

Curso:
Piscicultura y Aireación

Dr. Jesus Malpartida Pasco

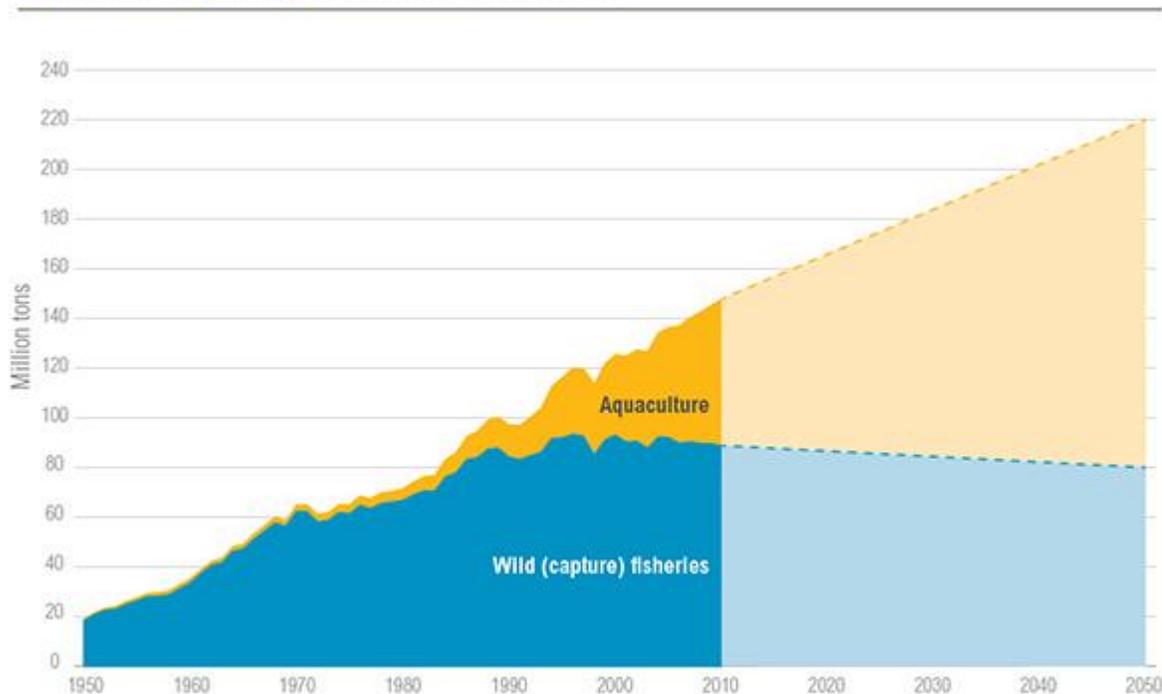
Orden del curso de aireadores

1. Introduccion a la acuicultura (5 slides)
2. Sistemas de produccion (11 slides)
3. Definicion de aireacion (15 slides)
4. Descripcion de aireadores (16 slides)
5. Parte practica teoria Dia 1
6. Casos en los que es necesario utilizar aireadores (9 slides)
7. Como escoger el modelo de aireador (12 slides)
8. Como evaluar la eficiencia de los aireadores (2 slides)
9. Teste de aireadores (9 slides)
10. Determinacion de la velocidad de recuperacion de oxigeno (10 slides)
11. Determinacion de la tasa de transferencia de oxigeno por hora (12 slides)
12. Calculo de la eficiencia del aireador (16 slides)
13. Estudios de caso venezuela, colombia, brasil, peru (15 slides)

Introducción a la acuicultura (5 slides)

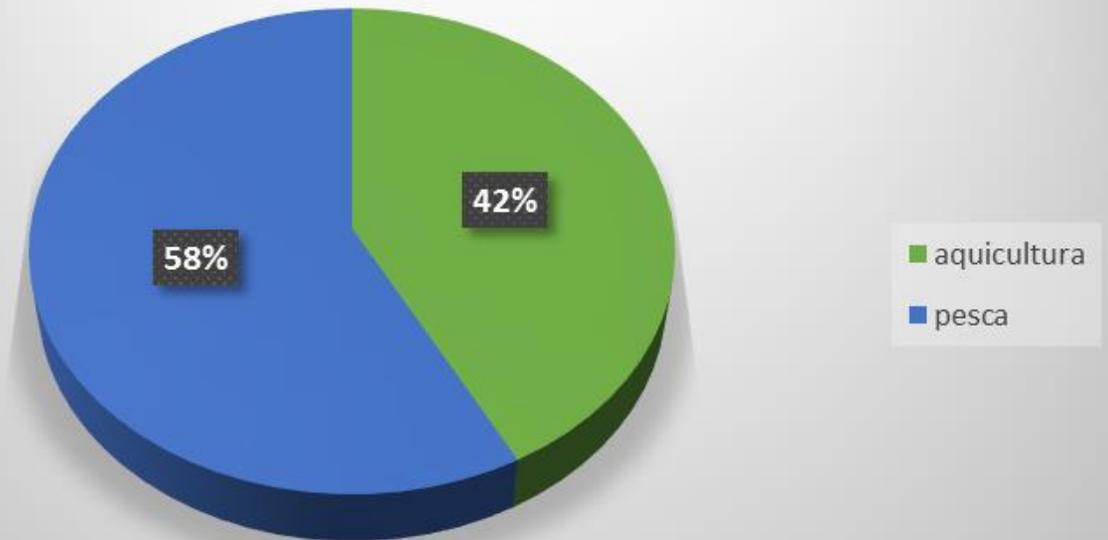
- Historico de produccion
- Evolucion de la acuicultura vs la pesca

Aquaculture Is Expanding to Meet World Fish Demand



Source: Historical data 1950–2010: FAO. 2014. "FishStatJ." Rome: FAO. Projections 2011–2050: Calculated at WRI, assumes 10 percent reduction in wild fish catch between 2010 and 2050, and linear growth of aquaculture production at an additional 2 million tons per year between 2010 and 2050.

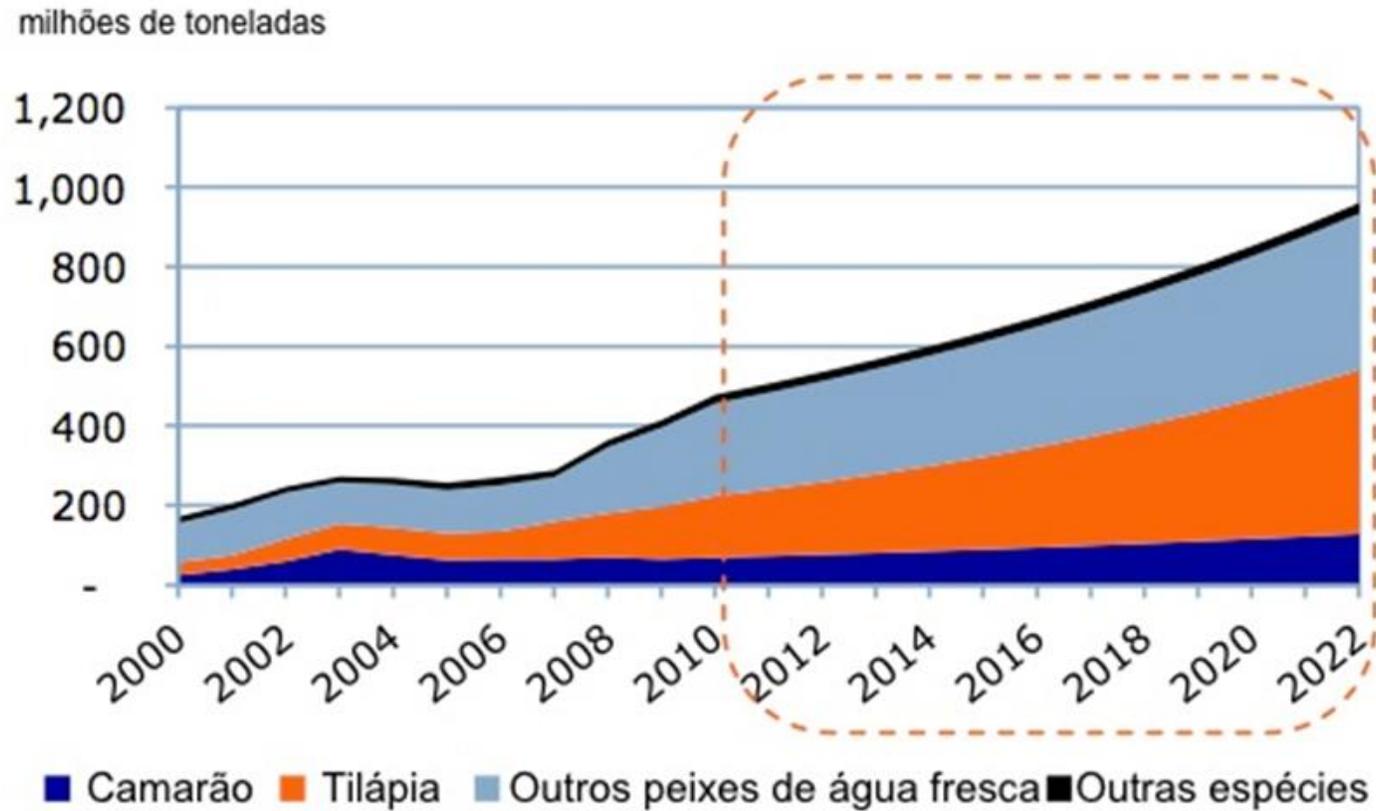
Aporte da aquicultura na produção de pescado mundial
- FAO 2012-



Estadísticas de la acuicultura mundial por especies y por tipo de agua



Perspectivas de la acuicultura para el futuro

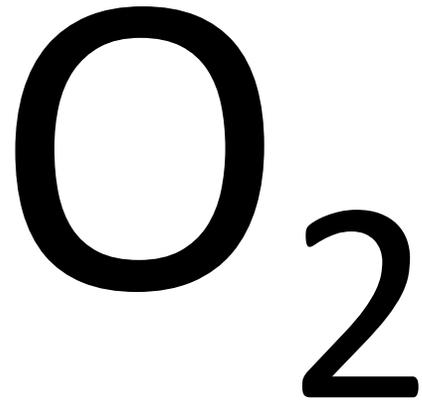


Demanda de mercado y normas de Calidad exigidos por los consumidores

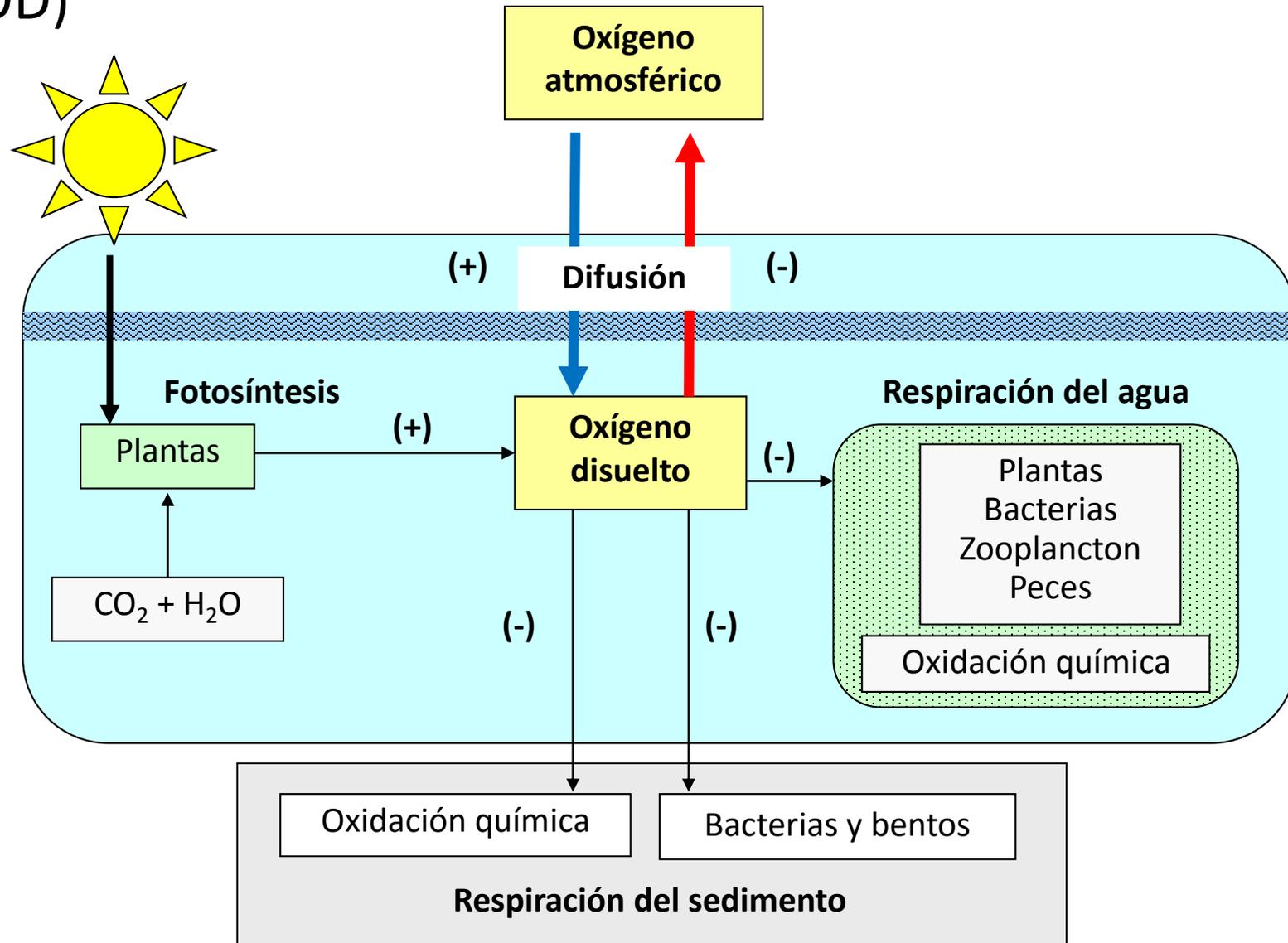
A tilápia nilótica apresenta a maior aceitação pelos consumidores graças ao ótimo sabor, brancura de carne, pouco conteúdo de gordura e ausência de espinhos intramusculares (Hanson et al., 2010).



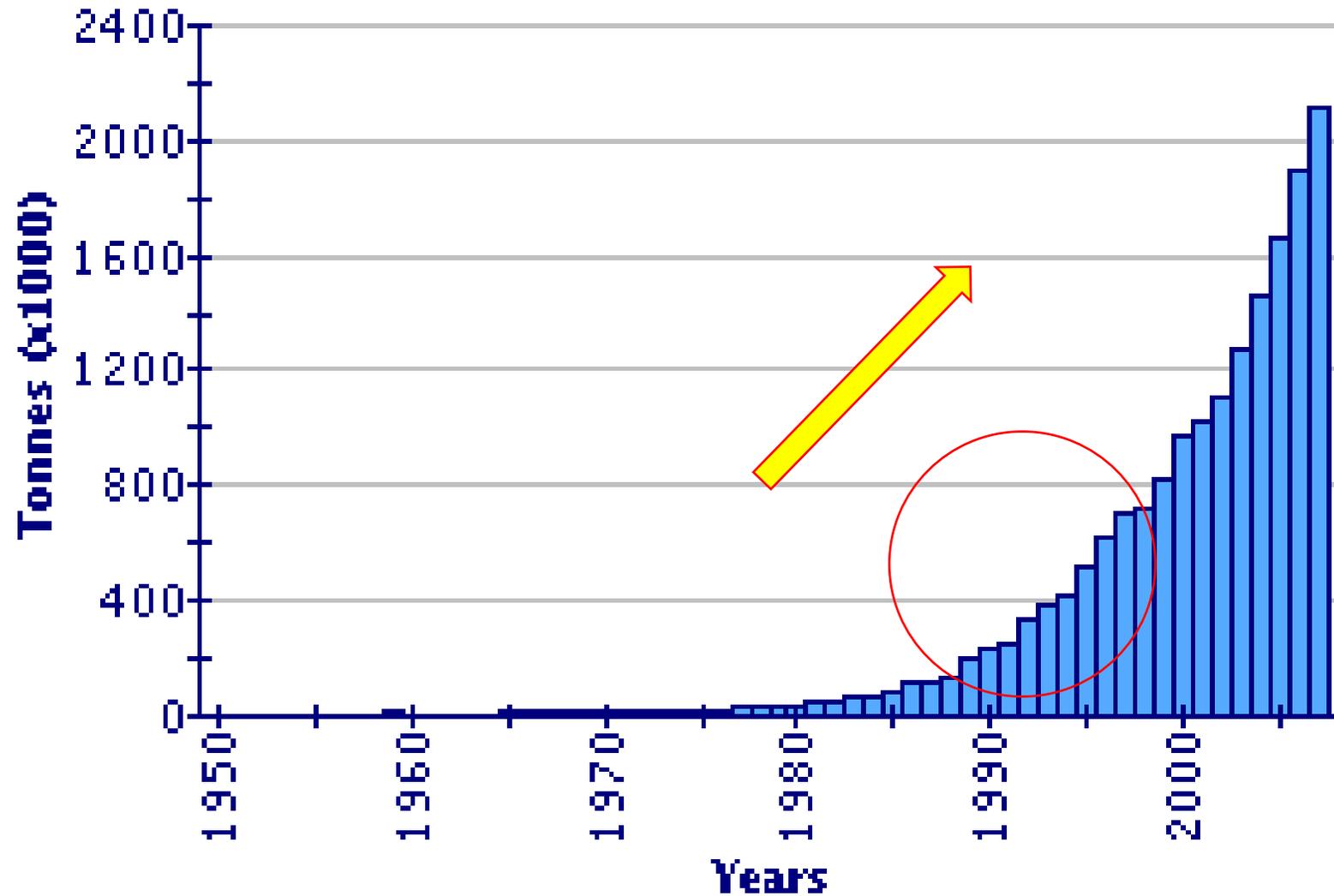
Cual es el mayor limitante



- Boyd (1998) dijo que el principal limitante para el aumento de la capacidad de producción de un sistema es la caída de la concentración del oxígeno disuelto (OD)



Global aquaculture production of *Oreochromis niloticus* (FAO Fishery Statistic)



Tilapia como especie principal de la acuicultura en agua Dulce

- Fotos de tilapia, genética y características (aquí tenemos q terminar com que tilapia es rustico y se adapta a todos los sistemas de produccion)



Sistemas de producción

Definición.

Grado de intensificación e innovación tecnológica en el cual cultivamos una especie acuicola

Tipos:

Extensivo

Semiintensivo

Intensivo

superintensivo

Extensivo

- Densidad: Baja ($0,5 \text{ px/m}^3$)
- Productividad: 300g/m^3
- Alimento: exclusivo natural
- Uso de aireadores: No
- Tamaño de estanques: grandes extensiones

Estanque grande y peces grandes



Semi-intensivo

- Densidad: 2 - 4 peces por m³
- Productividad: entre 1,0 a 2,0 kg/m³
- Alimento: natural y artificial
- Aireadores: Si, pero limitado a ciertas horas del día y de la noche.
- Tamaño de estanques: medios (0,5 - 2 há)

Semi-intensivo



Un estanque médio porte con aireadores apagados



Intensivo

- Densidad: 6 - 10 peces/m³
- Productividad: entre 4 a 6 kg/m³
- Alimento: artificial
- Aireadores: Uso continuo 24 horas
- Tamaño de estanques: pequeños a medios (de 1500 a 3000m²)

Intensivos



Cultivo em Paraná-BR com aireadores prendidos levantando arcillas



Cultivos en tanques con fondo recubierto con PEAD con elevada potencia de aireación



Super intensivo:

Con renovación de agua

- Densidad: 80 - 200 peces/m³
- Productividad: 60 a 150 kg/m³
- Alimento: Ración balanceada altamente digestiva
- Aireadores: Dependiendo de las condiciones de agua (Si/No)
- Tamaño de estanques: jaulas: BD/AG y jaulas: AD/AP

Con renovación

Pequeñas áreas



Grandes áreas



Jaulas con y sin aireadores



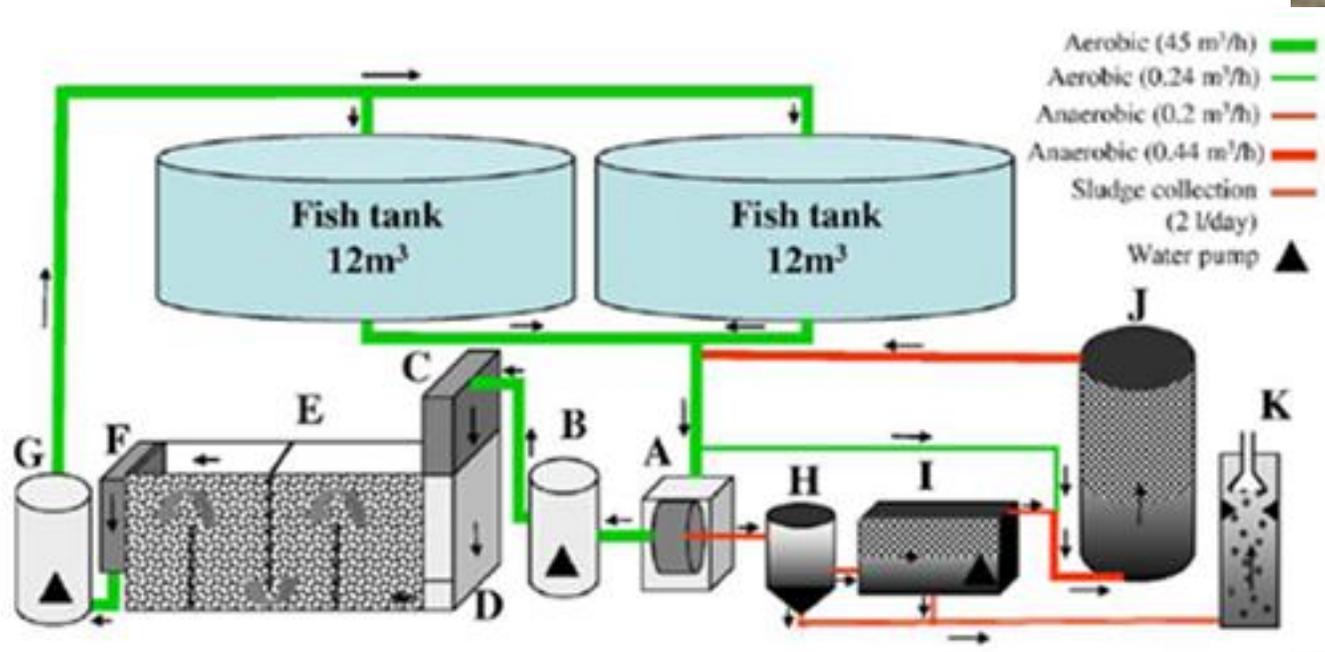
Super intensivo:

Sin renovación de agua

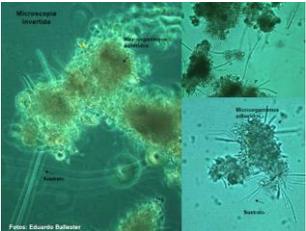
- Densidad: 60 - 150 peces/m³
- Productividad: 30 a 100 kg/m³
- Alimento: Ración balanceada de elevada digestividad
- Aireadores: Aireación continua en todo el ciclo de producción
- Tamaño de estanques: pequeños entre 50 – 300 m³

- Ejemplos: Sistemas de Recirculación (RAS) o de Bioflocs (BFT)

Sistema RAS de producción para tilapia.



Sistema de Bioflocs



Sistema de Bioflocs



Multi-dilution test points to settling problem or sludge quantity issue.

Para poder obtener mayores productividades es necesario el uso de aireadores



Aireadores

Definición de aireación

- BOYD 1989, FAO 1998, Vinatea 2004, Tucker 2005

Equipos mecánicos encargados de incorporar el oxígeno atmosférico al agua de los tanques de cultivo

AIREACIÓN ≠ OXIGENACIÓN

OXIGENACIÓN = Disolver el oxígeno puro dentro del agua.



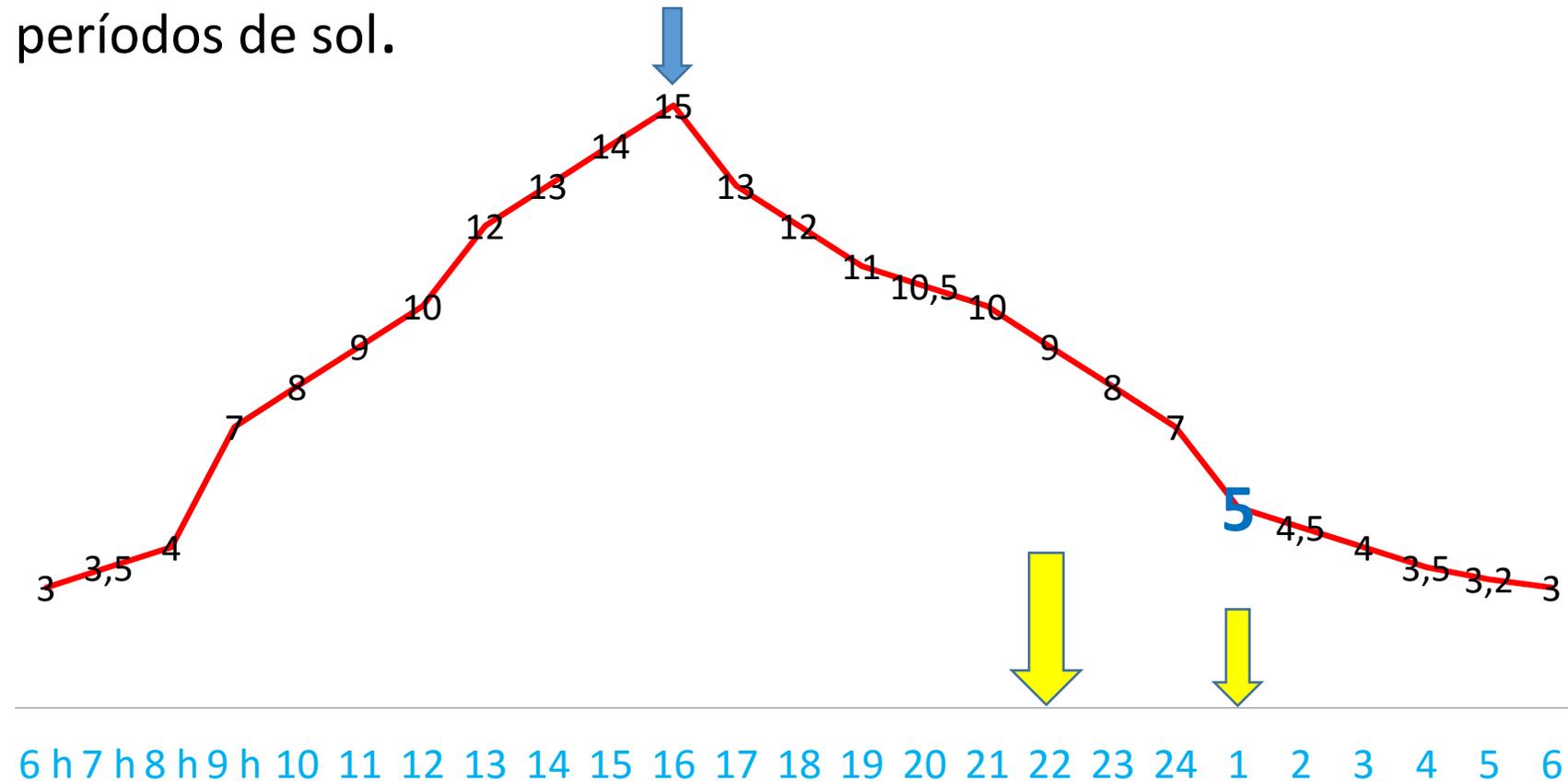


Urea: 100 veces más de lo acostumbrado

Llegar a 18 – 25 mg / l de OD

Por que los aireadores se prenden por volta das 22:00h?

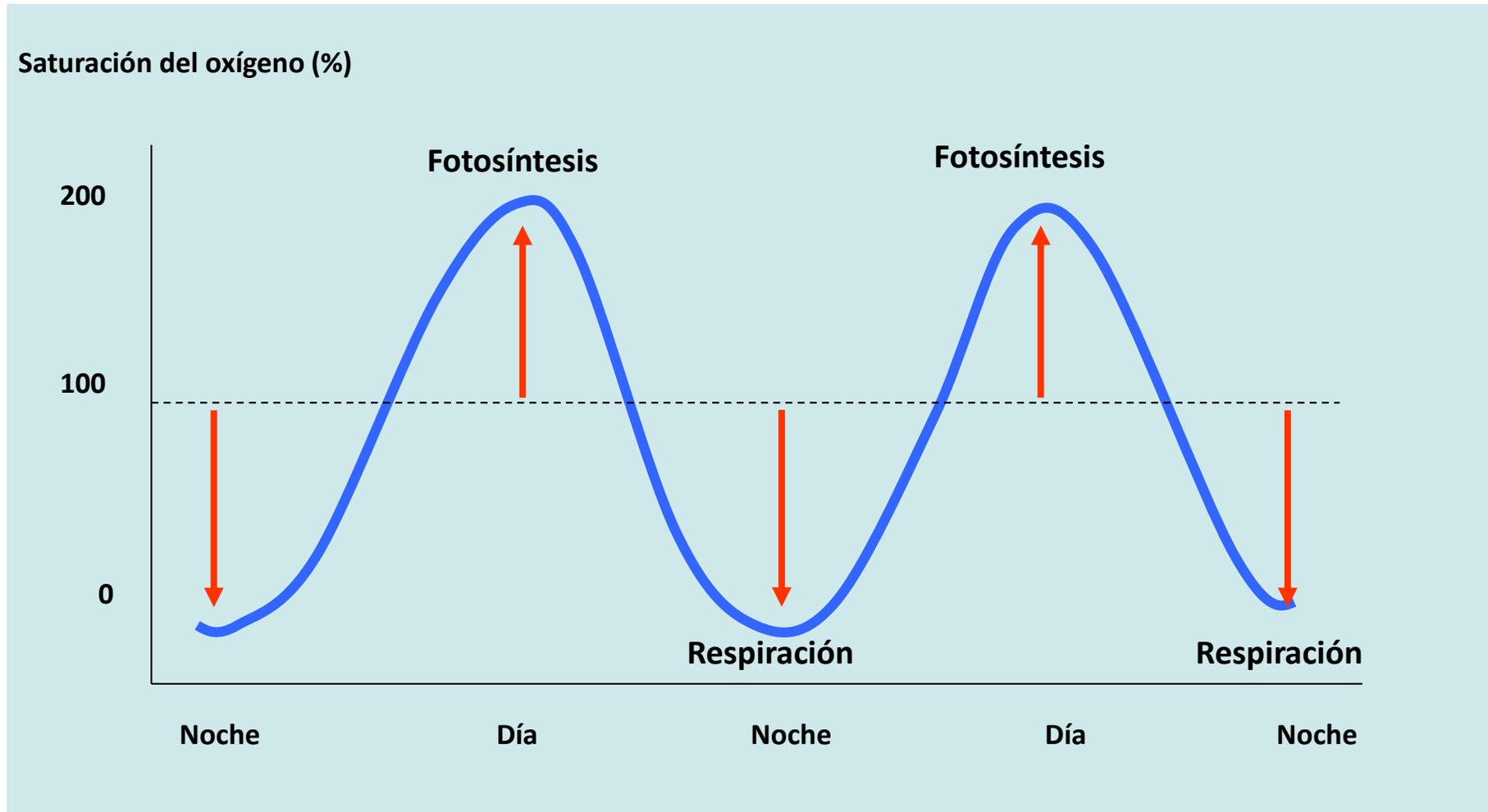
Variación del OD producido por microalgas clorofiladas em los períodos de sol.



Estabilização mínima da aeração 3 h



Oscilación diurna y nocturna del oxígeno disuelto en estanques de cultivo debido a la fotosíntesis y respiración



Diferentes tipos de aireadores (evolución en el tiempo)



Descripción de aireadores

Por su forma de incorporar oxígeno:

Un aireador incorpora el oxígeno atmosférico
x 2 tipos de estrategias.

1era: Llevándolo de la interface líquido - gas

2da: Levándolo de la interface gas - líquido

Incorporación líquido – gas (agua al aire)

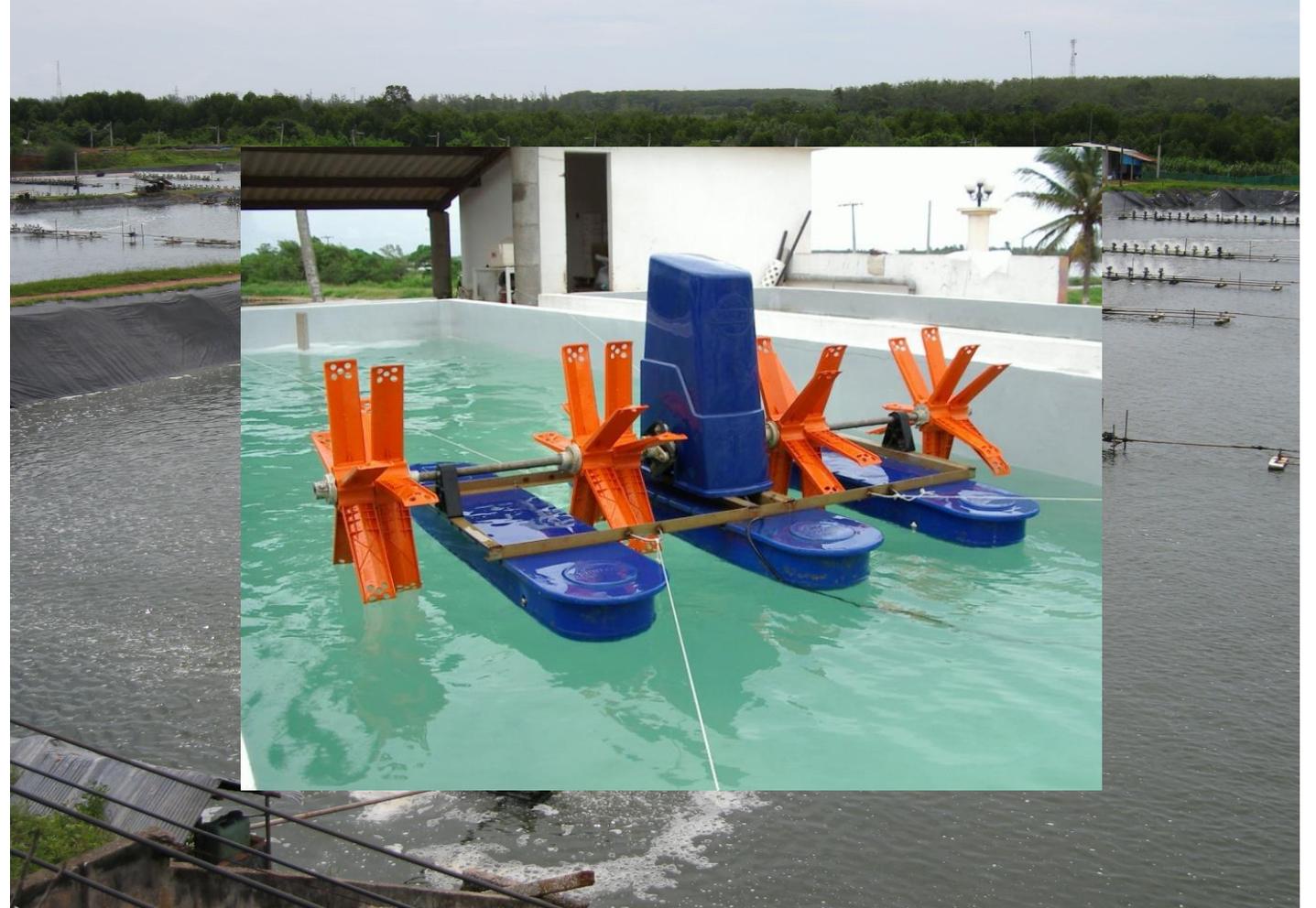
- Estos aireadores impulsan el agua de los tanques hacia el aire transformando el agua en pequeñas gotas, colocándolas en contacto con el aire atmosférico

(acordémonos que estas gotas están menos oxigenadas)

y de esta manera se saturaran de oxígeno, que al momento de ingresar al agua nuevamente transferirán oxígeno en esta (Rogers, 2009)

Los principales modelos que utilizan esta estrategia son los aireadores de paleta y los tipo splash o fuente

Aireadores splash y aireadores de paleta



Incorporación gas – líquido (aire al agua)

- Estos aireadores inyectan aire atmosférico a elevada presión rompiendo la fase líquida e ingresando en forma de pequeñas burbujas,

(prestemos atención: Las burbujas están saturadas de oxígeno, así por simple difusión de mayor a menor gradiente de concentración)

las cuales transfieren el oxígeno atmosférico al agua del tanque (Tucker, 2005)

Los principales modelos que utilizan esta estrategia son los de tipo inyector propulsor y las turbinas centrífugas o Blowers

Aireadores inyector propulsor



Aireadores de turbina o Blowers



Diferencias entre modelos:

Aireadores de paletas.

Profundidad de trabajo: 0.5 – 1.20m

Accesorios circulación del agua. Reductor, eje principal, paletas rectangulares, flotadores rectangulares

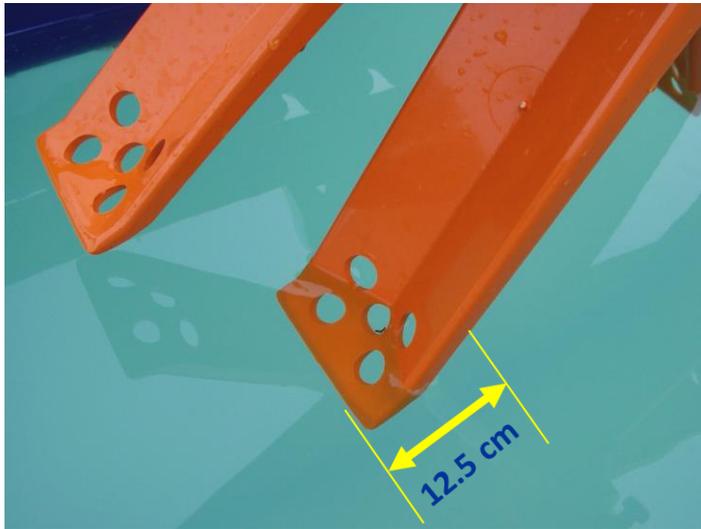
Instalación: fácil por medio de cuerdas

Ventajas: movimiento horizontal lo que permite abarcar grandes distancias.

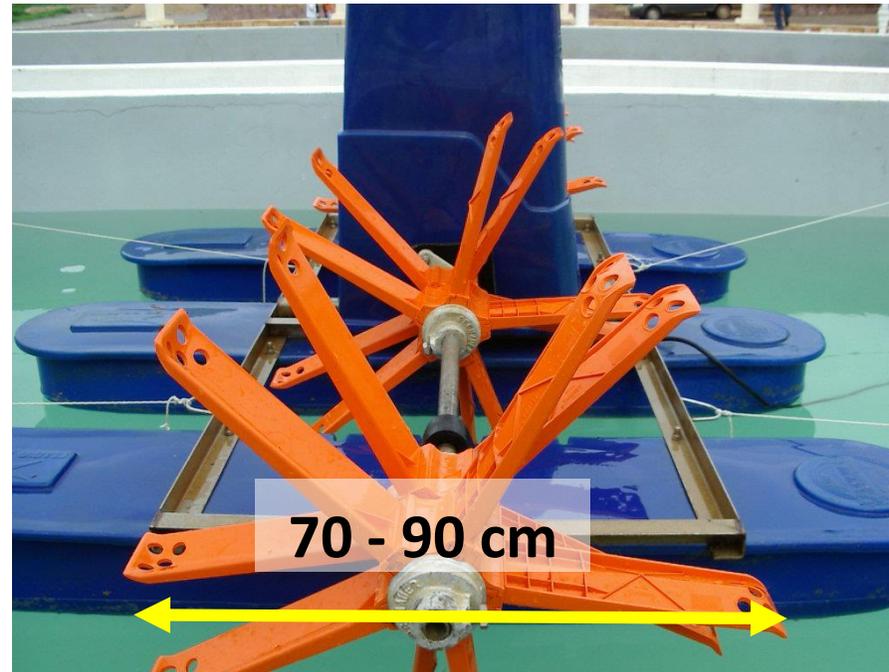
Puede ser usado en tanques poco profundos

Desventajas: a mayor profundidad menor mezclas de aguas. Trabajo unidireccional, mantenimiento y riesgo de deterioro

Profundidad
ingreso
al agua



Diámetro del eje de
paletas



Reductor





Diferencias entre modelos:

Splash

Profundidad de trabajo: 0.8 – 1.8m

Accesorios: hélice propulsora, rotor y flotador circular

Instalación: Fácil con utilización simple de cuerdas o cables de acero

Ventajas:

Movimiento radial lo que permite adaptarse muy bien a tanques circulares.

Em profundidades medias proporciona homogenización total de la columna de agua

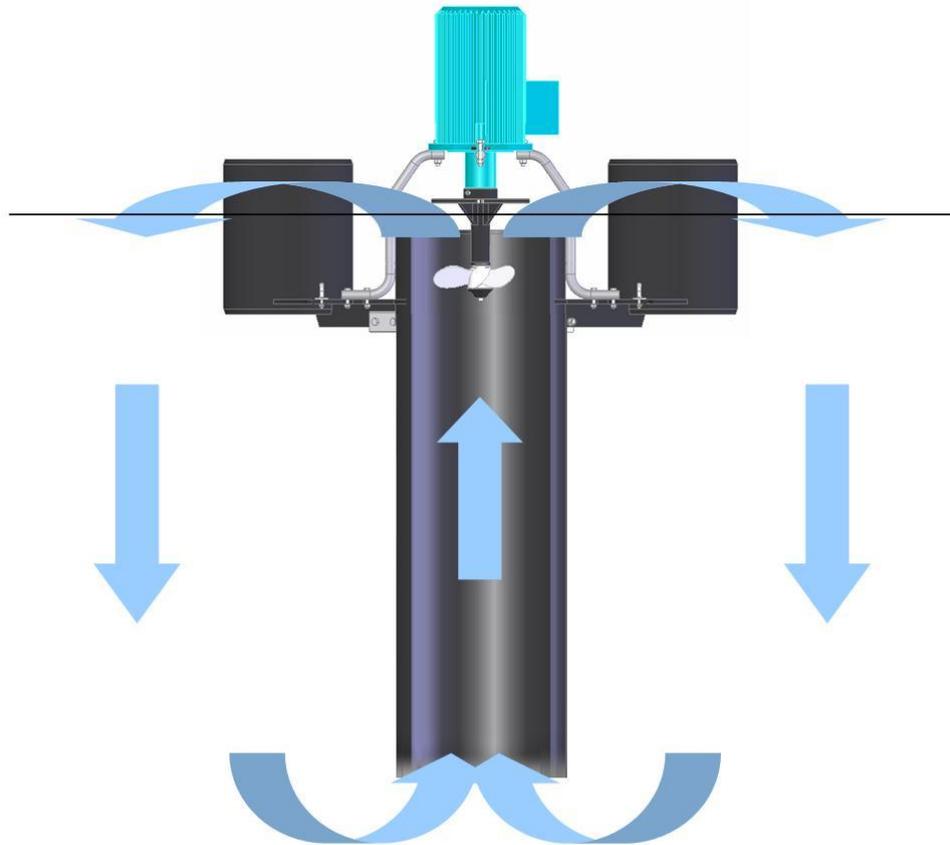
Desventajas:

En tanques poco profundos → resuspensión de sedimento.

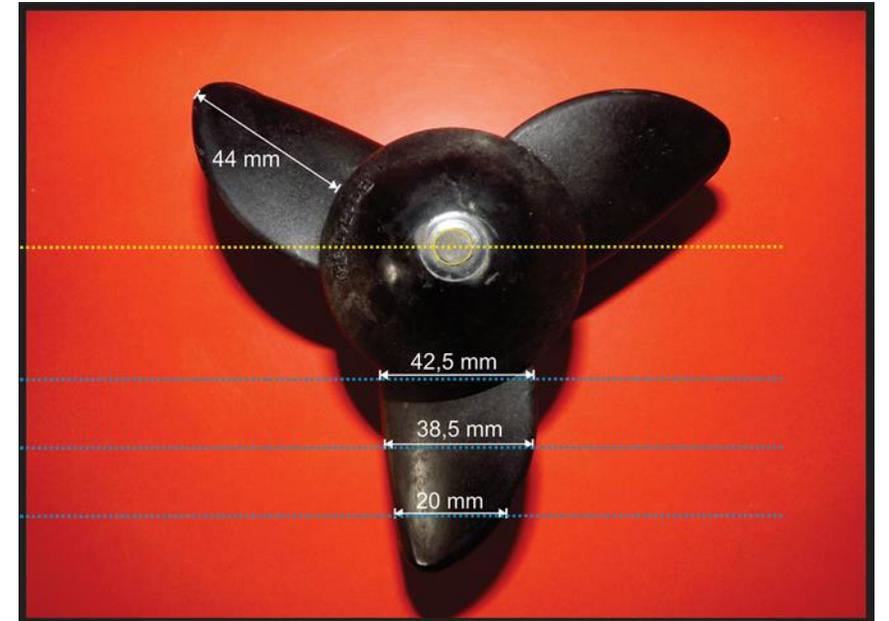
El efecto de succión de la hélice mortalidadesem los primeiros estadios de los peces.

Splash (vertical pump)

Diagrama ilustrativo



Design de la hélice





Diversas utilidades de splash

Tanque red



Estanques de tierra



PVC
PEAD,
Fibra



Diferencias entre modelos:

Inyector propulsor

Profundidad de trabajo: 2 – 3.5m

Accesorios: eje o tubo central hueco con un orificio para promover el efecto Venturi. Hélice en la punta del eje para generar la propulsión.

Instalación: Fácil con utilización simple de cuerdas o cables de acero

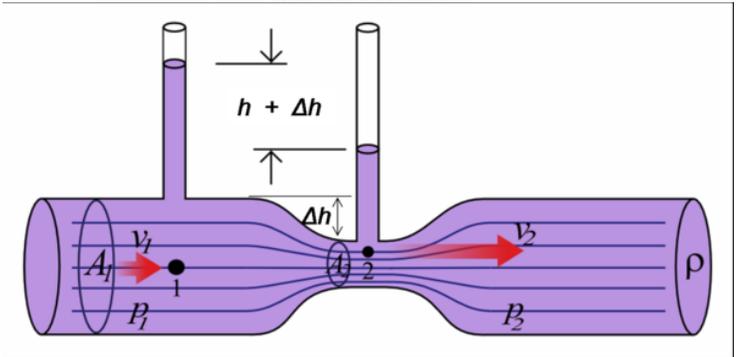
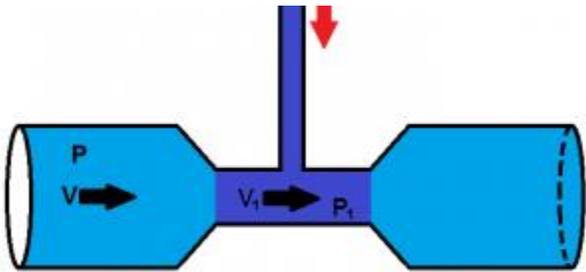
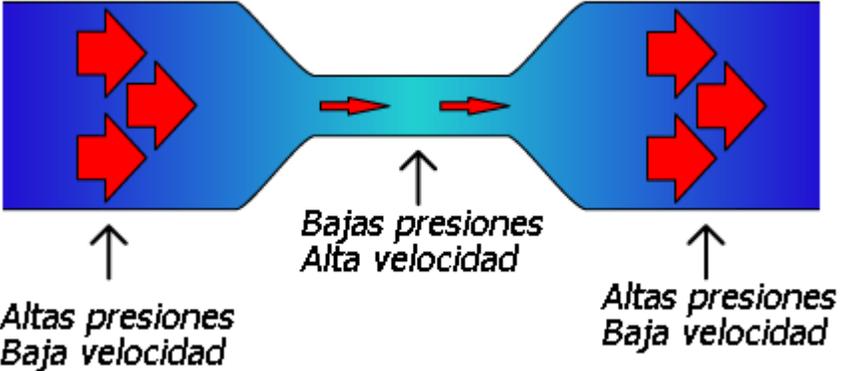
Ventajas:

Homogenización de masas de agua.
Elevadas profundidades

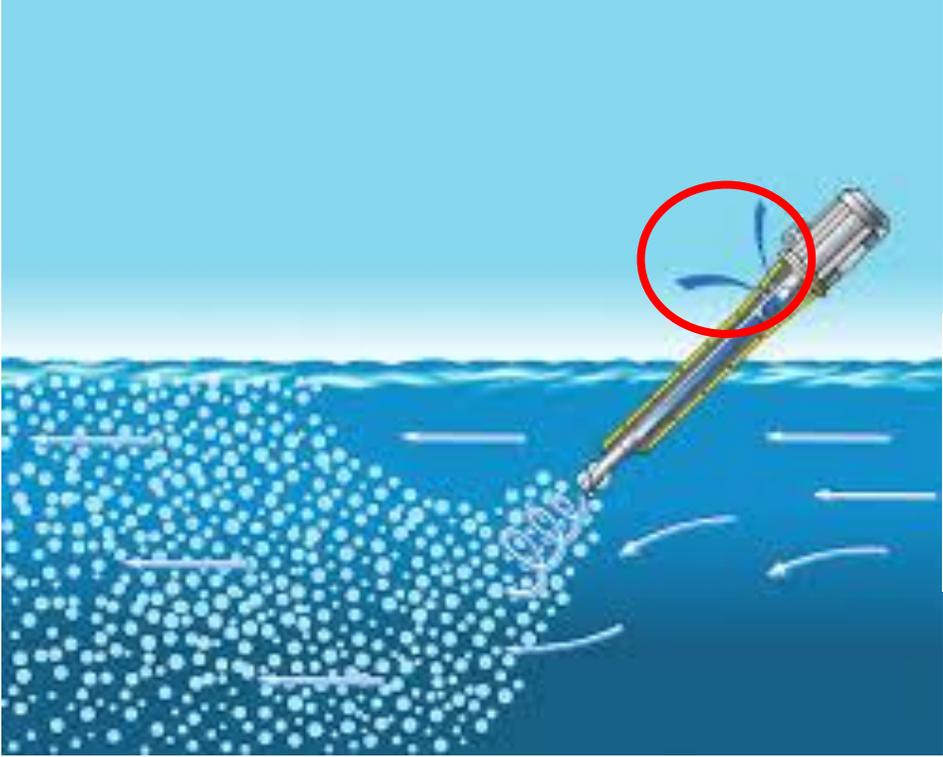
Desventajas:

No puede ser trabajado a pocas profundidades.
Genera un caudal muy fuerte → promover un gasto energético

Efecto Venturi:



Explicar su utilización para la acuicultura



Fórmula de Venturi

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

Propulsor en un tanque de cultivo





Diferencias entre modelos

Soplador radial o de turbina centrifuga

Profundidad de trabajo: cualquiera desde 10 cm a + 4 m. de columna de agua (dependiendo de la potencia y de los difusores).

Accesorios: turbina, filtro de aire, difusores de aire.

Instalación: compleja (el motor y turbina son externos → fabricar una base para estos, luego instalar tubos y conexiones finalizando en un difusor para repartir el aire a las unidades de cultivo)

Ventajas:

Un solo motor puede abastecer varias unidades de producción.

Desventajas: elevada cantidad de accesorios → dificulta el manejo de la producción, tal como cosechas parciales, biometrias y cosecha final. Funciona mejor a mayores profundidades

Difusores

Piedras porosas



Mangueras microperforadas



Platos difusores



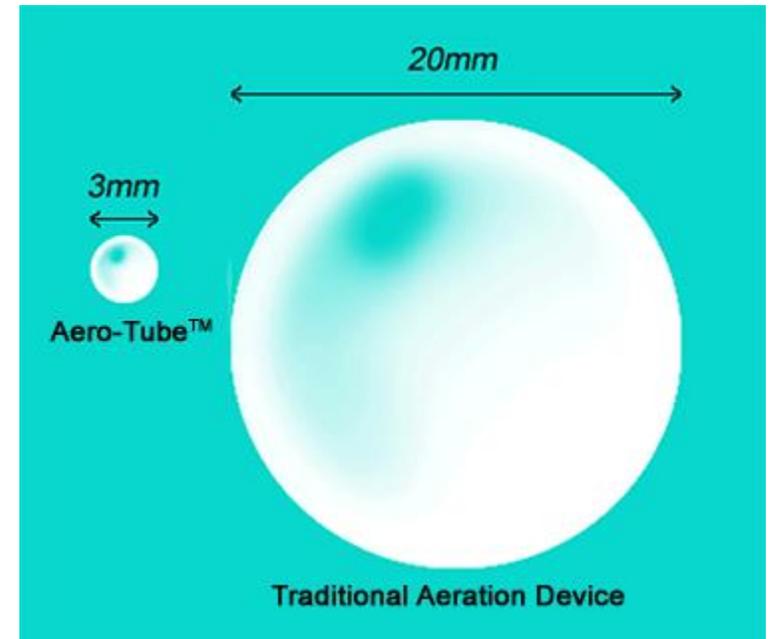
Tamaño de la burbuja

Importancia:

Menos es más? (concepto de turbulência)

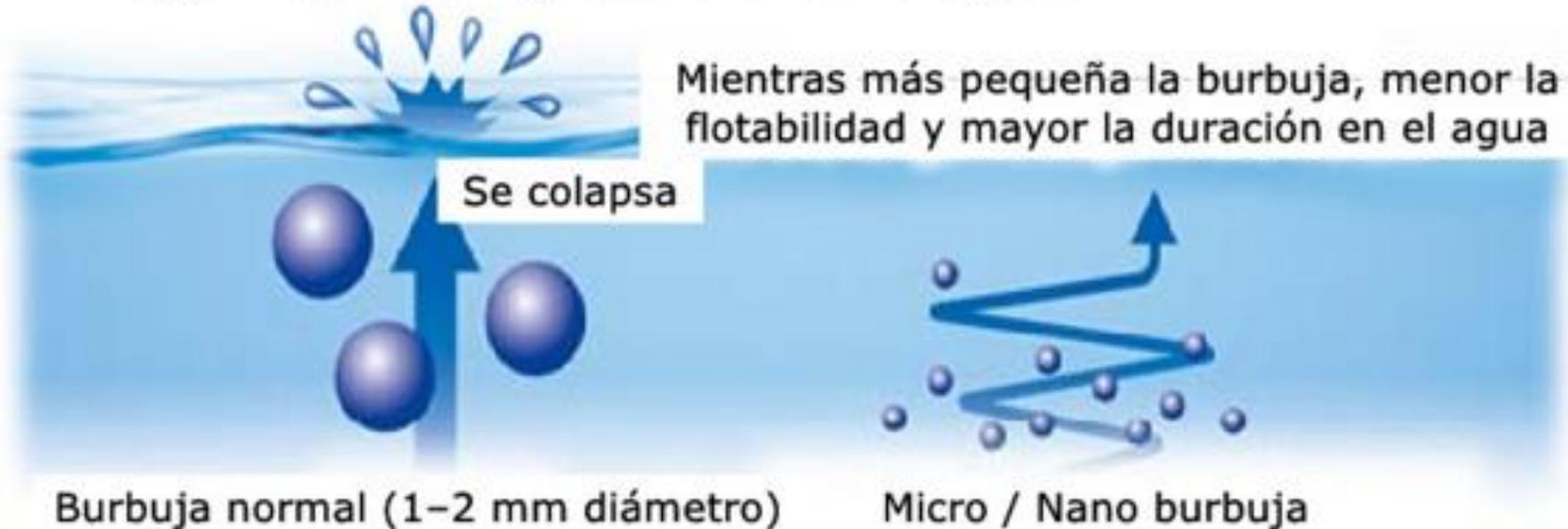


Burbuja:
Diferentes diámetros



Turbulencia

Mayor retención y duración en el agua:



Flotación $F = pVg$ (p:densidad, V:volumen, g:gravedad)

En agua, burbujas de 1 mm flotan a una velocidad de 0.361 pies por segundo o **3,610** veces más rápido que una micro / nano burbuja, la cual flota a una velocidad de 0.0001 pies por segundo, permaneciendo en el agua por un tiempo mayor.

Tanques circulares secos y tanques llenos con el efecto de las mangueras



Tanques com difusores com poca turbulência y elevada espuma





Casos en los que es necesario utilizar aireadores

En 3 situaciones:

1. Emergenciales: cultivos semiintensivos que no usen aireadores y cuando teniendo aireadores suceden bajas de oxígeno considerables
2. Para aumentar la homogenización de las masas de agua
3. Para aumentar productividades

1. Emergenciales

- Cuando no se usa aireadores .
- Probablemente por una mala estimativa em el numero de animales sembrados y em la capacidad de soporte del estanque
- Teniendo aireadores problema generado por aumento de la biomassa algal
- Concentrado de baja calidad o fenômenos climáticos.



Monitoramiento constante de los niveles de oxígeno durante el ciclo de producción tanto en el día como en el período noturno

Decisión de prender los aireadores en que condiciones???

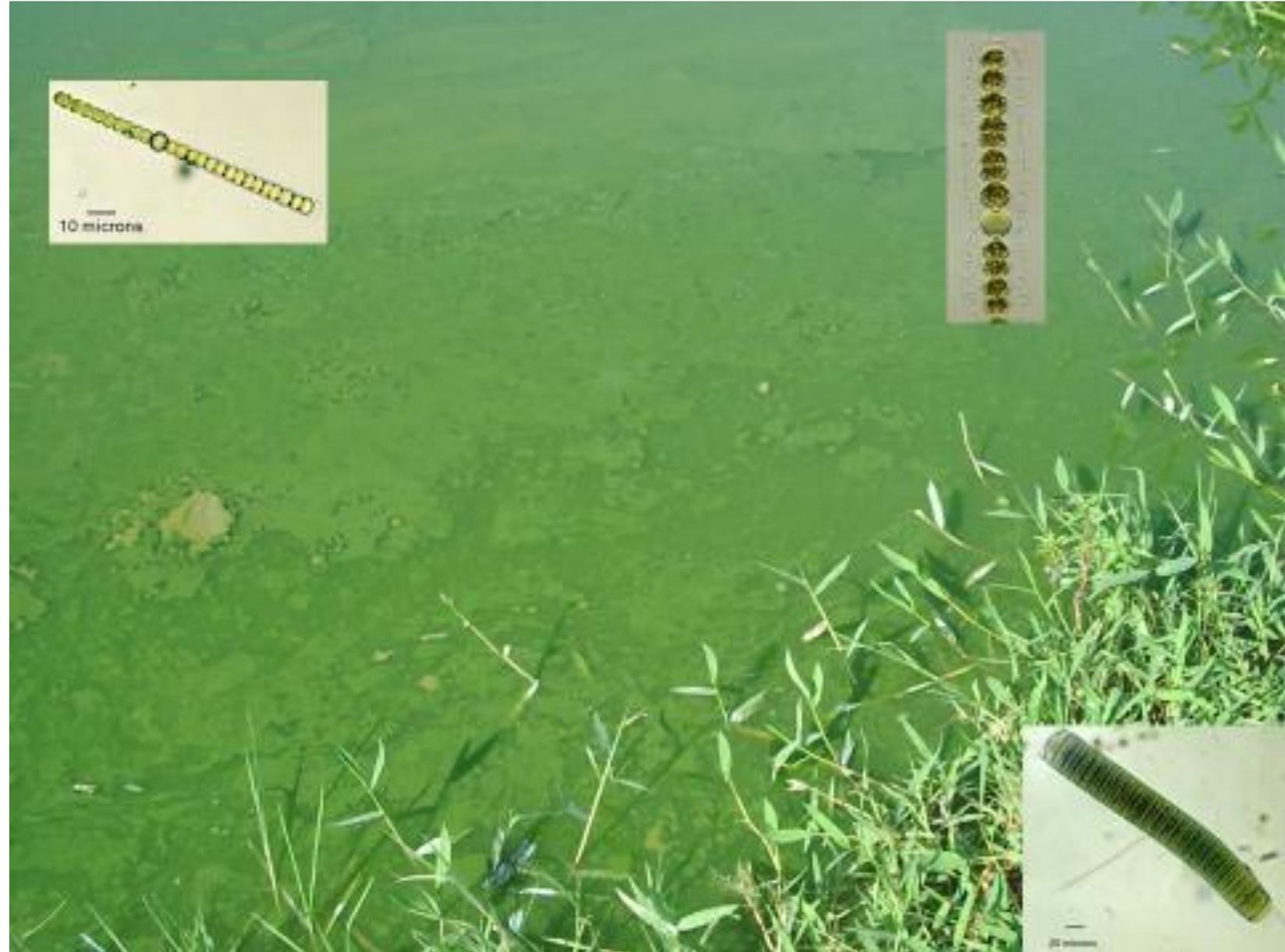
Ex. 2 ou 3 mg/l OD

30° o más °C



Biomassa algal

- Fluctuación de oxígeno diário producto de las microalgas



Concentrado de baja calidad

- Consecuencias:

Poca digestibilidad, exceso de heces, aumento de matéria orgânica, proliferación de bacterias, aumento de reacciones aeróbicas de degradación de matéria orgânica (consumo de oxígeno)

Aumento de fósforo disponible en el agua (bloom de fitoplâncton
desequilibrio de variaciones de oxígeno disuelto)

Fenómenos climáticos

- Exceso de lluvias
- Elevadas temperaturas
- Exceso de días nublados y soleados





Durante el invierno ocurre:

- Menores horas de sol – días más cortos;
- Inviernos con largos períodos nublados.



Día de Sol pleno



Días nublados



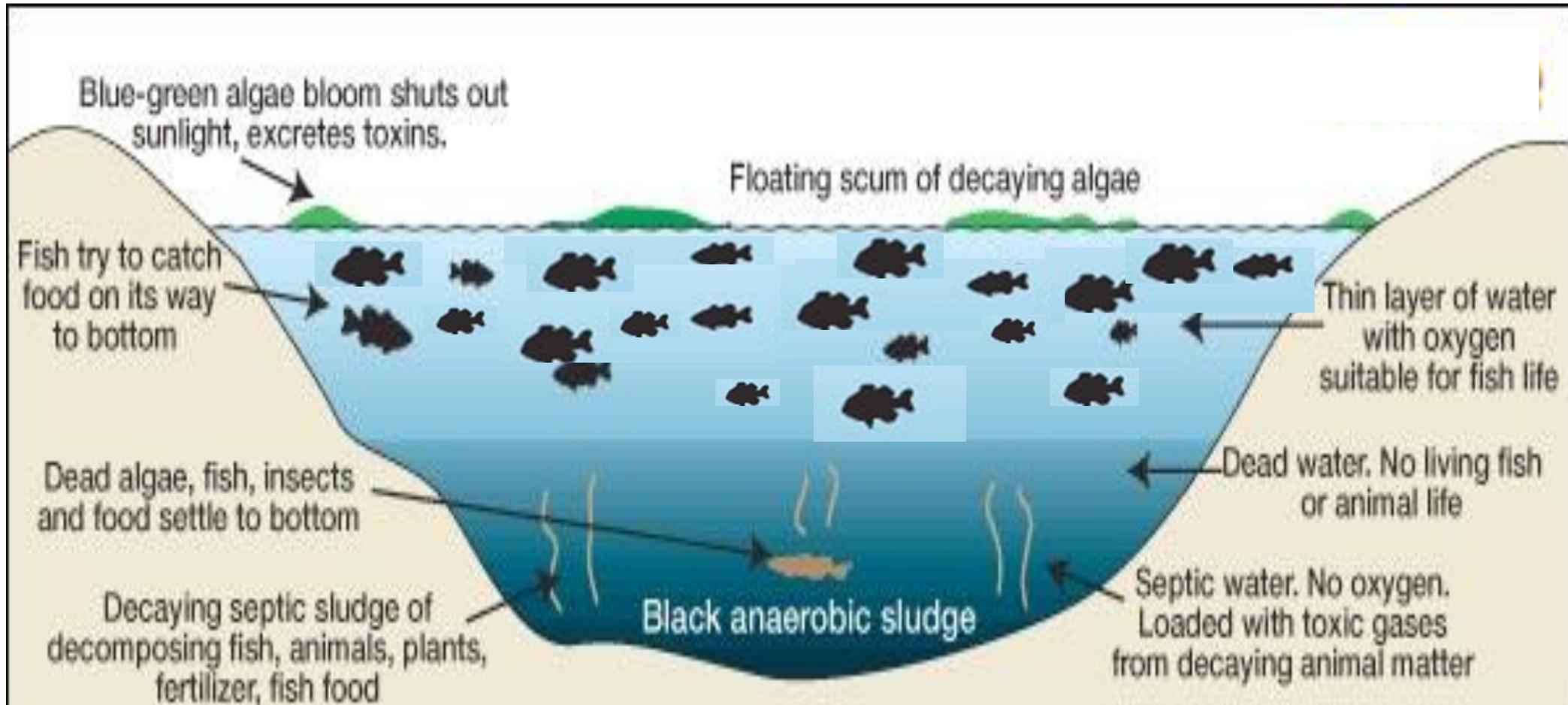
Días de Lluvia

2. Suplementar:

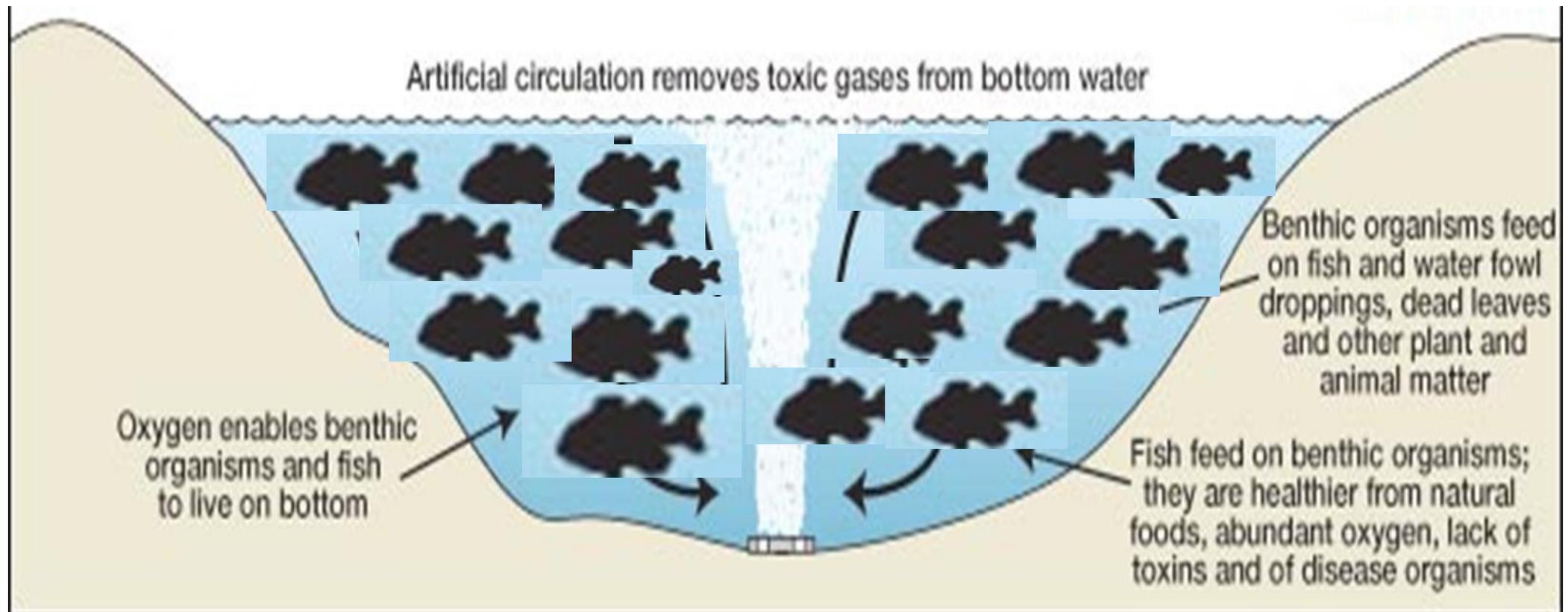
- Para aumentar la homogenización de las masas de agua
- Evitar la estratificación térmica
- Evitar la sedimentación de partículas (Bioflocs)
- Aumentar el volumen del tanque disminuyendo la densidad de organismos cultivados

Evitar la estratificación térmica

- La densidade trabajada es mayor de la proyectada = disminuye crecimiento
= **perdida económica**



Rompiendo la estratificación, promovemos mejorar los índices de producción

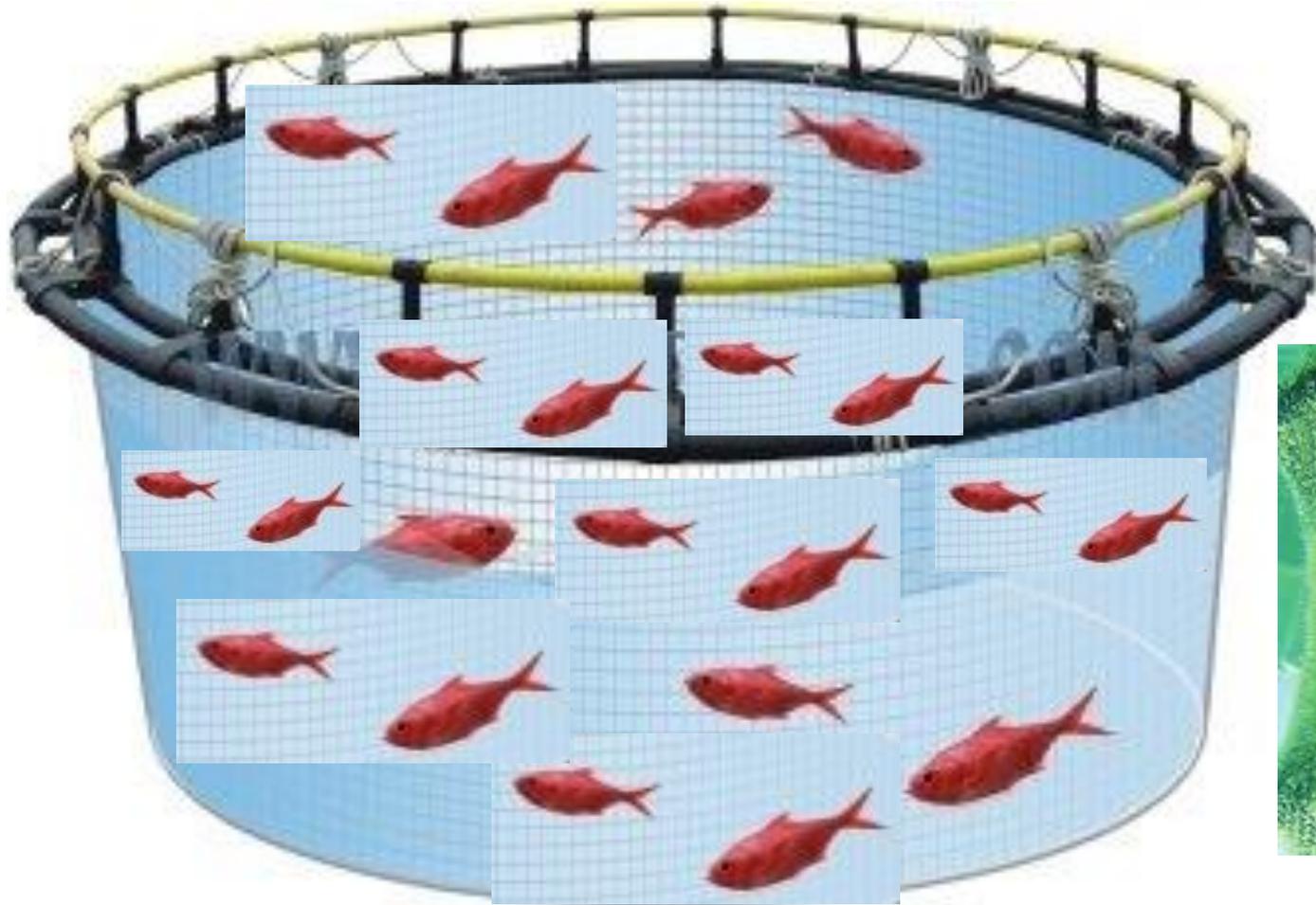


Evitar la sedimentación de partículas

Areas muertas dentro de los tanques



Aumentar el volumen del tanque disminuyendo la densidad de organismos cultivados



3. Continua

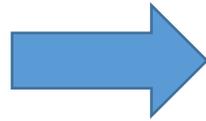
- Para aumentar productividades
- Al usar aireadores mecánicos se puede aumentar los niveles de oxígeno lo que genera la capacidad de aumentar la demanda de OD, significando en un aumento de la capacidad de carga del tanque de cultivo



Capacidad de carga

- Más kg/m³, más peso de lo previsto en condiciones normales...

Buena, e incluso puede ser colocado más



Exceso, peligro puede traer problemas gravísimos
Es necesario estrategias para poder soportar tanta gente en condiciones de confort



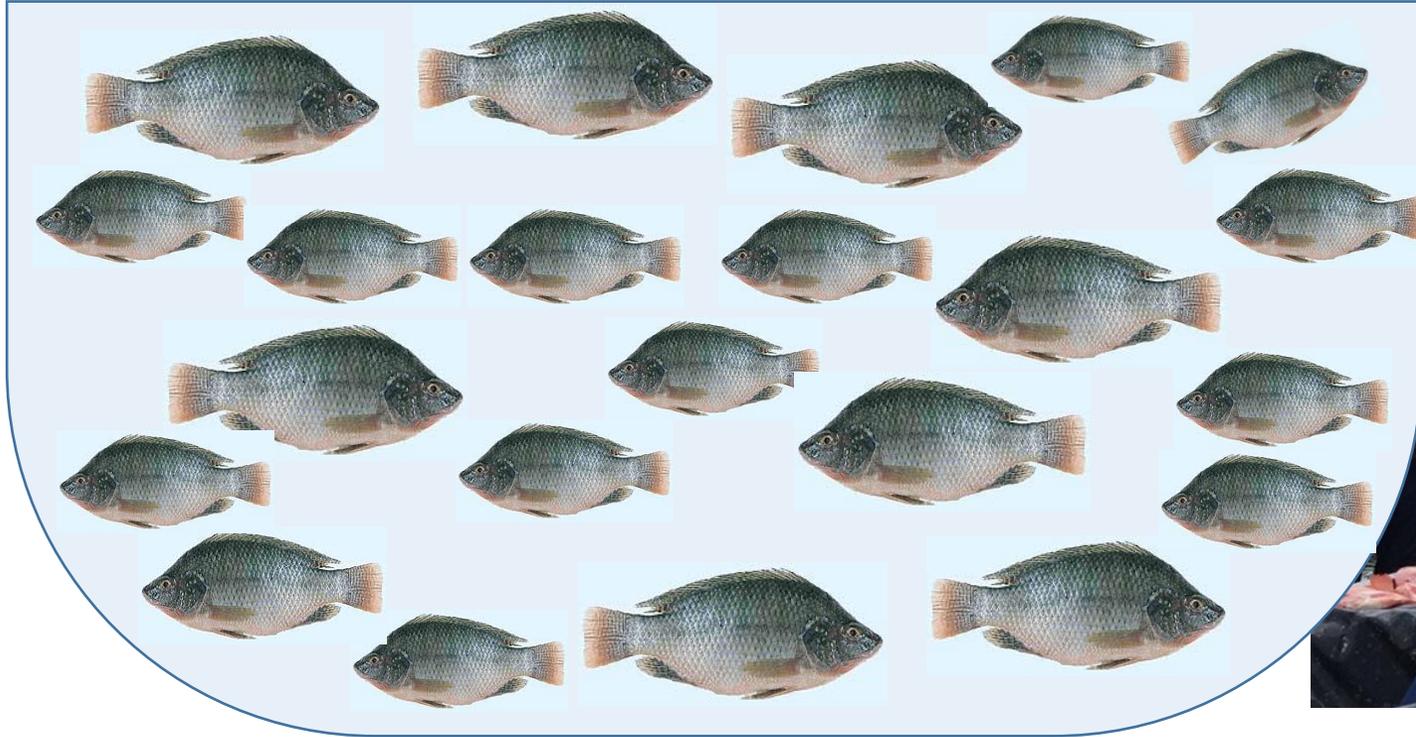
Adaptándolo, lo más rápido posible
pero sin planear las consecuencias



Aumentando la capacidad de carga con
economía y tecnología mejorando el confort
y disminuyendo el impacto ambiental



China World Longest Electric Bike





Sesión de la tarde

16-10-15

Ejercicios prácticos

Cálculos necesarios para conocimiento de la aireación y toma de decisiones

- K_{LaT} , K_{La20} , SOTR y SAE
- CO
- RC
- RF
- # de aireadores

Economía energética

- Una de las principales y más prácticas maneras de escoger un aireador es teniendo en cuenta cual consume menos energía eléctrica por kgO₂ transferido en el agua (Vinatea, 2004)
- Existe alguna manera científica de predecir este gasto?
- Calculando la eficiencia de los aireadores

Como evaluar la eficiencia de los aireadores

- La eficiencia de los aireadores nos indica la cantidad de kg de oxígeno disuelto transferidos luego de consumir de 1 kw-h.
- En Brasil equivale a 0,24 reales en zona rural (US\$ 0.07 en 2015)
- En Colombia relatan que el valor está em 430 pesos. (US\$ 0,15 por kw-h)

Como evaluar la eficiencia de los aireadores

- Todos los aireadores tienen la misma eficiencia?

Que factores influyen para diferenciar la eficiencia de aireadores “identicos”:

Potencia de motor (ley de la escala)

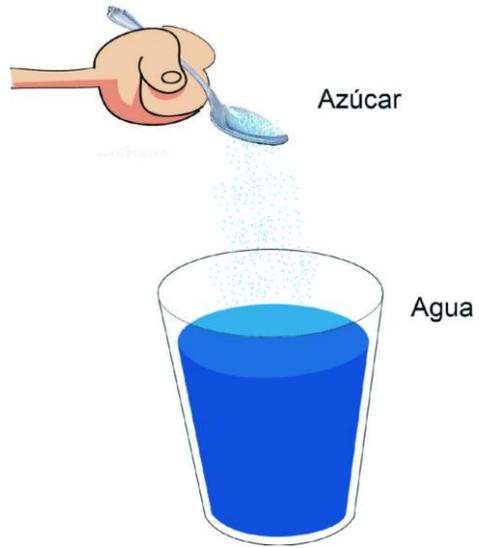
Design de algunas piezas del aireador

Condiciones de los testes de evaluacion

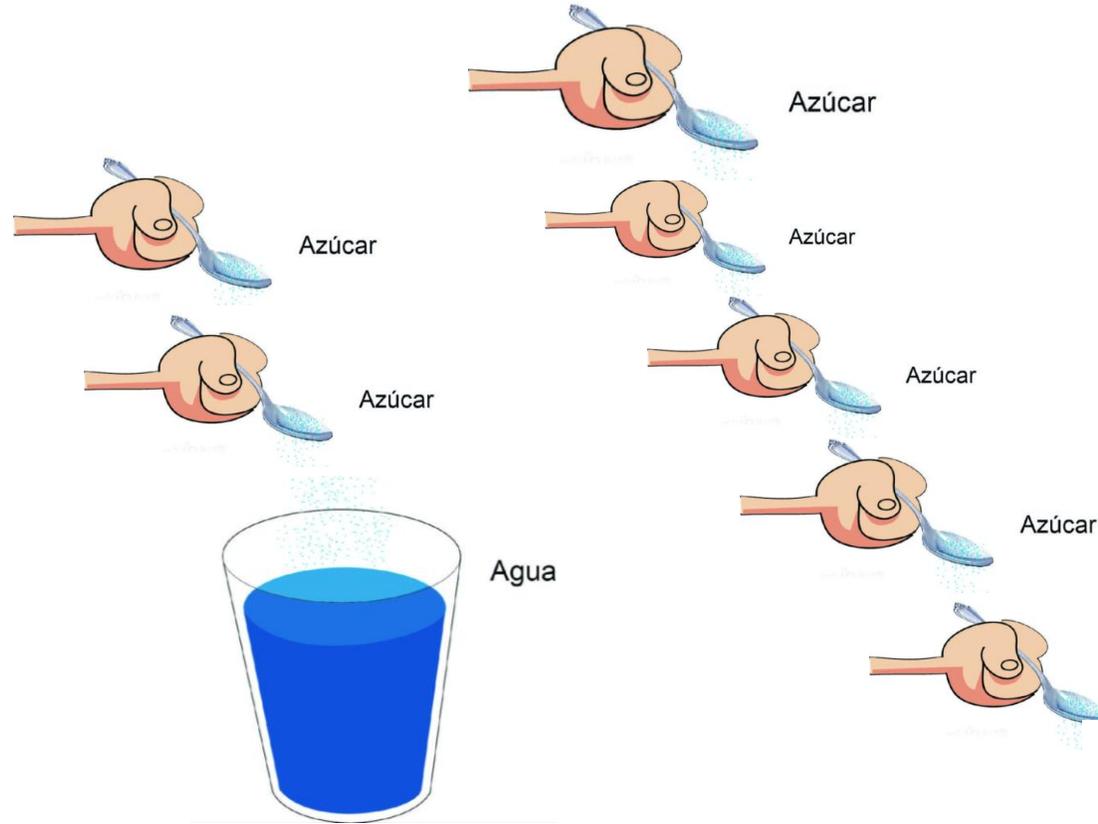
Teste de aireadores

- Es la prueba que debe ser sometido todo aireador para calcular los índices de recuperaciom de oxigeno desde la concentracion de 0mg/l de OD hasta el valor de 70% de la saturación.

Saturación



subsaturado



saturado



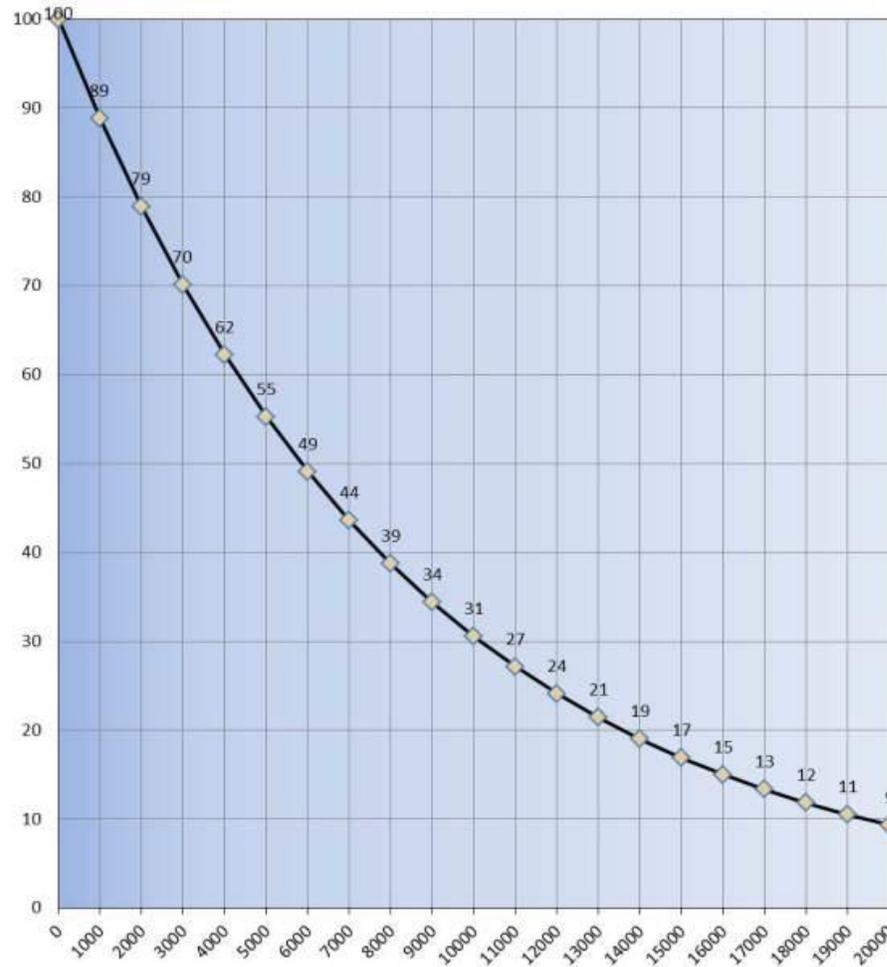
Solubilidad del oxígeno
(mg/L) en función de la
temperatura y la salinidad
(Boyd, 1989).

O₂ medido
% = ----- x100
O₂ tabulado



Temp. (°C)	Salinidad (‰)									
	0	05	10	15	20	25	30	35	40	
21	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0	
22	8,7	8,4	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	
23	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7	
24	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	
25	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	
26	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	
28	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	
29	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0	
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	
32	7,2	7,0	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	
33	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,7	
34	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,6	
35	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	
36	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	
37	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4	
38	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3	
39	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4	5,3	
40	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2	

Influencia de la altitud y la presión atmosférica



Medir Eficiencia de aireadores!!!!



Metodología

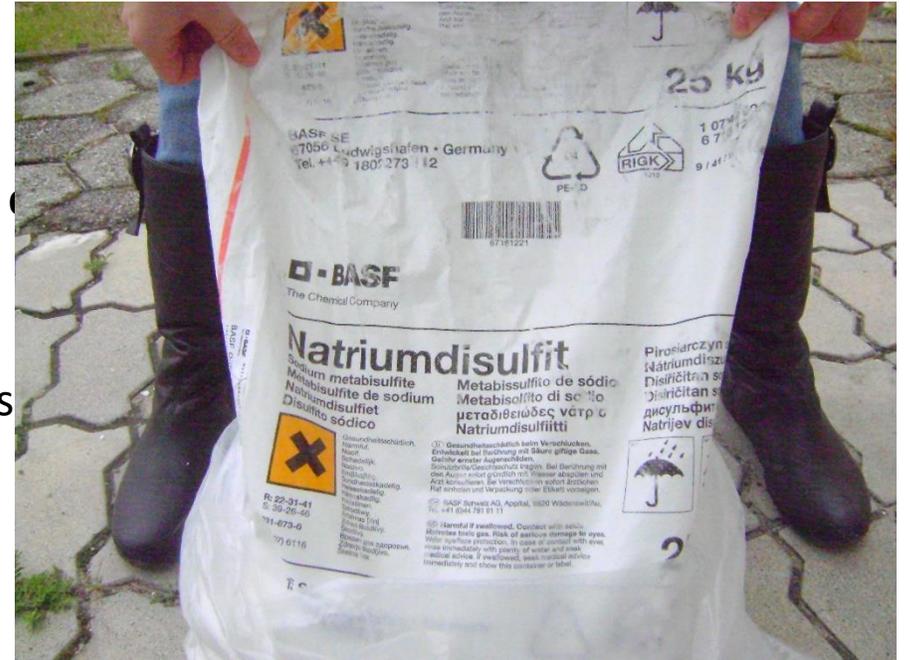
4. Avaliação da eficiência padrão (SAE) de dois modelos em ambientes diferentes

Depleção de oxigênio dissolvido do tanque - teste

Metabissulfito de sódio: 10 mg x mg x L de oxigênio dissolvido

Cloreto de cobalto: 0,1 mg/ L de água

Boyd e Ahmad (1987)



Velocidade de recuperação da saturação de OD.

Equações por ASCE e Boyd e Ahmad (1989)

Tres repetições por modelo



Parâmetro	Equação	Unidades
Kla_T	$\frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)}$	h^{-1}
Kla_{20}	$Kla_T \times 1,023^{(20-T)}$	h^{-1}
SOTR	$Kla_{20} \times C_s \times V \times 10^{-3}$	$kg\ O_2 \cdot h^{-1}$
SAE	$\frac{SOTR}{Potência\ motor}$	$kg\ O_2 \cdot (kW \cdot h)^{-1}$

metodologia

1. Calcular el volumen de um tanque regular de formato regular:

metodologia

2. Medir la concentracion de OD em el momento del test
medir la salinidade del agua, asi como la temperatura y la altitud

metodologia

3. Utilizando reactivos químicos, consumir todo el oxígeno presente en el tanque del agua de cultivo:

Metabisulfito de sódio: a la proporción de 10mg por L de agua del tanque por mg/l de OD medido.

Cloruro de cobalto: a la proporción de 0.1mg por L de agua del tanque

metodologia

4. Aplicar los productos disueltos en el agua, tratando de distribuirlos homogéneamente en toda la columna de agua (puede utilizarse una bomba sumersa)

metodologia

5. Instalación del aireador em la posición más estratégica para cada modelo de aireador

metodologia

6. Medir el oxigeno disuelto y comprobar que se encuentra en 0,0 mg/L

metodologia

7. Tener lista planillas, cronómetro antes de encender el aireador



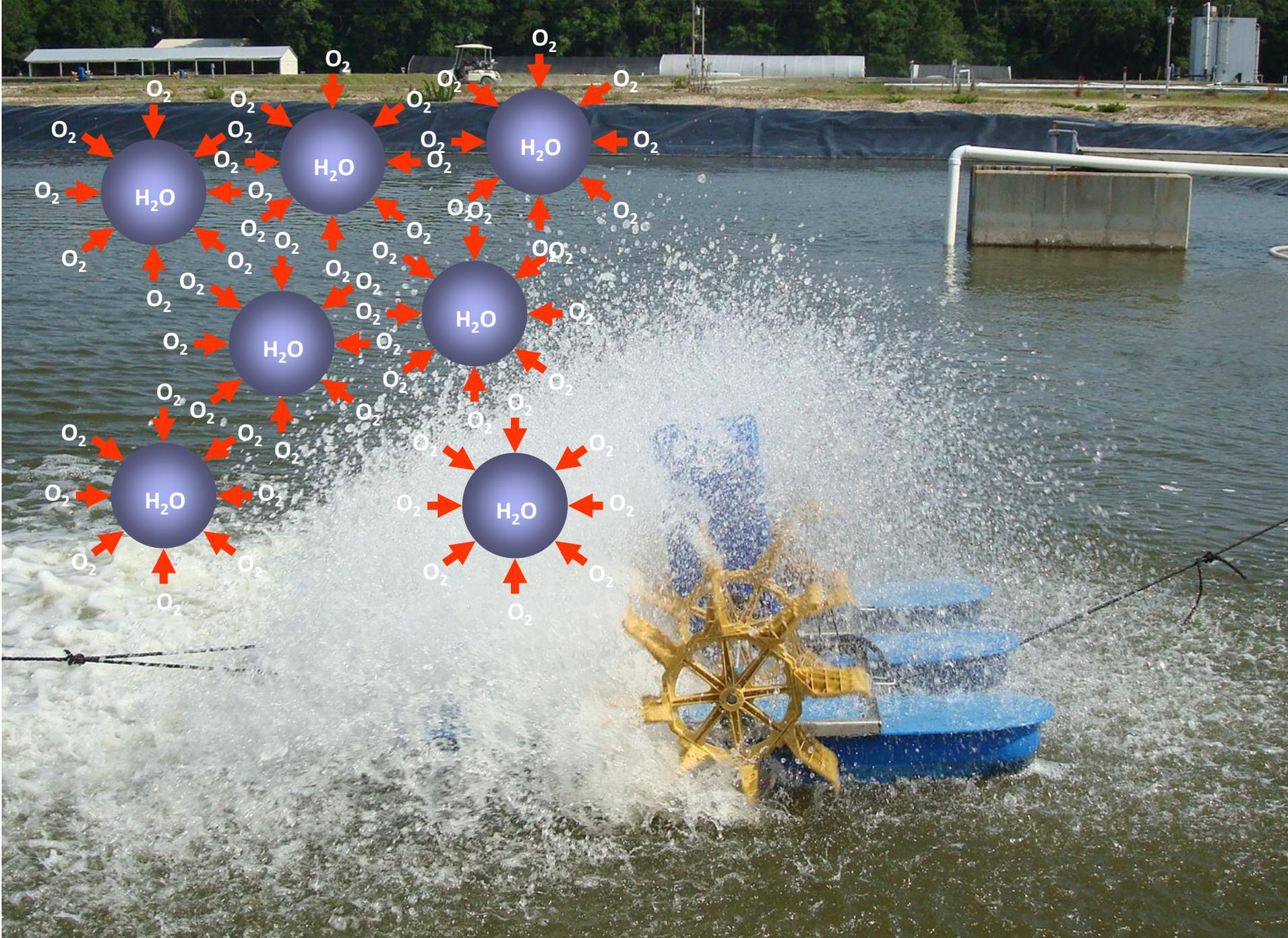
metodologia

8. Prender el aireador y marcar de minuto en minuto las concentraciones de OD, alternando con los valores de saturación hasta que la saturación del oxígeno haya llegado a más del 70%

Determinación de la tasa de recuperación de oxígeno

Es expresado en el tiempo que demora en llegar al 70%.

Esto implica la ley general de los gases = ley de las presiones parciales

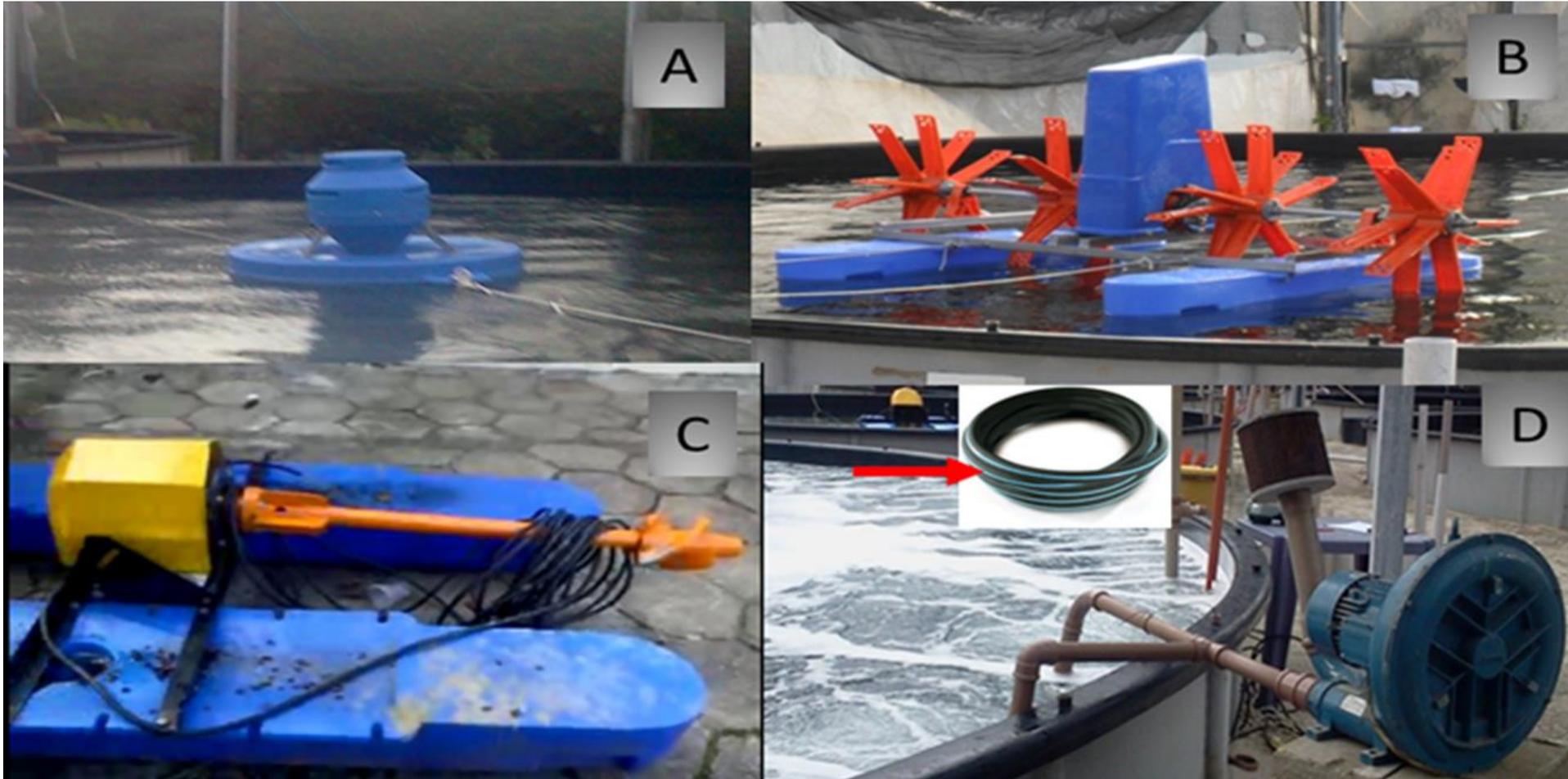


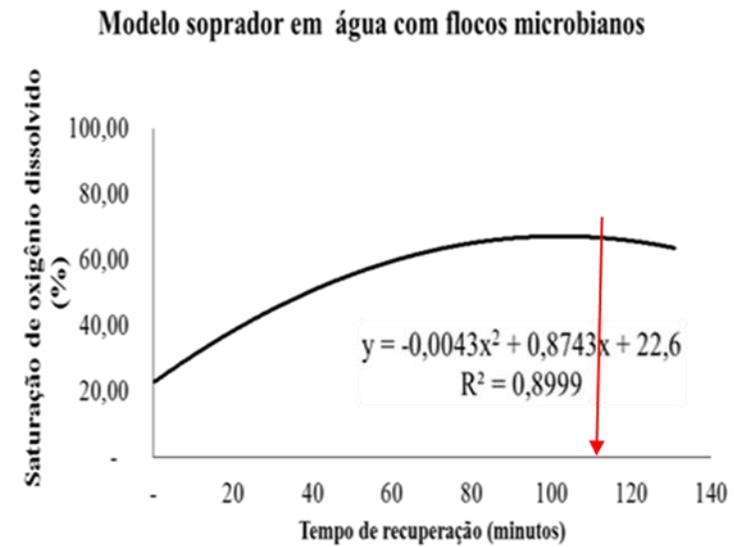
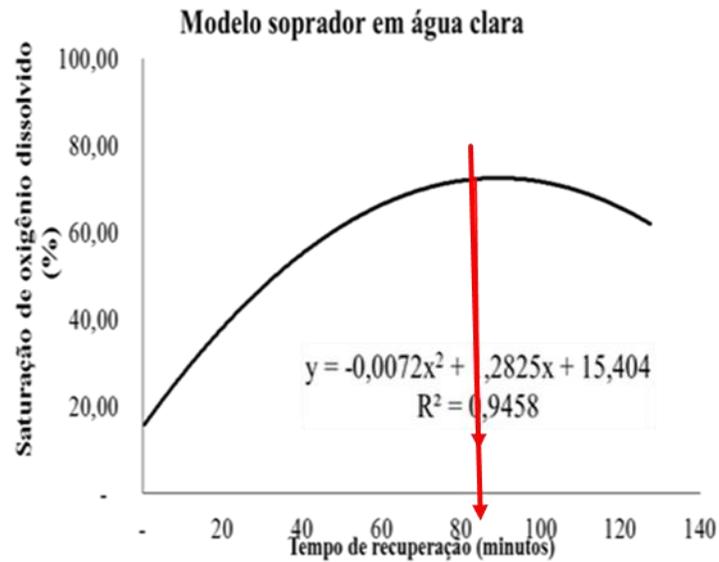
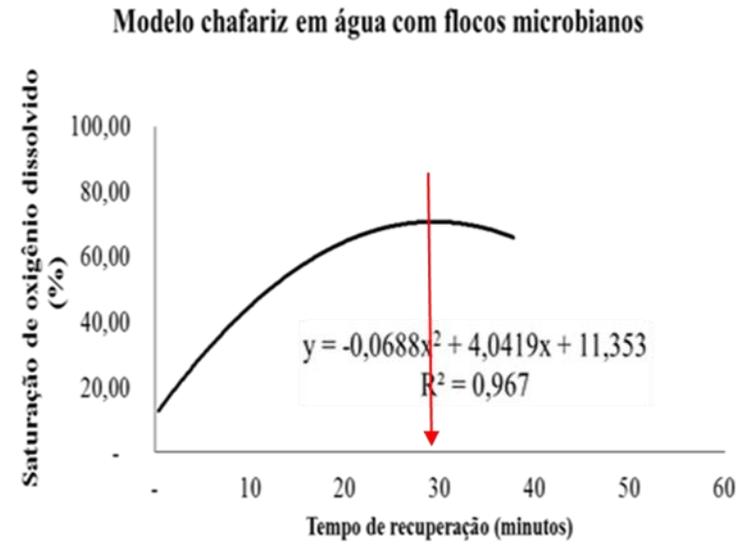
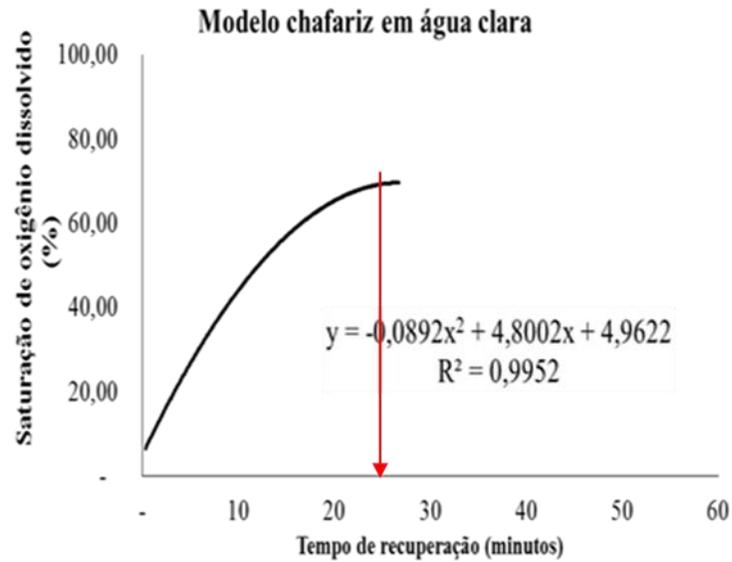
Diferencial de presión

La incorporación y transferencia de OD es más rápida cuando este diferencial es mayor.

Conforme este diferencial se acerca al equilibrio o a cero, la velocidad de transferencia de oxígeno es menor: explicación del porque todos los aireadores inician parejo y finalizan diferente

4 aireadores probados





Cálculo de $KLaT$

- Velocidad de transferencia de Oxígeno
- Tiempo que demora un aerador para recuperar el 70% de oxígeno disuelto en el agua del tanque de prueba.
- Importancia:
- Recuperación de oxígeno en fases críticas dentro de los tanques de cultivo.

Fórmula para calcular el KLaT

- $$KLaT = \frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)}$$

Donde 10% = 10% de la saturación tabulada a la temperatura del test

70% = 70% de la saturación tabulada a la temperatura del test

t = tiempo necesario para alcanzar dicha saturación

Ejercicio

- Determinar el KLaT de 2 aeradores cuyos datos son los siguientes:
- T° 28°C y 0 ppt salinidad

	Aireador A	Aireador B
t 10 %	1 minuto	1 minutos
t 70 %	15 minutos	25 minutos

$$KLaT = \frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)/60}$$

Solubilidad del oxígeno
(mg/L) en función de la
temperatura y la salinidad
(Boyd, 1989).

O₂ medido
% = ----- x100
O₂ tabulado



Temp. (°C)	Salinidad (‰)									
	0	05	10	15	20	25	30	35	40	
21	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0	
22	8,7	8,4	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	
23	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7	
24	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	
25	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	
26	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	
28	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	
29	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0	
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	
32	7,2	7,0	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	
33	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,7	
34	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,6	
35	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	
36	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	
37	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4	
38	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3	
39	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4	5,3	
40	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2	

Ejercicio

- Determinar el $KLaT$ de 2 aeradores cuyos datos son los siguientes:
- **Saturación 100% = 7,8 mg/L**
- Saturación 70% = 5,46 mg/L
- Saturación 10% = 0,78 mg/L

	Aireador A	$KLaT$ A	Aireador B	$KLaT$ B
t 10 %	1 minuto	4,71/h	1 minutos	2,75/h
t 70 %	15 minutos		25 minutos	

Determinación de la tasa de transferencia de oxígeno por hora

Cuando hablamos de la necesidad de suplir la demanda de OD en nuestro cultivo nos referimos al SOTR:

Este índice mide la cantidad (kg) de oxígeno transferido por hora de funcionamiento del aparato aireador

Ecuaciones para cálculo del SAE

Parâmetro	Equação	Unidades
Kla_T	$\frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)}$	h^{-1}
Kla_{20}	$Kla_T \times 1,023^{(20-T)}$	h^{-1}
SOTR	$Kla_{20} \times C_s \times V \times 10^{-3}$	$kg\ O_2 \cdot h^{-1}$
SAE	$\frac{SOTR}{Potência\ motor}$	$kg\ O_2 \cdot (kW \cdot h)^{-1}$

KLa_{20}

- para la corrección de la temperatura del test se utiliza la siguiente fórmula:

$$KLa_{20} = KLa_T \times 1.024^{(20-T)}$$

Donde: KLA = coeficiente o velocidad de transferencia de oxígeno
luego de terminar el test de aireador

T = temperatura del test

Calculo del SOTR

- Utilizar la formula siguiente:

$$\text{SOTR} = C_s \times V \times 10^{-3} \times KLa_{20}$$

Donde

C_s = concentración de oxígeno a 20 °C y a la salinidade del test

V = volumen del tanque

KLa_{20} = coeficiente de transferencia de oxígeno luego de corregir la temperatura del test

Ejercicio

- Con los mismos aireadores del ejercicio anterior calcular el SOTR sabiendo que los test fueron calculados em um tanque cilíndrico de 8m de diâmetro y com uma altura efectiva de 80cm

	Aireador A	Aireador B
KLa20	5,7	3,32
Cs	9,0	9,0

$$\text{Volumen} = \pi r^2 \times h$$

Donde r = radio del tanque = Diámetro / 2

volumen	40,2	40,2
----------------	-------------	-------------

Tabla 1. Solubilidad del oxígeno (mg/litro) en función de la temperatura y la salinidad.

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.6	14,1	13.6	13.2	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1
15	10.0	9.7	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.8
16	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.1	8.2	7.9	7.7
17	9.6	9.3	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.5
18	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4
19	9.2	8.9	8.7	8.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.3
20	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.3	7.1
21	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4	7.2	7.0
22	8.7	8.4	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9
23	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	6.9	6.7
24	8.4	8.1	7.9	7.7	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6
25	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5
26	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4
27	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3
28	7.8	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.6	6.4	6.2
29	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.1
30	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0
31	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9
32	7.2	7.0	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8
33	7.1	6.9	6.7	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7
34	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8	5.6
35	6.9	6.7	6.5	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6
36	6.8	6.6	6.4	6.3	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5
37	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4
38	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5	5.3
39	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3
40	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6	5.5	5.3	5.2



Cs

Ejercicio

- Con los mismos aireadores del ejercicio anterior calcular el SOTR sabiendo que los test fueron calculados em um tanque cilíndrico de 8m de diâmetro y com uma altura efectiva de 80cm

	Aireador A	Aireador B
KLa20	5,7 / h	3,32 / h
volumen	40,2 m ³	40,2 m ³
Cs	9,0 mg/L	9,0 mg/L
SOTR	2,06 kgO₂/h	1,23 kgO₂/h

Cálculo de la eficiencia del aireador

Para calcular la eficiencia se utiliza la fórmula del SAE

$$\text{SAE} = \text{SOTR} / \text{potencia (kw)}$$

Donde para convertir a kW, debe multiplicarse el HP por 0,75 kw

Resultados

3. SAE para cada modelo de aerador testado.

Tabela 1. Eficiência padrão (SAE) de quatro modelos de aeradores mecânicos testados em tanques de 50m³ em água clara com 32g.L⁻¹ de salinidade, 20°C de temperatura e a nível do mar.

Modelos de aeradores	SAE (kg O ₂ .kWh) ¹
Chafariz	2,03 ±0,13 ^a *
Aerador de palhetas	1,55 ±0,14 ^b
Propulsor	1,29 ±0,27 ^b
Soprador	0,80 ±0,06 ^c

Dados médios ± desvio padrão.

¹ ANOVA Simples, médias na mesma coluna seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ejercicio

- Con los mismos aireadores del ejercicio anterior calcular el SAE para dichos aireadores sabiendo que tienen ambos una potencia de 1 HP.

	Aireador A	Aireador B
SOTR	2,06 kgO ₂ /h	1,23 kgO ₂ /h
Potencia kW	0,75 kW	0,75 kW
SAE	2,74 kg O₂/ kW-h	1,64 kg O₂/ kW-h

- Costo de energia eléctrica de un aireador trabajando um ciclo de producción

Tabela 1. Simulação do custo de energia eléctrica em tanques de um cultivo hipotético de tilápia produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 8 meses em densidades de 20 peixes por m² baseado no valor de SAE de ambos modelos.

Modelo Aerador	SAE kg O ₂ .kWh ⁻¹	Valor de energia eléctrica rural R\$. (kWh) ⁻¹	Custo de energia eléctrica R\$.kg O ₂ ⁻¹	Custo de energia por mês de produção R\$	Custo de energia por ciclo de produção R\$
Chafariz	0,89	0,24	0,27	256,29	2050,30
Soprador	0,23	0,24	1,04	991,72	7933,77

Economia =

US\$\$\$\$

¹ Utilizando a potência nominal do motor 1/3 HP (0,245 kw)

² Para análise de custo foi considerado os valores de: dias de cultivo= 240; horas de funcionamento diária dos aeradores= 24

³ À salinidade = 4 g.L⁻¹ e volume do tanque = 10m³.

Ejercicio

- Con los mismos aireadores del ejercicio anterior calcular el gasto de energía eléctrica utilizando los modelos del aireador del ejemplo anterior en un ciclo de producción, en dos tanques semiintensivos uno al lado del outro.

	Aireador A	Aireador B
SAE	2,74 kg O ₂ / kW-h	1,64 kg O ₂ / kW-h
Tiempo de cultivo	240 dias	240 dias
Horas trabajadas por dia	12 h	12 h
Valor del kW-h	430 pesos	430 pesos
Costo de energia electrica por kgO₂	156,9 pesos	262,2 pesos
Valor por ciclo de energia electrica	451.972 pesos	755.211 pesos

Diferencia de + 300.000 pesos → sólo en 1 ciclo!!!!

Ejercicio

- Con los mismos aireadores del ejercicio anterior calcular el gasto de energía eléctrica utilizando los modelos del aireador del ejemplo anterior en un ciclo de producción, en dos tanques geomembrana con sistema de bioflocs uno al lado

	Aireador A	Aireador B
SAE	2,74 kg O ₂ / kW-h	1,64 kg O ₂ / kW-h
Tiempo de cultivo	240 dias	240 dias
Horas trabajadas por dia	24 h	24 h
Valor del kW-h	430 pesos	430 pesos
Costo de energia electrica por kgO ₂	156,93 pesos	262,2 pesos
Valor por ciclo de energia electrica	903.942 pesos	1.510.243 pesos

Diferencia de casi 600.000 pesos → sólo en 1 ciclo!!!!

Calculo de las necesidades de aireadores = TOD



Dimensionamiento de cantidad de Aireadores



Dimensionamiento de cantidad de Aireadores



Dimensionamiento de cantidad de Aireadores



Basado en el TOD

- **Demanda total de oxígeno (TOD):**

- $$\text{TOD} = \text{DO} \times V \times 10^{-3}$$

- Donde DO = Demanda de Oxígeno disuelto

Especies
Y
reacciones químicas

dentro del agua de los tanques



que utilicen este
compuesto para sus
actividades metabólicas

Demanda de Oxígeno diario

Dependiendo de la especie cultivada, el tamaño de los organismos y la temperatura en la cual se trabaja

- La demanda de oxígeno depende de 3 factores:

$$CO + RC + RF$$

CO = consumo por los peces cultivados

RC = respiración de la columna de agua

RF = respiración del fondo o sedimento

Ejercicio

¿Cuál es el consumo de OD para tilapias en tanques intensivos?

PESO	TEMPERATURA	CONSUMO DE O ₂
400 g	18°C	147 mg/kg/h
	24°C	188 mg/kg/h
	30°C	241 mg/kg/h

400 g – 24°C (30 peces/m³)

$$30 \times 400 \text{ g} = 12,000 \text{ g} = 12 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,012 \text{ kg/L}$$

$$188 \text{ mg/kg/h} \times 0,012 \text{ kg/L}$$

$$\text{CO} = 2.25 \text{ mg/L/h}$$

$$\text{CO} = 2.25 \text{ kg/m}^3/\text{h}$$

Consumo de oxígeno de tilapias de acuerdo al peso, temperatura y densidad

Peso	°C	mg/kg/h	kg 2/m ²	mg/L/h	kg 4/m ²	mg/L/h	kg 12/m ²	mg/L/h
25	18	176	0,05	0,009	0,10	0,018	0,30	0,053
25	24	325	0,05	0,016	0,10	0,033	0,30	0,098
25	30	508	0,05	0,025	0,10	0,051	0,30	0,152
50	18	167	0,10	0,017	0,20	0,033	0,60	0,100
50	24	205	0,10	0,021	0,20	0,041	0,60	0,123
50	30	361	0,10	0,036	0,20	0,072	0,60	0,217
100	18	165	0,20	0,033	0,40	0,066	1,20	0,198
100	24	195	0,20	0,039	0,40	0,078	1,20	0,234
100	30	349	0,20	0,070	0,40	0,140	1,20	0,419
200	18	151	0,40	0,060	0,80	0,121	2,40	0,362
200	24	193	0,40	0,077	0,80	0,154	2,40	0,463
200	30	243	0,40	0,097	0,80	0,194	2,40	0,583
400	18	147	0,80	0,118	1,60	0,235	4,80	0,706
400	24	188	0,80	0,150	1,60	0,301	4,80	0,902
400	30	241	0,80	0,193	1,60	0,386	4,80	1,157
800	18	96	1,60	0,154	3,20	0,307	9,60	0,922
800	24	169	1,60	0,270	3,20	0,541	9,60	1,622
800	30	237	1,60	0,379	3,20	0,758	9,60	2,275

Ejercicio 2.

¿Cuál es el consumo de OD para tilapias en tanques intensivos?

PESO	TEMPERATURA	CONSUMO DE O ₂
400 g	18°C	147 mg/kg/h
	24°C	188 mg/kg/h
	30°C	241 mg/kg/h

400 g – 24°C (60 peces/m³)

$$60 \times 400 \text{ g} = 24,000 \text{ g} = 24 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,024 \text{ kg/L}$$

$$188 \text{ mg/kg/h} \times 0,024 \text{ kg/L}$$

$$\text{CO} = 4.51 \text{ mg/L/h}$$

$$\text{CO} = 4.51 \text{ kg/m}^3$$

Sistema de producción adoptado

Sist. Extensivo, semi-intensivo e intensivo



sin recubrimiento del fondo
=



respiracion de columna de
agua
respiracion del sedimento

Sist. Intensivos y superintensivos



com recubrimiento de fondo



respiracion de columna de agua
*biofloc

Foto de agua verde y pala de barro



Metodología de los tubos de respiración

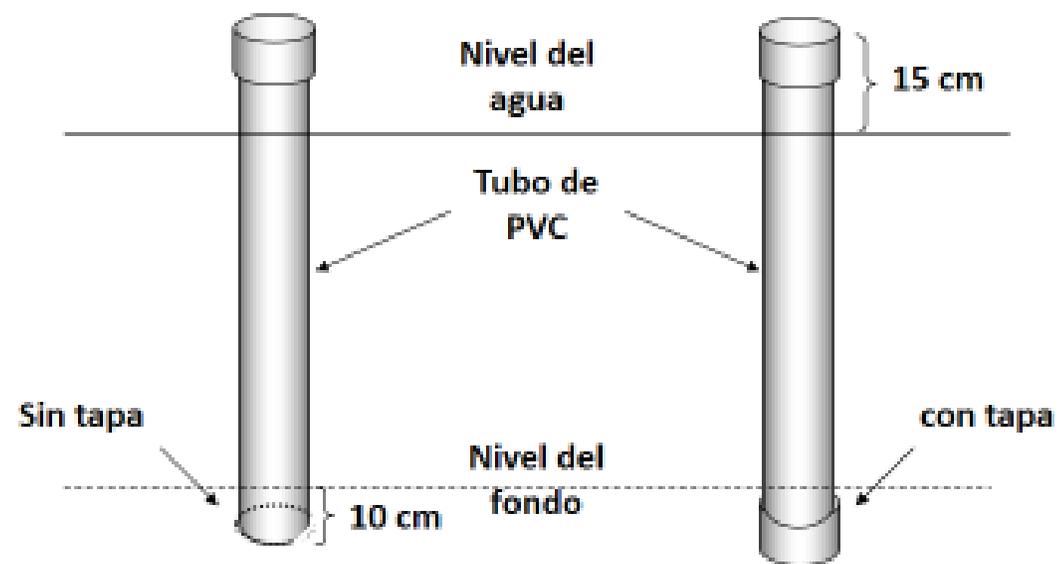
- 1. colocar en el fondo de un tanque de producción 2 tubos de PVC de 75mm los cuales superen la superficie del agua en por lo menos 30 cm
- 2. las extremidades de los tubos deben tener un tapón con rosca con excepción de uno de ellos, el cual estará en contacto con el lodo
- 3. estos tubos deben ser fijados verticalmente en el fondo del tanque y a las 7am.
- 4. llenados con agua del mismo estanque
- 5. medir oxígeno disuelto en cada tubo, cerrarlo y esperar 2 horas
- 6. luego de estas 2 horas proceder a destapar los tubos, sin mucha agitación y proceder a medir el OD inmediato.



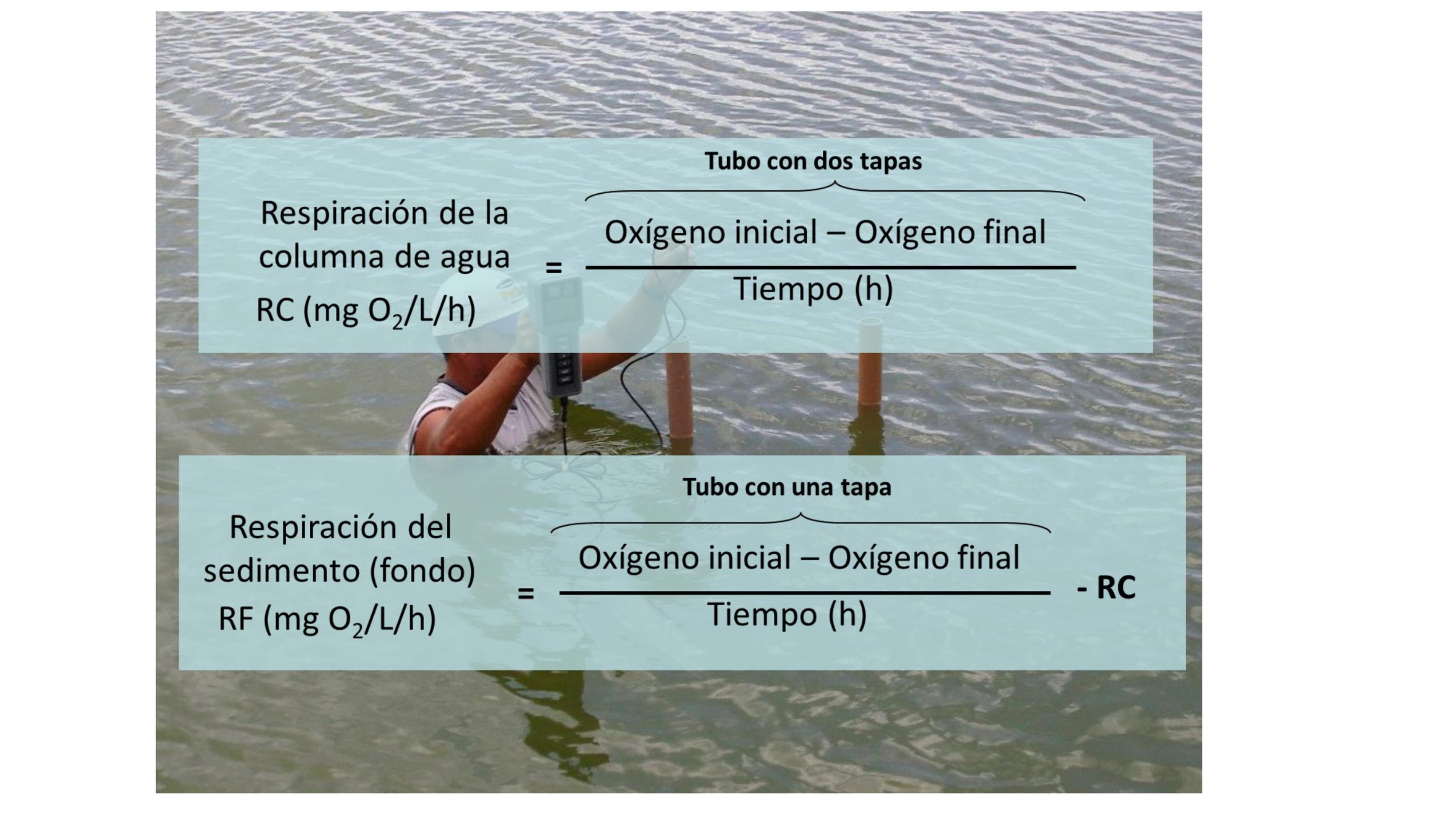
Demanda total de oxígeno en el estanque

Respiración del fondo (RF)

Respiración columna de agua (RC)



Columnas de respiración para la determinación del consumo de oxígeno del agua y del sedimento (adaptado de Boyd, 1995).



Tubo con dos tapas

$$\text{Respiración de la columna de agua} \\ \text{RC (mg O}_2\text{/L/h)} = \frac{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}{\text{Tiempo (h)}}$$

Tubo con una tapa

$$\text{Respiración del sedimento (fondo)} \\ \text{RF (mg O}_2\text{/L/h)} = \frac{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}{\text{Tiempo (h)}} - \text{RC}$$

Ejercicio:

Un tanque de geomembrana de 100 m^3 de agua y 37 peces de 400 g por metro cúbico, tiene una respiración de agua de 2.3 mg/L/h , a 24°C , ¿cuántos aireadores de paletas de 1 HP (SOTR 0.85 kg/h) necesita?

Consumo de oxígeno de los peces (CO):

Densidad de peces =

Consumo de oxígeno de tilapias de acuerdo al peso, temperatura y densidad

Peso	°C	mg/kg/h	kg 2/m ²	mg/L/h	kg 4/m ²	mg/L/h	kg 12/m ²	mg/L/h
25	18	176	0,05	0,009	0,10	0,018	0,30	0,053
25	24	325	0,05	0,016	0,10	0,033	0,30	0,098
25	30	508	0,05	0,025	0,10	0,051	0,30	0,152
50	18	167	0,10	0,017	0,20	0,033	0,60	0,100
50	24	205	0,10	0,021	0,20	0,041	0,60	0,123
50	30	361	0,10	0,036	0,20	0,072	0,60	0,217
100	18	165	0,20	0,033	0,40	0,066	1,20	0,198
100	24	195	0,20	0,039	0,40	0,078	1,20	0,234
100	30	349	0,20	0,070	0,40	0,140	1,20	0,419
200	18	151	0,40	0,060	0,80	0,121	2,40	0,362
200	24	193	0,40	0,077	0,80	0,154	2,40	0,463
200	30	243	0,40	0,097	0,80	0,194	2,40	0,583
400	18	147	0,80	0,118	1,60	0,235	4,80	0,706
400	24	188	0,80	0,150	1,60	0,301	4,80	0,902
400	30	241	0,80	0,193	1,60	0,386	4,80	1,157
800	18	96	1,60	0,154	3,20	0,307	9,60	0,922
800	24	169	1,60	0,270	3,20	0,541	9,60	1,622
800	30	237	1,60	0,379	3,20	0,758	9,60	2,275

Un tanque de geomembrana de 100 m³ de agua y 37 peces de 400 g por metro cúbico, tiene una respiración de agua de 2.3 mg/L/h, a 24°C, ¿cuántos aireadores de paletas de 1 HP (SOTR 0.85 kg/h) necesita?

Consumo de oxígeno de los peces (CO):

$$37 \times 400 \text{ g} = 14,800 \text{ g} = 15 \text{ kg/m}^3 \\ = 0,015 \text{ kg/L}$$

$$188 \text{ mg/kg/h} \times 0,015 \text{ kg/L}$$

$$CO = 2.82 \text{ mg/L/h}$$

$$CO = 2.82 \text{ g/m}^3\text{/h}$$

Respiración de la columna de agua (RC):

$$2.3 \text{ mg/L/h}$$

$$2.3 \text{ g/m}^3\text{/h}$$

Número de aireadores por tanque:

$$N^{\circ} = \text{TOD} \div \text{OTRt}$$

Demanda total de oxígeno (TOD):

$$\text{TOD} = \text{DO} \times V \times 10^{-3}$$

Demanda de oxígeno (DO):

$$\text{DO} = \text{CO} + \text{RC}$$

$$\text{DO} = 2.82 \text{ g/m}^3/\text{h} + 2.3 \text{ g/m}^3/\text{h}$$

$$\text{DO} = 5.12 \text{ g/m}^3/\text{h}$$

$$\text{TOD} = 5.12 \text{ g/m}^3/\text{h} \times 100 \text{ m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$$

$$\text{TOD} = 0.51 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

Tabla 1. Solubilidad del oxígeno (mg/litro) en función de la temperatura y la salinidad.

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.6	14,1	13.6	13.2	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1
15	10.0	9.7	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.8
16	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.1	8.2	7.9	7.7
17	9.6	9.3	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.5
18	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4
19	9.2	8.9	8.7	8.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.3
20	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.3	7.1
21	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4	7.2	7.0
22	8.7	8.4	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9
23	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	6.9	6.7
24	8.4	8.1	7.9	7.7	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6
25	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5
26	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4
27	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3
28	7.8	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.6	6.4	6.2
29	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.1
30	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0
31	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9
32	7.2	7.0	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8
33	7.1	6.9	6.7	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7
34	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8	5.6
35	6.9	6.7	6.5	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6
36	6.8	6.6	6.4	6.3	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5
37	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4
38	6.6	6.4	6.2	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5	5.3
39	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3
40	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6	5.5	5.3	5.2

Donde OTR T =

Tasa de transferencia de oxígeno con la limitante de oxígeno mínimo deseado comparado a 20°C

$$\text{OTR}_{20} = \text{SOTR} (C_s - C_1) / C_s =$$

$$\text{OTR}_{20} = 0,85 \times (9 - 5) / 9 =$$

$$\text{OTR}_{20} = 0,37 \text{ kg / h}$$

Tasa de transferencia de oxígeno (OTR_t):

$$\text{OTR}_t = \text{OTR}_{20} \times 1.024^{T_{20}-T_t}$$

$$\text{OTR}_{20} = \frac{\text{SOTR} (C_s - C_1)}{C_s}$$

$$\text{OTR}_{20} = \frac{0.85 (9 - 5)}{9} = 0.37 \text{ kg/h}$$

$$\text{OTR}_t = 0.37 \times 1.024^4 = 0.41 \text{ kg/h}$$

Número de aireadores por tanque:

$$N^{\circ} = \text{TOD} \div \text{OTRt} = 0.51 \text{ kg O}_2/\text{h} \div 0.41 \text{ kg/h}$$

$$N^{\circ} = 1.24 \text{ aireadores de 1 HP}$$

Y en nuestro ejemplo de Aireador A y Aireador B ?????

Aireador A

Donde $OTR_T =$

Tasa de transferencia de oxígeno con la limitante de oxígeno mínimo deseado comparado a 20°C

$$OTR_{20} = SOTR (C_s - C_1) / C_s =$$

$$OTR_{20} = 2,06 \times (9 - 5) / 9 =$$

$$OTR_{20} = 0,92 \text{ kg / h}$$

Aireador B

Donde OTR T =

Tasa de transferencia de oxígeno con la limitante de oxígeno mínimo deseado comparado a 20°C

$$\text{OTR}_{20} = \text{SOTR} (C_s - C_1) / C_s =$$

$$\text{OTR}_{20} = 1,23 \times (9 - 5) / 9 =$$

$$\text{OTR}_{20} = 0,55 \text{ kg / h}$$

Tasa de transferencia de oxígeno (OTRt):

Aireador A

$$\text{OTRt} = \text{OTR}_{20} \times 1.024^{120-T1}$$

$$\text{OTRt} = 0.92 \times 1.024^4 = 1,0 \text{ kg/h}$$

Aireador B

$$\text{OTRt} = \text{OTR}_{20} \times 1.024^{120-T1}$$

$$\text{OTRt} = 0.55 \times 1.024^4 = 0.59 \text{ kg/h}$$

Número de aireadores A por tanque :

$$N^{\circ} = \text{TOD} \div \text{OTRt} = 0.51 \text{ kg O}_2/\text{h} \div 1,0 \text{ kg/h}$$

$$N^{\circ} = 0,51 \text{ aireadores de 1 HP}$$

Número de aireadores B por tanque :

$$N^{\circ} = \text{TOD} \div \text{OTRt} = 0.51 \text{ kg O}_2/\text{h} \div 0,59 \text{ kg/h}$$

$$N^{\circ} = 0,99 \text{ aireadores de 1 HP}$$

Cual es la diferencia del precio??? Tendría que ser el doble
Y todavía sin considerar la eficiencia energética ya estudiada

Basado en la experiência de campo

Sistemas Semiintensivos

- Para Camarones:
 - 1 Ha → 2 HP
 - 2HP → 1000 kg
 - 1 HP → 500 kg.
-
- Productividades de camarón con 0 recambio = 1000 – 1500 kg/ha.
 - Productividades de camarón con 10% semanal de recambio y aireadores= 2500 kg/ha

Basado en la experiencia de campo

Sistemas Semiintensivos

- Para Tilapias:
- 1 Ha \rightarrow 5 HP 1,5 HP \rightarrow 3500 m²
- 1,5 HP \rightarrow 5000 kg
- 1 HP \rightarrow 3500 kg.

- Productividades de tilapia con 0 recambio = 5000 –7000 kg/ha.
- Productividades de tilapia con 30% semanal de recambio y aireadores= 20000 kg/ha

Experiencias Brasileiras



Aldair Langer – Quatro Pontes/PR

Área total - 4,5 ha /10 tilápias por metro quadrado

Produção total – 330 ton.

1,3 ciclos ano – FCA 1,38

Custo de produção: R\$ 2,15

14,5 HP de aeração em 0,7 ha = 21 HP de aeração/ha



Darci Backes – Toledo/PR

18 tilápias por metro quadrado

= 12,8 kg/m² = 128 ton/ha

Viveiros de 0,3 ha – 8 HP de aeração

por viveiro

26 HP de aeração / ha

Viveiro de 0,3 ha
6 HP de aeração = 20 HP/ha
15 tilápias/m²



Muchas gracias

• jmpaquaculture@gmail.com

