

PROYECTO FINAL
Diplomado Ingeniería Aplicada a
Sistemas de Recirculación en
Acuicultura



Eyeris Daniel Escarraga Forero

Modelo conceptual del problema

- ESPECIFICACIONES DEL CULTIVO

- Especie: Tilapia gris (*Oreochromis niloticus*)
- Estadío : Juvenil
- Biomasa: 45.000 kg
- Volumen: 1500 m³
- Densidad: 30 kg/m³
- Alimentación diaria: 4% de biomasa
- Alimento: 35% de proteína



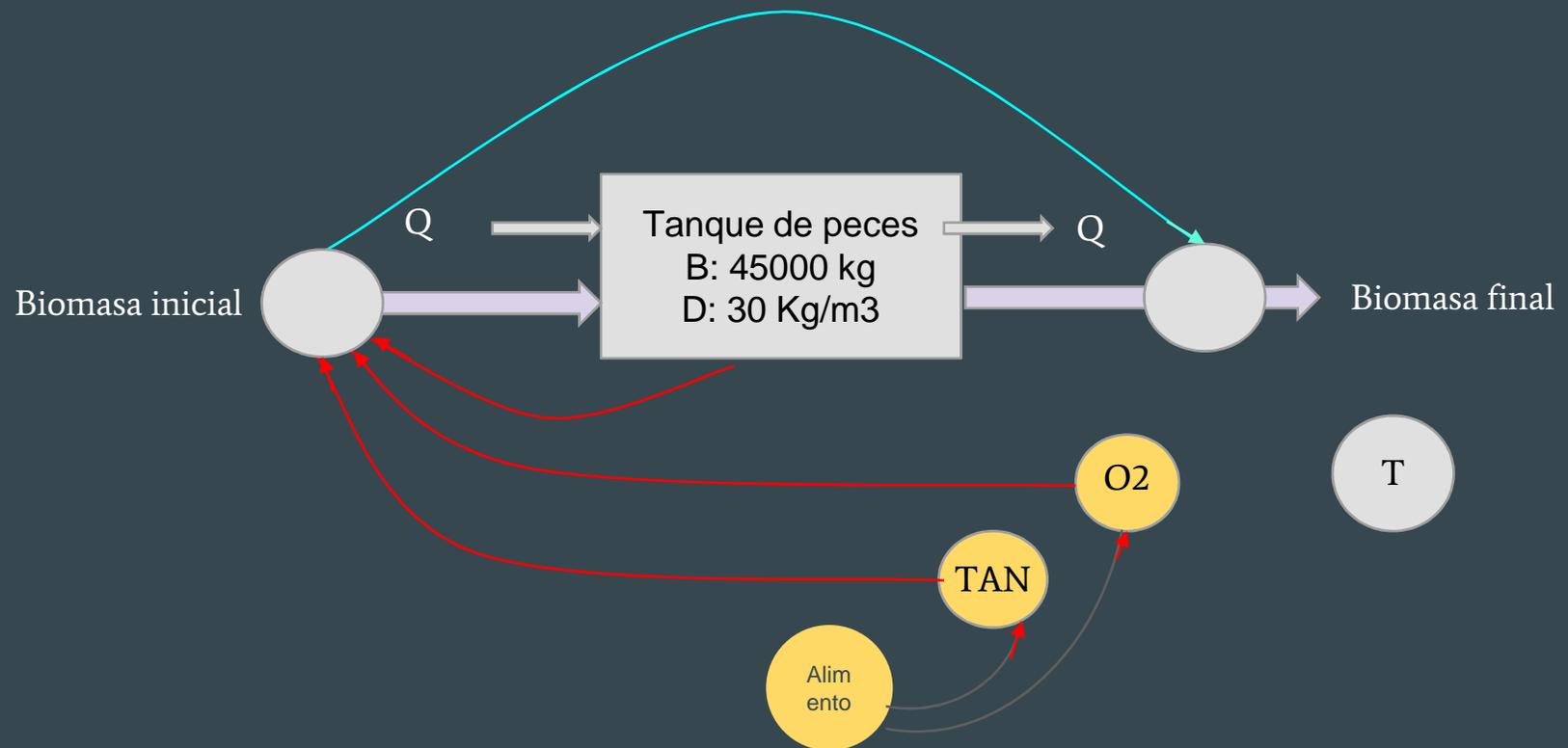
Modelo conceptual del problema

Objetivos

Aplicar los conocimientos recibidos en el diseño de un RAS

- Modelo conceptual
- Determinar caudal de agua del tanque de cultivo
- Diseñar las dimensiones del tanque de cultivo
- Dimensionar el drenaje central y lateral (con sus caudales respectivos)

MODELO CONCEPTUAL



TAMAÑO DE ESTANQUE

Estanques circulares
Uniformidad en la calidad de agua.
Ampliación de rango de velocidad de rotación para
optimizar condición de los peces.



TAMAÑO DE ESTANQUE

- Primero procedemos a determinar el volumen del o los estanques:

$$\begin{aligned}V &= \text{Biomasa} * \text{Densidad} \\V &= 45000 \text{ Kg} * (1\text{m}^3) / (30 \text{ Kg}) \\V &= 1500 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Tomamos una relación de 3:1 para el diámetro y la profundidad.
 - Los tanques tienen esta relación ya que no se generan puntos muertos en el transporte de sólidos sedimentables al drenaje. (evitamos las zonas sin rotación y creamos tanques auto limpiantes)

$$\begin{aligned}\text{Diámetro (D)} &: 17.9\text{m} \\ \text{Altura (h)} &: 5.96 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= \pi * h * (r)^2 \\ \bar{V} &= \pi * (5.96)(8.95)^2 = 1499.8\text{m}^3\end{aligned}$$

Perímetro:

$$\begin{aligned}p &= 2\pi r + h \\ p &= 2\pi(8.95) + (5.96\text{m}) \\ p &= 62.19\text{m}^2\end{aligned}$$

Área de tanques:

$$\begin{aligned}a &= 2\pi(8.95) * 5.96 + 2\pi(8.95)^2 \\ a &= 838.45\text{m}^2\end{aligned}$$

Superficie libre: 0.3m
Superficie de paredes: 838.45m²
Altura: 5.96m – 0.3m = 5.66m²

CALCULO CAUDAL

CAUDAL CON RESPECTO OXÍGENO O₂

- Calculamos el alimento: Biomasa * %alimentación

$$A = 45000 \text{ kg} * 4\%$$

$$A = 1800 \text{ kg alimento}$$

- Si el consumo de oxígeno es 0,25 kg O₂ alimento, Entonces el consumo de oxígeno en el tanque que recibe 1800 kg alimento es:

$$\text{ConO}_{2\text{tanque}} = 1800 \text{ kg de alimento/d} * 0,25 \text{ kgO}_2/\text{kg alimento}$$

$$\text{ConO}_{2\text{tanque}} = 450 \text{ kgO}_2/\text{d} = 450000 \text{ gO}_2/\text{d}$$

Constante de Henry a 30°C = $1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{Lbar}}$

(se convirtió $\frac{\text{mol}}{\text{Lbar}}$ a $\frac{\text{mol}}{\text{Latm}}$ → $1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{Lbar}} * \frac{\text{bar}}{0.987 \text{ atm}}$)

$$C_a = K_h * P_a \rightarrow C_{O_2} (30^\circ\text{C}) = 0.00117 \text{ mol/atm} (1 \text{ atm} * 0.209)$$

$$C_{O_2} (30^\circ\text{C}) = 24453 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$C_{O_2} (30^\circ\text{C}) = 24453 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

El peso molecular(W) del oxígeno es de $2*16 = 32 \text{ g/mol}$.

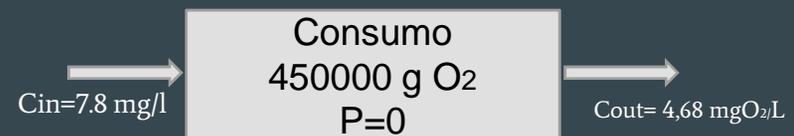
$$C_{O_2} (30^\circ\text{C}) = 24453 \times 10^{-4} + 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.00782 \text{ g/l}$$

$$C_{O_2} (30^\circ\text{C}) = 7.82 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Los valores de oxígeno a la entrada = 7.82 mg/L

Los valores de oxígeno en efluente = 4,68 mg/L

Entonces realizamos el balance de masa y despejamos el caudal (Q)



$$0 = Q (C_{in} - C_{out}) + \text{producción} - \text{consumo}$$

$$Q = \frac{\text{Cons O}_2 \text{ tanque}}{(C_{in} - C_{out})} = \frac{450000 \text{ g O}_2 + 1000 \text{ mg/g}}{(7.82 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 4.68 \frac{\text{mg}}{\text{L}}) * 1440 \text{ min/día}} = 99522,30 \text{ l/min}$$

CALCULO CAUDAL

CAUDAL CON RESPECTO AL TAN

Calculamos a demanda de TAN

$$P_{tan} = \text{alimento} * PC * 0.092$$

$$P_{tan} = (45000 \text{ kg} * 0.04) * 0.35 * 0.092$$

$$P_{tan} = 57.96 \text{ kg TAN/día} \rightarrow 40.25 \text{ g/min} = 40250 \text{ mg/min.}$$

Asumiendo que los valores de TAN en el ingreso es (C_{in}) = 0 mg/l y de efluente (C_{out}) = 2,27 mg/l

T= 30°C ; pH= 7

$$\text{NH}_3 - \text{N} = a * \text{TAN}$$

$$pK_a = 0.09018 + \frac{2729.92}{T + 273.15}$$

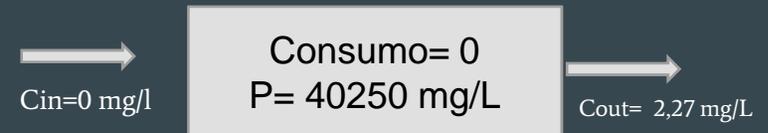
$$pK = 0.09018 \frac{2729.92}{30 + 273.15} = 9.095$$

$$a = \frac{1}{1 + 10^{((pK_a + S_K + 0.0324(24.85 - 1)) - pH)}} \quad \alpha = \frac{1}{1 + 10^{((9.095 + 0 + 0.0324(24.85 - 30)) - 7)}} = 0.011$$

Para propósitos de dimensionamiento, las concentraciones de amoníaco no-ionizado deben ser mantenidas bajo 0.05 mg/L

$$\text{TAN} = \frac{\text{NH}_3 - \text{N}}{\alpha} =$$

$$\text{TAN} = \frac{0.025 \text{ mg/l}}{0.011} = 2.27 \text{ mg/L}$$



$$0 = Q (C_{in} - C_{out}) + \text{producción} - \text{consumo}$$

$$Q = \frac{C - P}{C_{in} - C_{out}} = Q = \frac{-P}{(C_{in} - C_{out})} = \frac{-40250 \frac{\text{mg}}{\text{min}}}{0 \text{ mg/min} - 2.27 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$Q = 17731.27 \text{ L/min}$$

CALCULO DRENAJE CENTRAL Y LATERAL

Reglas:

El caudal del drenaje debe ser el MAYOR de los siguientes criterios:

- A) 6 L/min por m^2 de área del tanque.
- B) Tiempo de residencia basado en el drenaje central menor a 200 min
- C) 10 a 15% del caudal total del tanque.

Q total del tanque: 199.044,58 L/min

A) Área: $(8,95)^2 * \pi = 251.65 \text{ m}^2$, por lo tanto $6\text{L}/\text{min} * \text{m}^2 * 251.65\text{m}^2 = 1509.9 \text{ L}/\text{min}$

B) $V/Q = 200 \text{ min}$; $Q = V/200 \text{ min} = 1'500.000 \text{ L}/200\text{min}$; 7,500 L/min

C) $(99522,30 \text{ L}/\text{min} * 10\%) = 9952,22\text{L}/\text{min}$



Caudal Lateral:

- $Q_L = Q_t - Q_c$
- $Q_L = 99522,30 - 9952,22 = 89570,08 \text{ L/min}$

Estimación de drenaje doble:

- Afluente = $99522,30 \text{ L/min} \rightarrow 99,5223 \text{ m}^3/\text{min} \rightarrow 5971.31 \text{ m}^3/\text{h}$
- Drenaje de fondo: $9952,22 \text{ L/min} \rightarrow 597,133 \text{ m}^3/\text{h}$
- Drenaje lateral: $89570,08 \text{ L/min}$
- Diámetro de tuberías: 15 a 30 cm/s velocidad del agua

Tasa de recambio: $Q/V = \frac{99,5223 \text{ m}^3/\text{min}}{1500\text{m}^3} = 0,066 \text{ min}$

NOTA: si es menor de 2 recambio/hora, la sedimentación de sólidos alrededor del drenaje central es más frecuente.

Diámetro tubería central:

$$Q = V * At = At = Q/V$$

$$At = \frac{597,13 \text{ m}^3/h}{30 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}} = 0,55 \text{ m}^2$$

Ahora procedemos a calcular diámetro:

$$A_{\text{trans}} = \frac{\pi D^2}{4} = \text{Despejamos } D$$

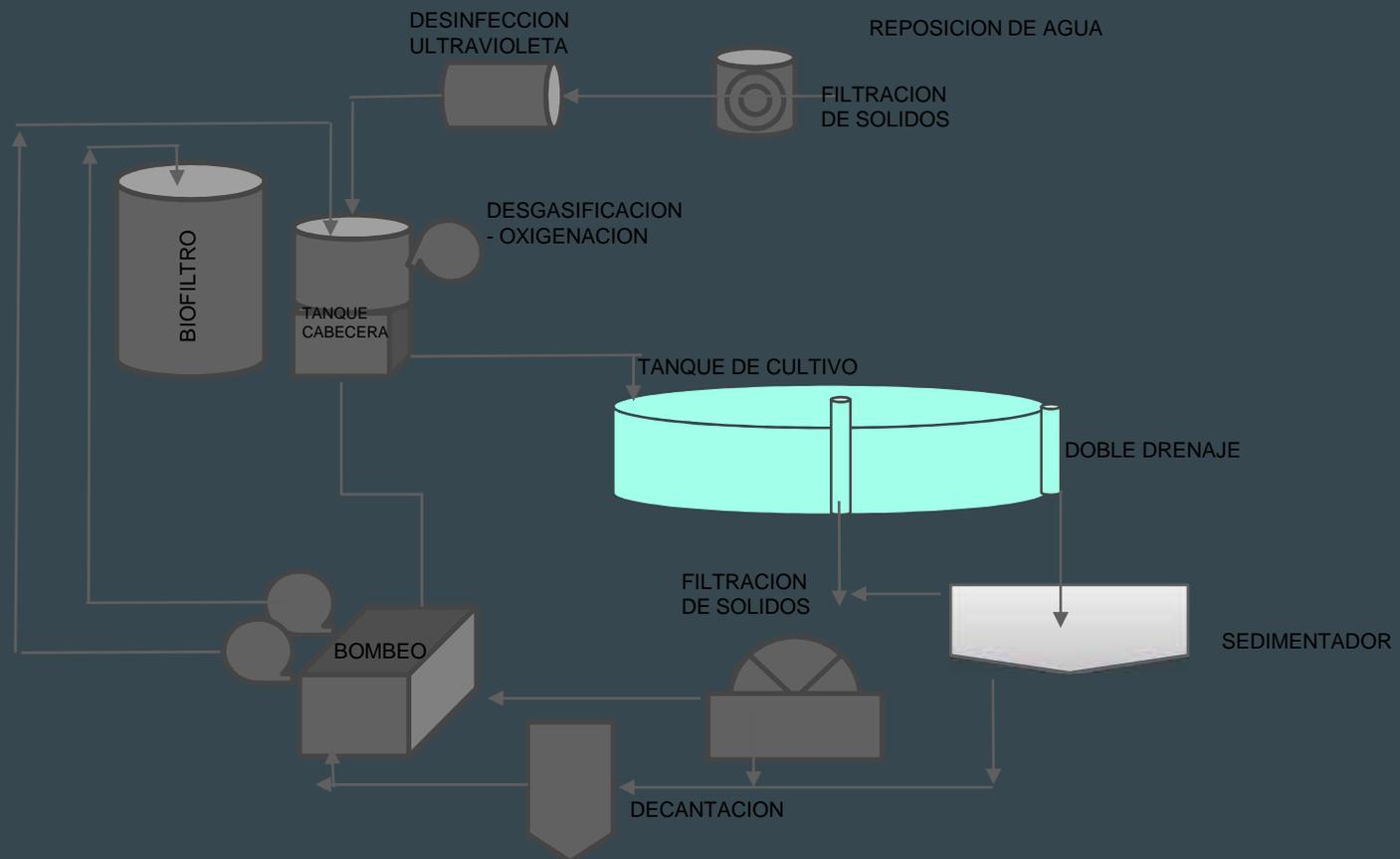
4

$$\frac{\pi D^2}{4} = At = \pi D^2 = 4At = D^2 = \frac{4At}{\pi} = D = \sqrt{\frac{4At}{\pi}}$$

$$\text{Ahora } = D = \sqrt{\frac{4(0,55 \text{ m}^2)}{\pi}} = 0,83 \text{ m}$$

1. Justificar y describir esquemáticamente, según lo visto en clases, cuál sería la lógica del sistema, cuanto a tratamientos primarios, secundarios u otros si lo consideran necesario.
2. Dimensionar, describir y justificar las características de la red hidráulica a utilizar en efluentes y afluentes del sistema según consideraciones vistas en el curso.
3. Justificar y dimensionar, según lo visto en clases, las operaciones unitarias necesarias para este tratamiento de efluentes, tales como sedimentadores y biofiltros.

Esquematzación de tratamietos primarios y secundarios sistema Ras



OBJETIVO DE LOS TRATAMIENTOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

TRATAMIENTO PRIMARIO

Consiste en regular pH, temperatura, color, olor, reducción de sólidos suspendidos, eliminación de materia flotante y elementos que pudieran dañar etapas posteriores de tratamiento.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Tiene por objeto reducir los niveles de contaminación química y biológica (DQO, DBO respectivamente) a través de procesos químicos y/o biológicos.

Tratamiento primario (pretratamiento)	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Homogenización	Lodos activados-	Membranas:
Neutralización	- Convencional	- Microfiltración
Ajuste de pH	- Oxígeno puro	- Ultrafiltración
Coagulación	- Aireación extendida	- Osmosis inversa
Floculación	- De lecho móvil	- Electrodialisis
Flotación	- De lecho fijo	Intercambio iónico
Filtración	- De lecho fluidizado	Absorción
Desarenado	Biodiscos	Redox
Desaceitado	Filtros biológicos	Precipitación
Cribado	Lagunas aerobias	Ozono
	Lagunas anaerobias	Luz ultravioleta
	Digestión anaerobia	
	Sedimentación	
	Procesos anóxicos	
	Humedales artificiales	

PROCESOS DE RECIRCULACIÓN



Explicación del esquema:

El agua que se descarga del tanque de los peces no es desechada, sino que fluye a un filtro mecánico para eliminar los residuos sólidos provenientes de las excretas de los peces y del alimento.

Luego el agua pasa a un filtro biológico para eliminar las sustancias orgánicas disueltas y compuestos nitrogenados, por último, es aireada y desgasificada para eliminar el dióxido de carbono antes de ser enviada nuevamente al tanque de cultivo.

Filtros mecánicos para la remoción de sólidos: Los sólidos generados en los tanques de cultivo (heces y sobras de alimento) son la principal fuente de residuos orgánicos del sistema, de hecho, se estima que cada 100 kilos de ración pueden generar entre un 20 y 30 % de sólidos.

BIOFILTROS: donde se eliminan los compuestos nitrogenados productos del metabolismo de los peces y la descomposición del alimento no consumido. Estos filtros consisten en una caja, tanque o jaula lleno previamente de un sustrato donde ocurren varios procesos biológicos tales como la mineralización (bacterias heterótrofas), nitrificación (bacterias autótrofas, promueven la oxidación del amoníaco a nitrato) y desnitrificación (el nitrito o el nitrato es convertido por bacterias anaeróbicas facultativas a nitroso y nitrógeno libre).

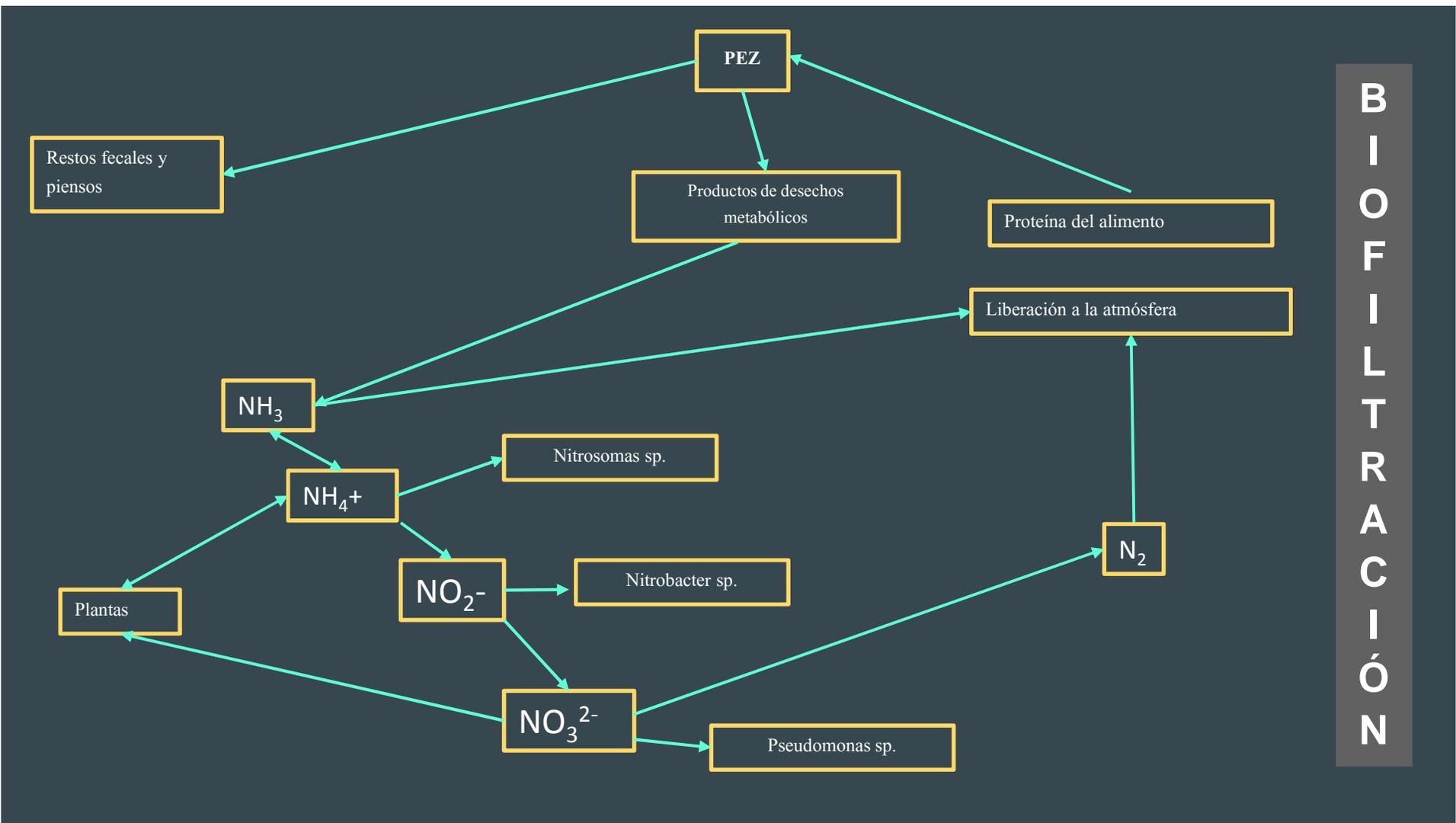
Estos desechos son los que se descomponen y consumen el oxígeno del agua, produciendo amoníaco y ejerciendo además una actividad oxidativa sobre los filtros biológicos.

Como regla general se puede decir que por cada kg de pienso aportado se generan 250 g de sólidos que han de ser eliminados.

El amonio producto de los desechos de los peces y del alimento no consumido, es oxidado a nitrito mediante la acción de bacterias **Nitrosomonas**.

Ocurre la oxidación de nitrito a nitrato realizado por bacterias **Nitrobacter**.

B I O F I L T R A C I Ó N



Luego de pasar por el biofiltro el agua debe ser aireada u oxigenada de tal modo que se reponga el oxígeno consumido y se remueva el gas carbónico generado por la respiración de los peces, la descomposición de la materia orgánica y por el proceso de nitrificación.

SISTEMA DE BOMBEO: Debe tomarse en cuenta que en algún punto del sistema es necesario instalar bombas para retornar el agua tratada y reoxigenada hacia los tanques de cultivo.

La desinfección por medio de luz ultravioleta (UV) es un mecanismo rápido, confiable y eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos tales como bacterias, virus y protozoos, dañando su ácido nucleico o ADN.

No generar compuestos tóxicos a diferencia de otros desinfectantes químicos.

Mantiene inalterada las características organolépticas del agua. Es un método de desinfección amigable con el medio ambiente.

Dimensionamiento de la red hidráulica (efluente y afluente)

$$V_{ori} = Q / A_{trs} = 9,95222 \text{ m}^3/\text{min} / 0,55 \text{ m}^2 = V_{rot} C = 18,09 \text{ m}/\text{min}$$

$$V_{ori} = Q / A_{trs} = 89,57008 \text{ m}^3/\text{min} / 0,55 \text{ m}^2 = V_{rot} C = 162,85 \text{ m}/\text{min}$$

Diámetro tubería de entrada:

$$Q = V * A_t = A_t * V = Q / V$$

$$A_t = \frac{5971,31 \text{ m}^3/\text{h}}{\frac{30 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}}} = 5,52 \text{ m}^2$$

Ahora procedemos a calcular diámetro:

$$A_{trans} = \frac{\pi D^2}{4} = \text{Despejamos } D$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = A_t = \frac{\pi D^2}{4} = 4 A_t = D^2 = \frac{4 A_t}{\pi} = D = \sqrt{\frac{4 A_t}{\pi}}$$

$$\text{Ahora } D = \sqrt{\frac{4(5,52 \text{ m}^2)}{\pi}} = 1,5 \text{ m}$$

$$V_{ori} = \frac{Q}{A_{tras}} = \frac{5971 \text{ m}^3/\text{h}}{5,52 \text{ m}^2} = 1081,76 \text{ m}/\text{h}$$

$$V_{rot} = \alpha * V_{ori} = 0,15 * 1071,86 = 162,28 \text{ m}/\text{h}$$

$$Q_{ori} = A_{tras} * V_{rot} = 1081,76 \text{ m}/\text{h} * 5,52 \text{ m}^2 = 5971,31 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\# \text{orificio} = \frac{Q_{tanque}}{Q_{orificio}} = \frac{5971 \text{ m}^3/\text{h}}{5971 \text{ m}^3/\text{h}} = 1$$

Dimensionamiento de sedimentadores

99522,30 L/min \rightarrow 30% = 29856,7 L/min
= 0,5 m³/s

$$V_{sc} = Q / A_{sup}$$

$$0,004 \text{ m/s} = \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{A_{sp}}$$

$$A_{sp} = \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{0,004 \text{ m/s}} = 125 \text{ m}^2$$

$$A = 2 \text{ m}^2 = W * L$$

$$A = 5 \text{ m} * L \rightarrow L = A_{sp} / \text{ancho}$$

$$L = 25 \text{ m}$$

$$V_{sc} = Q / A_{sup}$$

$$V_{sc} = \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{125 \text{ m}^2} = 0,004 \text{ m}^2$$

$$\%R = \frac{V_p}{V_{sc}} * 100 = 100\%$$

$$\%R = \frac{0,004 \text{ m/s}}{0,004 \text{ m/s}} * 100 = 100\%$$

Dimensionamiento de y biofiltro

Calculamos a demanda de TAN

$$P_{tan} = \text{alimento} * PC * 0.092$$

$$P_{tan} = (45000\text{kg} * 0.04) * 0.35 * 0.092$$

$$P_{tan} = 57.96 \text{ kg TAN/día} \rightarrow 40.25 \text{ g/min} = 40250 \text{ mg/min}$$

$$V_{medio} = P_{tan} / V_{tr}$$

$$V_{medio} = 57.96 \text{ kg} \frac{\text{TAN}}{1 \text{ kg TAN}} / \text{m}^3$$

$$V_{medio} = 57.96 \text{ m}^3$$

- Tasa de nitrificación de diseño para medio 5000 m²/m³ (Losordo, com pers)

0,20 g TAN / m² / d

1000 g TAN / m³ / d

33,3 kg alimento / d / m³ medio

US\$70/m³

