

Caracterización de los lodos

Dr. Santiago Septien Stringel

WASH R&D Centre, Universidad de KwaZulu-Natal, Durban, Sudáfrica



UNIVERSITY OF
KWAZULU-NATAL™
INYUVESI
YAKWAZULU-NATALI

WASH R&D CENTRE

Water Sanitation & Hygiene Research & Development Centre

Composición de los lodos

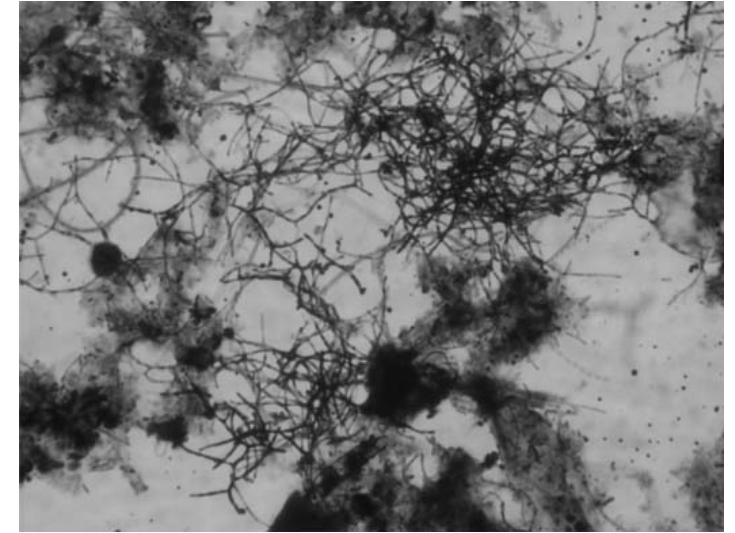
Agua : compuesto mayoritario

Lodos de tratamiento de agua:

- Lodos primarios: sólidos suspendidos como materia orgánica de origen fecal, restos de desechos sólidos (vegetal, textil, etc...), arena, sales
- Lodos secundarios: microorganismos aeróbicos y anaeróbicos (bacteria, archaea, fungi, protistas)
- Lodos terciarios: nitrógeno, fosforo, coagulantes, microorganismos

Lodos de sistemas descentralizados:

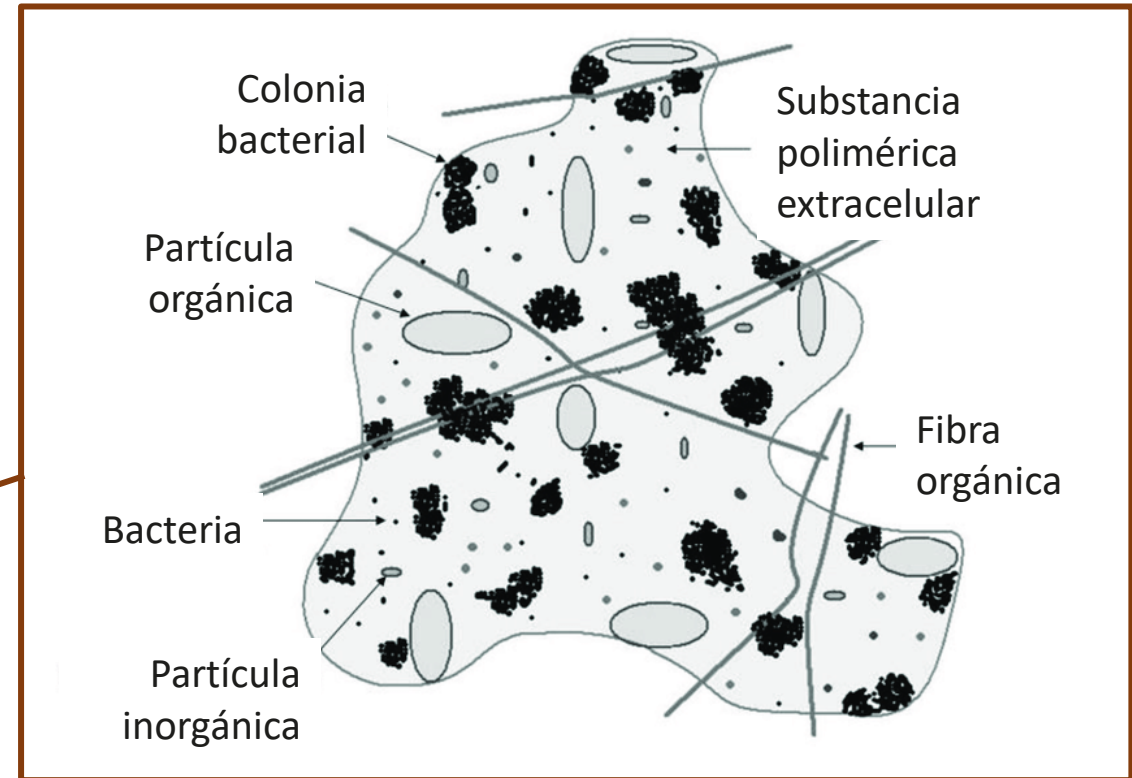
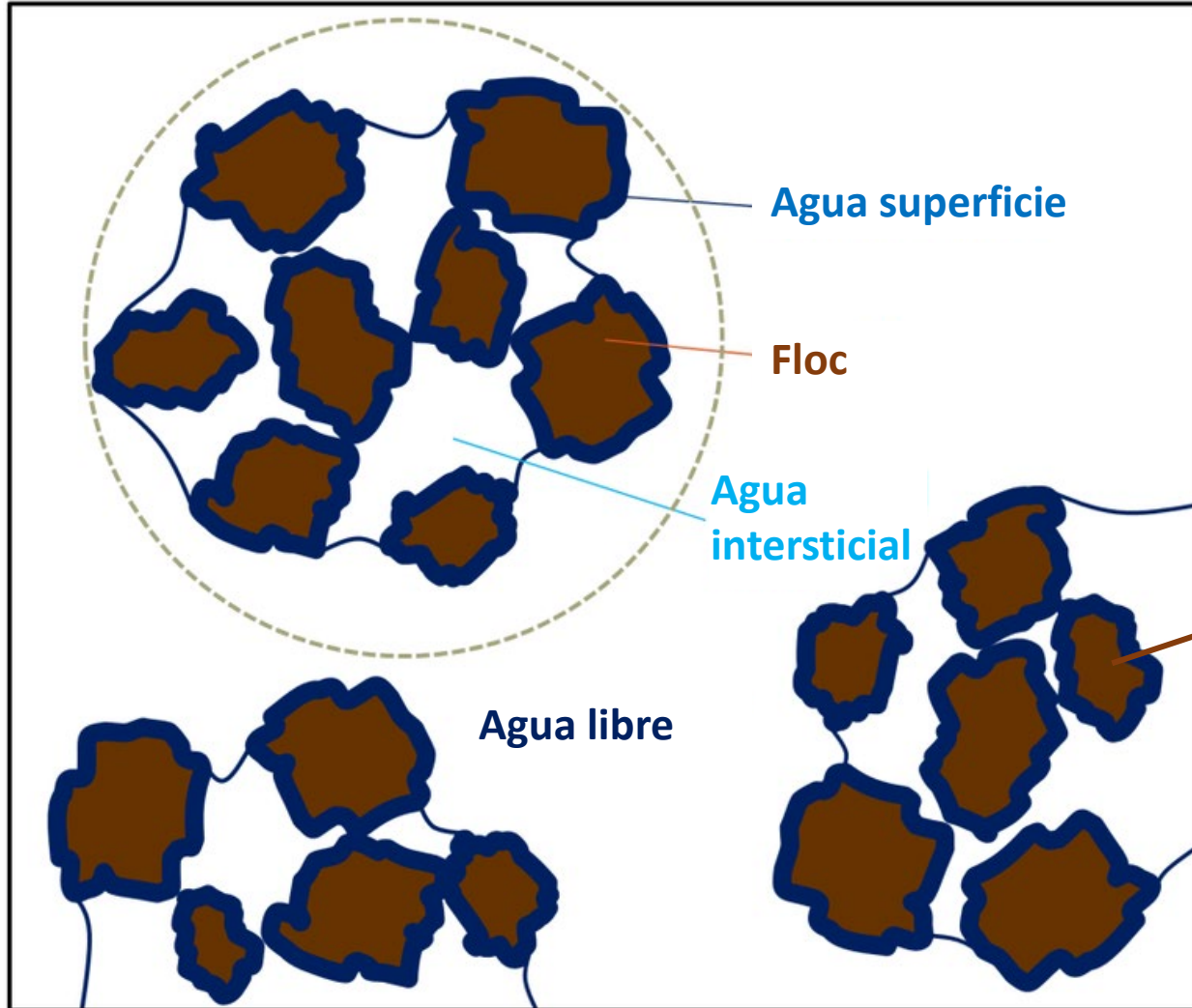
Materia fecal, orina, detergentes, residuos sólidos, papel



Parada-Albarracín, J. A., Marin, E., Pérez, J. I., Moreno, B., & Gómez, M. A. (2012). Evolution of filamentous bacteria during urban wastewater treatment by MBR. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(6), 863-872.



Estructura microscópica



Alrhoun, M. (2014). *Hospital wastewaters treatment: upgrading water systems plans and impact on purifying biomass* (Doctoral dissertation, Université de Limoges).

Factores influyentes en las propiedades de los lodos

- ❖ Factores humanos: dieta, genética, cultura (washer/wiper), hábitos (uso de agua), educación, número de personas
- ❖ Factores climáticos: temperatura, exposición al luz solar, lluvia
- ❖ Factores terreno: topología del terreno, tipo de suelo
- ❖ Factores tecnológicos: tipo de baño (uso de agua, tiempo de almacenamiento, impermeabilidad), tipo de vaciado, calidad del alcantarillado, diseño de los procesos de tratamiento, tipo de procesos

Caracterización de los lodos

Cuantidades

10 barriles



Cualidades



																		He 1 Helium 4.0026																													
H 1 Hydrogen 1.008																				B 5 Boron 10.81		C 6 Carbon 12.01		N 7 Nitrogen 14.01		O 8 Oxygen 16.00		F 9 Fluorine 19.00		Ne 10 Neon 20.18																	
Li 3 Lithium 6.941		Be 4 Beryllium 9.012																Al 13 Aluminum 26.98		Si 14 Silicon 28.09		P 15 Phosphorus 30.97		S 16 Sulfur 32.07		Cl 17 Chlorine 35.45		Ar 18 Argon 39.95																			
Na 11 Sodium 22.99		Mg 12 Magnesium 24.31																Zn 30 Zinc 65.38		Ga 31 Gallium 69.72		Ge 32 Germanium 72.63		As 33 Arsenic 74.92		Se 34 Selenium 78.97		Br 35 Bromine 79.90		Kr 36 Krypton 83.80																	
K 19 Potassium 39.10		Ca 20 Calcium 40.08		Sc 21 Scandium 44.96		Ti 22 Titanium 47.87		V 23 Vanadium 50.94		Cr 24 Chromium 52.00		Mn 25 Manganese 54.94		Fe 26 Iron 55.85		Co 27 Cobalt 58.93		Ni 28 Nickel 58.69		Cu 29 Copper 63.55		Zn 30 Zinc 65.38		Ga 31 Gallium 69.72		Ge 32 Germanium 72.63		As 33 Arsenic 74.92		Se 34 Selenium 78.97		Br 35 Bromine 79.90		Kr 36 Krypton 83.80													
Rb 37 Rubidium 85.47		Sr 38 Strontium 87.62		Y 39 Yttrium 88.91		Zr 40 Zirconium 91.22		Nb 41 Niobium 92.91		Mo 42 Molybdenum 95.95		Tc 43 Technetium 98		Ru 44 Ruthenium 101.1		Rh 45 Rhodium 102.9		Pd 46 Palladium 106.4		Ag 47 Silver 107.9		Cd 48 Cadmium 112.4		In 49 Indium 114.8		Sn 50 Tin 118.7		Sb 51 Antimony 121.8		Te 52 Tellurium 127.6		I 53 Iodine 126.9		Xe 54 Xenon 131.3													
Cs 55 Cesium 132.9		Ba 56 Barium 137.3		La 57 Lanthanides		Hf 72 Hafnium 178.5		Ta 73 Tantalum 180.9		W 74 Tungsten 183.8		Re 75 Rhenium 186.2		Os 76 Osmium 190.2		Ir 77 Iridium 192.2		Pt 78 Platinum 195.1		Au 79 Gold 197		Hg 80 Mercury 200.6		Tl 81 Thallium 204.4		Pb 82 Lead 207.2		Bi 83 Bismuth 209.0		Po 84 Polonium 209		At 85 Astatine 210		Rn 86 Radon 222													
Fr 87 Francium 223		Ra 88 Radium 226		Ac 89 Actinides		Rf 104 Rutherfordium 261		Db 105 Dubnium 268		Sg 106 Seaborgium 269		Bh 107 Bohrium 270		Hs 108 Hassium 277		Mt 109 Meitnerium 278		Ds 110 Darmstadtium 281		Rg 111 Roentgenium 281		Cn 112 Copernicium 285		Nh 113 Nihonium 286		Fl 114 Flerovium 289		Mc 115 Moscovium 289		Lv 116 Livermorium 293		Ts 117 Tennessine 294		Og 118 Oganesson 294													
																		La 57 Lanthanum 138.9		Ce 58 Cerium 140.1		Pr 59 Praseodymium 140.9		Nd 60 Neodymium 144.2		Pm 61 Promethium 145		Sm 62 Samarium 150.4		Eu 63 Europium 152		Gd 64 Gadolinium 157.3		Tb 65 Terbium 158.9		Dy 66 Dysprosium 162.5		Ho 67 Holmium 164.9		Er 68 Erbium 167.3		Tm 69 Thulium 168.9		Yb 70 Ytterbium 173.04		Lu 71 Lutetium 175.0	
																		Ac 89 Actinium 227		Th 90 Thorium 232		Pa 91 Protactinium 231.0		U 92 Uranium 238.0		Np 93 Neptunium 237		Pu 94 Plutonium 244		Am 95 Americium 243		Cm 96 Curium 247		Bk 97 Berkelium 247		Cf 98 Californium 251		Es 99 Einsteinium 252		Fm 100 Fermium 257		Md 101 Mendelevium 258		No 102 Nobelium 259		Lr 103 Lawrencium 262	



Cantidades de la producción de lodos

Lodos de tratamiento de agua:

- Volumen y propiedades del influente
- Eficiencia de los tanques de sedimentación
- Tasa de producción de biomasa en los reactores biológicos

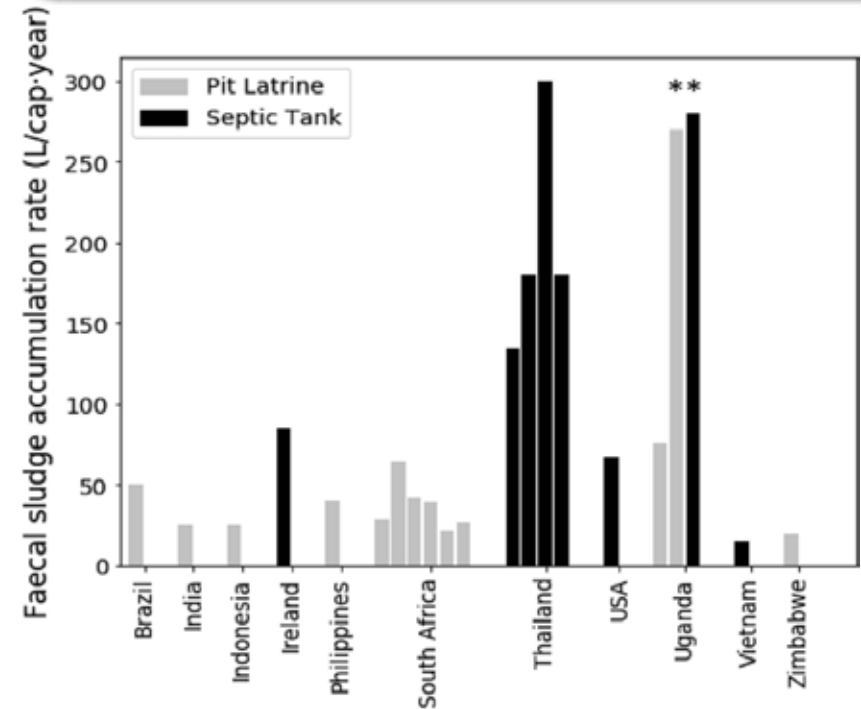
Lodos de sistemas descentralizados:

- Número de usuarios
- Tipos y números de sistemas sanitarios
- Tasa de acumulación de lodos fecales
- Información sobre la población (nivel socio-económico, situación geográfica)

Valores típicos

Lodos primarios: 110 – 170 kg/ML

Lodos secundarios: 70 – 100 kg/ML



Strande, L., Schoebitz, L., Bischoff, F., Ddiba, D., Okello, F., Englund, M., ... & Niwagaba, C. B. (2018). Methods to reliably estimate faecal sludge quantities and qualities for the design of treatment technologies and management solutions. *Journal of Environmental Management*, 223, 898-907.

Producción excreta en el mundo



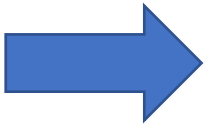
Lugar	Peso húmedo (g/persona/día)
Países de ingresos altos	100 a 200
Países de ingresos bajos, rural	350
Países de ingresos bajos, urbano	250
China	315
Kenia	520
Tailandia	120 a 400

Strande, L., & Brdjanovic, D. (Eds.). (2014). *Faecal sludge management: Systems approach for implementation and operation*. IWA publishing.



Lugar	Peso húmedo (g/persona/día)
Valor general para adultos	1.000 a 1.300
Suecia	1.500
Tailandia	600 a 1.200
Suiza (hogar, entre semana)	637
Suiza (hogar, fines de semana)	922
Suecia	610 a 1.090

Determinación en el laboratorio de varias propiedades

- ❖ Propiedades fisicoquímicas  Masa / volumen, composición, energía
- ❖ Propiedades mecánicas  Propensión a separación de fases, movimiento, deformación
- ❖ Propiedades térmicas  Transferencia de calor
- ❖ Propiedades biológicas  Contenido de microorganismos (patógenos)

Propiedades fisicoquímicas

- ❖ Composición (agua, sólidos, elemental, molecular)
- ❖ Densidad y tamaño de partícula
- ❖ pH
- ❖ Conductividad eléctrica
- ❖ Poder calorífico

Composición

Agua

Sólidos

Orgánicos

Inorgánicos

Metales
pesados

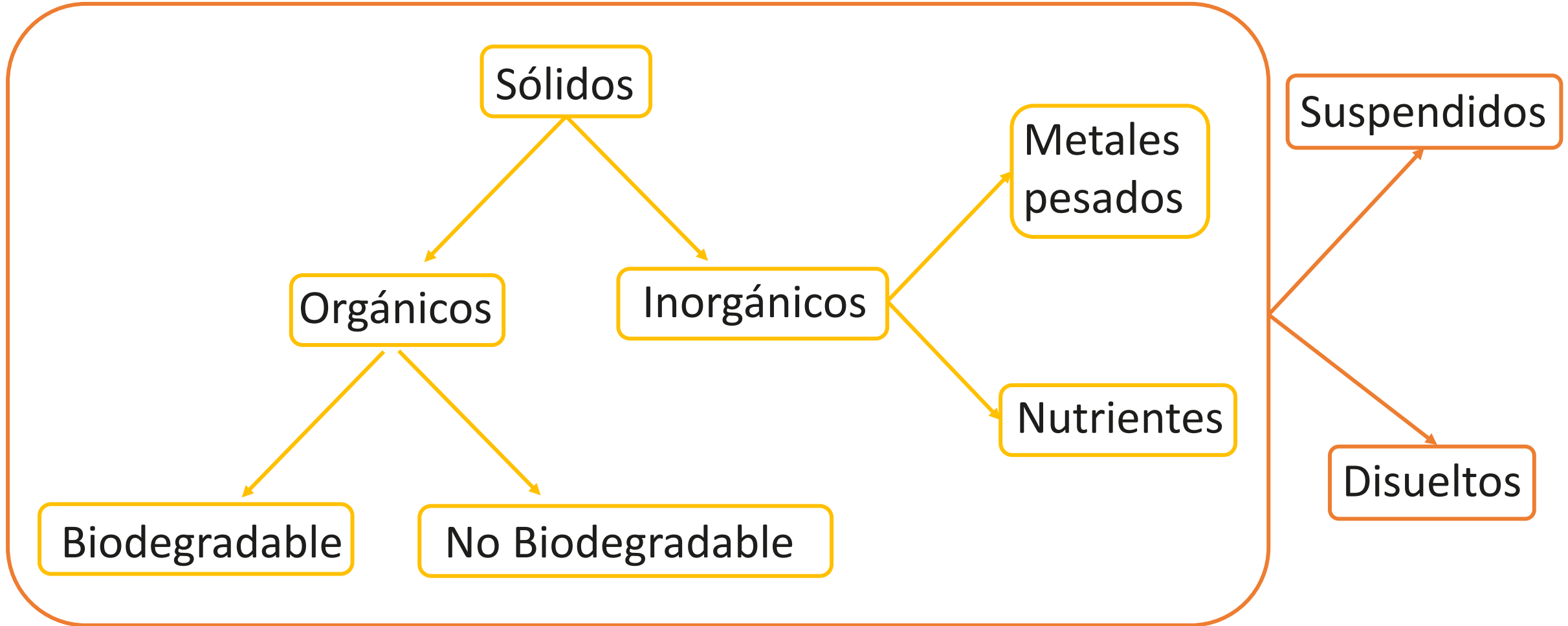
Nutrientes

Biodegradable

No Biodegradable

Suspendidos

Disueltos



Análisis de sólidos

[g/g]

$$\% \text{ Agua} + \% \text{ sólidos totales} = 1$$

$$\text{Sólidos totales} = \text{Sólidos suspendidos} + \text{Sólidos disueltos}$$



$$\text{Sólidos totales} = \text{sólidos volátiles} + \text{sólidos fijos (cenizas)}$$

Orgánicos *Inorgánicos*

Sólidos suspendidos

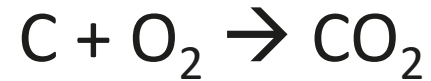
$$= \text{Sólidos suspendidos volátiles} + \text{sólidos suspendidos fijos}$$

Orgánicos *Inorgánicos*

Demanda Química de Oxígeno (DCO)

[mg/L]

DCO = materia oxidable en los lodos (materia orgánica)



Fraccionamiento del DCO

$$DCO = DCO_{\text{particula,no biodegradable}} + DCO_{\text{particula,biodegradable}} + DCO_{\text{soluble,no biodegradable}} + DCO_{\text{soluble,biodegradable}}$$

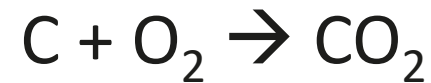
DCO ~ Solidos volatiles

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

[mg/L]

DBO = materia biodegradable en los lodos

Microrganismo



$$DBO \sim DCO_{particula, biodegradable} + DCO_{soluble, biodegradable}$$

Densidad

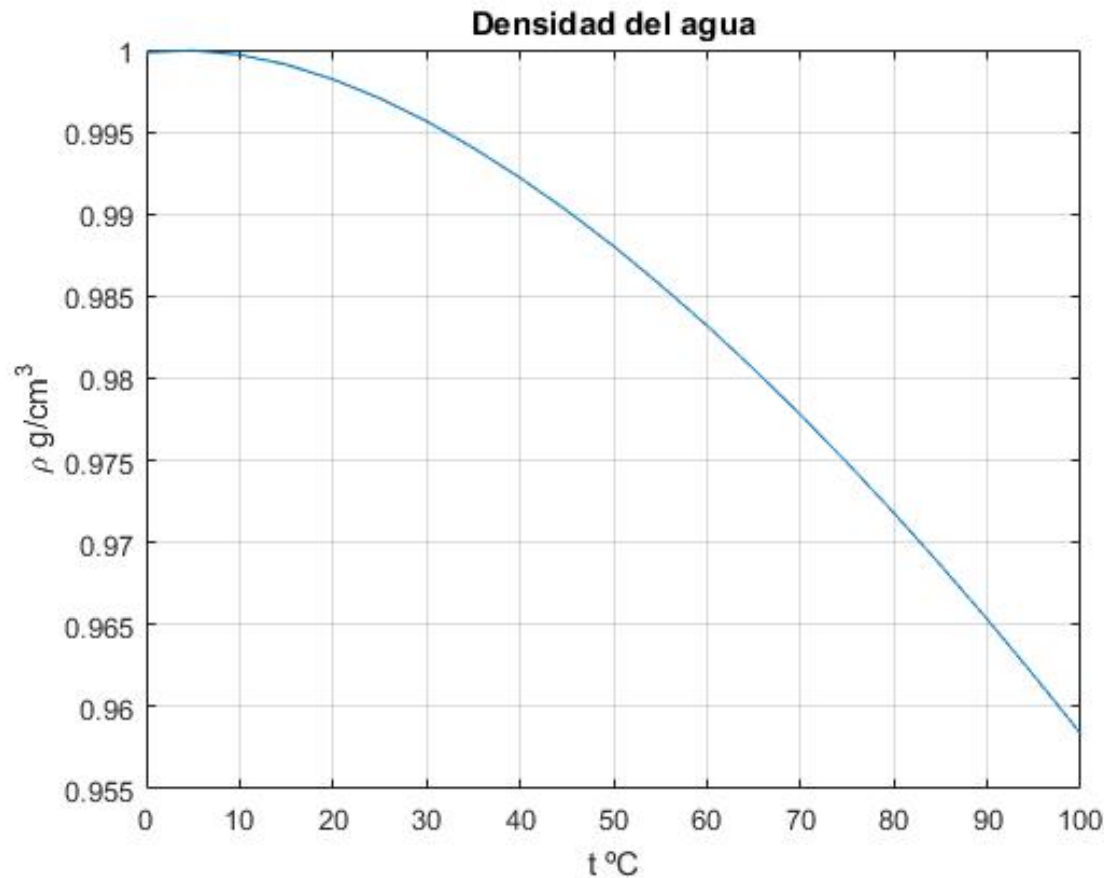
[g/cm³]

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$



UNIVERSITY OF
KWAZULU-NATAL
INYUVESI
YAKWAZULU-NATALI

WASH R&D CENTRE
Water Sanitation & Hygiene Research & Development Centre

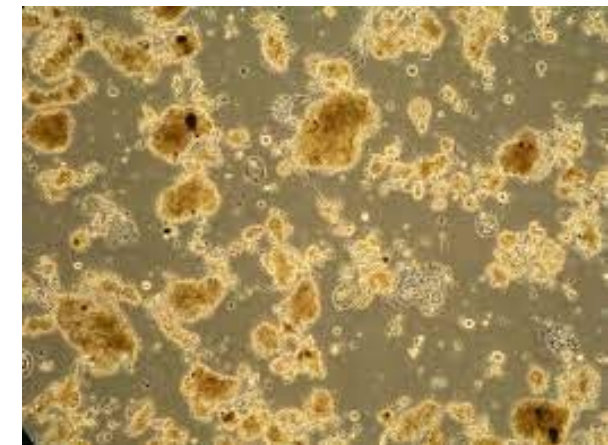
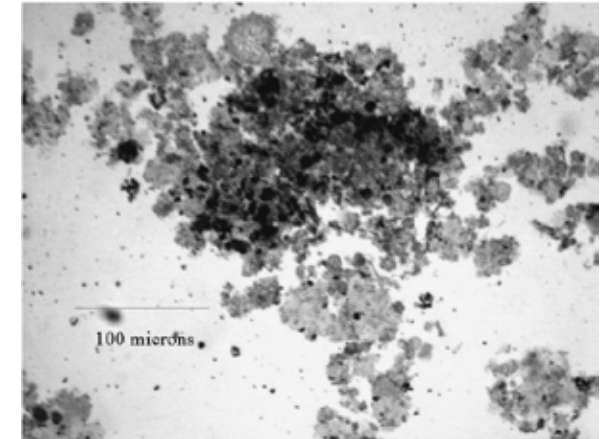
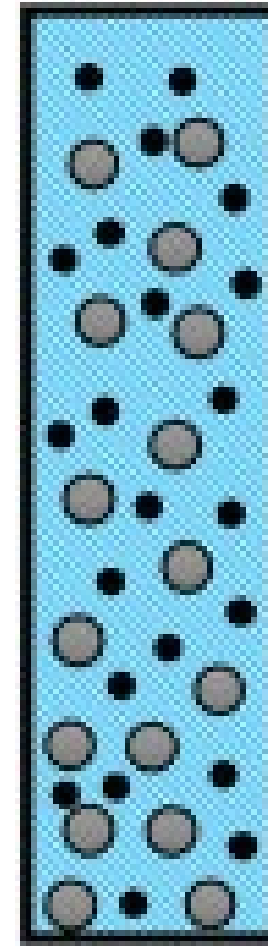
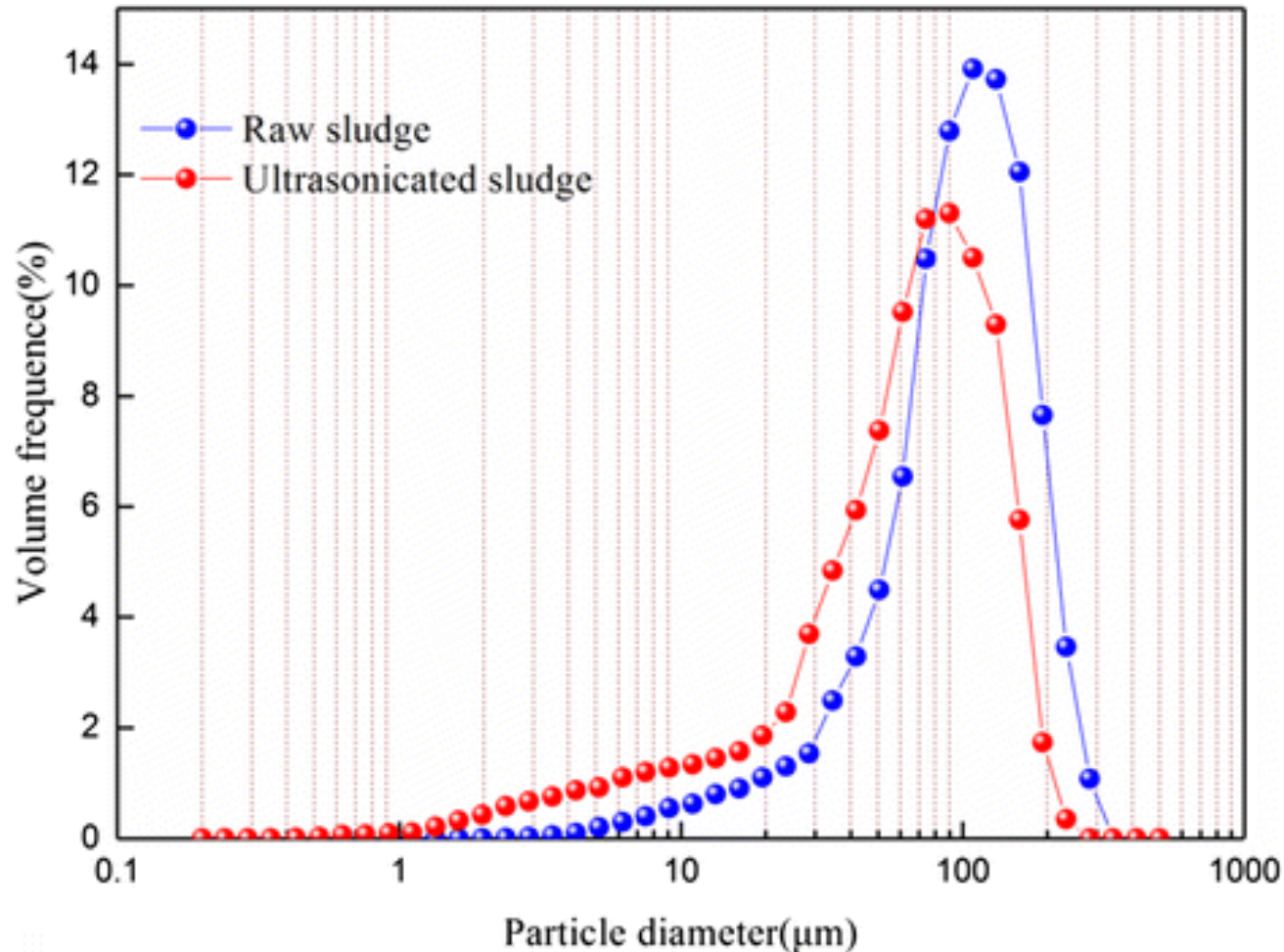


Densidad agua ~ 0.98 g/cm³

Densidad a 20°C = 0.98 g/cm³

Distribución de tamaño de partícula

Relacionado con la turbiedad y solidos suspendidos



Zhang, H., Lu, X., Song, L., & Zhang, L. (2018). Effects of loosely bound EPS release and floc reconstruction on sludge dewaterability. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(2), 1-10.

Composición elemental

[mg/g]

C, H, O



Materia orgánica

C, H, O ~ Sólidos volátiles ~ DCO

N, P, K, S, Mg, Ca, B, Cl, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn



Nutrientes



Hg, Cd, As, Cr, Tl, Pb

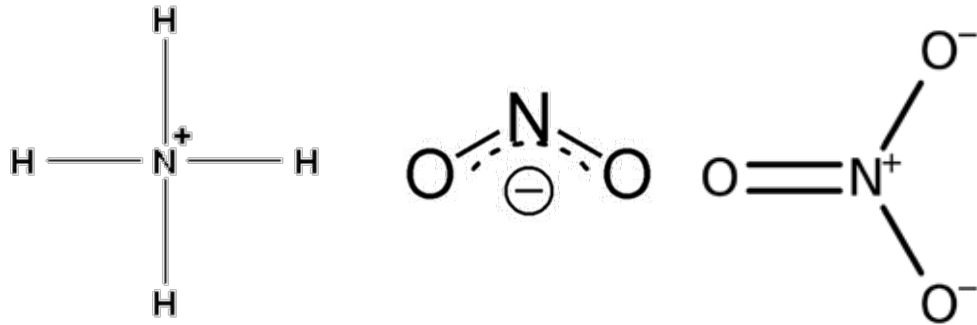


Metales pesados

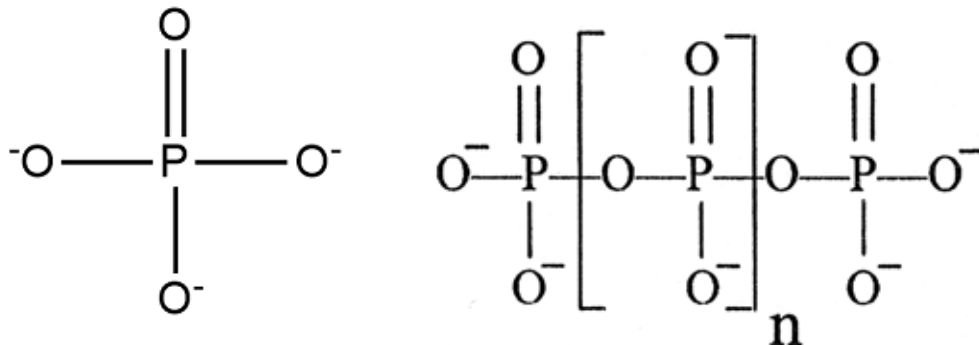


Composición molecular

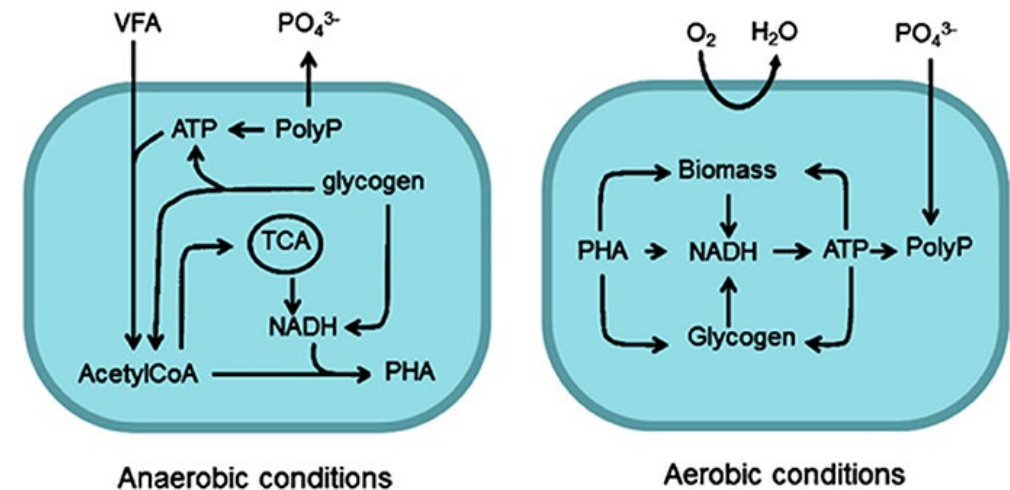
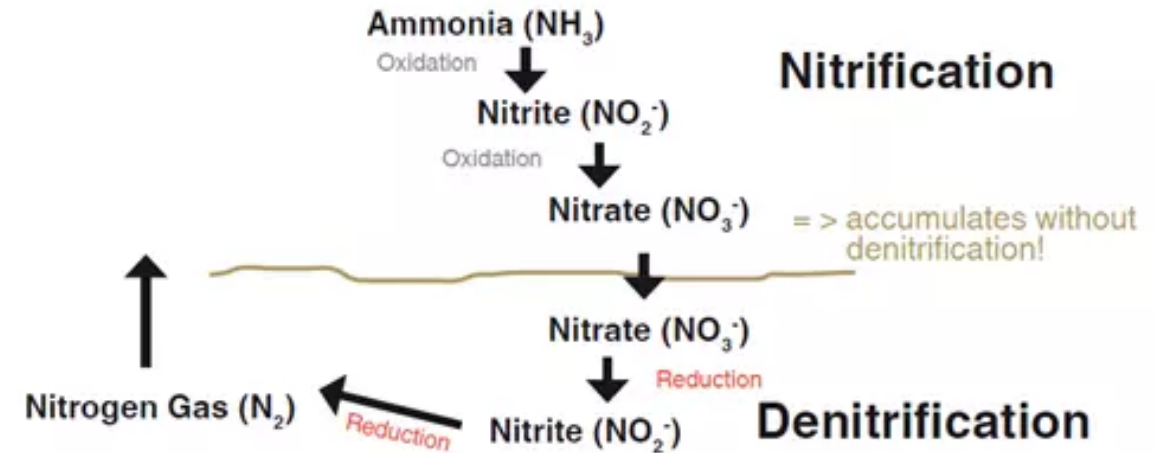
[mg/L]



$$N = NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^- + TKN$$

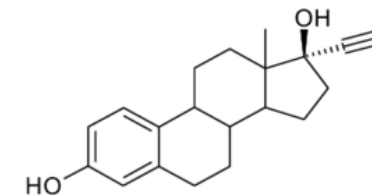
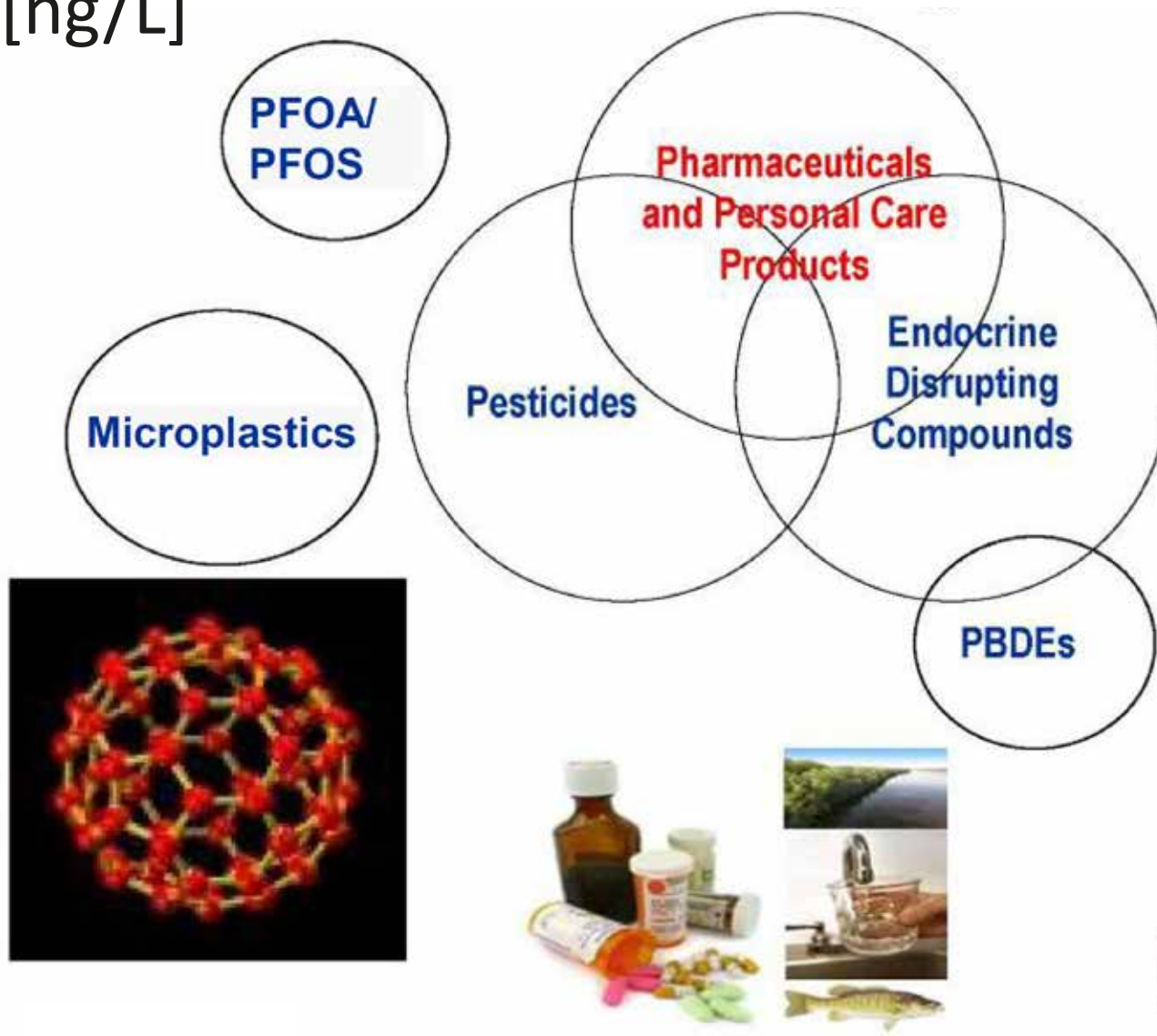


$$P = ortho PO_4^{3-} + poly PO_4^{3-} + P_{orgánico}$$

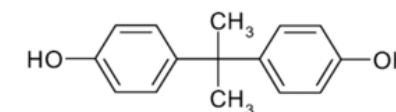


Compuestos de preocupación emergente

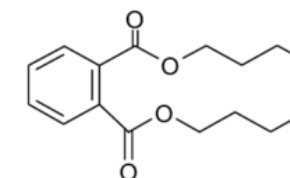
[ng/L]



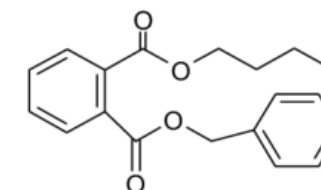
17 α -ethinylestradiol



Bisphenol A



Dibutyl phthalate



Benzyl butyl phthalate

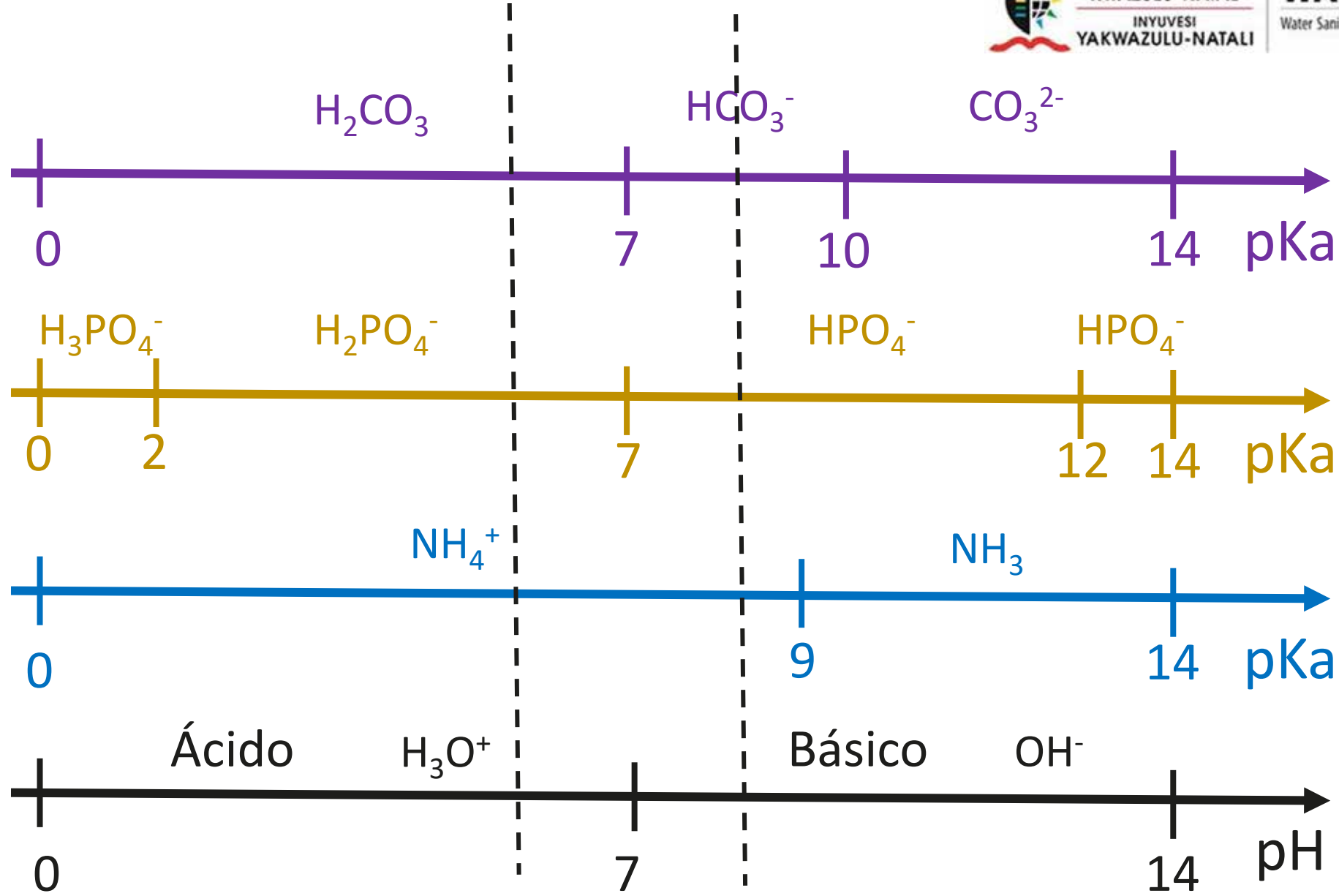


pH



UNIVERSITY OF
KWAZULU-NATAL
INYUVESI
YAKWAZULU-NATALI

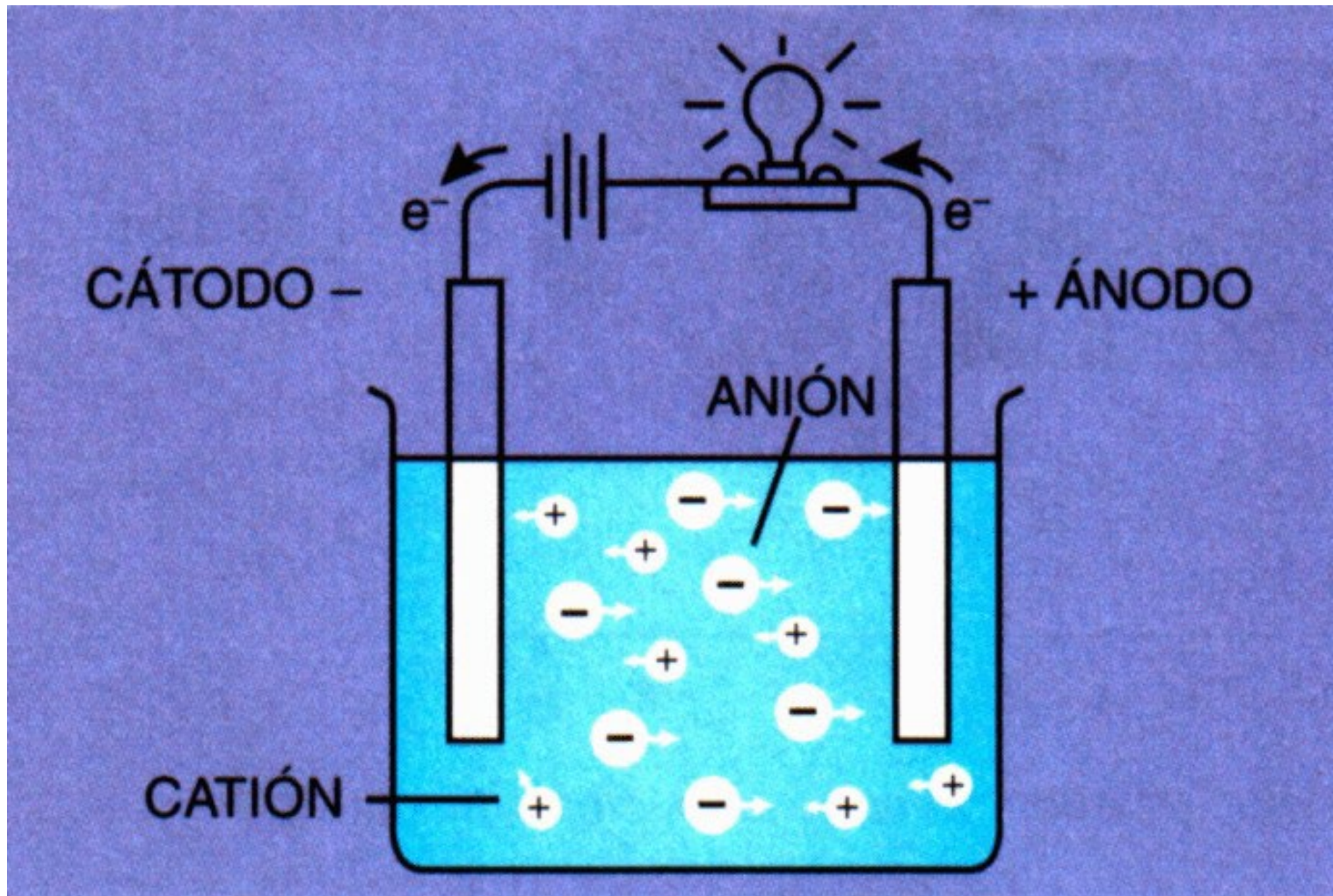
WASH R&D CENTRE
Water Sanitation & Hygiene Research & Development Centre



Conductividad eléctrica

[S.m]

Indicador de salinidad



Poder calorífico

[J/kg]

Relacionado con los volátiles sólidos y DCO

Energía liberada por oxidación (= energía química contenido en los lodos)



Poder calorífico bruto (o superior) si no se considera la entalpia de vaporización del agua

Poder calorífico neto (o inferior) si se considera la entalpia de vaporización del agua

Propiedades mecánicas

- ❖ Propensión a sedimentación
- ❖ Propensión a filtración
- ❖ Propensión a centrifugación
- ❖ Propensión a la succión capilar
- ❖ Propiedades viscoelásticas

Propensión a la sedimentación (SVI)

[mL/g]

Indicador de estabilidad del lodo
(buena sedimentación → lodo estable)

$$SVI = \frac{\text{Volumen lodos sedimentados}}{\text{Sólidos suspendidos}}$$

Separación
de fases

Líquido

Sólido



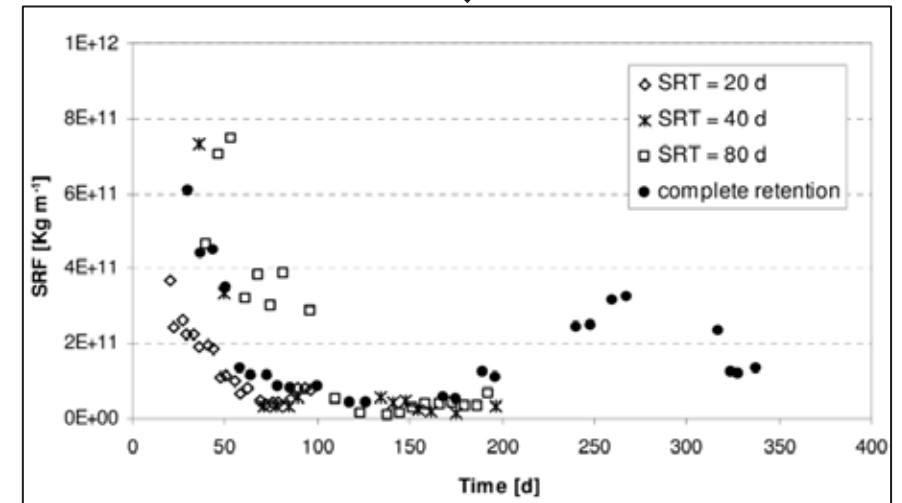
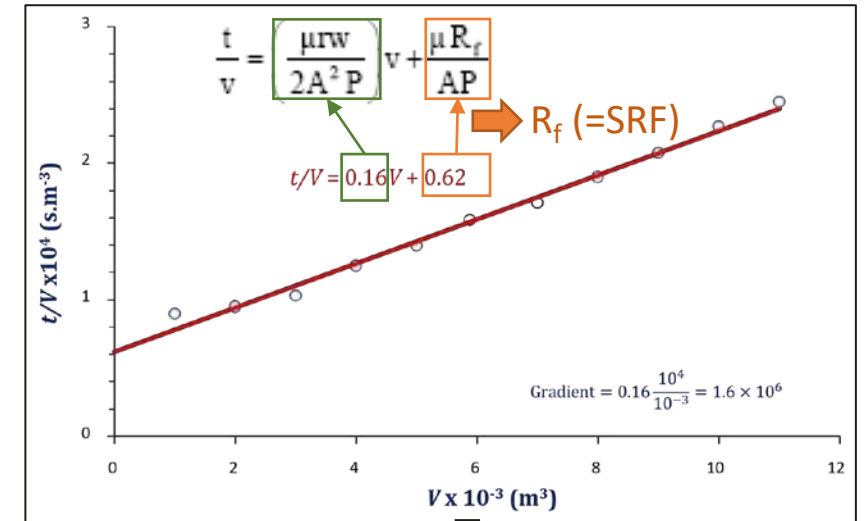
$\vec{g}$

Propensión a filtración (SRF)

[m/kg]

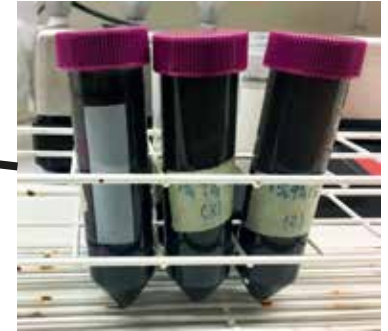
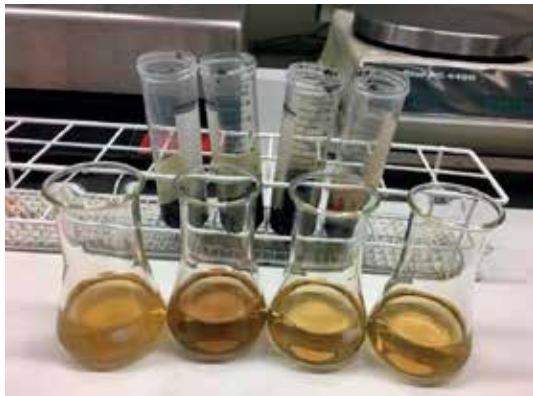
Filtrado

Lodo



Propensión a la centrifugación

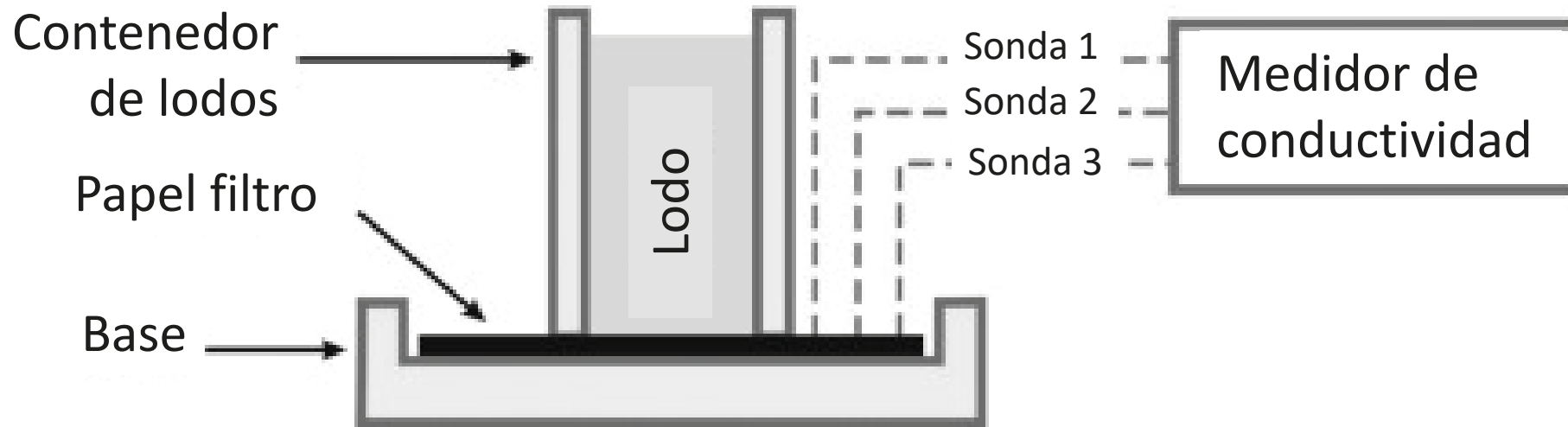
Indicador de la propensión de los lodos a la deshidratación mecánica



Propensión a la succión capilar (CST)

[s]

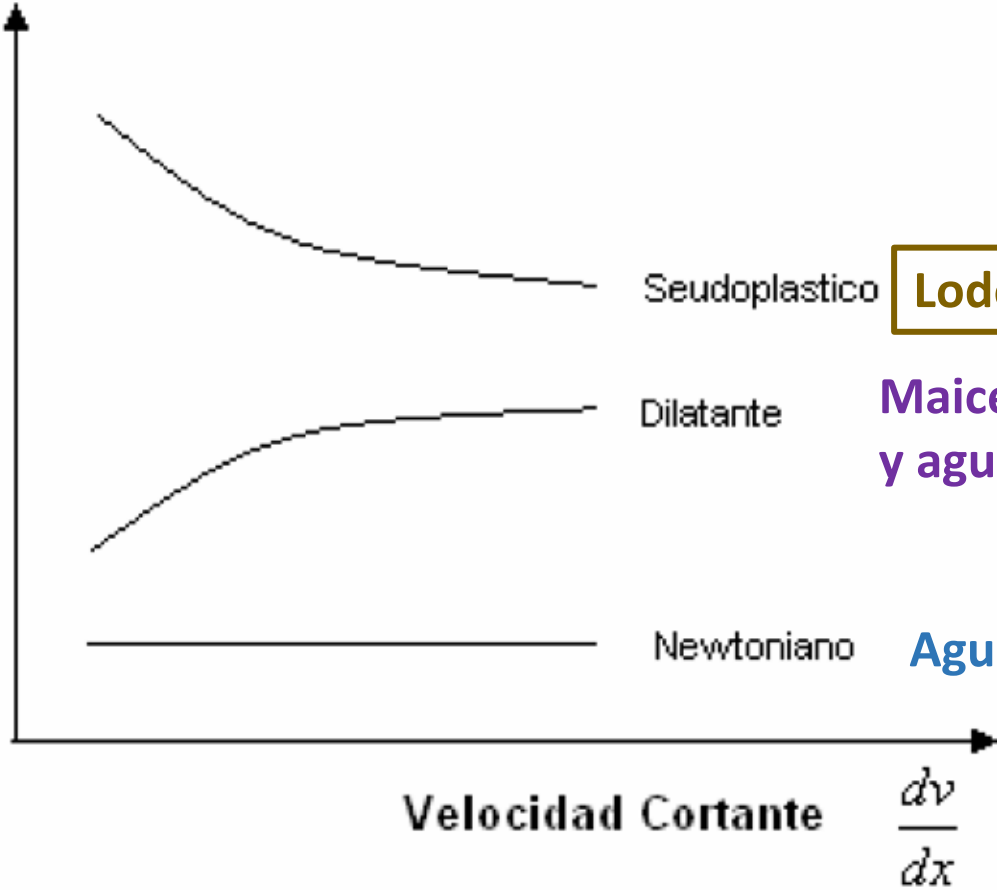
Indicador de la propensión de los lodos a la deshidratación mecánica



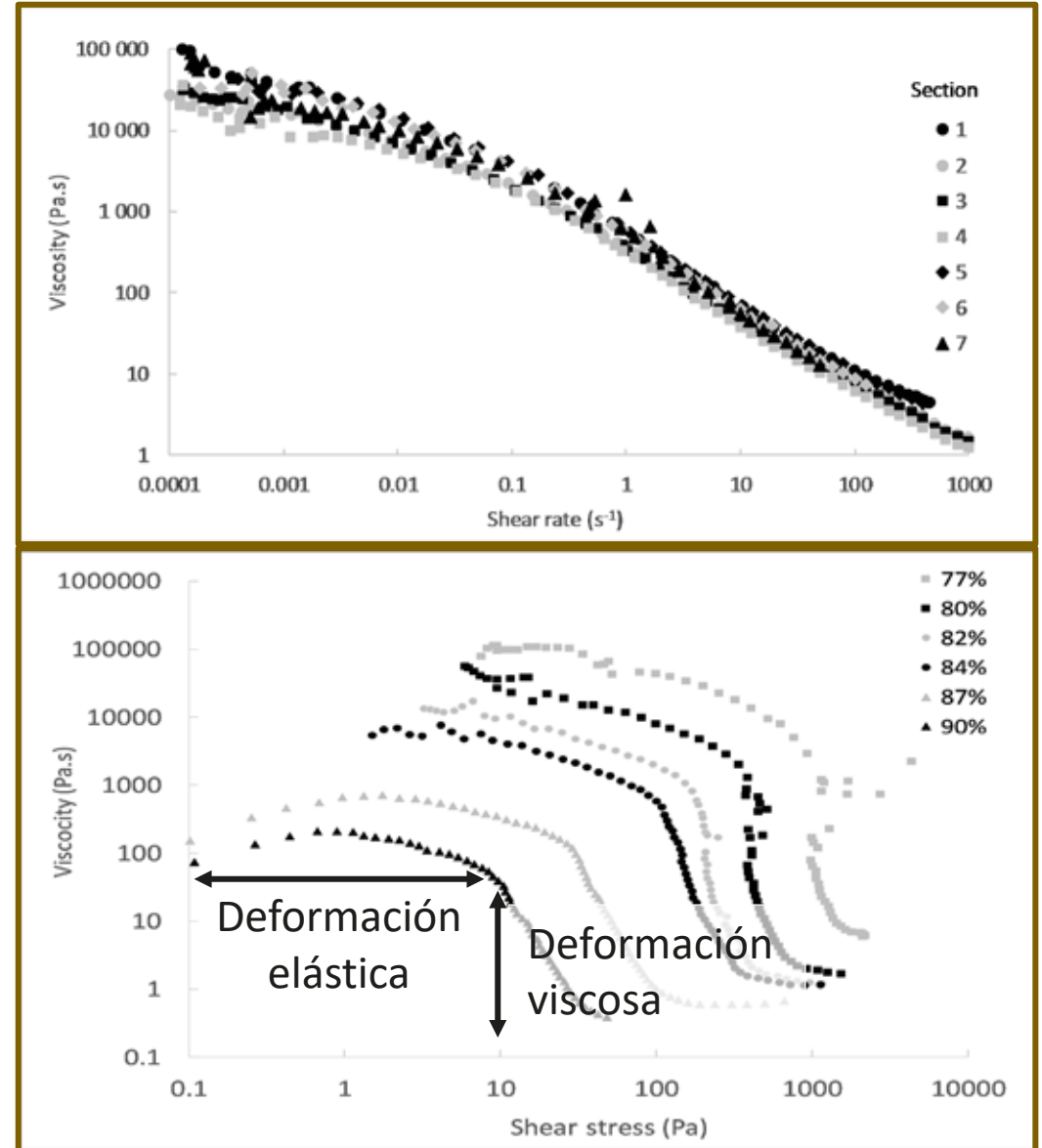
Propiedades viscoelásticas (reología)

Viscosidad Aparente

η



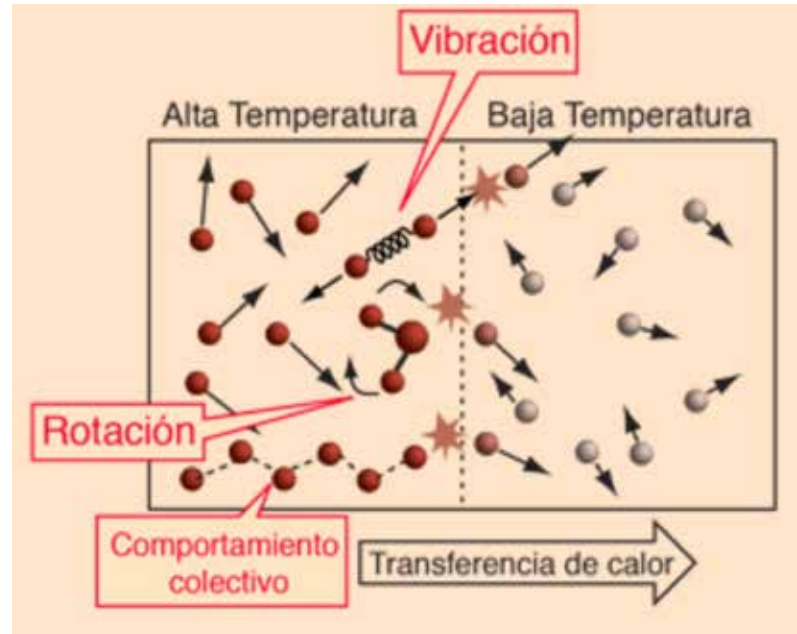
Septien, S., Pocock, J., Teba, L., Velkushanova, K., & Buckley, C. A. (2018). Rheological characteristics of faecal sludge from VIP latrines and implications on pit emptying. *Journal of Environmental Management*, 228, 149-157.



Propiedades térmicas

❖ Conductividad térmica

❖ Capacidad calorífica



Ecuación de transferencia de calor

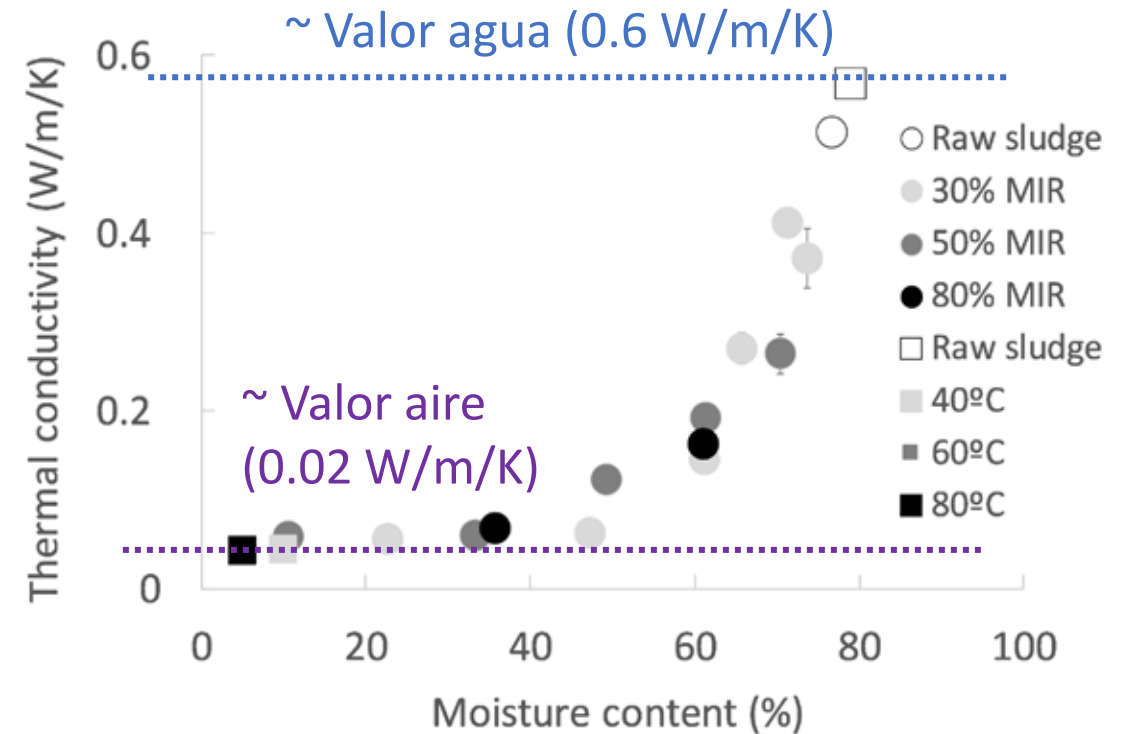
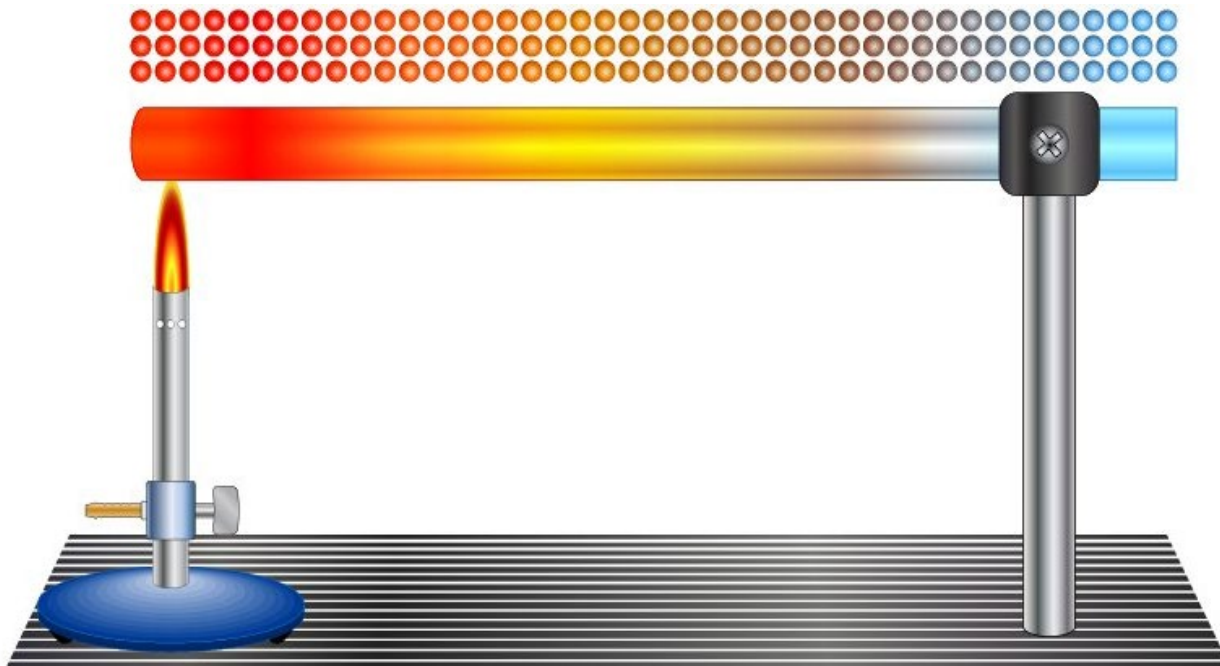
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

k Conductividad térmica
 C_p Capacidad calorífica

Conductividad térmica

[W/m/K]

Habilidad de transferir calor de un material

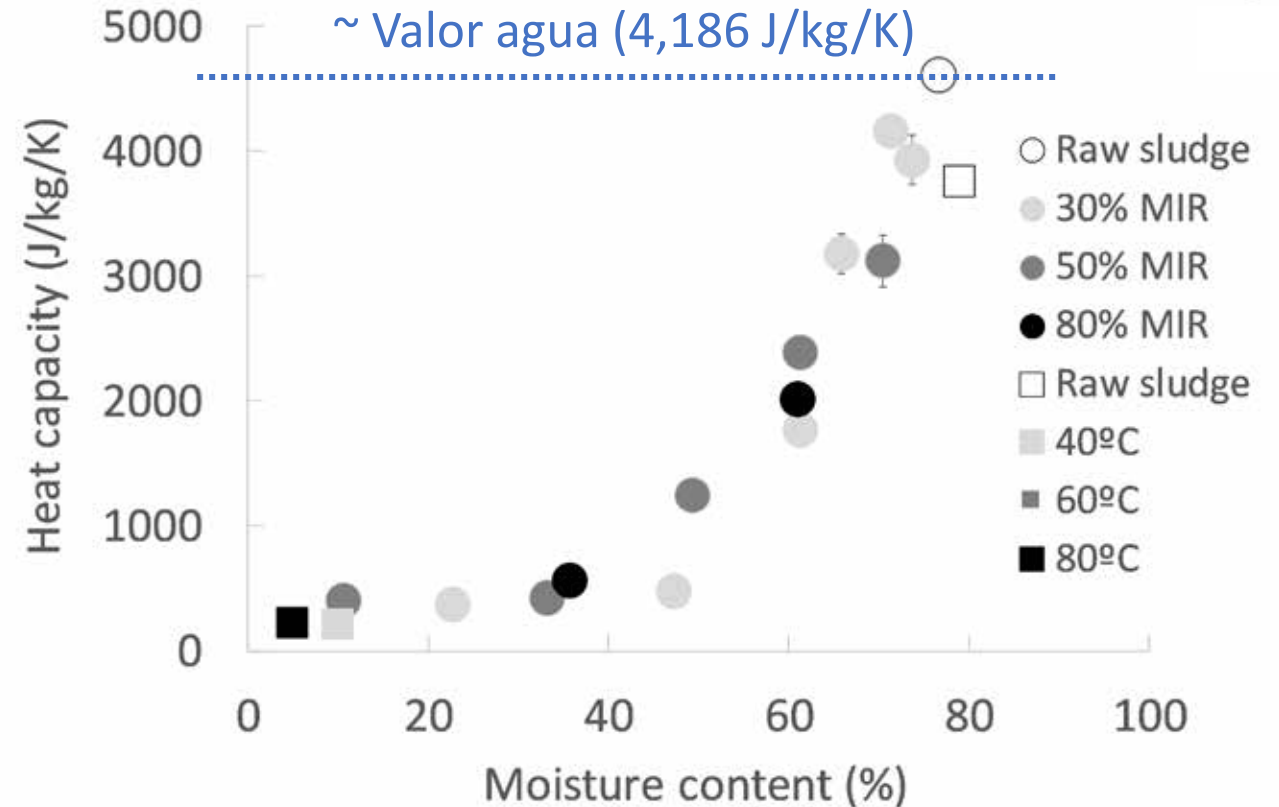
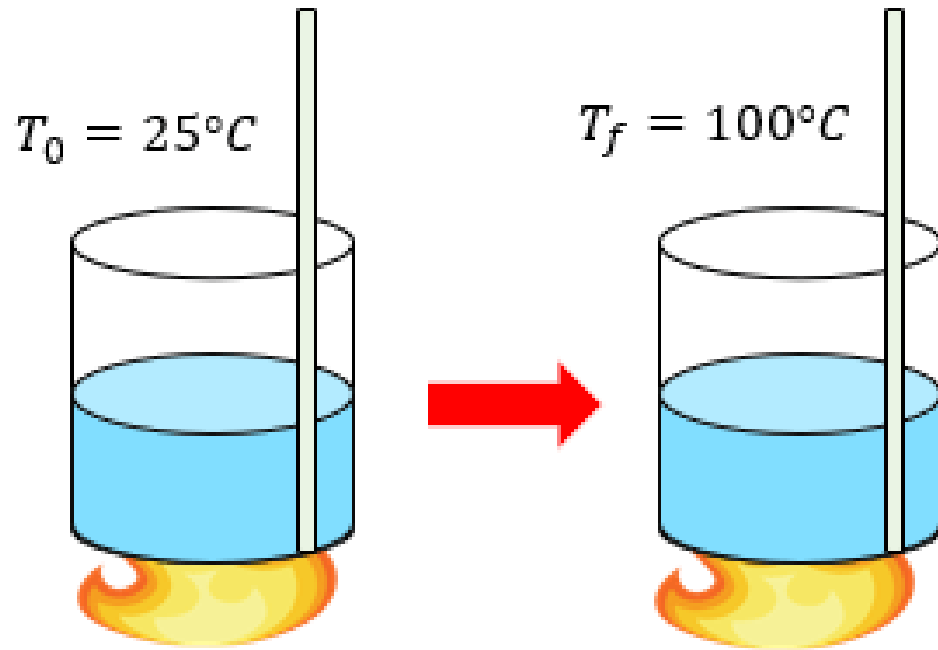


Septien, S., Mirara, S. W., Makununika, B. S. N., Singh, A., Pocock, J., Velkushanova, K., & Buckley, C. A. (2020). Effect of drying on the physical and chemical properties of faecal sludge for its reuse. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103652.

Capacidad calorífica

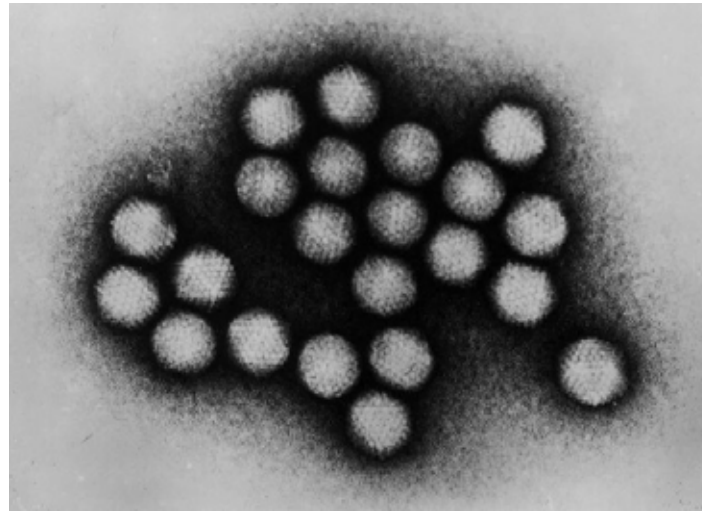
[J/kg/K]

Calor requerido para la augmentación de temperatura de un material



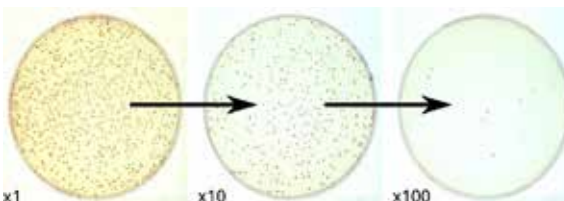
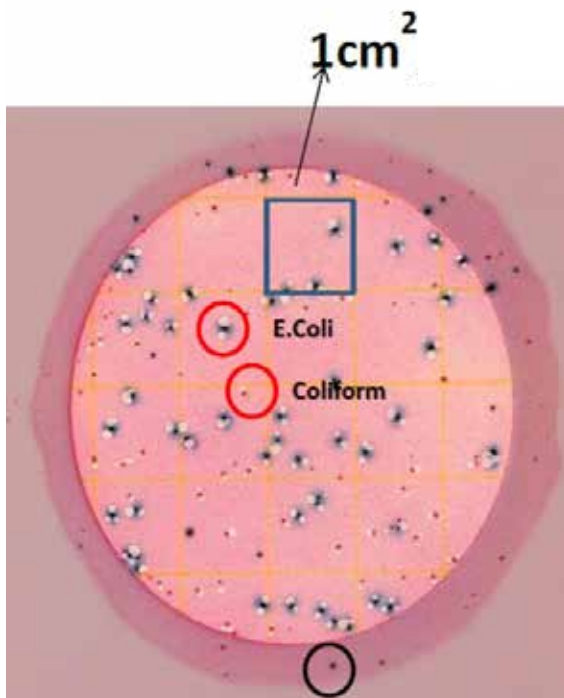
Septien, S., Mirara, S. W., Makununika, B. S. N., Singh, A., Pocock, J., Velkushanova, K., & Buckley, C. A. (2020). Effect of drying on the physical and chemical properties of faecal sludge for its reuse. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103652.

- ❖ Contenido en microorganismos
- ❖ Contenido en parásitos



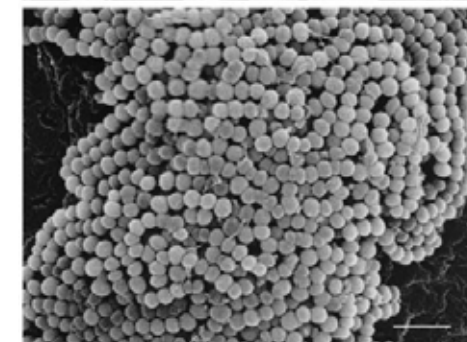
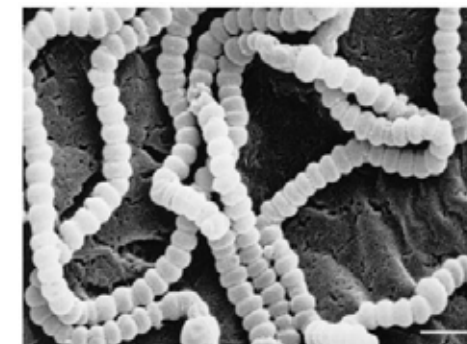
Microbiología

[cfu/g]



Dilución

Grupo	Patógeno	Síntomas
Bacterias	<i>Aeromonass</i> spp.	Enteritis
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campylobacteriosis – diarrea, cólico, dolor abdominal, fiebre, náusea, artritis, Síndrome Guillain-Barré
	<i>Escherichia coli</i> (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Enteritis. Con la variedad EHEC, puede haber hasta hemorragia interna letal
	<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Fiebre tifoidea/paratifoidea – dolor de cabeza, fiebre, malestar, anorexia, bradicardia, esplenomegalia, tos
	<i>Salmonella</i> spp.	Salmonelosis – diarrea, fiebre, cólico abdominal
	<i>Shigella</i> spp.	Shigelosis – disentería (diarrea con sangre), vómito, cólico, fiebre, Síndrome de Reiter
	<i>Vibrio cholera</i>	Cólera – diarrea aguada, letal si es severa y no tratada
Virus	<i>Adenovirus</i>	Varias, problemas respiratorios, algunas variedades atacan los intestinos (véase a continuación)
	<i>Adenovirus</i> entéricas, tipo 40 and 41	Enteritis
	<i>Enterovirus</i> tipos 68-71	Meningitis, encefalitis, parálisis
	Hepatitis A	Hepatitis – fiebre, malestar, anorexia, náusea, dolor abdominal, ictericia
	Hepatitis E	Hepatitis
	<i>Poliovirus</i>	Poliomielitis – fiebre, náusea, vómito, dolor de cabeza, parálisis, a veces sin síntomas
	<i>Rotavirus</i>	Enteritis

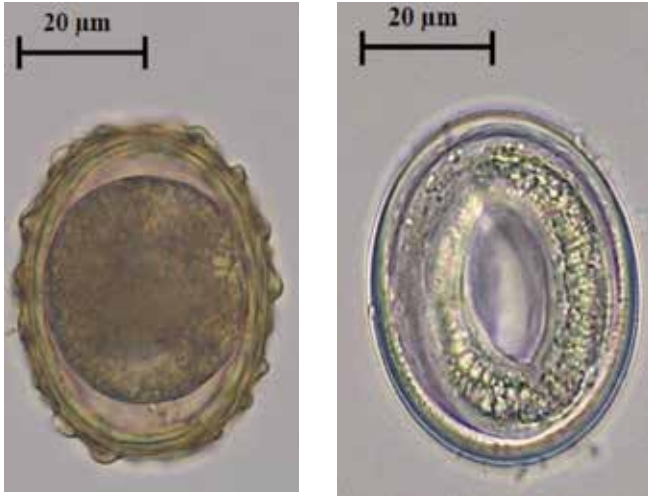


Liu, J. R., McKenzie, C. A., Seviour, E. M., Webb, R. I., Blackall, L. L., Saint, C. P., & Seviour, R. J. (2001). Phylogeny of the filamentous bacterium *Nostocoida limicola* III from activated sludge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51(1), 195-202.

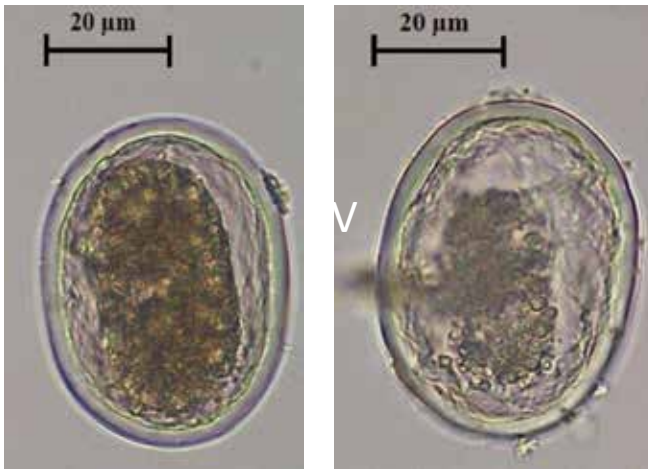
Parasitología

[huevos viables/g]

Huevos Ascaris viables



Huevos Ascaris no viables



Grupo	Patógeno	Síntomas
Parásitos Protozoarios		
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Criptosporidiosis – diarrea aguada, cólico abdominal, dolor
	<i>Cyclospora histolytica</i>	Diarrea, dolor abdominal, a veces sin síntomas
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis – disentería, dolor abdominal, fiebre, escalofríos, a veces sin síntomas
	<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiasis – diarrea, cólico abdominal, malestar, pérdida de peso
Helmintos (lombrices)		
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Generalmente sin síntomas, a veces tos, sibilancias, fiebre, enteritis, eosinofilia pulmonaria
	<i>Taenia solium/saginata</i>	Teniasis
	<i>Trichuris trichura</i>	Trichuriasis – sin síntomas o malestar digestivo general, emaciación con piel seca, diarrea
	<i>Ancylostoma, Necator, uncinarias</i>	Picazón, ronchas, tos, anemia, deficiencia de proteínas
	<i>Schistosoma spp., platelmintos sanguíneos</i>	Esquistosomiasis, bilharzia

Strande, L., & Brdjanovic, D. (Eds.). (2014). *Faecal sludge management: Systems approach for implementation and operation*. IWA publishing.

Diferencia entre lodos fecales en Durban

Tipo	Humedad %	SS mg/L	VSS g/g DW	Ceniza g/g DW	SVI ml/mg	pH -	DQO mg/g DW	NH ₄ -N mg/g DW	TKN mg/g DS	PO ₄ -P mg/L	P _{tot} mg/L	Conductividad térmica W/ mK	Valor calorífico MJ/kg	Densidad kg/m ³
VIP Secos	83	381	0,57	0,43	0,11	7,6	680	13	40	0,73	3,86	0,54	14,06	1,356.5
VIP Húmedos	79	562	0,54	0,46	0,04	7,7	720	7	30	0,83	2,93	0,55	13,08	1,443.1
VIP CAB	77	139	0,49	0,51	0,51	7,4	650	3	30			0,60	14,31	1,350.1
UDDT	60	246	0,45	0,55	0,23	7,5	490	5	30	1,00	3,27	0,38	12,93	1,450.4

Diferencia entre lodos

Parámetro	Tipo de LF		Lodos de EDAR
	Baños públicos	Tanque séptico	
pH	1,5 a 12,6	-	-
	6,55 a 9,34	-	-
Sólidos totales, TS (mg/L)	52.500	12.000 a 35.000	-
	30.000	22.000	-
	-	34,106	-
	≥3,5%	<3%	<1%
Sólidos volátiles totales, TVS (como % de TS)	68	50 a 73	-
	65	45	-
DQO (mg/L)	49.000	1.200 a 7.800	-
	30.000	10.000	7 a 608
	20.000 a 50.000	<10.000	500 a 2.500
DBO (mg/L)	7.000	840 a 2.600	-
	-	-	20 a 229

Parámetro	Tipo de LF		Lodos de EDAR
	Baños públicos	Tanque séptico	
Total de nitrógeno, TN (mg/L)	-	190 a 300	-
	-	-	32 a 250
Total nitrógeno Kjeldahl, TKN (mg/L)	3.400	1.000	-
NH ₄ -N (mg/L)	3.300	150 a 1.200	-
	2.000	400	2 a 168
	2.000 a 5.000	<1.000	30 a 70
Nitratos, NO ₃ ⁻ (mg N/L)	-	0.2 a 21	-
Total de fósforo, TP (mg P/L)	450	150	9 a 63
Coliformes fecales (cfu/100 mL)	1x10 ⁵	1x10 ⁵	6,3x10 ⁴ a 6,6x10 ⁵
Huevos de helmintos (#/L)	2.500	4.000 a 5.700	-
	20.000 a 60.000	4.000	300 a 2.000
	-	600 a 6.000	-
	-	16.000	-

Lodos fecales mucho más concentrados en materia orgánica que lodos de tratamiento de aguas residuales!

Strande, L., & Brdjjanovic, D. (Eds.). (2014). *Faecal sludge management: Systems approach for implementation and operation*. IWA publishing.

Gracias por su escucha!



Email: septiens@ukzn.ac.za