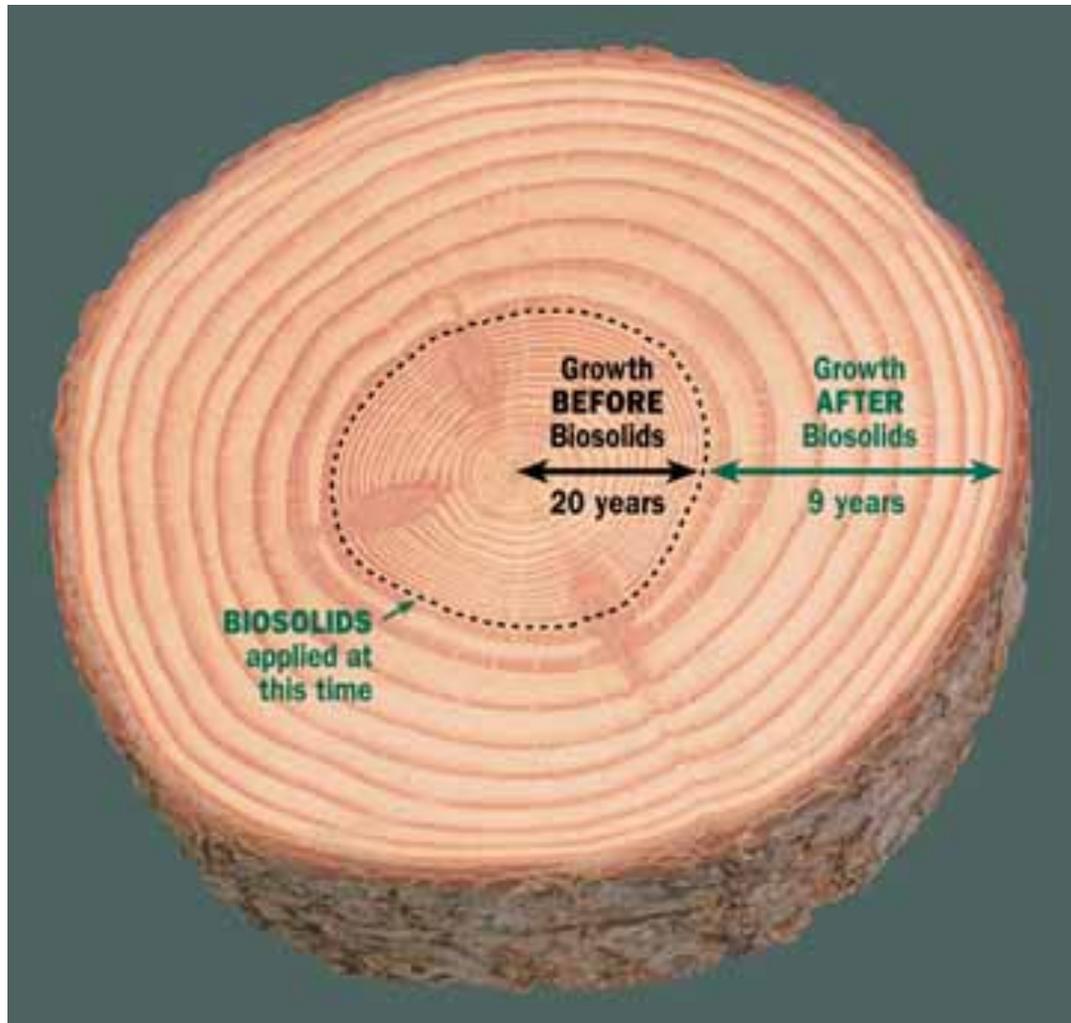
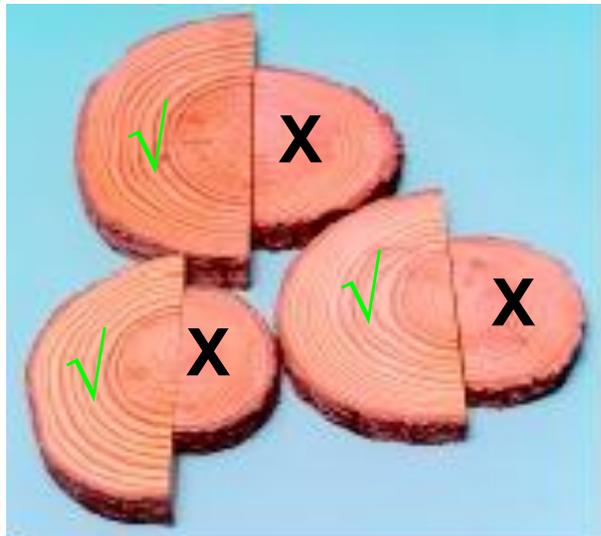
# AUSTRALIA



**La aplicación previa a la siembra de pinos incrementó la altura hasta en 50% y el diámetro hasta en 85%.**



# APLICACIONES FORESTALES



# APLICACIÓN EN MÉXICO

Estudios del  
INIFAP en  
Chihuahua



# APLICACIÓN EN MÉXICO

Estudios del  
INIFAP en  
Chihuahua



# APLICACIÓN EN MÉXICO

Estudios del  
INIFAP en  
Chihuahua



# APLICACIÓN EN MÉXICO

- Conclusiones estudio INIFAP:
  - En maíz forrajero:
    - Se reduce entre 16 y 27% el costo de cultivo.
    - Aumenta el rendimiento entre 4 y 88%.
  - En avena, algodón y alfalfa:
    - El rendimiento se incrementa entre 17 y 19%.
    - Mayor rentabilidad con respecto al cultivo tradicional (4 a 105%).



# APLICACIONES FORESTALES

- Jalisco, México
  - Pruebas en *Pinus douglasiana*
  - 14 meses de establecimiento usando diferentes cantidades de biosólidos por árbol (30 a 100 g/árbol)
  - Porcentaje de sobrevivencia mayor en un 20.9%
  - Incremento en la altura de tallo y diámetro de 17.8 y 17.5%, respectivamente



# DISPOSICIÓN FINAL

- Opción menos favorable
- Debe considerarse como la última ruta de manejo de lodos
- Pueden co-disponerse con basura o ser mono-rellenos (solo lodos)
- Requieren una adecuada planeación e ingeniería
- Pueden acelerar la descomposición de la basura (humedad, bacterias metanogénicas)



# DISPOSICIÓN FINAL

- Aplica principalmente para lodos contaminados
- Espacio limitado en sitios existentes
- Dificultad para establecer nuevos sitios de disposición
- En localidades donde no se desarrolla la agricultura
- Cuando el costo de transporte a zonas agrícolas es excesivo



# **CALIDAD DE LODOS EN MÉXICO**

# LODOS EN MEXICO

- Descargados al drenaje → relleno sanitario
- Pocas plantas cuentan con tratamiento de lodos
- Contenido elevado de microorganismos
- Aplicación de diversos procesos
- Estudios piloto (Chihuahua, Ciudad Juárez, Monterrey, Puebla, Toluca)



# ESTUDIO DE CALIDAD DE LODOS EN MÉXICO

- Muestreo de 37 plantas de tratamiento
  - 17 primera etapa (2000)
  - 20 segunda etapa (2002)
- Capacidad conjunta de 17 m<sup>3</sup>/s (~10% de la capacidad nacional)
- Gastos de operación de 1 a 4,300 L/s
- Lodos biológicos y fisicoquímicos



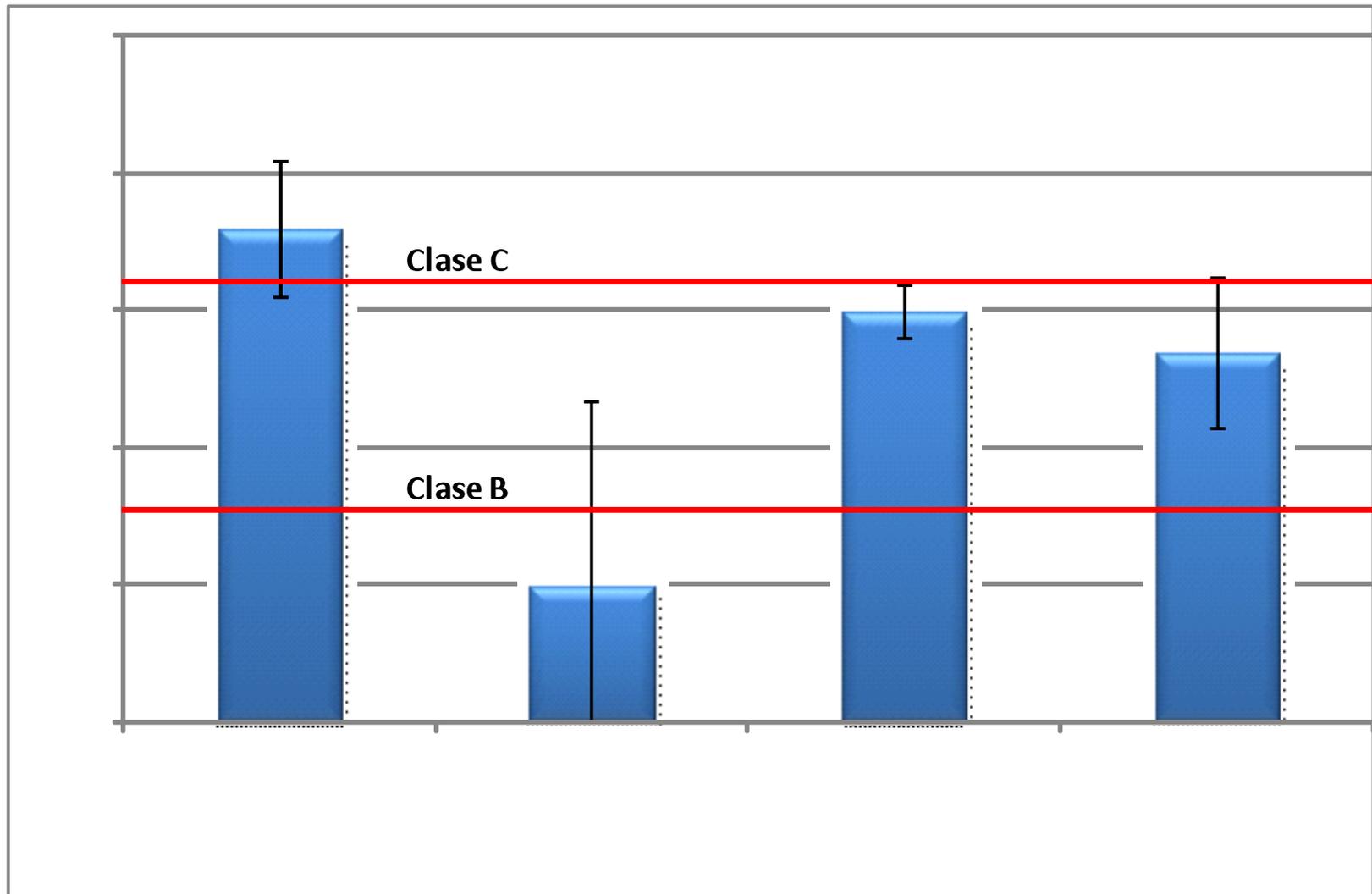
# MUESTREOS



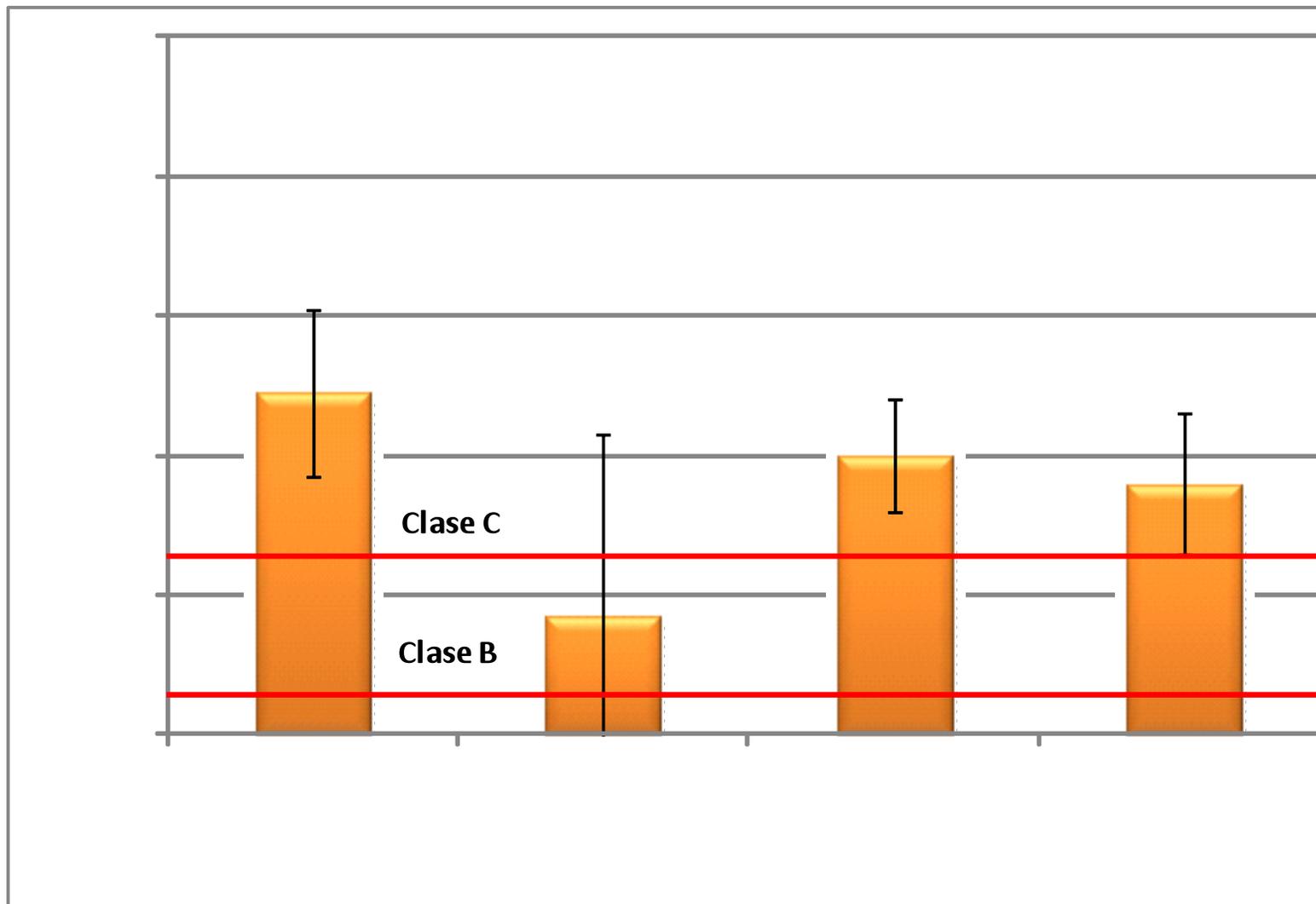
# MUESTREOS



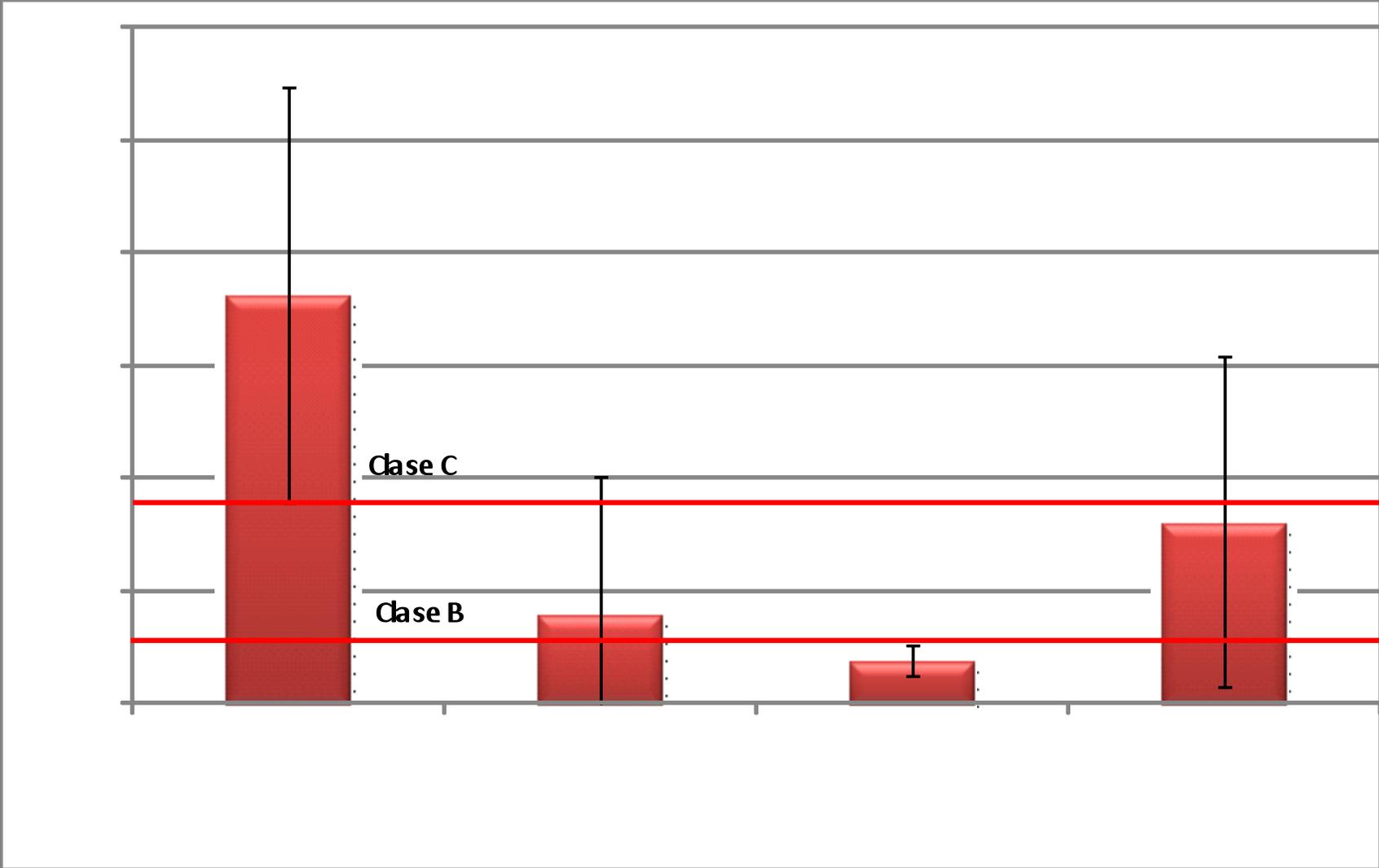
# RESULTADOS: coliformes fecales



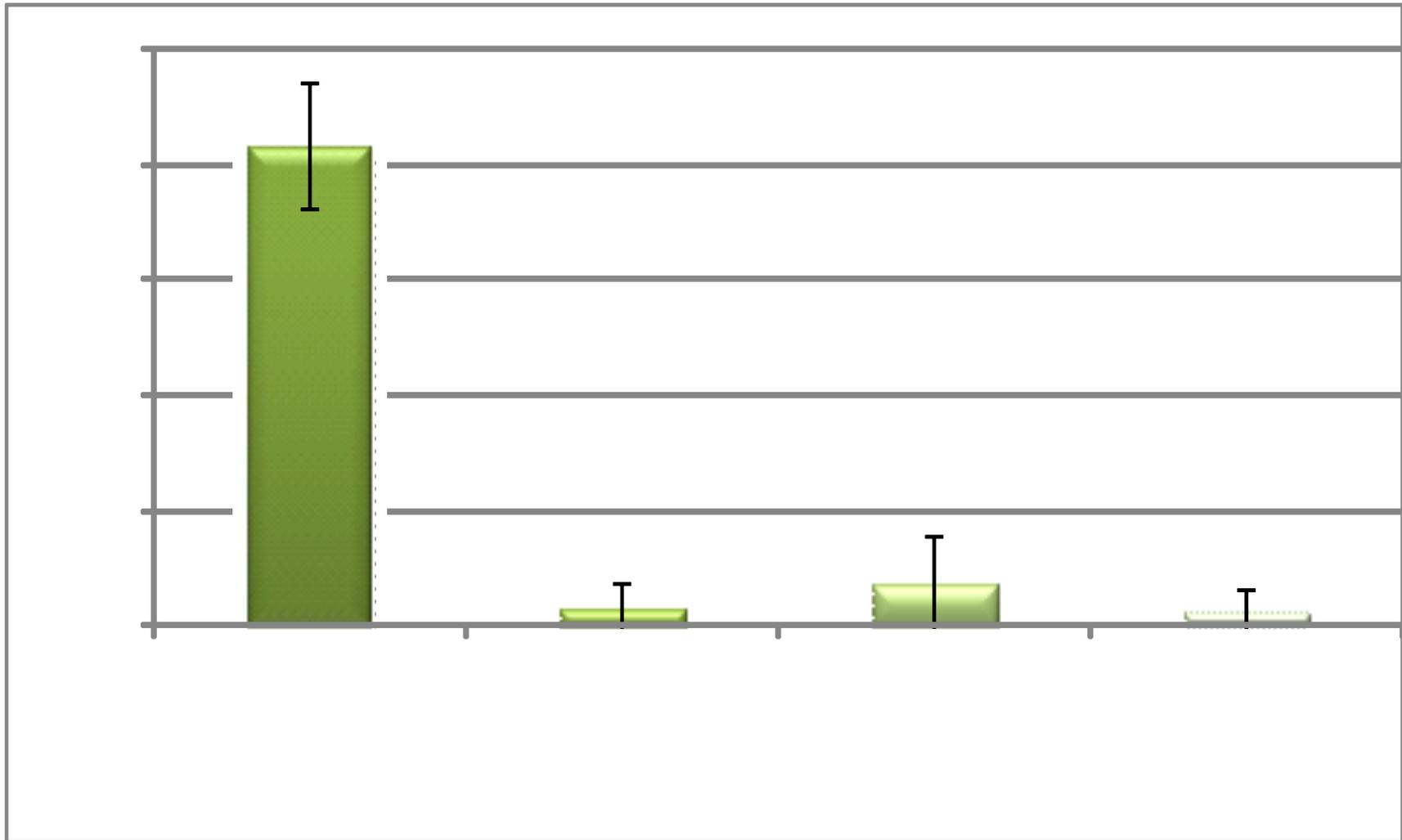
# RESULTADOS: *Salmonella* spp.



# RESULTADOS: huevos de helmintos viables



# RESULTADOS: huevos de helmintos



# CONCLUSIONES

- Necesario diseñar un programa de manejo integral de lodos (desde la generación hasta la aplicación)
- No existe una solución universal en cuestión de manejo de lodos, debe ser una solución a la medida
- Indispensable fomentar la aplicación en suelos (N, P, materia orgánica)
- Es primordial establecer un vínculo entre todos los actores (comunicación)
- Los lodos, más que residuos, deben considerarse un recurso de valor



# COMENTARIOS FINALES

- Los biosólidos son tan valiosos por sus propiedades benéficas que llegan a ser vendidos en \$190 USD/ton
- No existe un solo caso documentado de enfermedades en animales o humanos por el uso de biosólidos en EUA
- El uso de biosólidos reduce el consumo de fertilizantes y recicla un producto natural



# COMENTARIOS FINALES

- Su uso en restauración de suelos es la mejor solución encontrada hasta ahora
- Los biosólidos que han sido tratados por un proceso que reduzca los patógenos no representan ningún riesgo de transmisión
- Son tan valorados que se transportan de Nueva York hasta Texas para aplicarlos



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**

**Dr. José Antonio Barrios Pérez**  
**[joseantoniobarrios@yahoo.com.mx](mailto:joseantoniobarrios@yahoo.com.mx)**