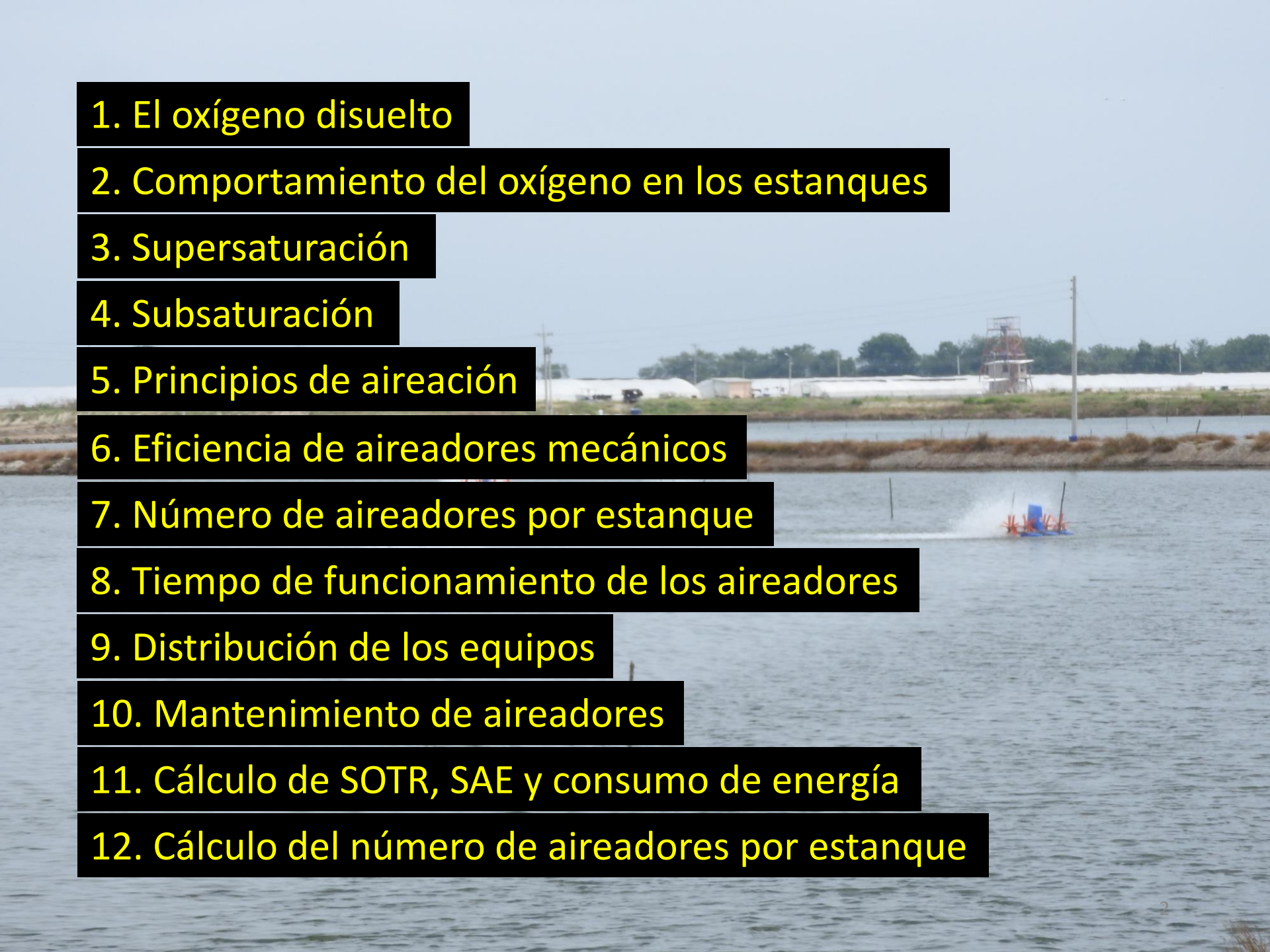
Técnicas eficientes de producción acuícola: Manejo de oxígeno disuelto y aireación

Luis Vinatea Arana

Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil)
luis.vinatea@ufsc.br

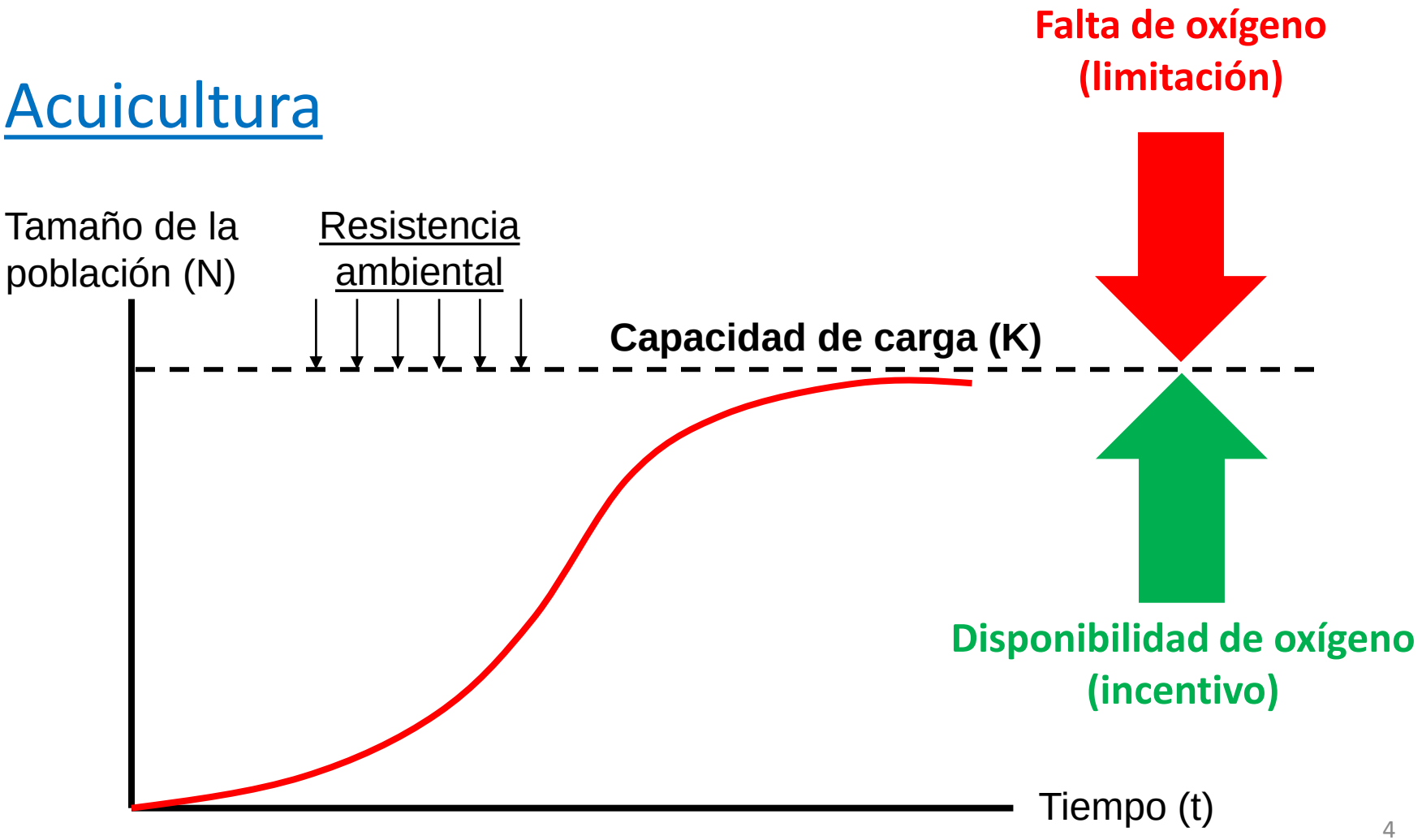


1. El oxígeno disuelto
2. Comportamiento del oxígeno en los estanques
3. Supersaturación
4. Subsaturación
5. Principios de aireación
6. Eficiencia de aireadores mecánicos
7. Número de aireadores por estanque
8. Tiempo de funcionamiento de los aireadores
9. Distribución de los equipos
10. Mantenimiento de aireadores
11. Cálculo de SOTR, SAE y consumo de energía
12. Cálculo del número de aireadores por estanque

Capacidad de carga

Tamaño máximo de una población que puede ser sustentada indefinidamente por un ambiente específico, tomando en cuenta el alimento, el agua y las condiciones disponibles capaces de sustentar la vida.

Acuicultura



¿Capacidad?

2 personas

BERAQUA

Por debajo de la capacidad

Dentro de la capacidad

Dentro de la capacidad

¡Riesgo muy alto!

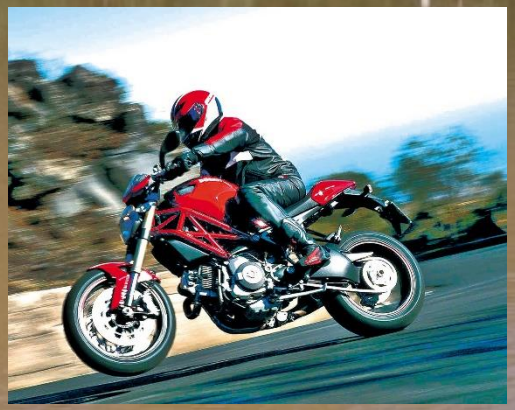
Por encima de la capacidad

Dentro de la capacidad de carga

Incentivos = tres ruedas + plataforma

Visto en MejorHistoria.com

Incentivo = productividad primaria



450 m²
4,3 peces/m²

3 kg/m²

Cultivo semiintensivo de tilapias en Paraná (Brasil)

Incentivo = aireación

4.300 m²
12 peces/m²

8 kg/m²

Cultivo intensivo de tilapias en Honduras

Incentivo = aireación

13 kg/m²

Cultivo superintensivo de tilapias con bioflocs (Israel)

Incentivo = aireación

25 kg/m³

Cultivo superintensivo de tilapias con bioflocs (Islas Vírgenes)

30 kg/m³

Incentivo = aireación

Visto en MejorHistoria.com

50 - 150 kg/m³

RAS

Incentivo = oxígeno puro

Ejemplo:

Calcule la capacidad de carga (K) de un raceway de tilapias (kg) cuyo caudal es de 18 m^3/minuto de agua con 6,0 mg/L de O_2, considerando 3,0 kg de balanceado por cada 1 kg de O_2. El oxígeno mínimo permitido es de 2,5 mg/L.

K: ? (kilos de tilapias)
Caudal: 18 m^3/min
O_2 del agua: 6,0 mg/L
3 kg de balanceado consumen 1 kg de O_2
O_2 mínimo permitido: 2,5 mg/L

Solución:

O_2 disponible en el raceway = 6 – 2,5 mg/L = 3,5 mg/L = 3,5 g/m^3

O_2 disponible por día = 3,5 g/m^3 x 18 m^3/min x 1.440 min/día x 10^{-3} kg/g

= 90,7 kg de O_2/día

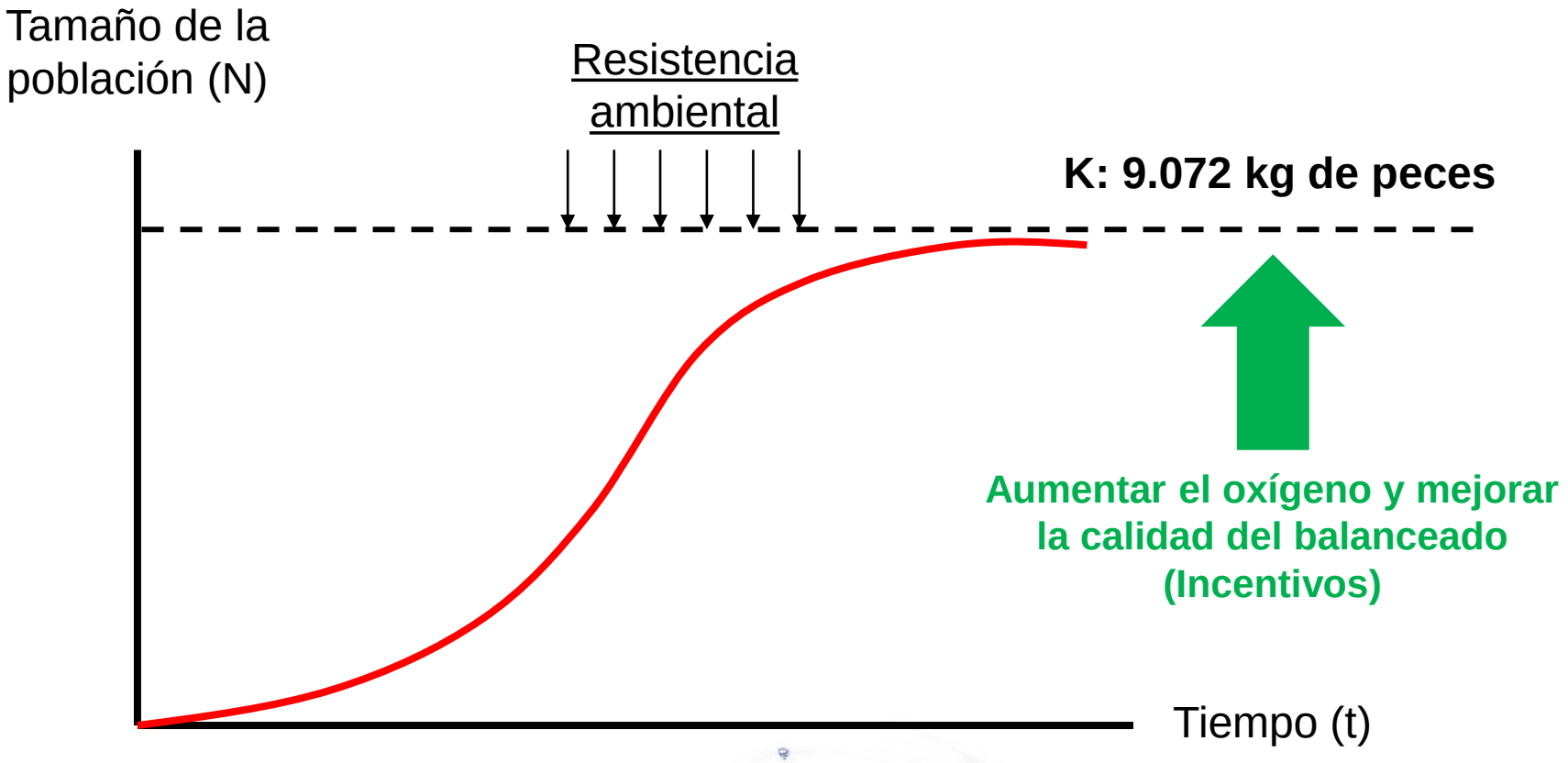
Si cada 3 kg de balanceado consumen 1 kg de O_2, ¿cuánto balanceado puedo colocar por día?

90,7 kg O_2/día x 3 kg balanceado/kg O_2 = 272,1 kg de balanceado/día

Las tilapias son alimentadas con 3 % de la biomasa al día

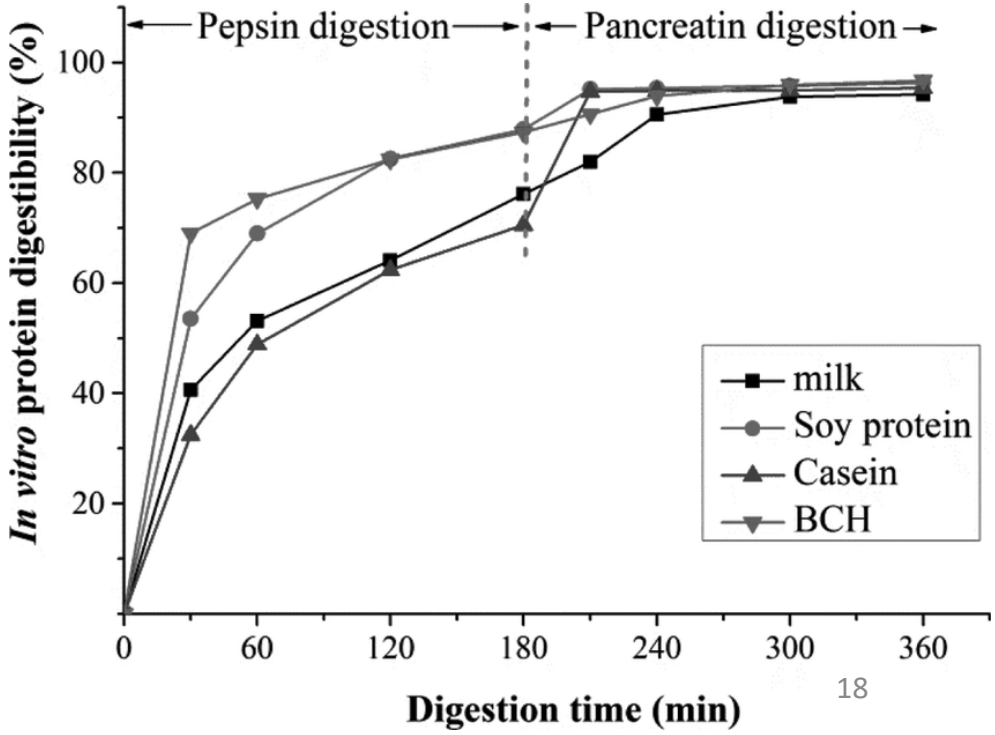
Entonces, si 272,1 kg es 3%, 100 % será 9.072 kg de peces

K = 9.072 kg de peces


Tamaño de la población (N)
Resistencia ambiental
K: 9.072 kg de peces
Aumentar el oxígeno y mejorar la calidad del balanceado (Incentivos)
Tiempo (t)

Oxígeno puro
(Incentivo)

Balanceados con alta digestibilidad (Incentivo)



Ejemplo:

Calcule la capacidad de carga (K) de un raceway de tilápias (kg) cuyo caudal es de 18 m^3/minuto de agua con 8,0 mg/L de O_2 (+ 2 mg/L), considerando 4,0 kg de balanceado (+ 1 kg) por cada 1 kg de O_2. El oxígeno mínimo permitido es de 2,5 mg/L.

K: ? (kg de tilapias)
Caudal: 18 m^3/min
O_2 del agua: 8,0 mg/L (+ 2 mg/L)
4 kg de balanceado (+ 1 kg) consumen 1 kg de O_2
O_2 mínimo permitido: 2,5 mg/L

Solución:

O_2 disponible en el raceway = 8 – 2,5 mg/L = 5,5 mg/L = 5,5 g/m^3

O_2 disponible por día = 5,5 g/m^3 x 18 m^3/min x 1.440 min/día x 10^{-3} kg/g

= 142,5 kg de O_2/día

Si cada 4 kg de balanceado consumen 1 kg de O_2, ¿cuánto balanceado puedo colocar por día?

142,5 kg O_2/día x 4 kg balanceado/kg O_2 = 570,2 kg de balanceado/día

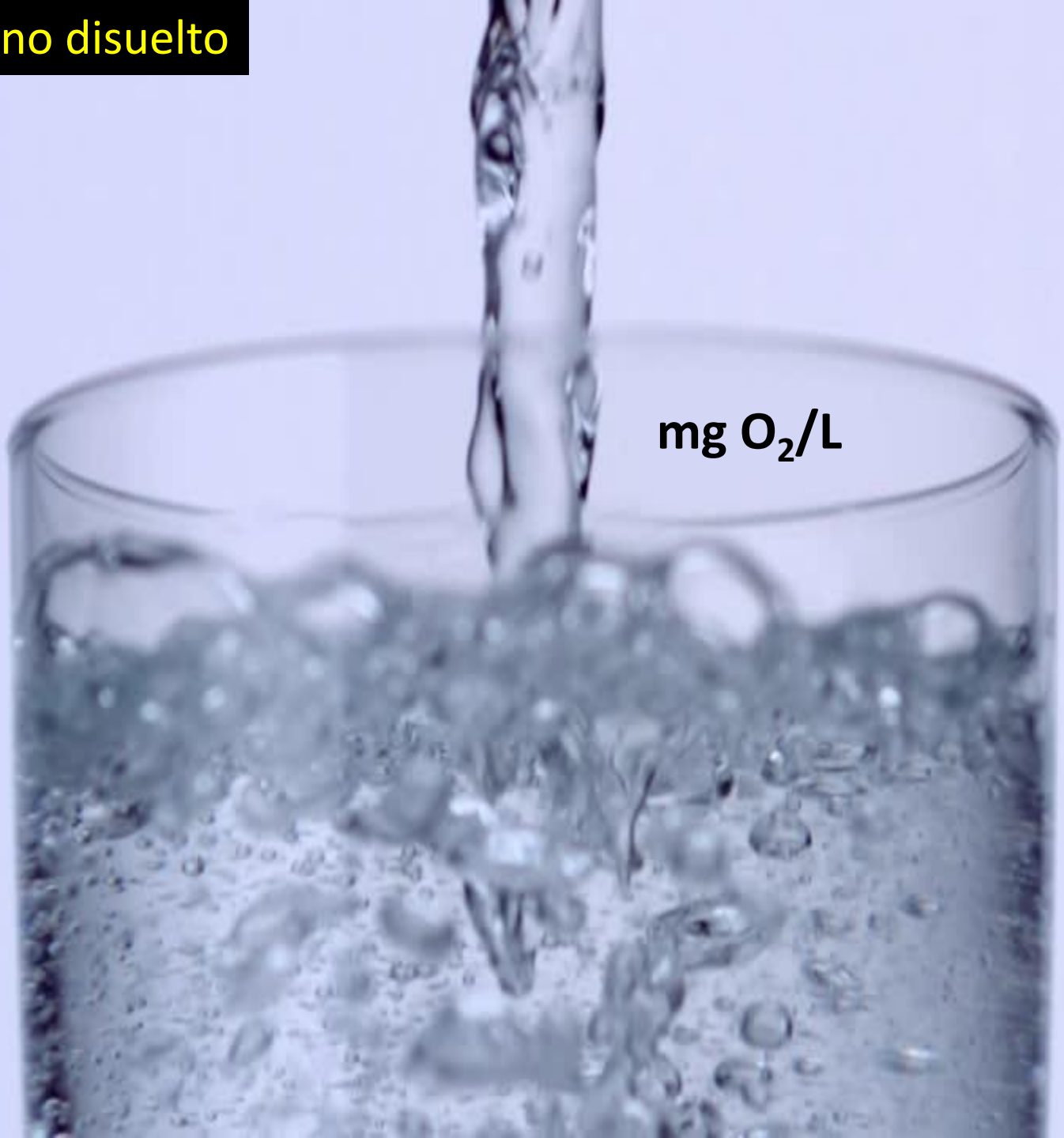
Las tilapias son alimentadas con 3% de la biomasa al día

Entonces, si 570,2 kg es 3%, 100% será 19.008 kg de peces

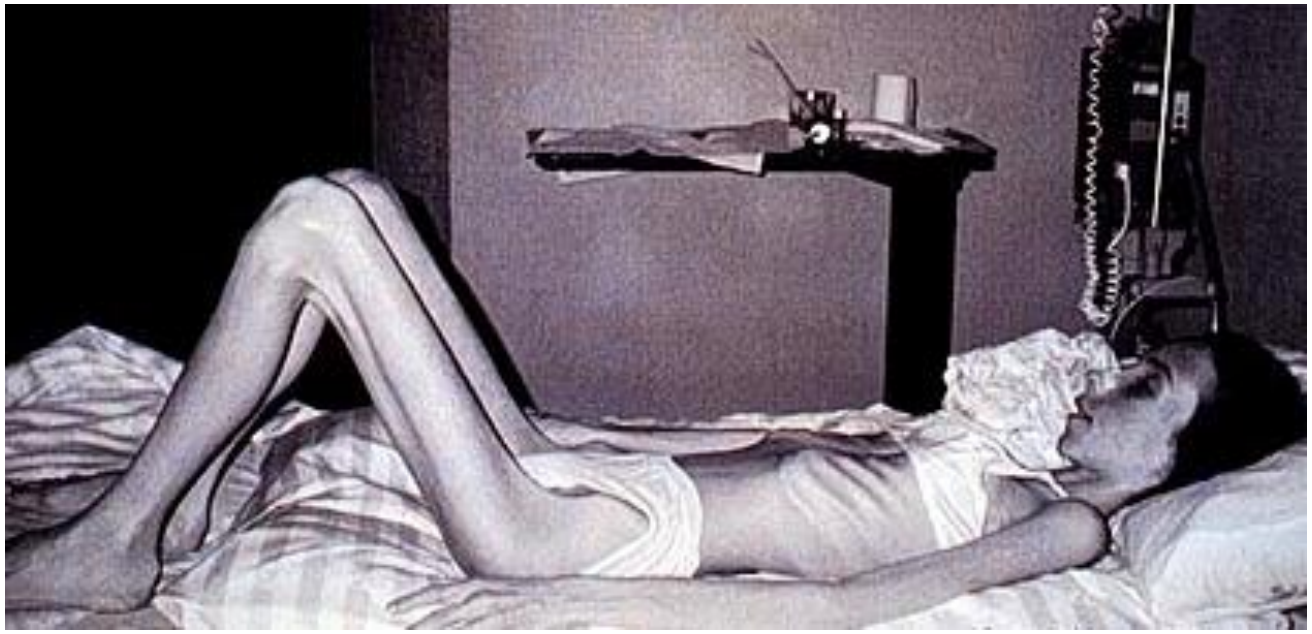
K = 19.008 kg de peces

(+ 9.936 kg de peces)

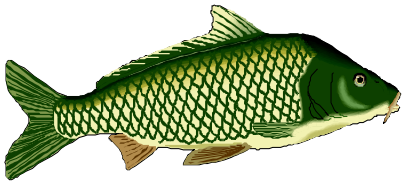
1. El oxígeno disuelto



¿Por qué el oxígeno es tan importante?
8
O
15.99



Concentración de oxígeno en el agua

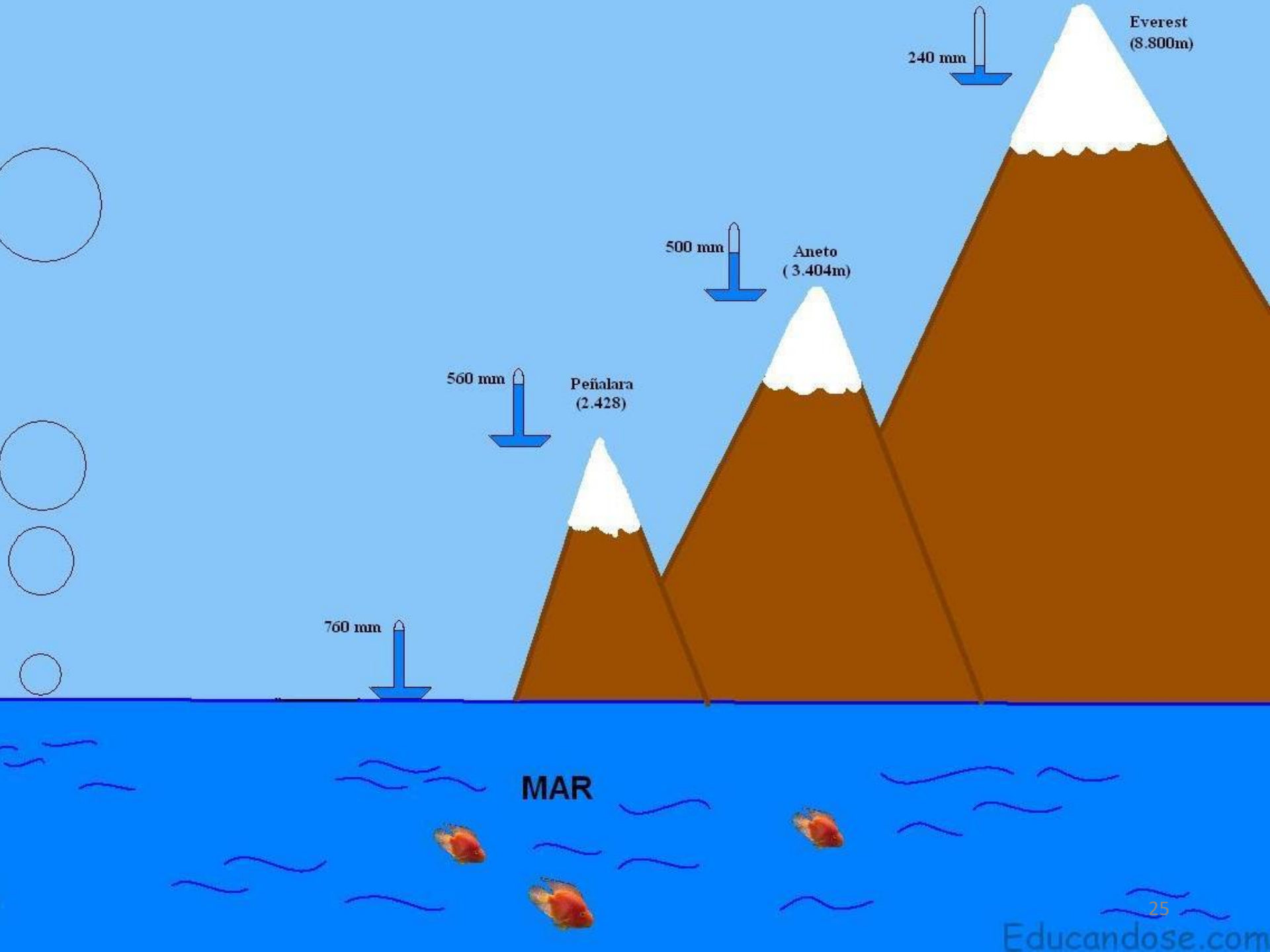


Presión atmosférica

O_2

Temperatura

Salinidad



Educandose.com

Mal de Montaña (↑ 2.400 m)

Moderado: entre 2.400 a 3.600 metros;
Alto: entre 3.600 a 5.400 metros;
Extremo: superior a 5.400 metros.

Nivel del mar

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

$$\% = \frac{O_2 \text{ medido}}{O_2 \text{ tabulado}} \times 100$$

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
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

07:00 h
S: 15 ‰
T: 24 °C
O_2 m: 1,2 mg/L
O_2 t: 7,7 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{1,2}{7,7} \times 100 = 15,5\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me falta **84,5** % de oxígeno

17:00 h
S: 15 ‰
T: 27 °C
O_2 m: 12,9 mg/L
O_2 t: 7,2 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{12,9}{7,2} \times 100 = 179,1\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me sobra **79,1** % de oxígeno

07:00 h
S: 0 ‰
T: 27 °C
O_2 m: 2,3 mg/L
O_2 t: 7,9 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{2,3}{7,9} \times 100 = 29,1\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me falta **70,9** % de oxígeno

17:00 h
S: 0 ‰
T: 29 °C
O_2 m: 10,8 mg/L
O_2 t: 7,6 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{10,8}{7,6} \times 100 = 142,1\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me sobra **42,1** % de oxígeno

07:00 h
S: 40 ‰
T: 26 °C
O_2 m: 2,4 mg/L
O_2 t: 6,4 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{2,4}{6,4} \times 100 = 37,5\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me falta **62,5** % de oxígeno

17:00 h
S: 40 ‰
T: 29 °C
O_2 m: 10,7 mg/L
O_2 t: 6,1 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{10,7}{6,1} \times 100 = 175,4\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me sobra **75,4** % de oxígeno

mg O_2/L

%

Piscigranja Huaros – Cultivo de truchas – 3.000 msnm

Foto: Mónica Rodríguez
"Mochilea Perú"

$$ODc = ODt \frac{Po-Pw}{760-Pw}$$

ODc= oxígeno disuelto corregido
ODt = oxígeno disuelto a 760 mmHg (nivel del mar)
Po = presión atmosférica observada (en mmHg)
Pw = presión de vapor de agua (en mmHg)

Presión atmosférica (mmHg)

$$Log_{10}PB = 2,88 – (h/19.748,2)$$

$$10^{2,88 - (h/19.748,2)} = PB$$

Presión de vapor da agua pura a diferentes temperaturas (Boyd, 1979)

°C	mmHg	°C	mmHg	°C	mmHg
0	4,57	12	10,51	24	22,37
1	4,92	13	11,23	25	23,75
2	5,29	14	11,98	26	25,20
3	5,68	15	12,78	27	26,73
4	6,10	16	13,63	28	28,34
5	6,54	17	14,53	29	30,04
6	7,01	18	15,47	30	31,82
7	7,51	19	16,47	31	33,69
8	8,04	20	17,53	32	35,66
9	8,60	21	18,65	33	37,72
10	9,20	22	19,82	34	39,89
11	9,84	23	21,12	35	42,17

Agua Dulce, 3.000 m.s.n.m., 10 °C

Presión atmosférica (mmHg)

$Log_{10}PB = 2,88 – (3.000/19.748,2)$

$10^{2,88 - (3.000/19.748,2)} = PB = \mathbf{537\ mmHg}$

$$ODc = ODt \frac{Po-Pw}{760-Pw}$$

ODc= oxígeno disuelto corregido
ODt = oxígeno disuelto a 760 mmHg
Po = presión atmosférica observada (en mmHg)
Pw = presión de vapor de agua (en mmHg)

$$ODc = 11,2 \frac{537-9,2}{760-9,2} = \mathbf{7,84\ mg/L}\ (100\ \%)$$

Presión de vapor da agua pura a diferentes temperaturas (Boyd, 1979)

°C	mmHg	°C	mmHg	°C	mmHg
0	4,57	12	10,51	24	22,37
1	4,92	13	11,23	25	23,75
2	5,29	14	11,98	26	25,20
3	5,68	15	12,78	27	26,73
4	6,10	16	13,63	28	28,34
5	6,54	17	14,53	29	30,04
6	7,01	18	15,47	30	31,82
7	7,51	19	16,47	31	33,69
8	8,04	20	17,53	32	35,66
9	8,60	21	18,65	33	37,72
10	9,20	22	19,82	34	39,89
11	9,84	23	21,12	35	42,17

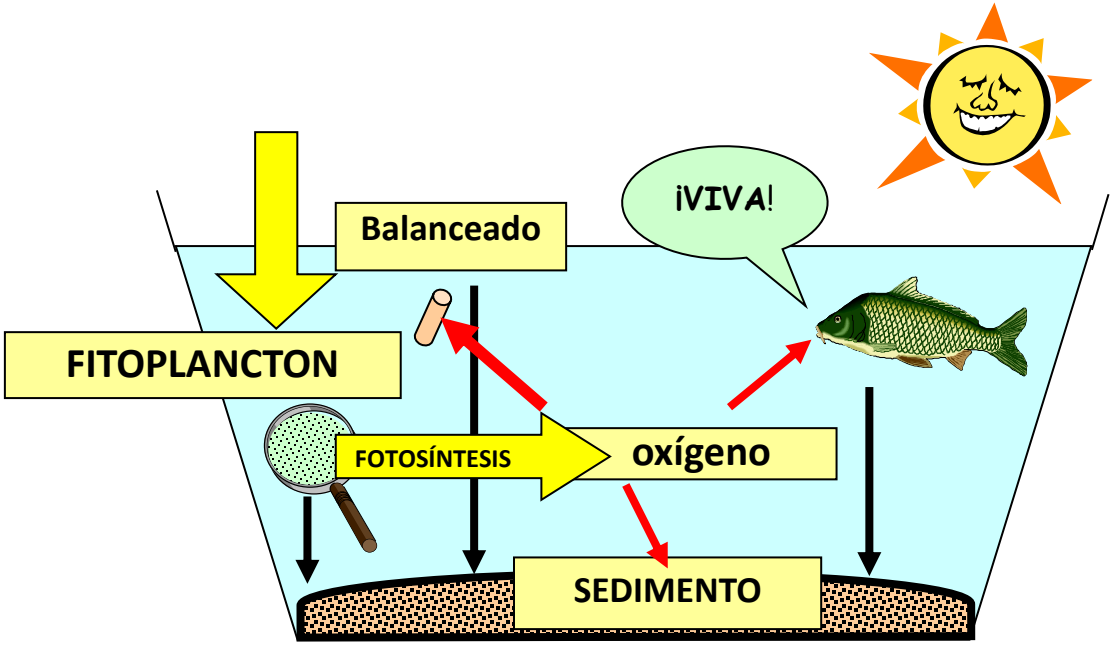
Limonada

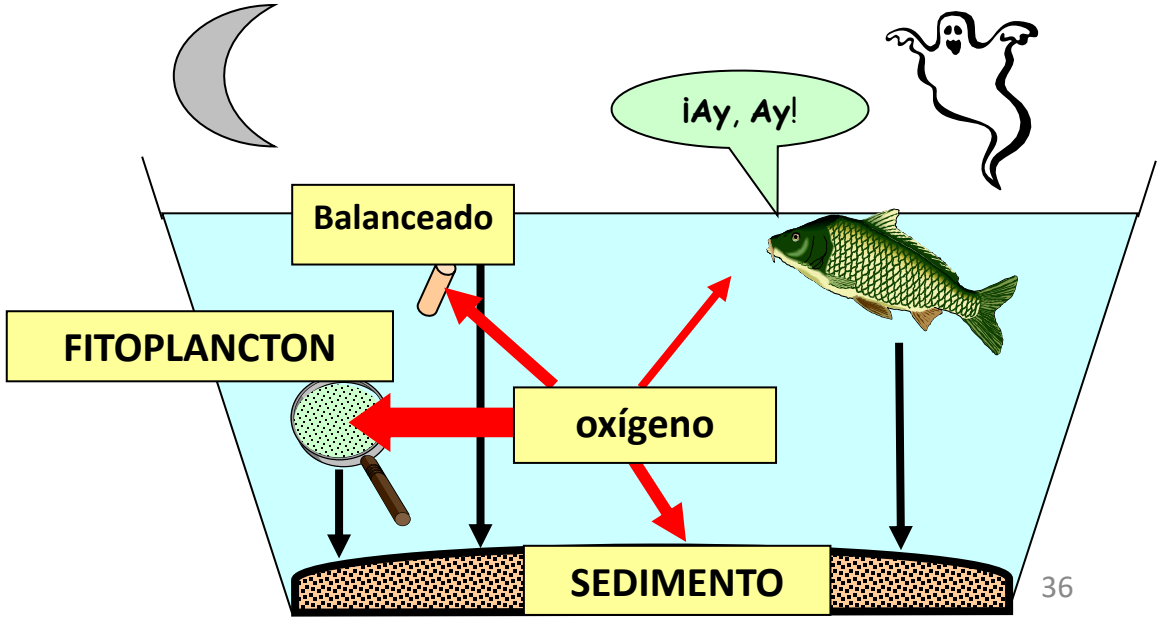
Poca azúcar = subsaturado

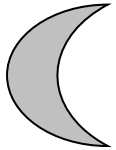
Suficiente azúcar = saturado

Demasiada azúcar = supersaturado

2. Comportamiento del oxígeno en los estanques





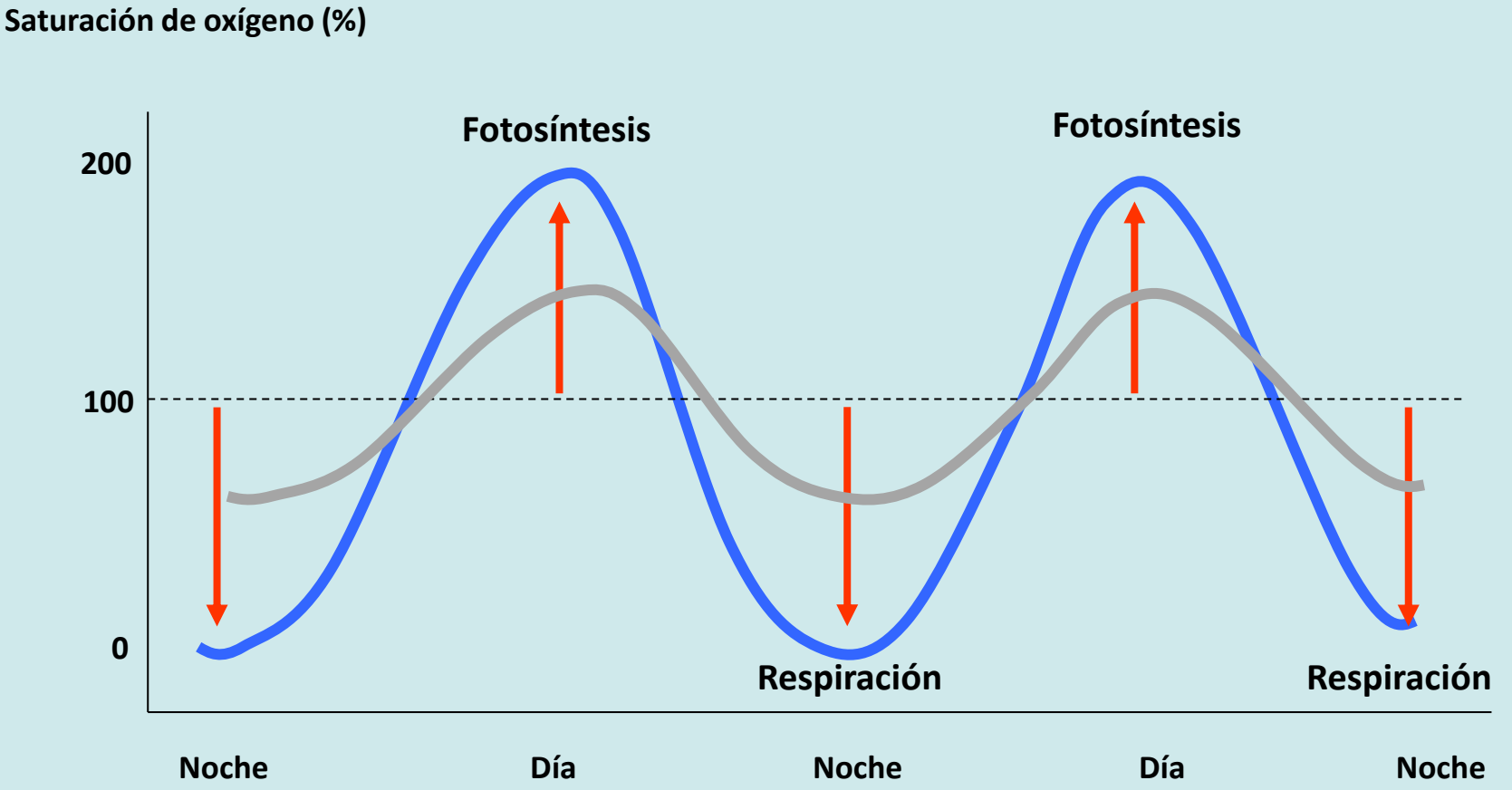


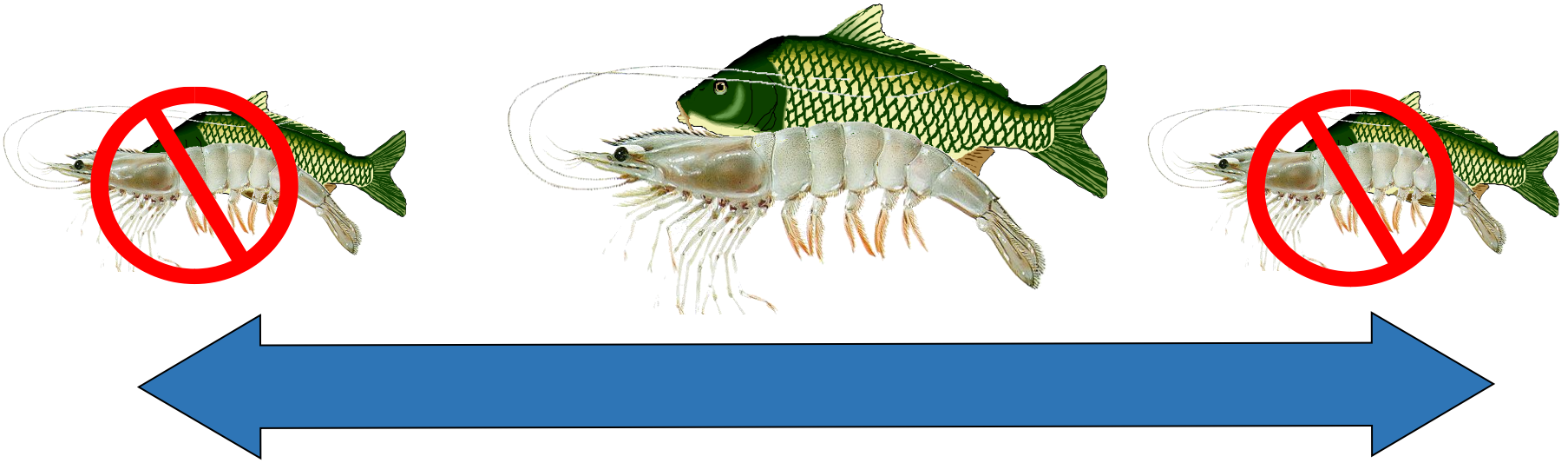
Producen O_2 = fitoplancton
Consumen O_2 = peces, camarones, zooplancton, zoobentos, balanceado no consumido, heces, organismos en descomposición.

Producen O_2 = nadie
Consumen O_2 = fitoplancton, peces, camarones, zooplancton, zoobentos, balanceado no consumido, heces, organismos en descomposición.

BERAQUA

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





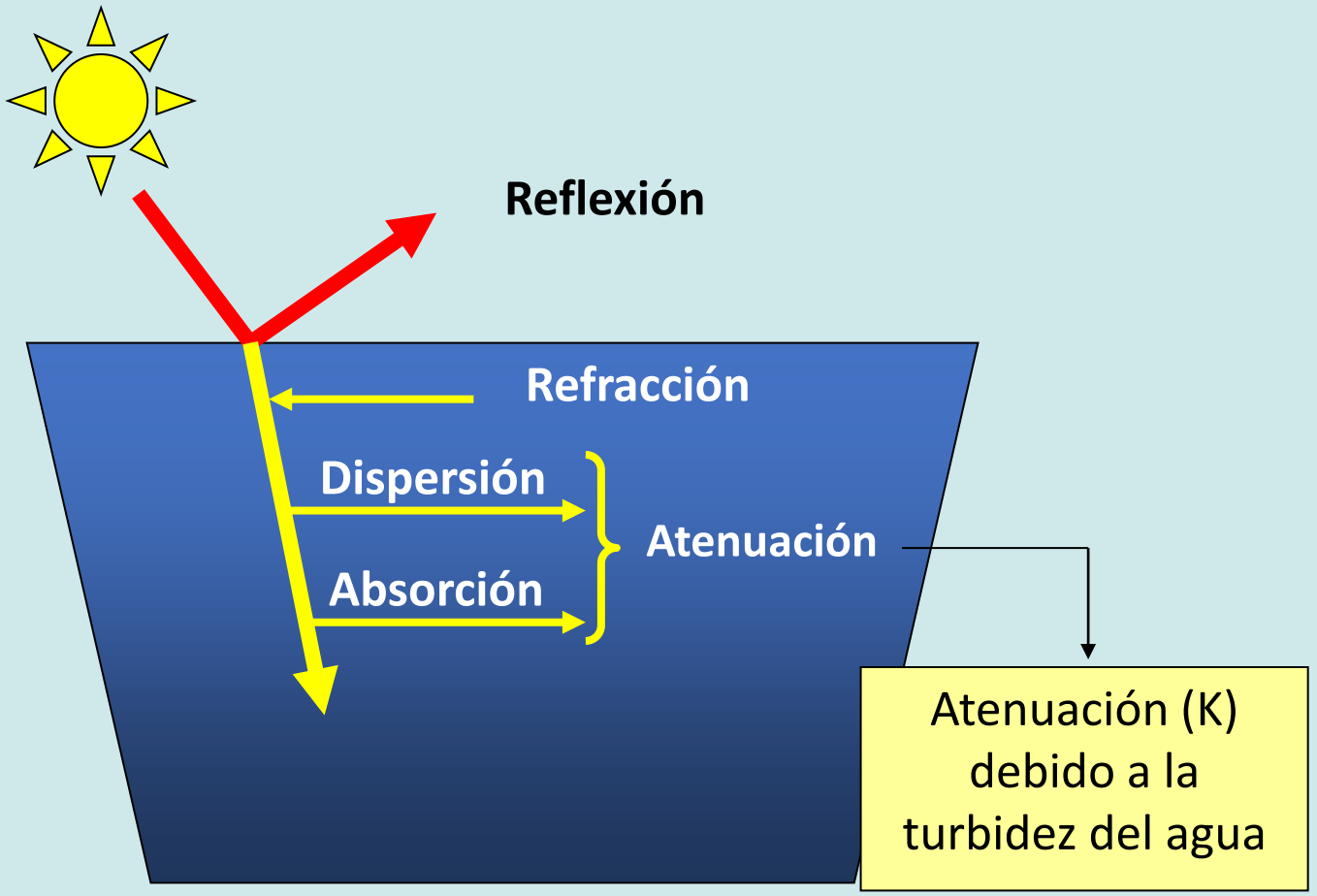
Poco oxígeno (subsaturado)

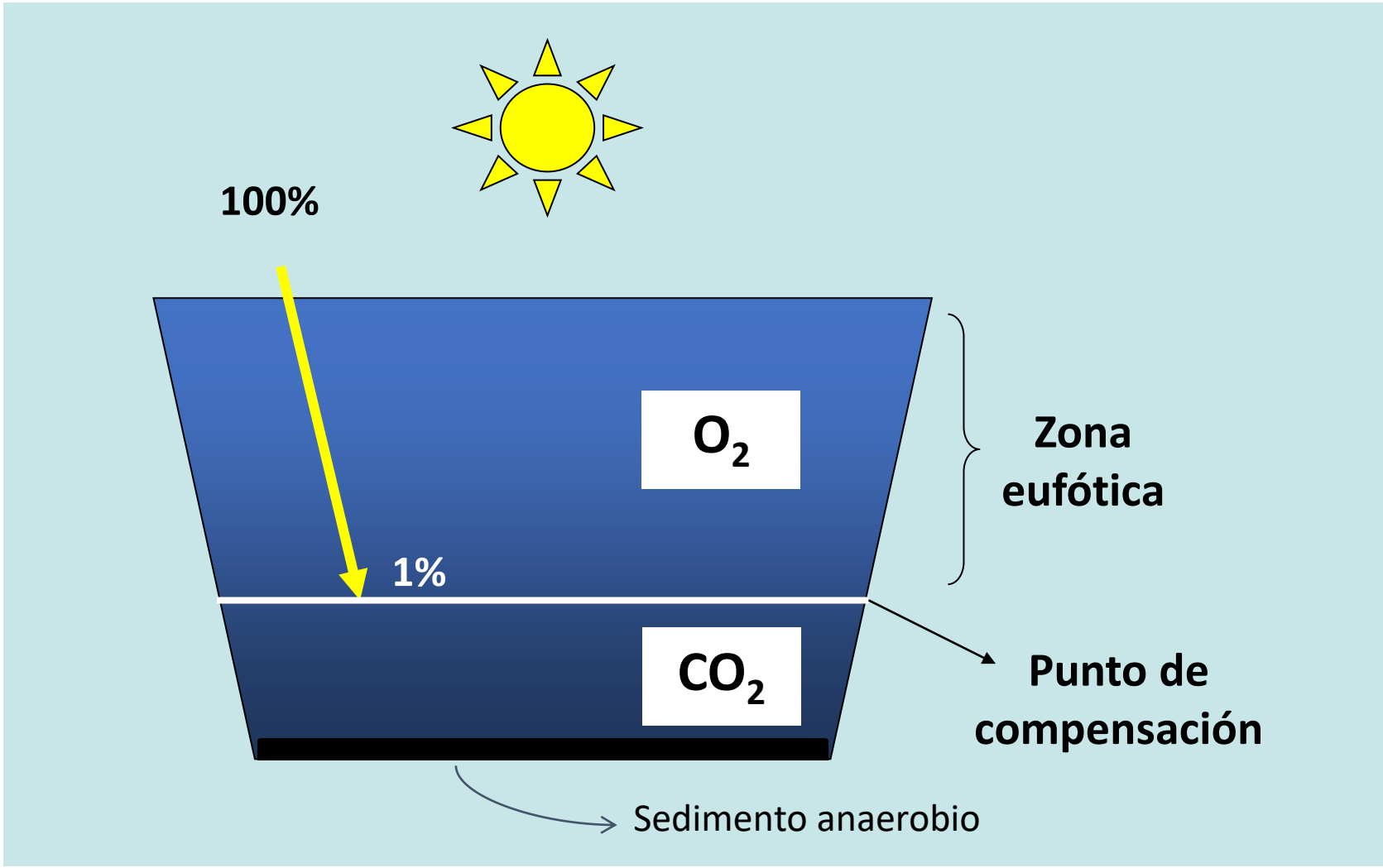
Ni mucho ni poco oxígeno (equilibrio de saturación)

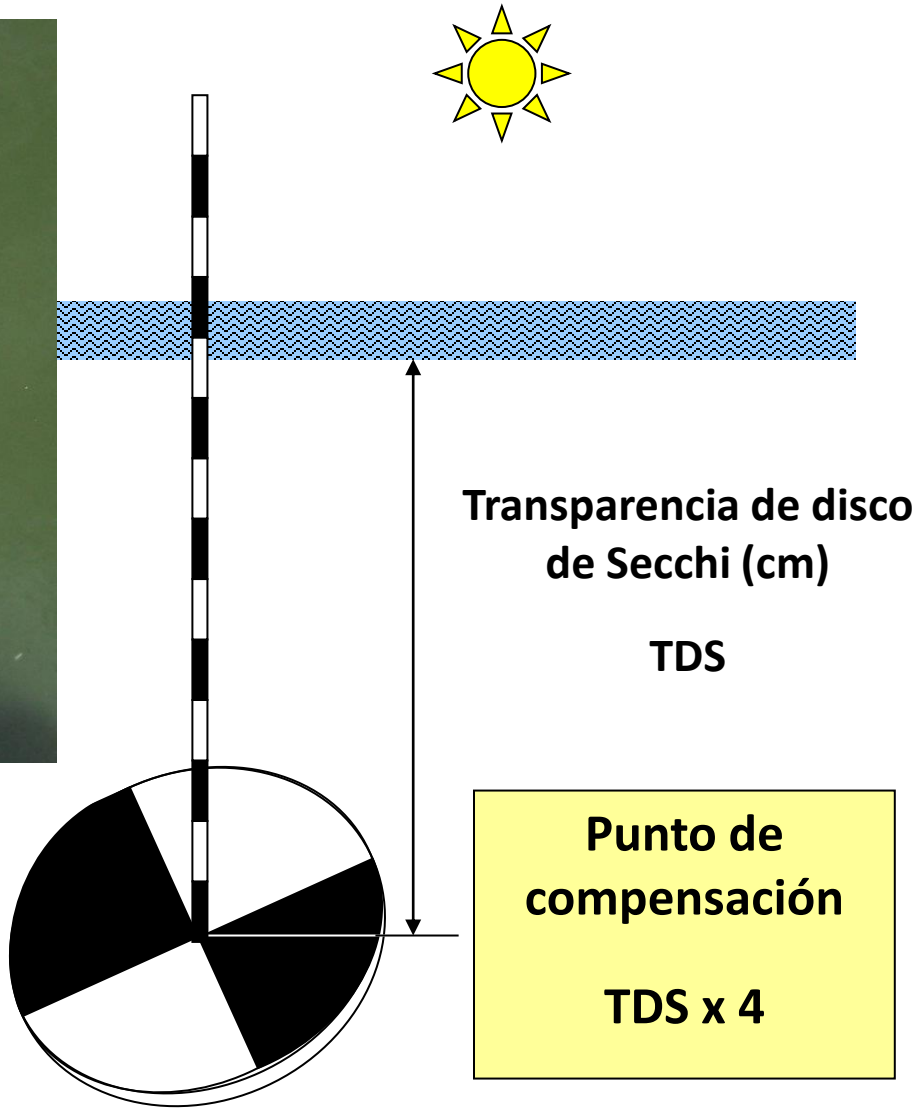
Mucho oxígeno (supersaturado)

luis.vinatea@ufsc.br

La concentración de oxígeno en el agua tiene relación directa con la luz



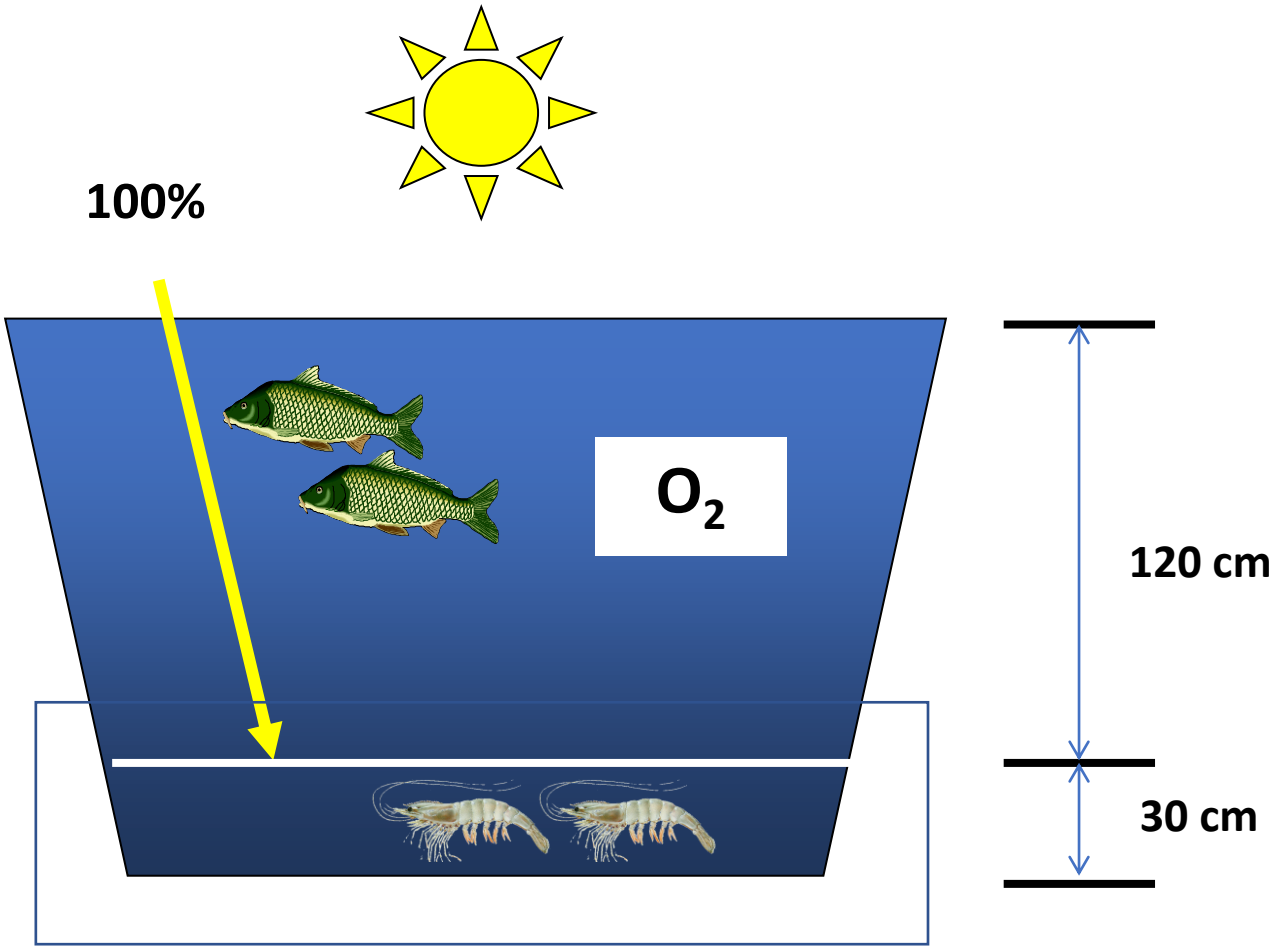

100%
O_2
Zona eufótica
1%
CO_2
Punto de compensación
Sedimento anaerobio


Transparencia de disco de Secchi (cm)
TDS
Punto de compensación
TDS x 4

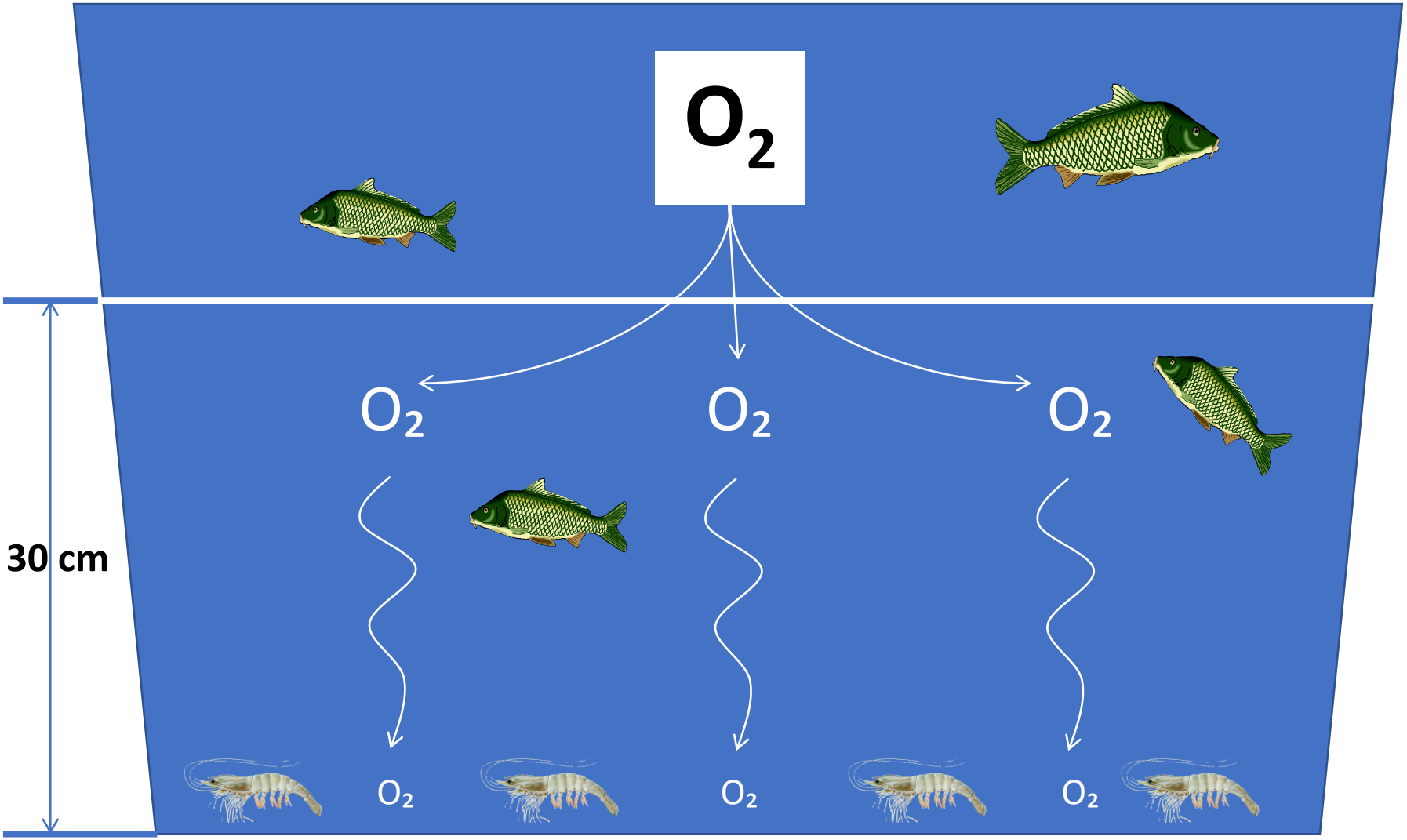
h = 1,5 m; Secchi = 30 cm

TDS x 4 = 30 cm x 4 = 120 cm

120 cm con luz y 30 cm sin luz



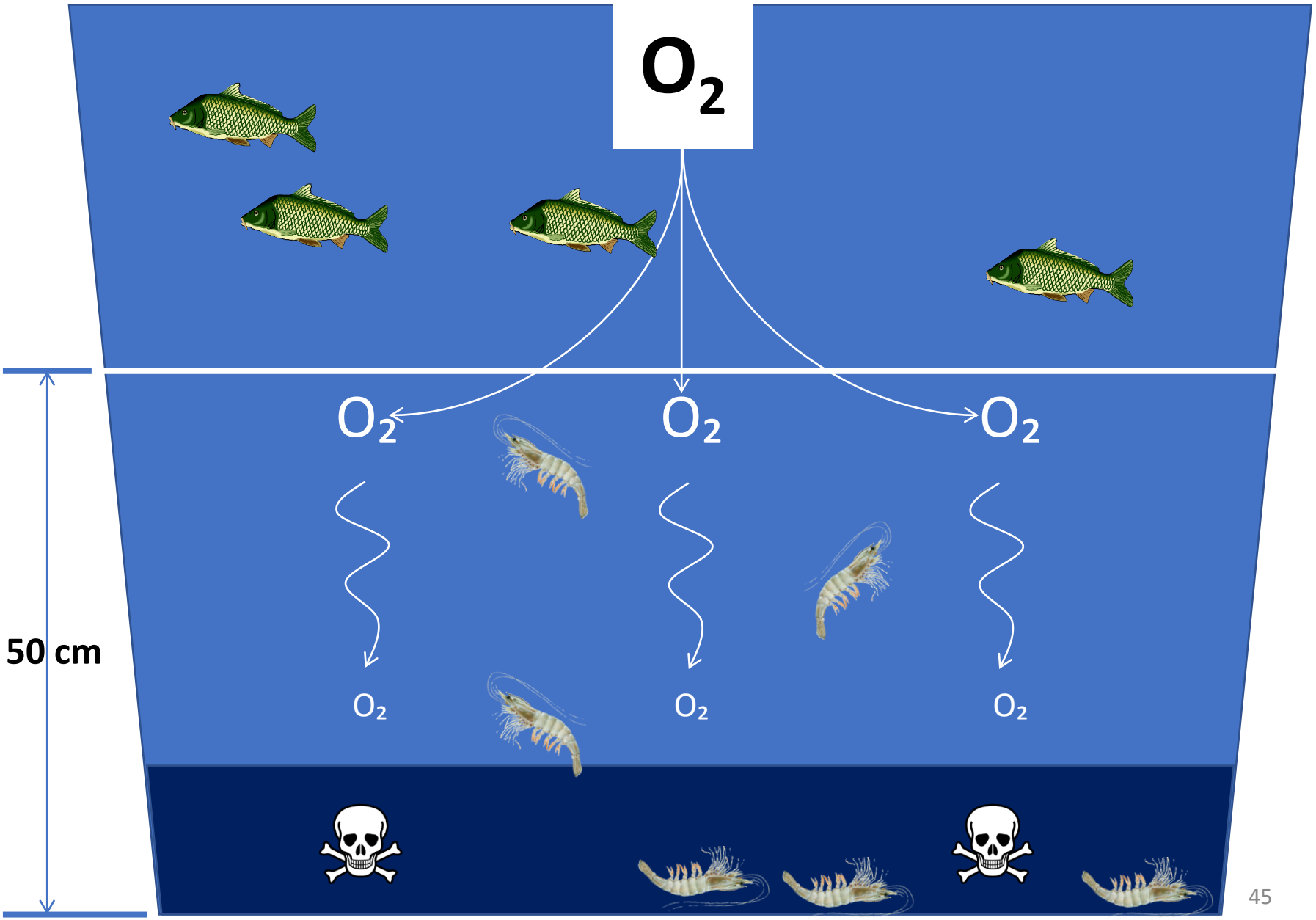
30 cm sin luz



h = 1,5 m; Secchi = 25 cm

TDS x 4 = 25 cm x 4 = 100 cm

100 cm con luz y 50 cm sin luz



Niveles de seguridad

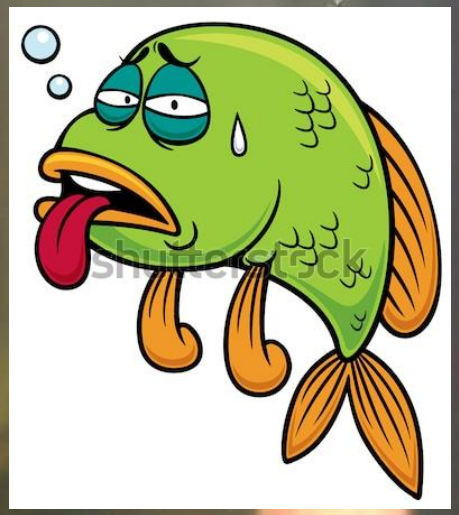
$O_2 < 200\%$

$N_2 < 108\%$

Pro 20 i
12.35 mg/
175.6 %L
26.1 °C
756.5 mmHg
24.0 ppt
SAVE
DATE
Cal
Menu
ENTER

Pro20
20.22
310.0
29.6 °C
Cal
Menu
ENTER
YSI

shutterstock



Ambiente eutrofizado = supersaturación de día y subsaturación de noche

CIANOBACTERIAS

luis.vinatea@ufsc.br

Agua oxigenada

PEROXIDO DE
HIDROGENO
AGUA
POZO
SEPTICO

07:00 h
S: 35 ‰
T: 28 °C
O_2 m: 0,3 mg/L
O_2 t: 6,4 mg/L

Oxígeno medido

$$\% = \frac{0,3}{6,4} \times 100 = 4,7\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me falta **95,3** % de oxígeno

17:00 h
S: 35 ‰
T: 30 °C
O_2 m: 16,8 mg/L
O_2 t: 6,2 mg/L

Oxígeno medido

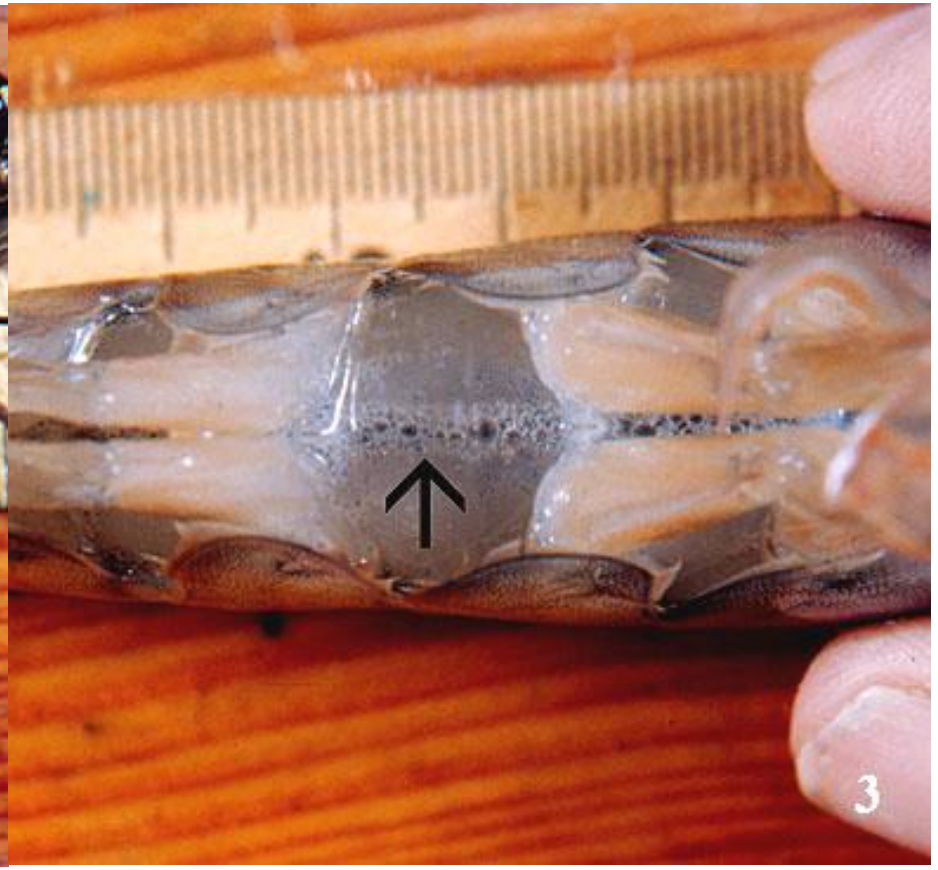
$$\% = \frac{16,8}{6,2} \times 100 = 270,9\ \%$$

Oxígeno tabulado

Me sobra **170,9** % de oxígeno

luis.vinatea@ufsc.br

Enfermedad de las burbujas



FUENTE: Lightner (2000)

PTG = PB + ΔP + PH (Dalton y Henry)

$\Delta P = PTG - PB - PH$

$= (PN_2 + PO_2 + PCO_2 + PH_2O) - PB - PH$

Si $\Delta P = 0 \rightarrow$ Saturación

$\Delta P < 0 \rightarrow$ Subsaturación

$\Delta P > 0 \rightarrow$ Supersaturación

ΔP de 50-200 mm Hg resulta en:

Enfermedad de las burbujas
Hiperinsuflación da vejiga natatoria
Exoftalmia
Deformación craniana
Edema branquial
Ruptura de la membrana vitelina

Enfermedad de las burbujas

Edema branquial

ΔP de 50-200 mm Hg = enfermedad de las burbujas

Nivel del Mar

ΔP = PTG – PB – PH
ΔP = 760 – 760 – 73,4

ΔP = -73,4

Cargo Aéreo

ΔP = PTG – PB – PH
ΔP = 760 – 600 – 73,4

ΔP = 86,6

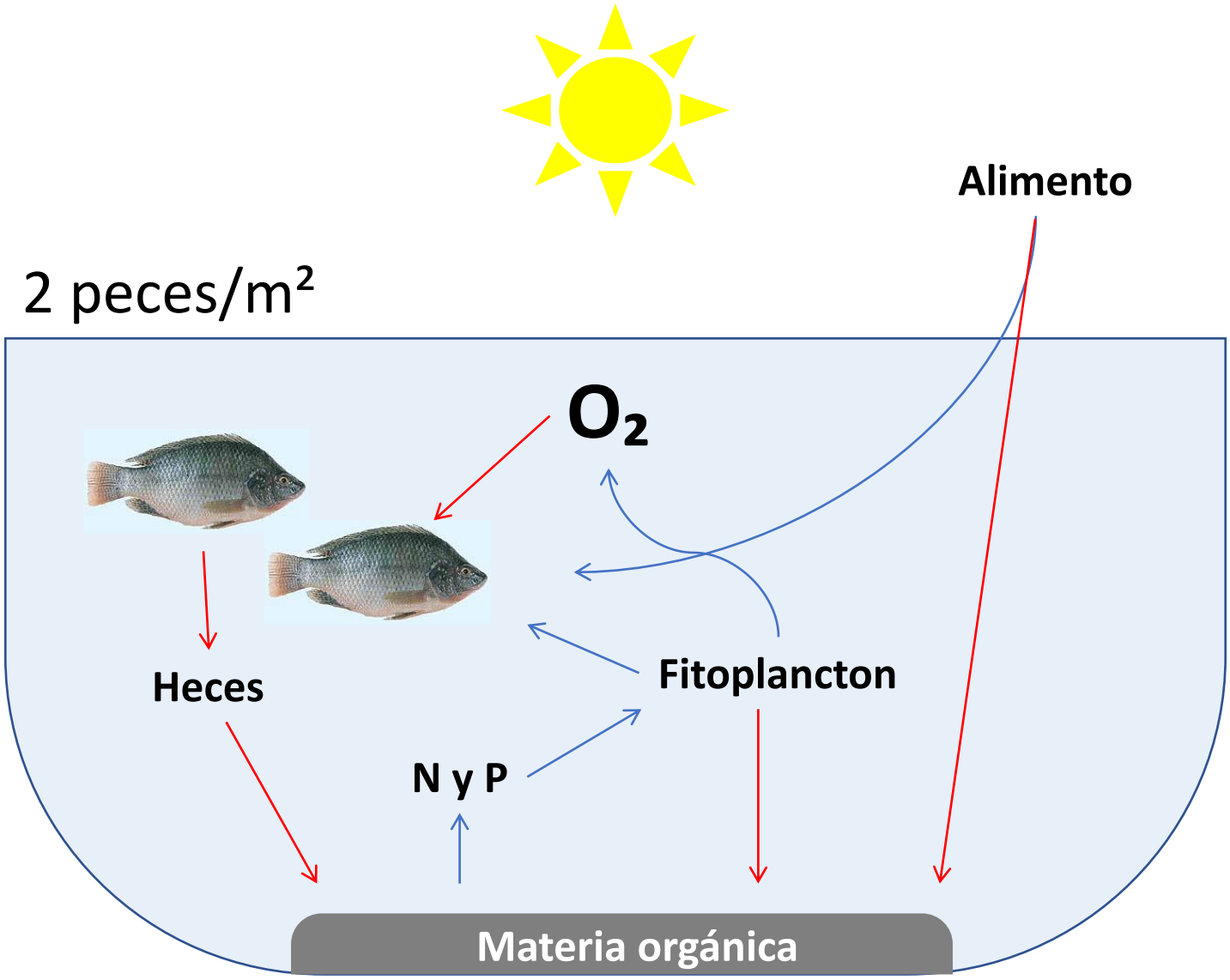
Ejercicio

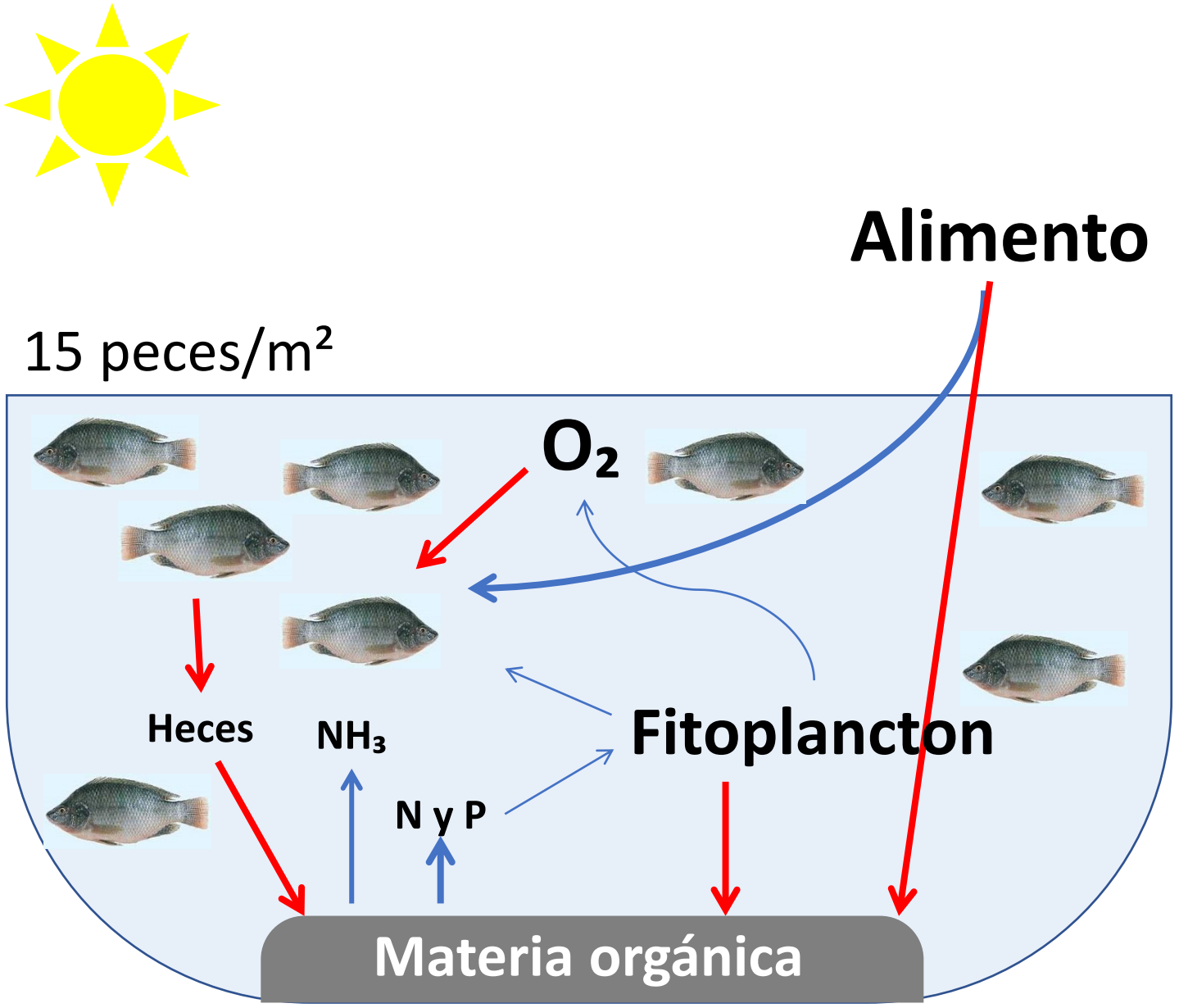
Las post-larvas, que están viajando en el cargo aéreo a una PTG de 760 mm Hg, sufren una descompresión abrupta cuando uno de las bolsas se abre, haciendo que los animales sean expuestos a una PB de 575 mm Hg. Calcular el ΔP resultante de esta descompresión.

ΔP = 111,6 mm Hg

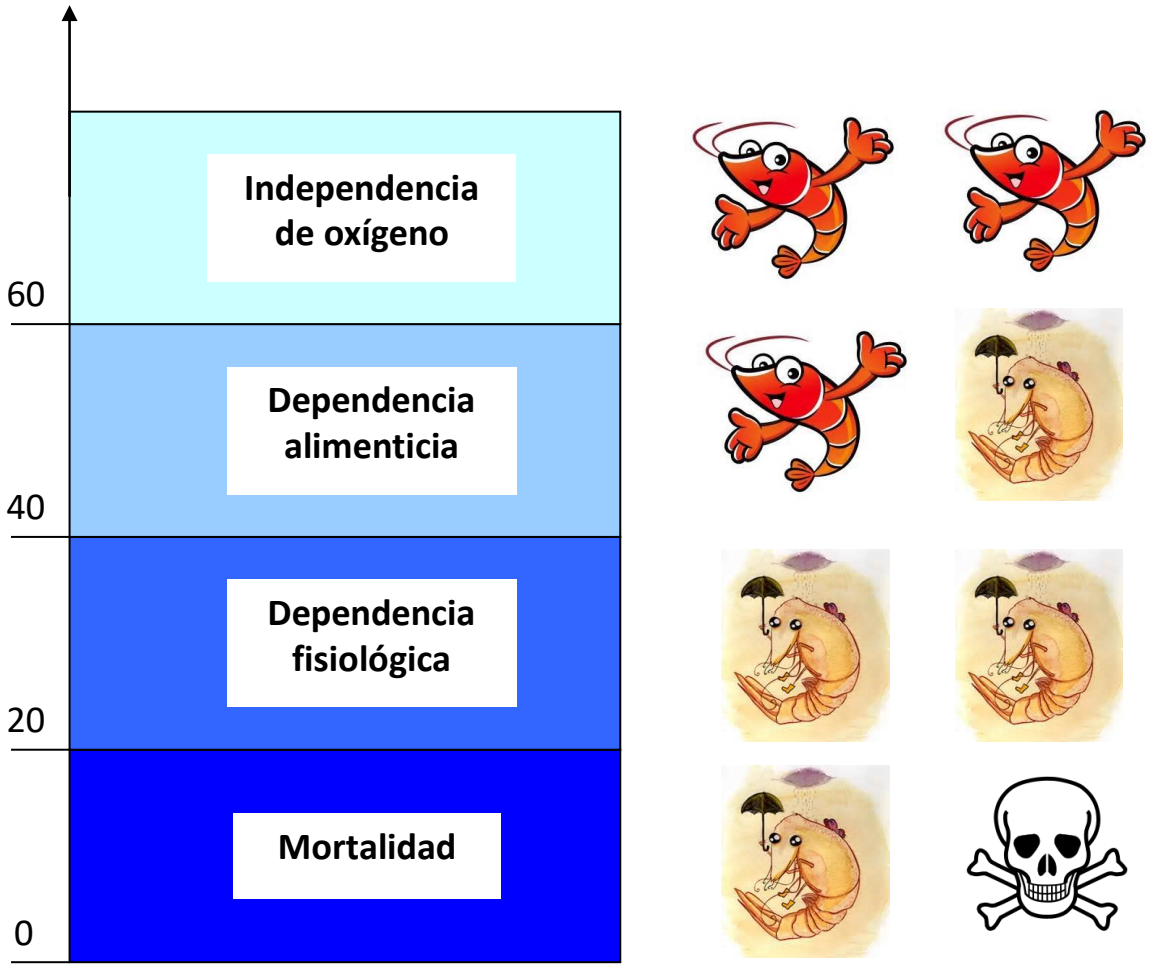
Fonte
Caxias I
SCHIN
ÁGUA MINERAL NATURAL
com gás
GASEIFICADA
ARTIFICIALMENTE
INDÚSTRIA
BRASILEIRA
CONTEÚD
500 r

4. Subsaturación




Alimento
15 peces/m²
O₂
Heces
NH₃
N y P
Fitoplancton
Materia orgánica

Saturación de oxígeno (%)



Dependencia alimenticia

Crecen menos

Aumentan el FCA

Dependencia fisiológica

Dejan de comer

Se enferman

luis.vinatea@ufsc.br

Dependencia alimenticia

U. Focken et al. / Aquaculture 164 (1998)105–116

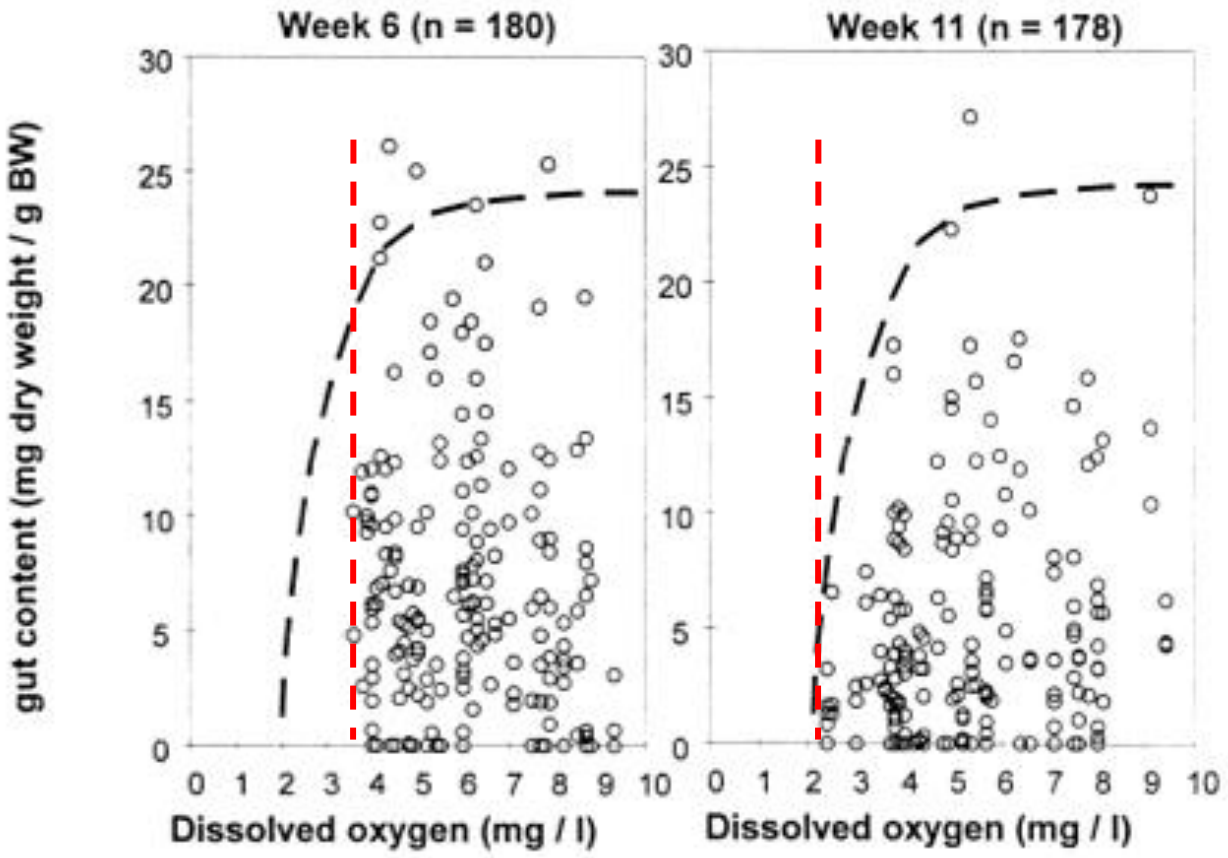


Fig. 4. Gut contents of *P. monodon* and dissolved oxygen on week 6 and 11.

ELSEVIER

Aquaculture 199 (2001) 311–321

Aquaculture

www.elsevier.nl/locate/aqua-online

Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds

William McGraw, David R. Teichert-Coddington*, David B. Rouse, Claude E. Boyd

Department of Fisheries and Allied Aquacultures, 203 Swingle Hall, Auburn University, Auburn, AL 36849 5419, USA

Received 30 August 2000; accepted 12 January 2001

Abstract

Nine 0.11-ha earthen ponds were stocked on 15 May 1997 with *Litopenaeus vannamei* and *L. stylirostris* postlarvae in similar proportions at a total density of 33 animals/m^2. Ponds were equipped with automated temperature and dissolved oxygen (DO) concentration data acquisition devices that sampled ponds every 30 min. Aspirator-pump aerators (0.75 kW) were automatically activated when DO fell to 65% (4.6 mg/l at 29°C and 15 ppt salinity), 40% (2.8 mg/l at 29°C and 15 ppt), or 15% (1.1 mg/l at 29°C and 15 ppt) of saturation. Mean shrimp yield, survival of both species, and profitability increased linearly as minimum DO concentration increased from 15% to 65% of saturation ($P < 0.05$). Higher yields were positively correlated with higher survivals. Final mean shrimp weights were not significantly affected by minimum DO concentrations ($P > 0.05$). © 2001 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

Concentraciones mínimas permitidas de oxígeno disuelto para *L. vannamei* y *L. stylirostris*

Table 1
Mean production (s.e.) of marine shrimp stocked in ponds aerated to maintain minimum dissolved oxygen concentrations

Treatment	Total yield (kg/ha)	Overall survival (%)	*L. vannamei*		*L. stylirostris*		FCR	Electricit (kW h/h
			Survival (%)	Mean weight (g)	Survival (%)	Mean weight (g)		
15% Saturation	2976 (10.2)	42 (2.0)	57 (2.7)	22 (0.9)	24 (1.0)	17 (0.9)	2.64 (0.06)	3527 (51
40% Saturation	3631 (44.7)	55 (4.4)	73 (3.7)	21 (1.2)	32 (5.2)	17 (0.3)	2.21 (0.22)	5093 (63
65% Saturation	3975 (24.2)	61 (1.9)	71 (4.4)	21 (0.6)	47 (1.8)	17 (0.7)	1.96 (0.11)	9014 (59
Orthogonal linear contrast	s	hs	s	ns	hs	ns	s	hs

Equal proportions of *L. vannamei* and *L. stylirostris* were stocked into ponds to give a total stocking rate of 33 PLs/m^2.
s = significant ($P < 0.05$); hs = highly significant ($P < 0.01$); ns = not significant ($P > 0.05$).
[a]Net income = total income − cost of feed and electricity.

Aquaculture 199: 311–321 (2001)

Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds

William McGraw, David R. Teichert-Coddington), David B. Rouse, Claude E. Boyd

40%	65%
3,631 kg/ha	3,975 kg/ha

344 kg/ha

Camaronera de 100 ha

344 kg x 100 ha = 34,400 kg/100 ha/ciclo

34,400 kg/100ha/ciclo x 2 = 68,800 kg/camaronera/año

68,800 kg x US$ 4.5/kg = 309,600 dólares/año

309,600 dólares/año vs. 200,000 dólares

Inversión en Aireación

40%	65%
3.631 kg/ha	3.975 kg/ha
FCA: 1,9	FCA: 1,4
Alimento 6.898 kg	Alimento 5.565 kg
US$ 1,2/kg US$ 8.277	US$ 1,2/kg US$ 6.678

→ US$ -1.600/ha

Ahorro en una camaronera de 100 ha

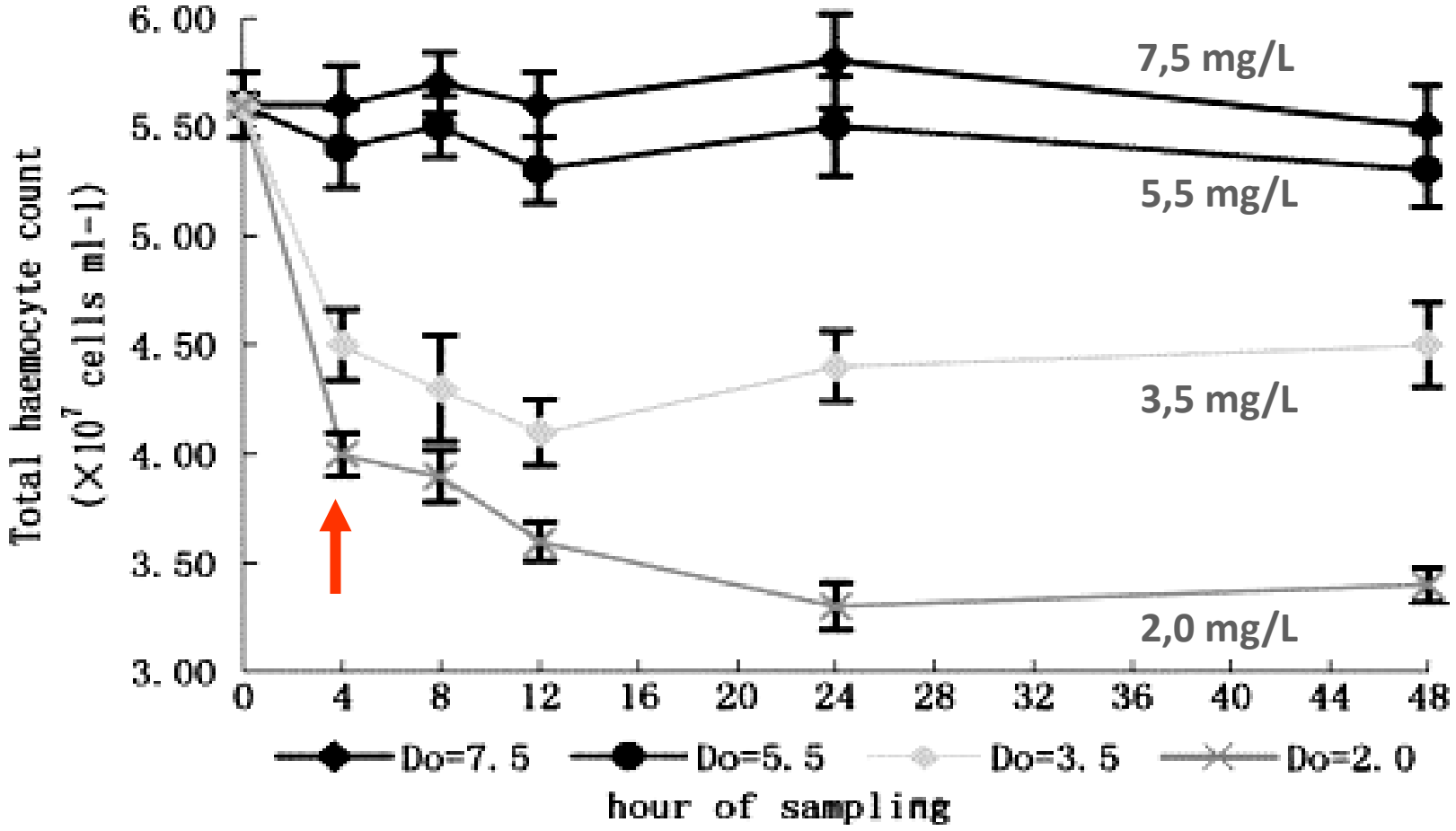
US$ 1.600 x 100 ha = US$ 160.000/camaronera/ciclo

US$ 160.000 x 2 ciclos/año = US$ 320.000/camaronera/año

+ 25% saturación de O_2 = 309.600 + 320.000 = US$ 629.600/año

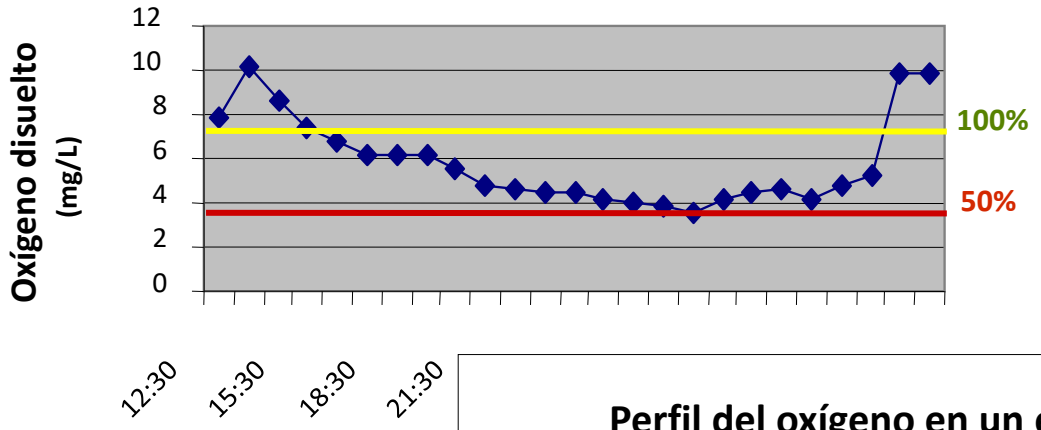
Dependencia Fisiológica

Oxígeno disuelto y sistema inmune de *Litopenaeus vannamei*

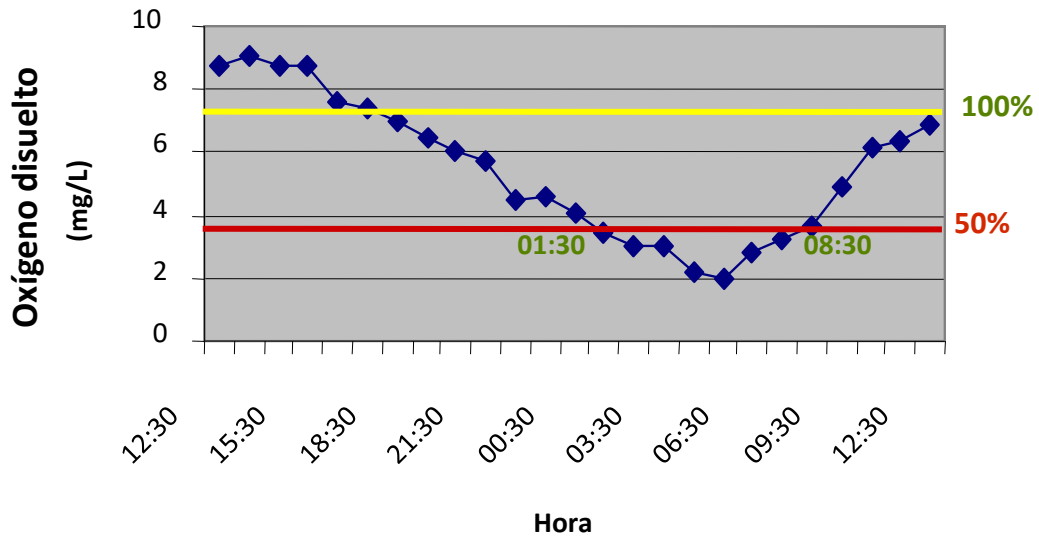


Effect of dissolved oxygen on immune parameters of the white shrimp *Litopenaeus vannamei.* Ling-xu Jiang et al. (2005). Fish and Shellfish Immunology, 18 (2): 185-188

Perfil de oxígeno en un estanque con aireación completa

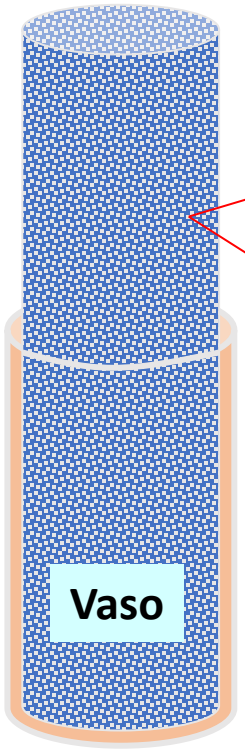


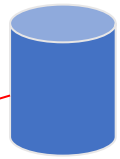
Perfil del oxígeno en un estanque sin aireación



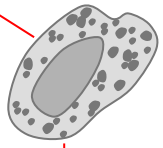
Camarón: sistema inmune natural o innato

Hemolinfa





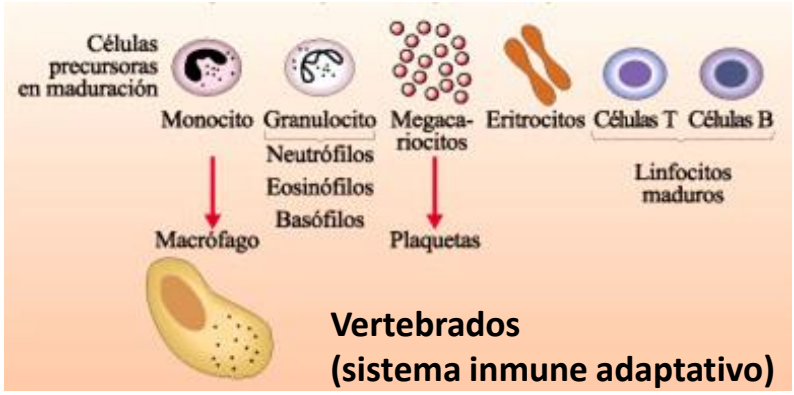
Plasma (reacción humoral)



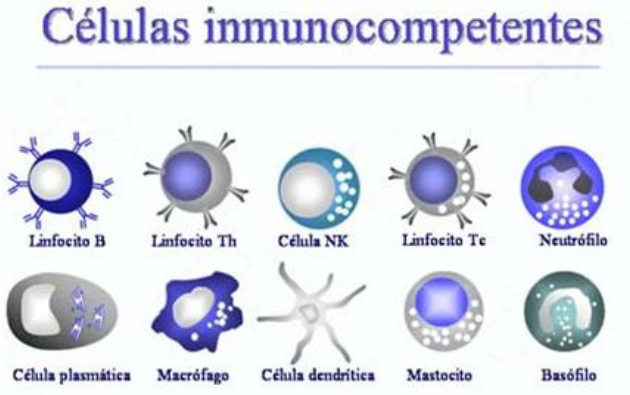
Hemocito (reacción celular)

- Hemocitos Hialinos (HH)
- Hemocitos de Gránulos Pequeños (HGP)
- Hemocitos de Gránulos Grandes (HGG)

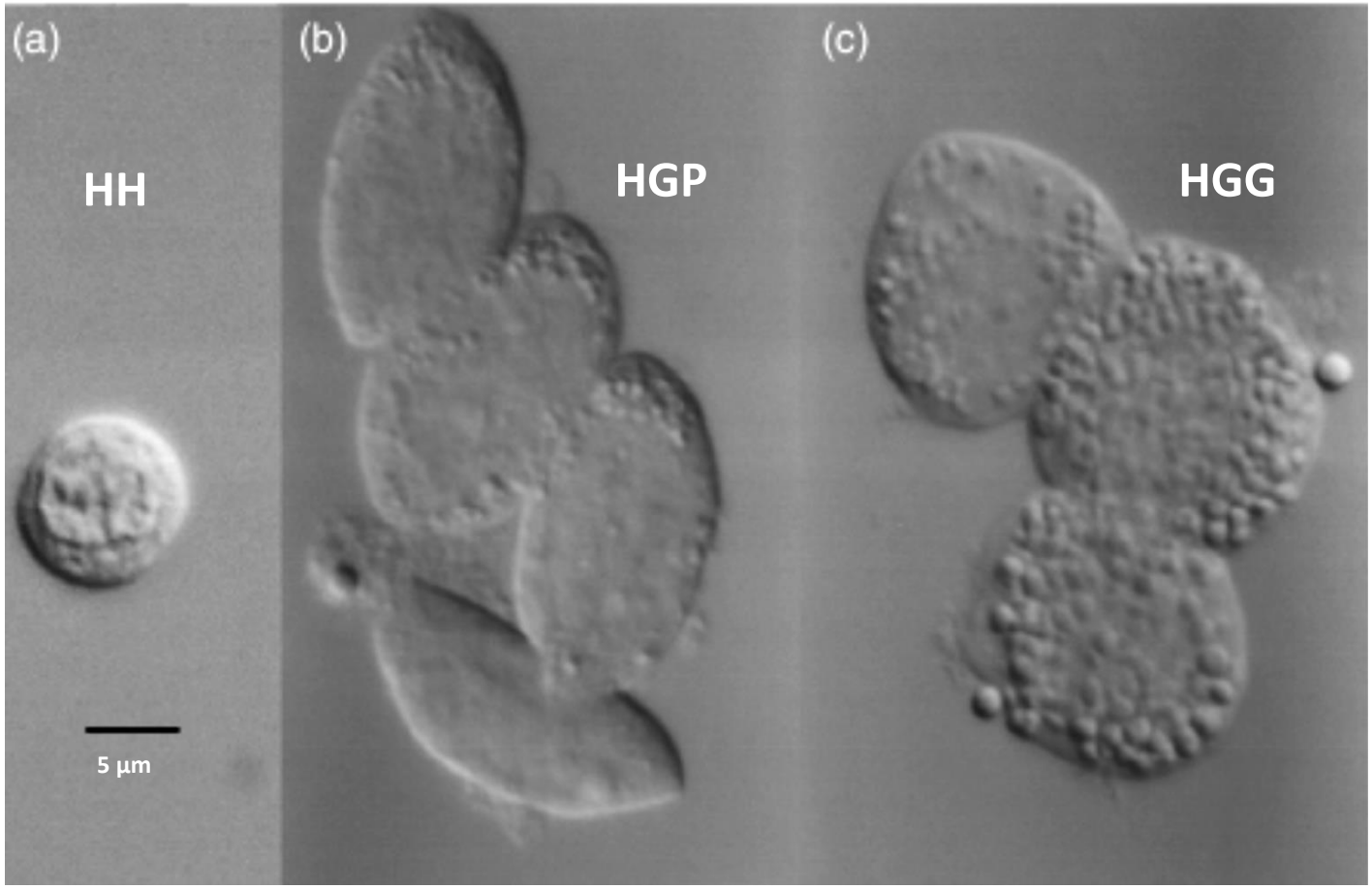
Especies reactivas de O_2 (ERO)
Péptidos antimicrobianos (PAM, G^+)
Aglutininas (lectinas)
Factores de coagulación
Moléculas del sistema ProPO



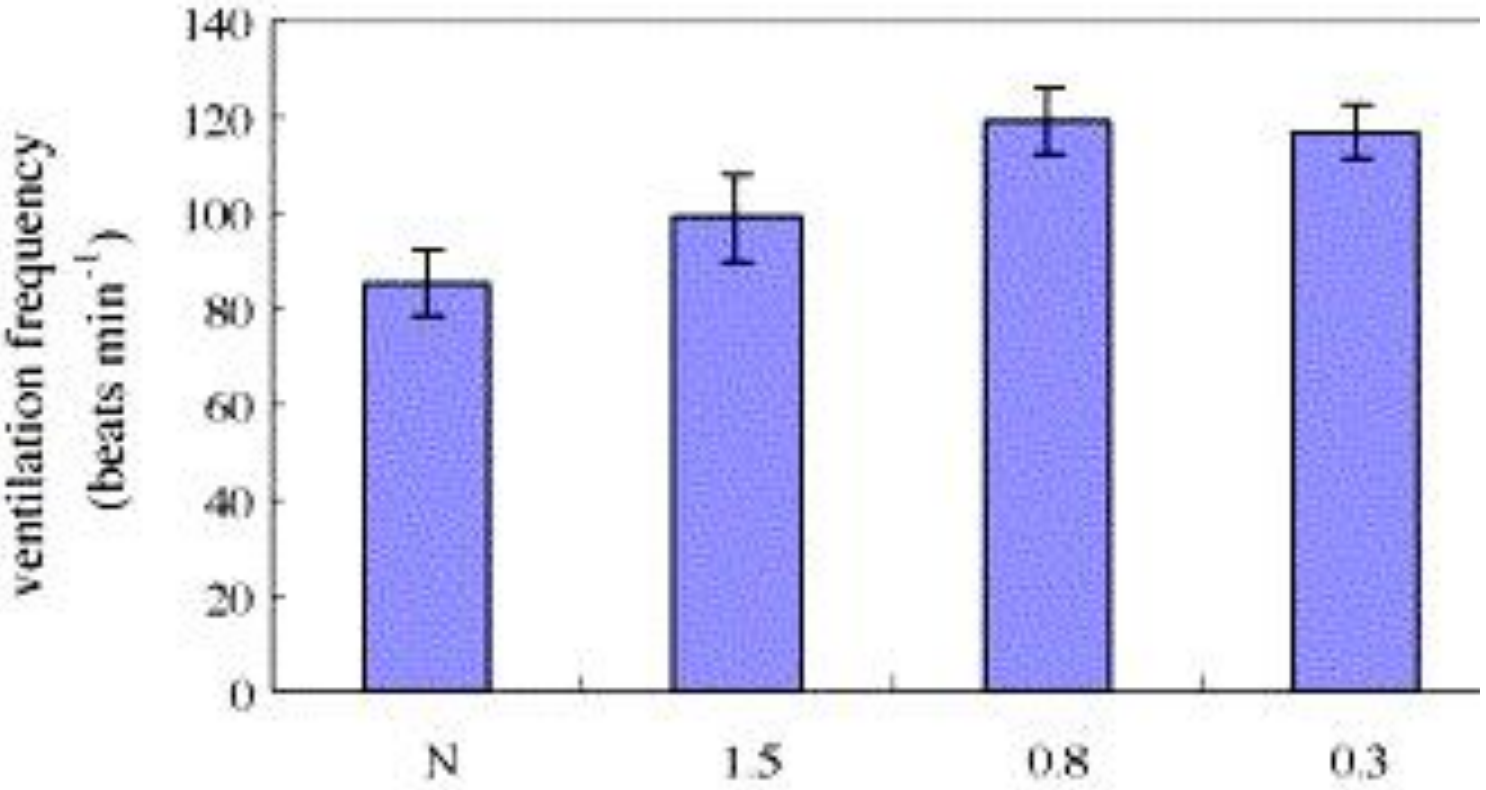
Vertebrados (sistema inmune adaptativo)



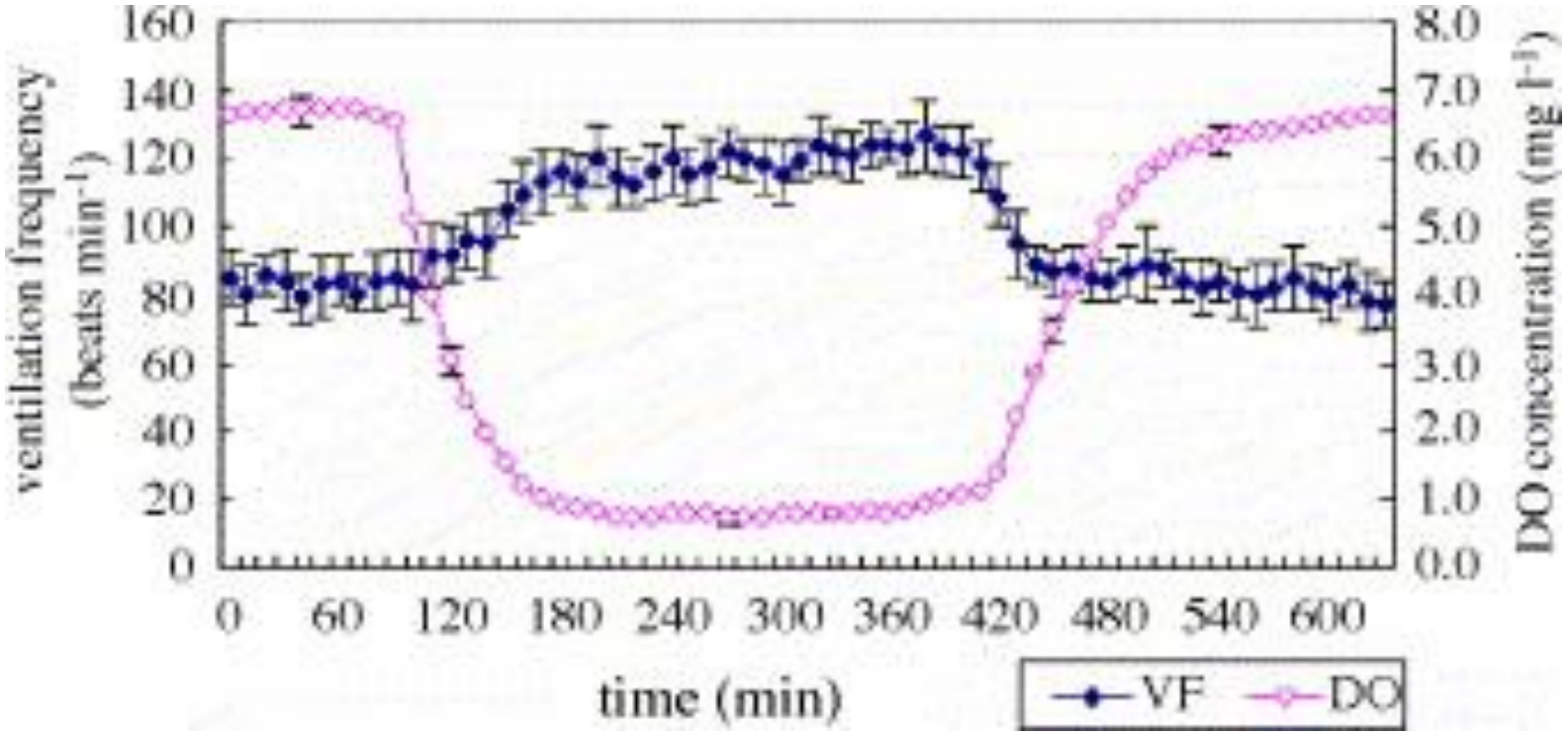
Vargas-Albores et al. (2006) / Aquaculture Research, 36: 352-360



Frecuencia de ventilación (media ± DS) de tilapia durante normoxia (N) y tres niveles de hipoxia: 1,5, 0,8 y 0,3 mg/L.



Xu et al. (2006). Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer visión. *Aquacultural Engineering,* 35 (3): 207-217.


ventilation frequency (beats min-1)
DO concentration (mg l-1)
time (min)
VF
DO
0
20
40
60
80
100
120
140
160
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
0
60
120
180
240
300
360
420
480
540
600

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Aquaculture 275 (2008) 152–162
Aquaculture
www.elsevier.com/locate/aqua-online

Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*

An Tran-Duy [a,*], Johan W. Schrama [a], Anne A. van Dam [b], Johan A.J. Verreth [a]

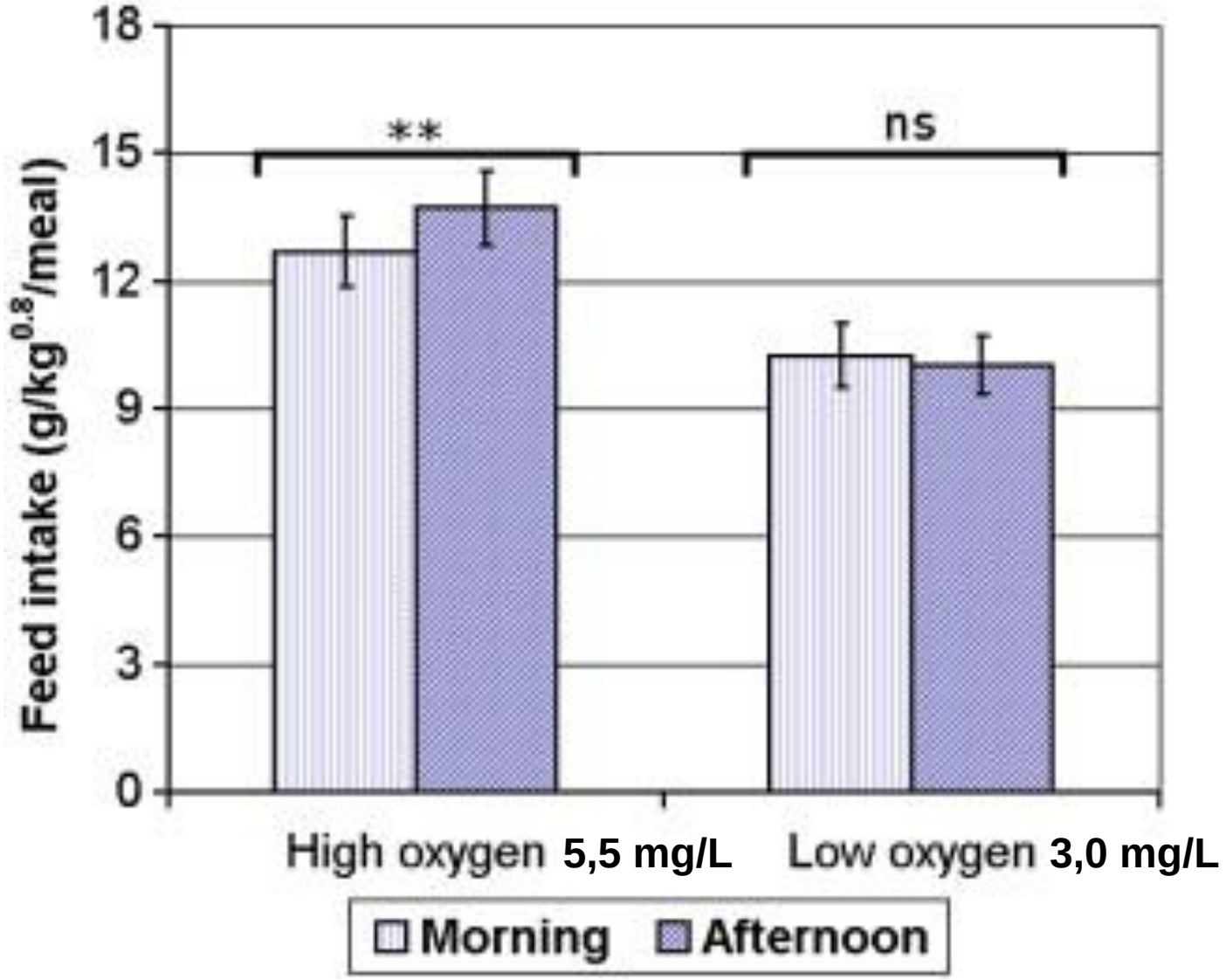
[a] *Wageningen University, Department of Animal Sciences, Aquaculture and Fisheries Group, P.O. Box 338, 6700 AH Wageningen, The Netherlands*
[b] *UNESCO-IHE Institute for Water Education, Department of Environmental Resources, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, The Netherlands*

Received 2 July 2007; received in revised form 19 December 2007; accepted 26 December 2007

Abstract

Feed intake and satiation in fish are regulated by a number of factors, of which dissolved oxygen concentration (DO) is important. Since fish take up oxygen through the limited gill surface area, all processes that need energy, including food processing, depend on their maximum oxygen uptake capacity. Maximum oxygen uptake capacity relative to body weight in bigger fish is smaller than in smaller fish because the gill surface area is allometrically related to body weight. In this study, effects of DO concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) were investigated. Two weight classes of fish (21 g and 147 g) were used. For each class, six tanks were employed of which half were exposed to one of two DO levels (about 3.0 mg/L and 5.6 mg/L). Fish were fed to apparent satiation twice per day with a commercial diet. The results showed that (1) feed intake and growth of the fish at high DO level were significantly higher than at low DO level ($P<0.01$), (2) relative feed intake and growth of small fish were significantly higher than of big fish ($P<0.001$), and (3) fish at low DO level made no hematological adjustments ($P\geq 0.5$). Data suggest that (1) the limitation of the gill surface area results in lower feed intake and growth of fish at low DO concentration than at high DO concentration and (2) the allometric relationship between the gill surface area and body weight results in lower relative feed intake, which in turn results in lower relative growth in big fish than in small fish.
© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Feed intake; Dissolved oxygen; Body size; Hematology; Tilapia; *Oreochromis niloticus*


18
15
12
9
6
3
0
**
ns
Feed intake (g/kg0.8/meal)
High oxygen 5,5 mg/L
Low oxygen 3,0 mg/L
Morning
Afternoon

Comp. Biochem. Physiol. Vol. 117A, No. 3, pp. 391–398, 1997
Copyright © 1997 Elsevier Science Inc.

ISSN 0300-9629/97/$17.00
PII S0300-9629(96)00261-7

Physiological and Respiratory Responses of the Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to Salinity Acclimation

John D. Morgan,[1] Tatsuya Sakamoto,[,1] E. Gordon Grau,[1] and George K. Iwama*

Department of Animal Science and Canadian Bacterial Diseases Network, University of British Columbia, Vancouver, B.C. V6T 1Z4, Canada, and [1]Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, U.S.A.

ABSTRACT. We have examined several physiological variables related to salinity acclimation in the euryhaline tilapia, *Oreochromis mossambicus*. Tilapia reared in fresh water (FW) were transferred to FW, isosmotic salinity (ISO, 12‰) and 75% seawater (SW, 25‰). Oxygen consumption, plasma levels of cortisol, growth hormone (GH), prolactins ($tPRL_{177}$ and $tPRL_{188}$), glucose, ions (Na^+, K^+, Cl^-), and gill Na^+,K^+-ATPase activities were measured for up to 4 days in each salinity treatment. Plasma Na^+ and Cl^- concentrations were elevated 1 day after transfer to SW, but returned to FW values on day 4. Plasma cortisol and glucose levels were higher in FW and ISO than in SW 1 day after transfer. Plasma GH levels of tilapia in SW increased above FW and ISO values after 4 days, whereas plasma PRL levels decreased in ISO and SW compared to FW at 4 days. These results are consistent with the possible osmoregulation roles of GH and PRL in SW and FW, respectively. Gill Na^+,K^+-ATPase activity of tilapia in SW increased more than 2-fold over the FW value after 4 days, but activity of this enzyme did not change in ISO. Oxygen consumption rates of tilapia in SW were significantly elevated 4 days after transfer compared to FW and ISO. The results of this study indicate that the physiological changes associated with SW acclimation in tilapia represents a significant short-term energetic cost, and may account for as much as 20% of total body metabolism after 4 days in SW. COMP BIOCHEM PHYSIOL 117A;3:391–398, 1997. © 1997 Elsevier Science Inc.

KEY WORDS. Cortisol, gill Na^+,K^+-ATPase, growth hormone, osmoregulation, oxygen consumption, prolactin, salinity, tilapia

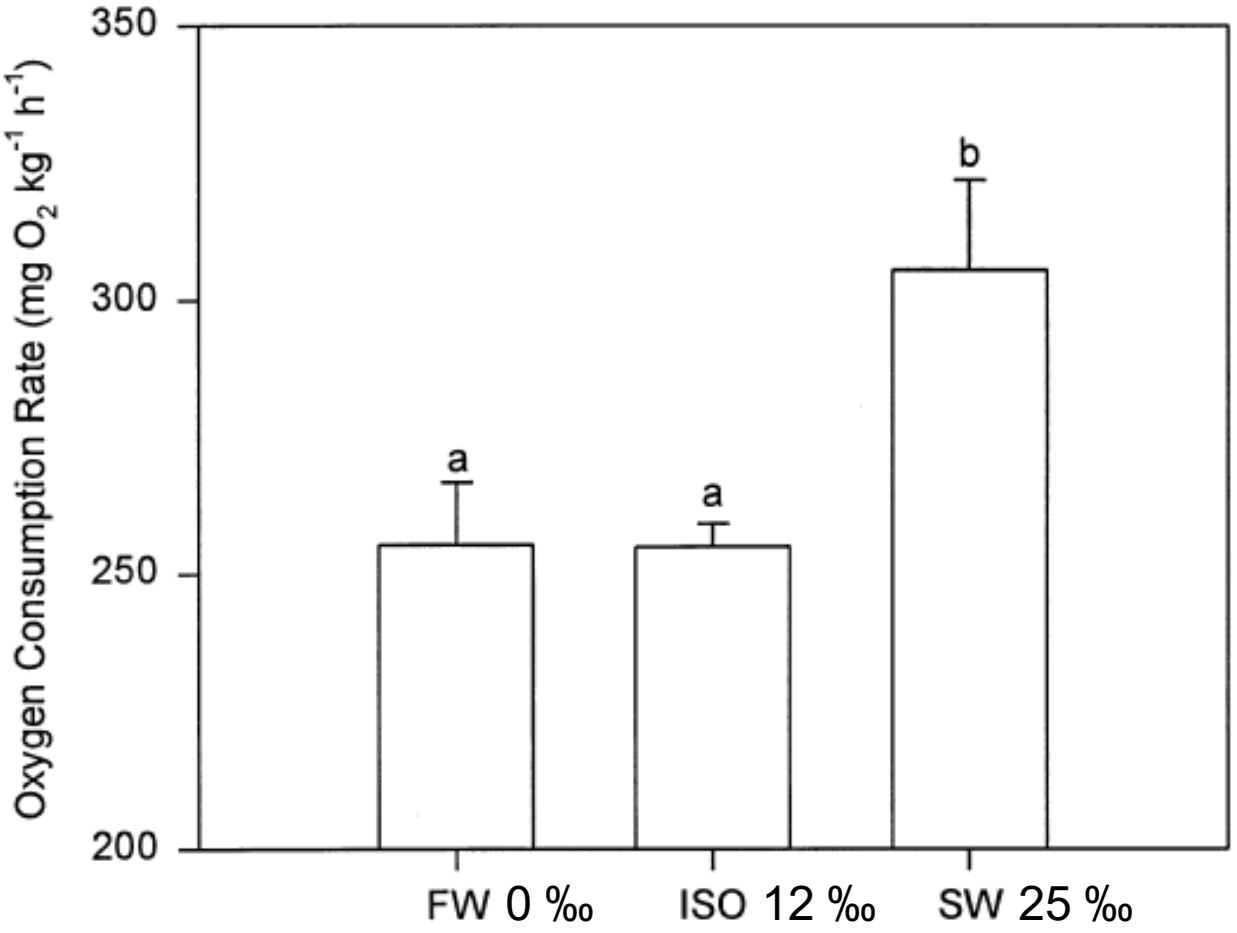
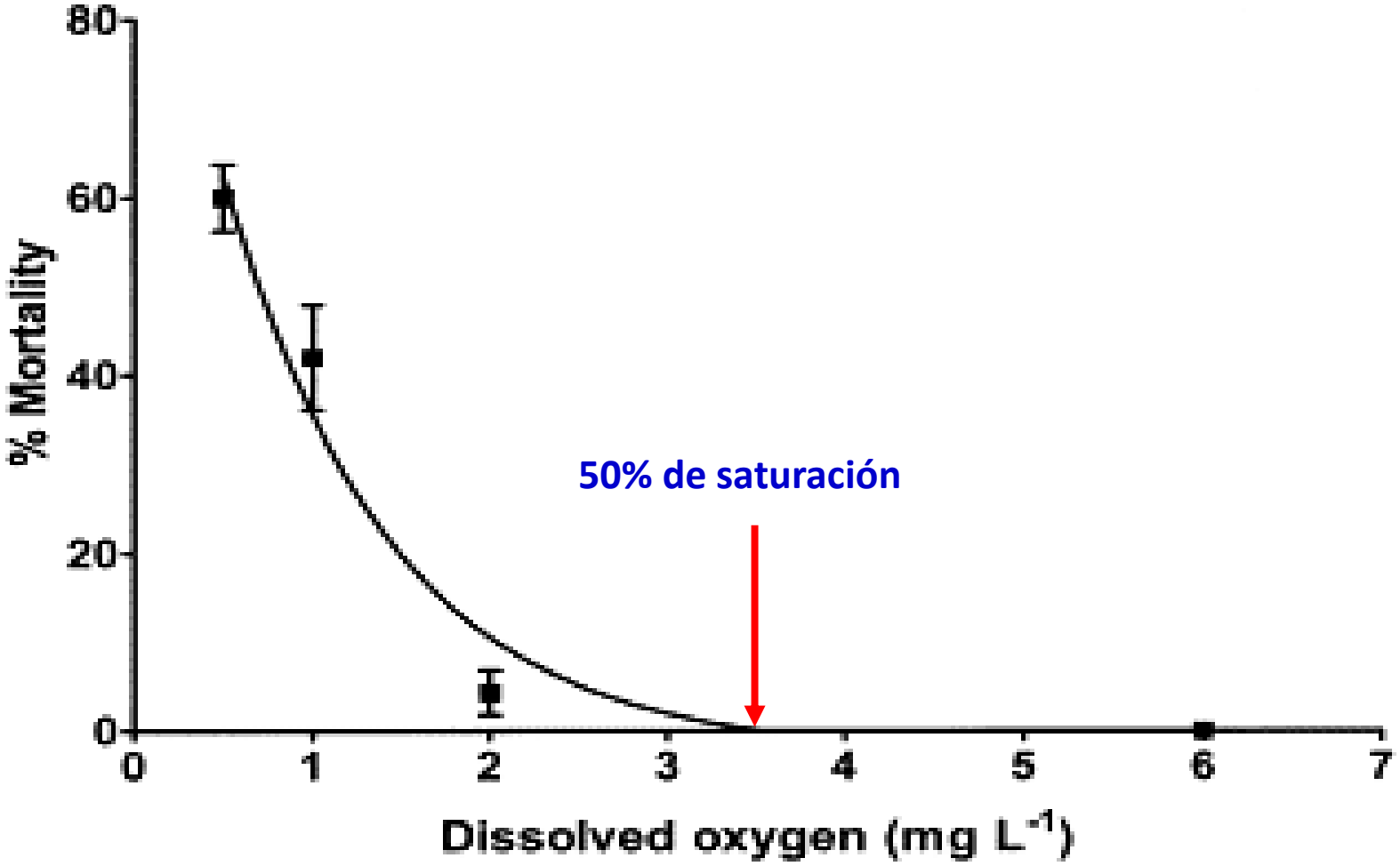


FIG. 5. Oxygen consumption rates of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in fresh water (FW), isosmotic water (ISO) and 75% seawater (SW) 4 days after transfer from FW. Data are presented as means ± SE ($n = 6$). Means with different letters are significantly different ($P < 0.05$, one-way ANOVA).

Mortalidad



R. Wu, P. Lam and K.L. Wan, Tolerance to, and avoidance of, hypoxia by the penaeid shrimp (*Metapenaeus ensis*), Environmental Pollution, 118 (2002), pp. 351–355

Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.68, n.2, p.397-403, 2016

Hypoxia increases susceptibility of Pacific white shrimp to white spot syndrome virus (WSSV)

[*Condição de hipóxia aumenta a susceptibilidade do camarão branco do Pacífico ao vírus da mancha branca (WSSV)*]

M. *Lehmann*[1], D.D. *Schleder*[1*], C. *Guertler*[2], L.M. *Perazzolo*[2], L. *Vinatea*[2]

[1]Núcleo de Pesquisa em Pesca e Aquicultura –(NUPA Sul-1) – Instituto Federal Catarinense – Araquari, SC
[2]Universidade Federal de Santa Catarina– (UFSC) – Florianópolis, SC

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the mortality, reactive oxygen species production (ROS) and total hemocyte counts (THC) of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* infected with the white spot syndrome virus (WSSV) at three levels of oxygen saturation. For this, 360 shrimp (20±2g) were distributed in 24 tanks (60L), divided in two groups (infected and non-infected), which were subjected to 30, 60 and 100% of dissolved oxygen saturation (in quadruplicate). During 96 hours after infection, daily hemolymph samples were collected for hemato-immunological parameter evaluation (THC and ROS) and dead animals were removed and computed to assess cumulative mortality rates. In the infected group, animals subjected to 100% saturation showed higher ROS production ($P<0.05$) after 48 hours, while THC was significantly reduced ($P<0.05$), regardless of oxygen saturation. The hypoxia resulted in high mortality when compared to 100% saturation condition. In the uninfected group, no significant differences were observed in all evaluated parameters. Thus, the hypoxia condition increased the susceptibility of shrimp to the infection of WSSV, which may be partly related to the low ROS production showed by the animals subjected to 30% oxygen saturation.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, WSSV, dissolved oxygen saturation, immune response, mortality

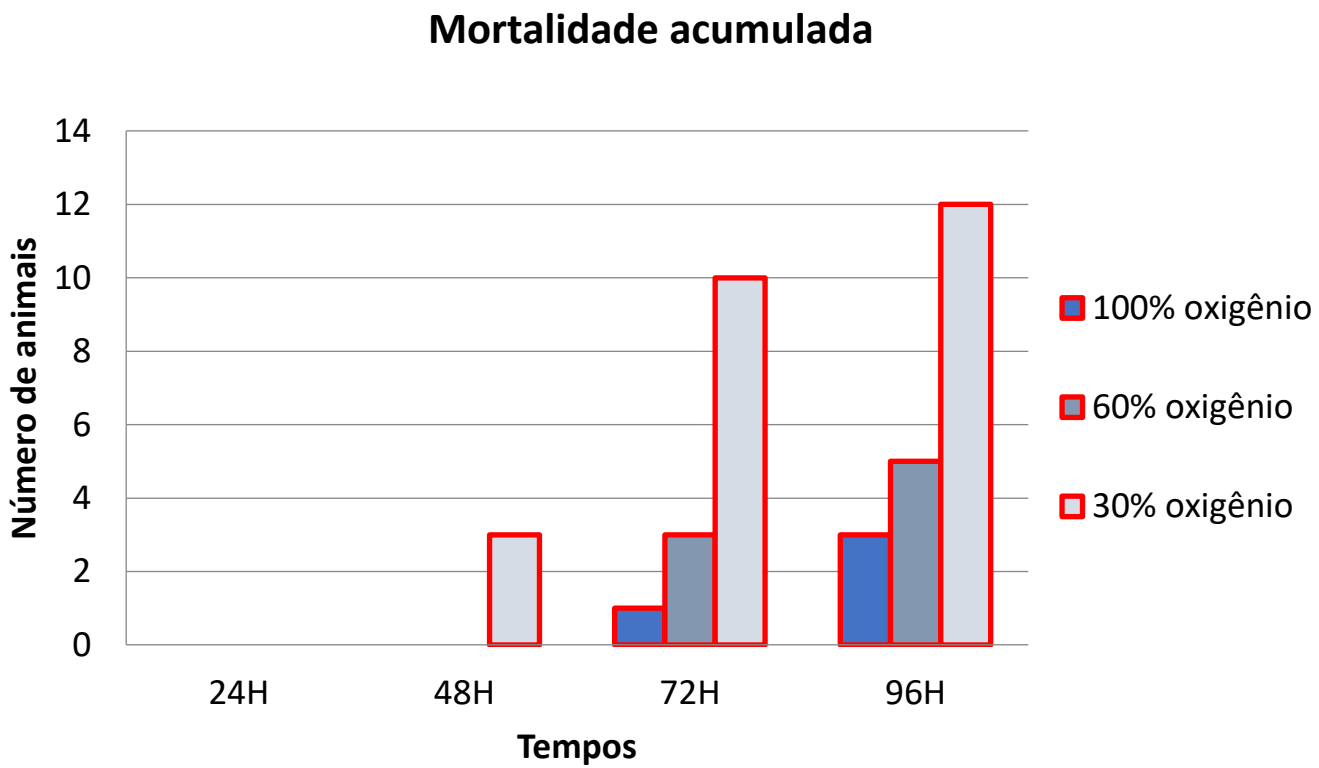


Figura 1: Número acumulado de camarões *L. vannamei* encontrados mortos durante o experimento, submetidos a três saturações de oxigênio e inoculados com o vírus da mancha branca.

ELSEVIER

Aquaculture

Volume 244, Issues 1–4, 28 February 2005, Pages 315-322

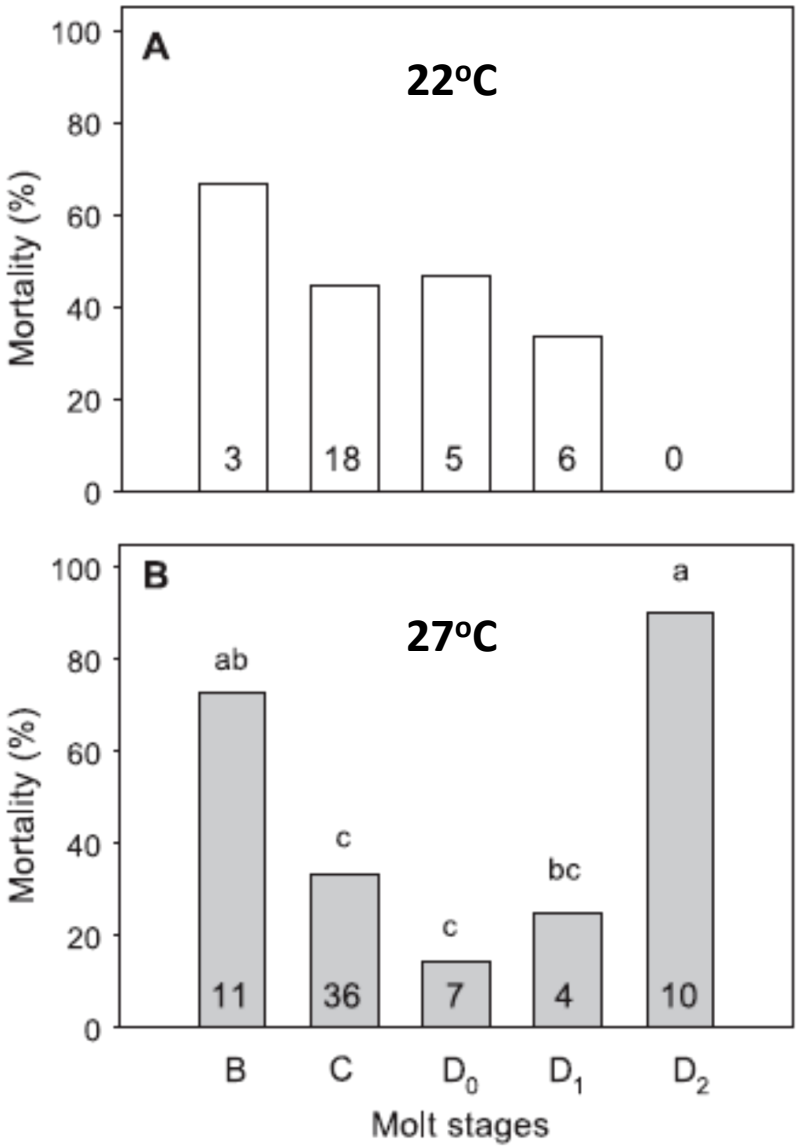
Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage

Chantal Mugnier [a], Claude Soyez [b]

Show more

https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.010

Get rights and content



Juveniles de 9-10 gramos sometidos a hipoxia (1-2 mg/L)

Fig. 3. Percentage of mortality for each molt stage at 22 (A) and 27 °C (B) in *L. stylirostris* submitted to hypoxia. Numbers of animals are indicated into bars. Bars with different letters are significantly different ($p<0.05$).

B Post-muda tardía

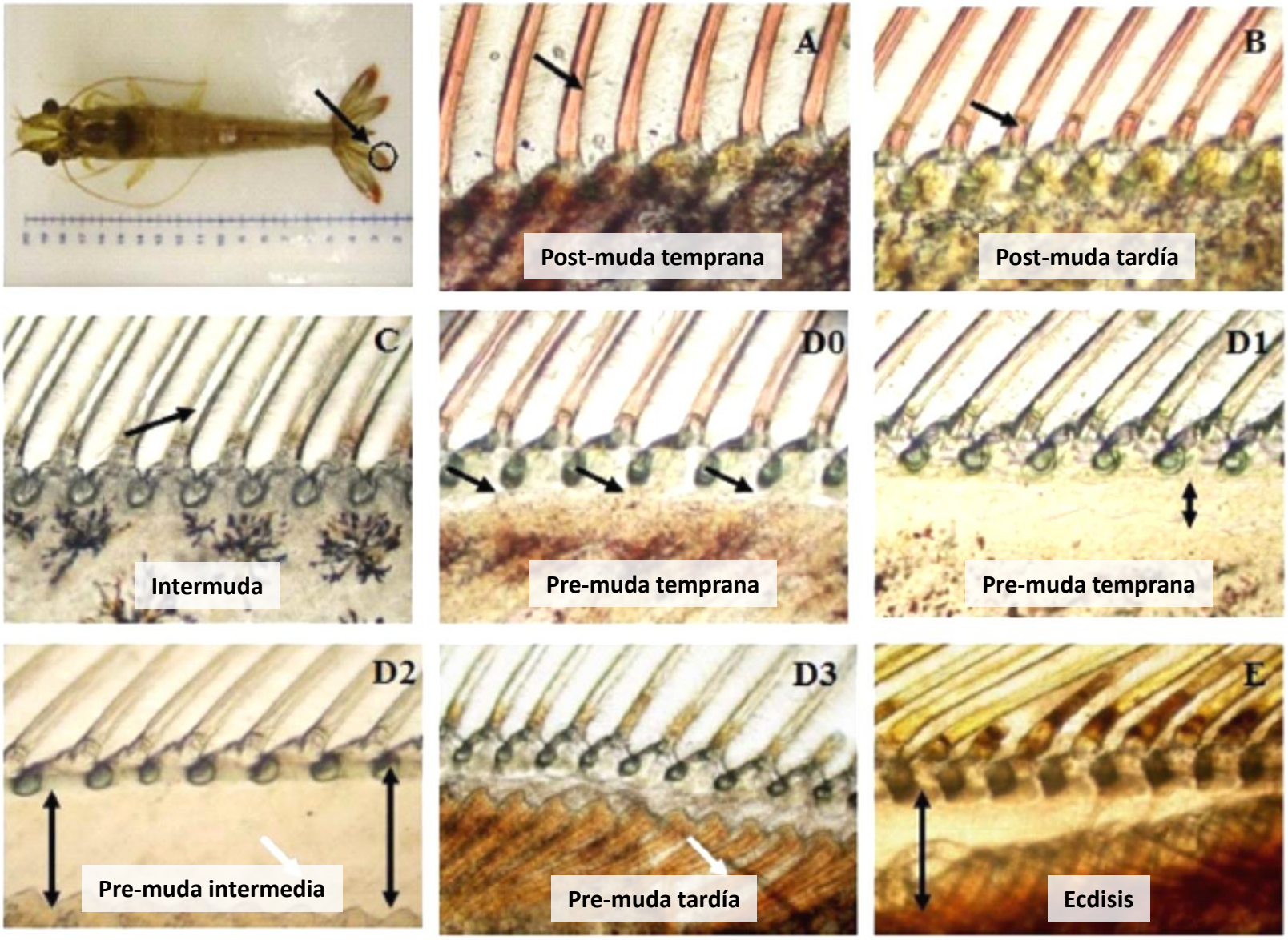
C Intermuda

D_0 Pre-muda temprana

D_1 Pre-muda intermedia

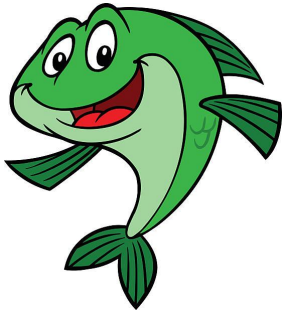
D_2 Pre-muda tardía

C. Mugnier, C. Soyez / Aquaculture 244 (2005): 315–322

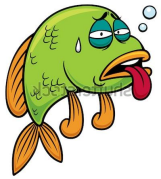


Jose Renato de Oliveira Cesar et al., Morphological and biochemical changes in the muscle of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* during the molt cycle, Aquaculture (2006), doi:10.1016/j.aquaculture.2006.08.003.

Rangos de saturación adecuados para la producción



50 a 200 %



< 50 %

> 200 %

Recambio o aireación

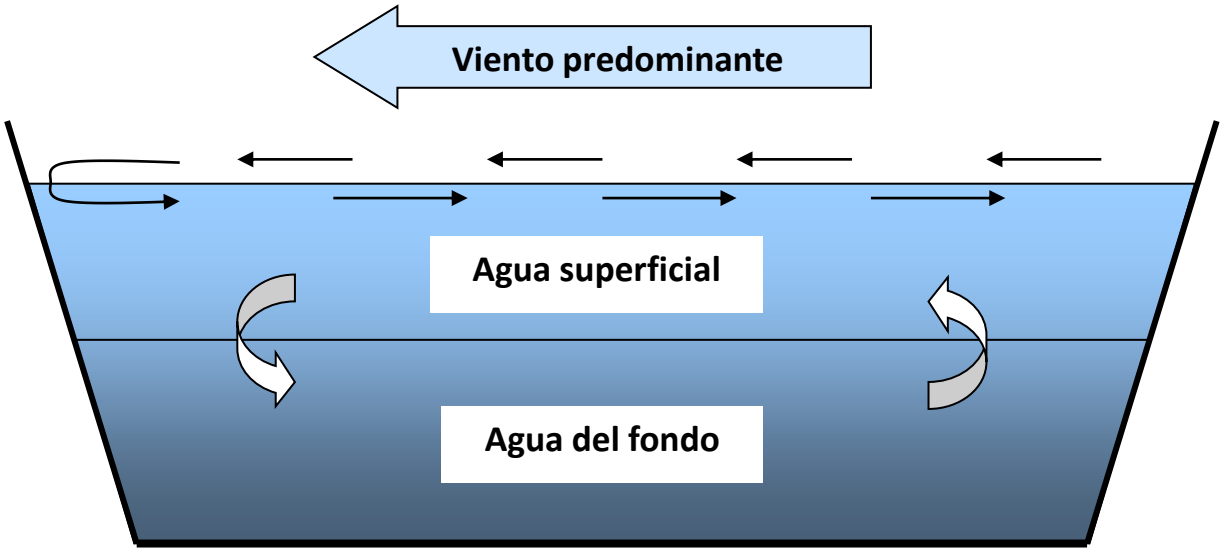
Recambio o aireación

AIREACIÓN ≠ OXIGENACIÓN

OXIGENACIÓN = Disolver el oxígeno puro dentro del agua.

AIREACIÓN = Disolver el oxígeno atmosférico mediante la turbulencia del agua.

Viento



Agua superficial:

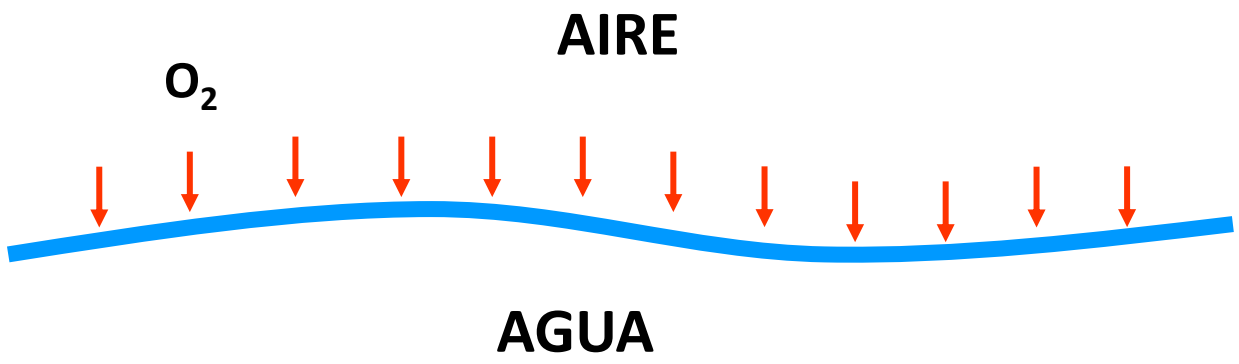
-más luz
-más caliente
-menos densa
-más oxígeno

Agua del fondo:

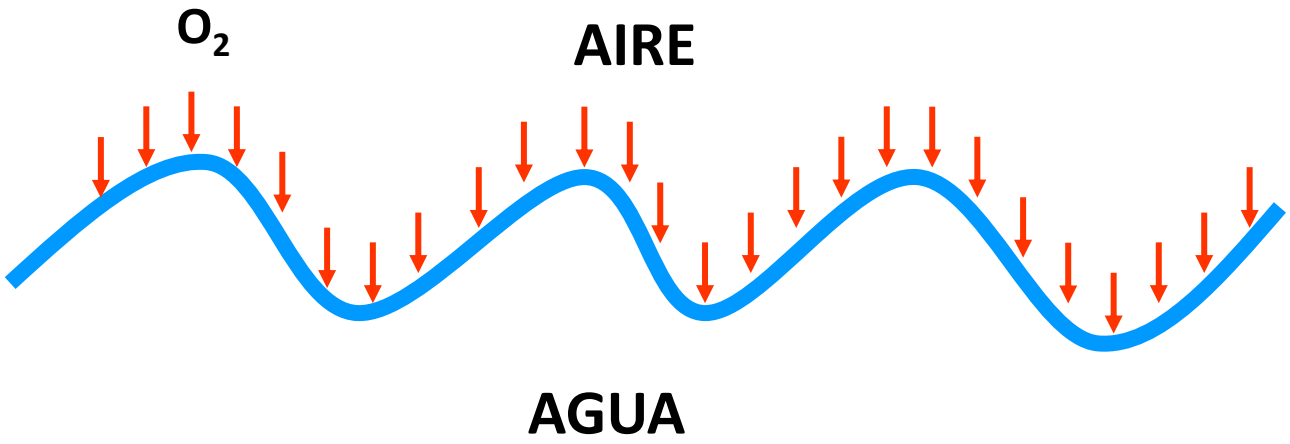
-menos luz
-más fría
-más densa
-menos oxígeno

Con viento

Sin viento

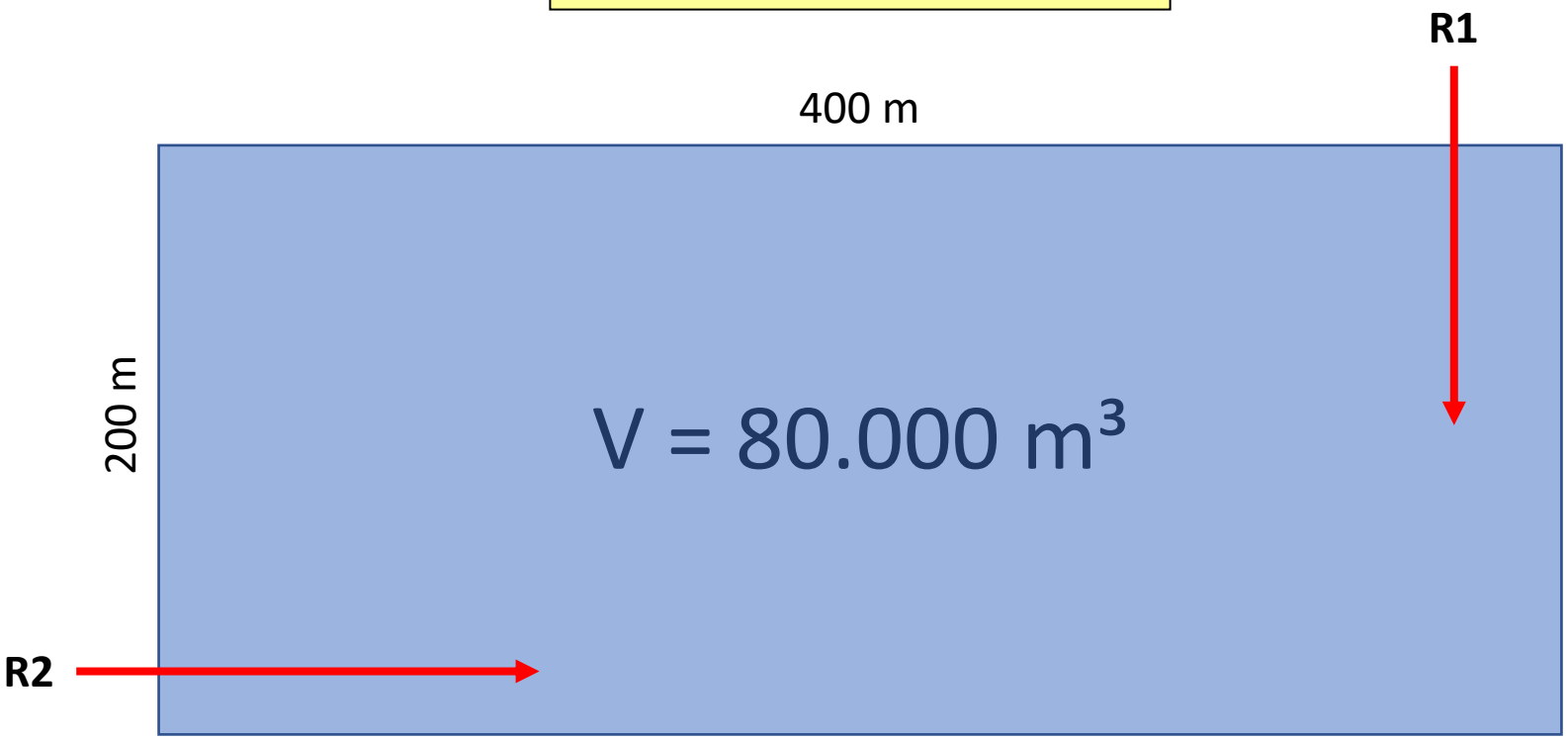


Con viento



Cuanto mayor la relación ancho del estanque con el volumen del agua (R), mejor será la circulación y la distribución del oxígeno por el viento.

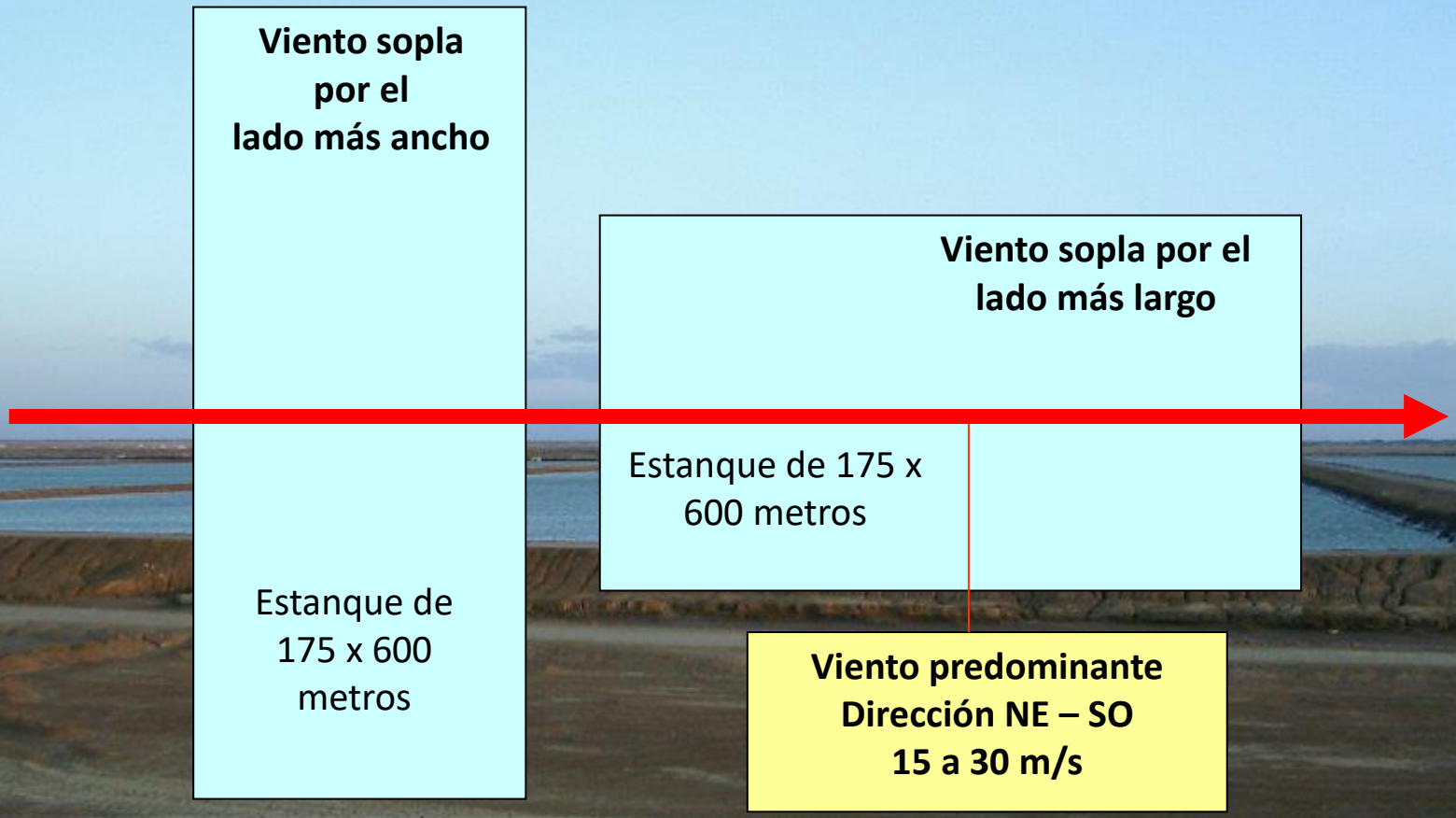
R = (Ancho/Volumen) x 1.000

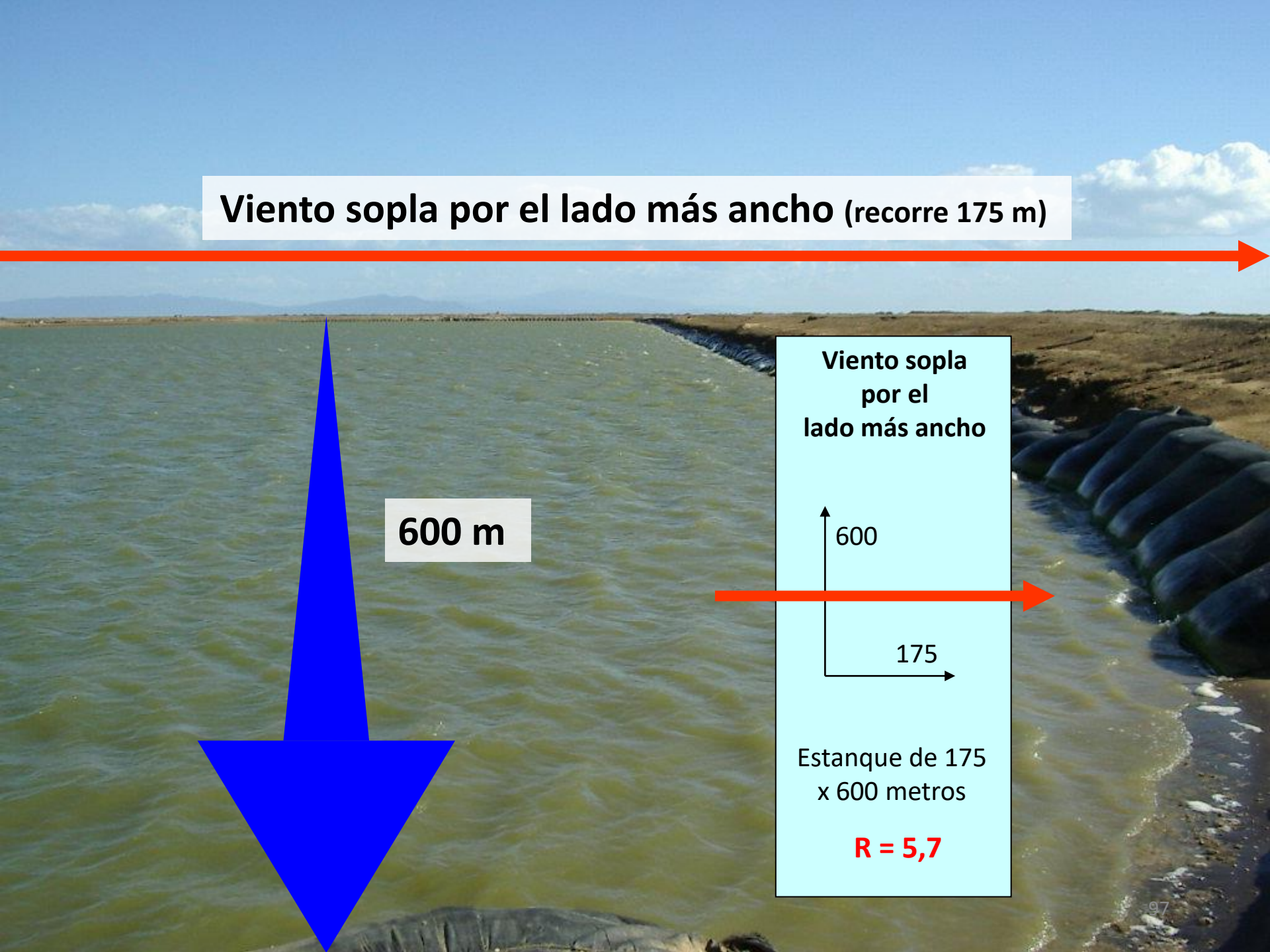


R1 = (400/80.000) x 1.000 = **5**

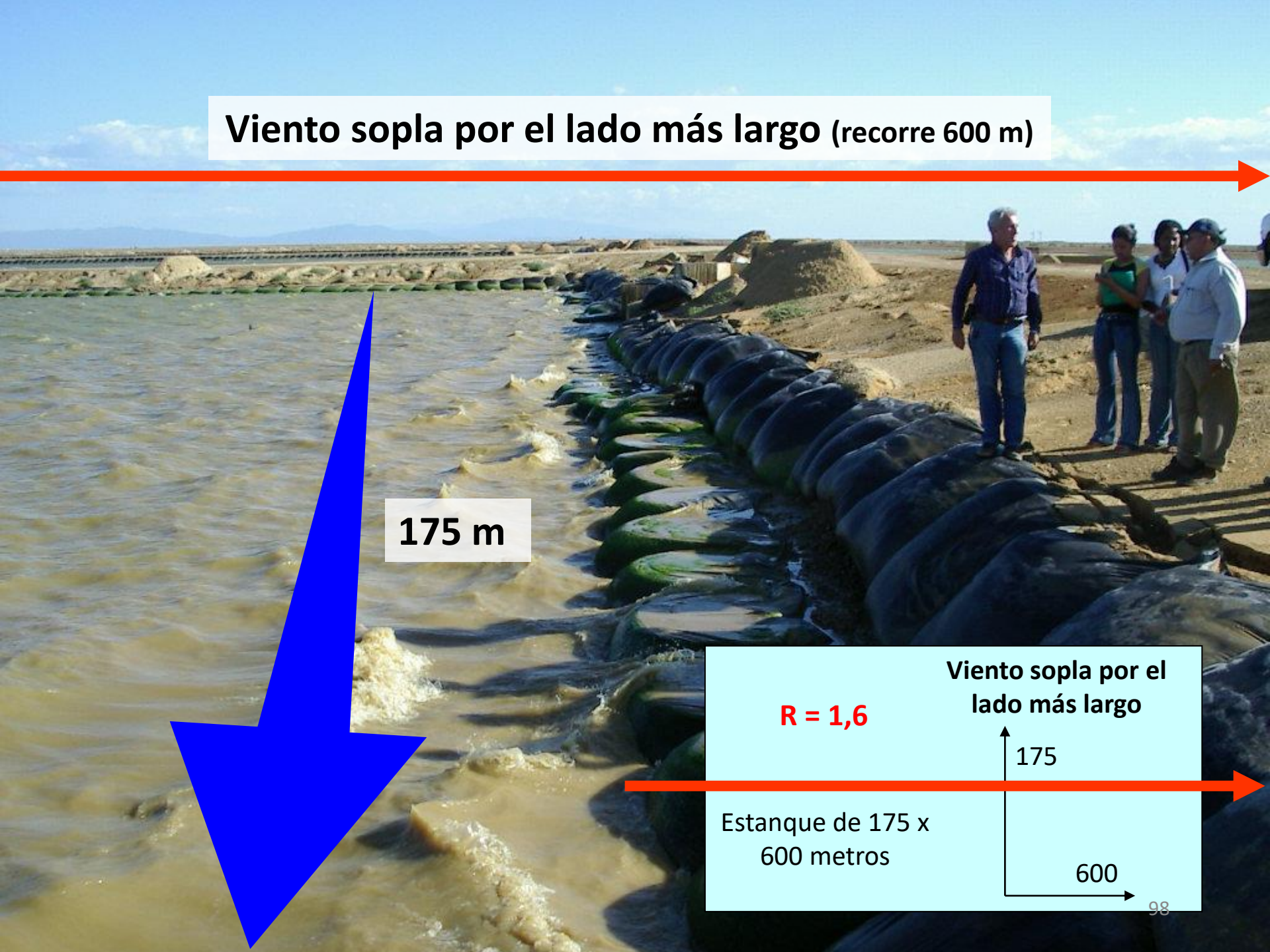
R2 = (200/80.000) x 1.000 = **2,5**

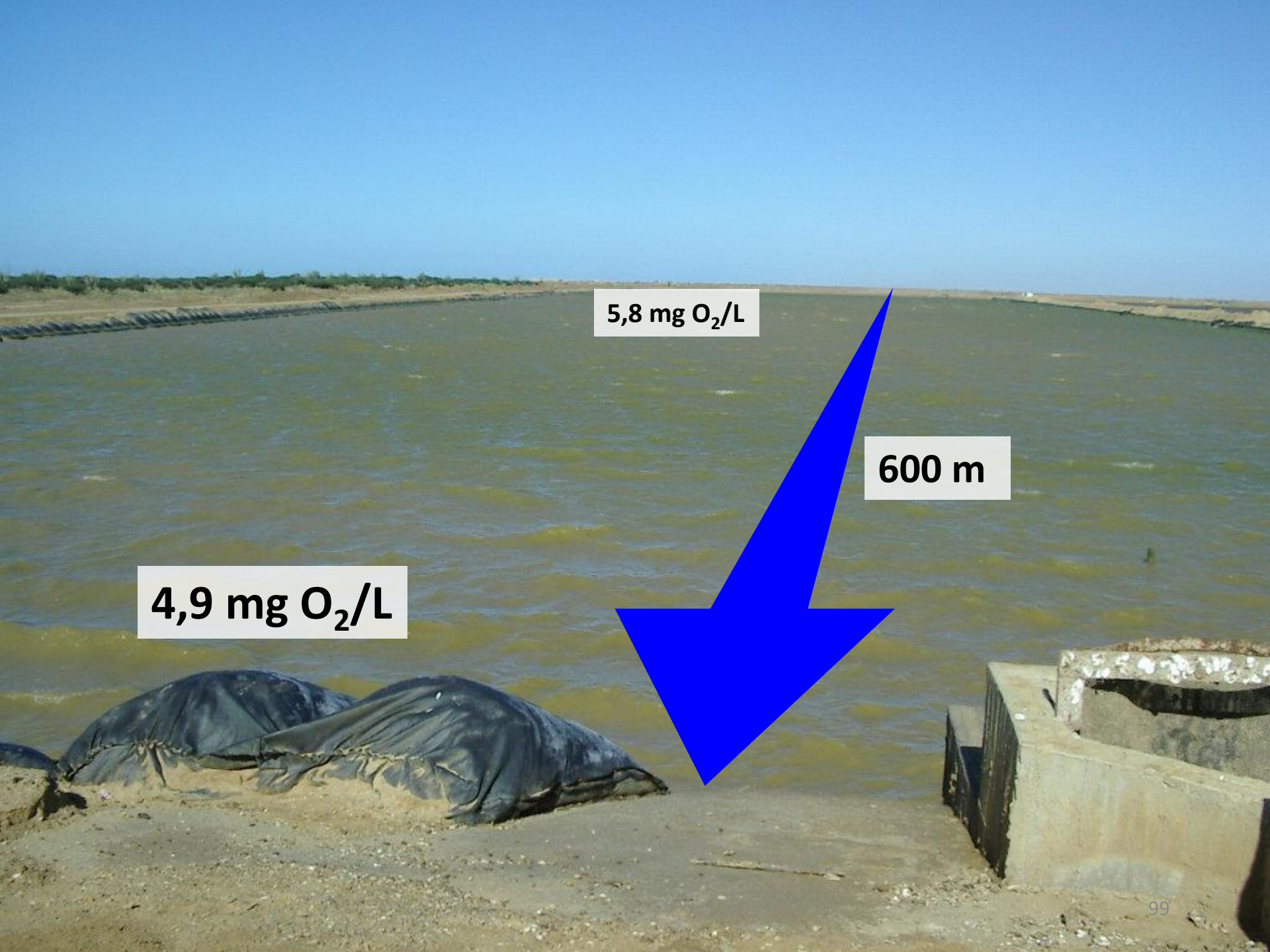
Camaronera "Sealand"
Falcon, Venezuela




Viento sopla por el lado más ancho (recorre 175 m)
600 m
Viento sopla por el lado más ancho
600
175
Estanque de 175 x 600 metros
R = 5,7

Viento sopla por el lado más largo (recorre 600 m)




5,8 mg O_2/L
600 m
4,9 mg O_2/L

Transparencia de 5 cm

Oxigenación

Generador de oxígeno puro

Los generadores de oxígeno usan filtros moleculares para adsorber el nitrógeno del aire y concentrar el oxígeno atmosférico.

- Producen de 0,5 a 14 kg de oxígeno por hora a una presión entre 0,7 y 3,3 atm.
- Se necesita una fuente de aire seco y filtrado a una presión de 6 a 10 atm para producir un gas con 85 a 95 % de oxígeno.
- Son más rentables en instalaciones que producen menos de 100 ton/año.

Una cosa es producir oxígeno puro y otra disolverlo en el agua del cultivo

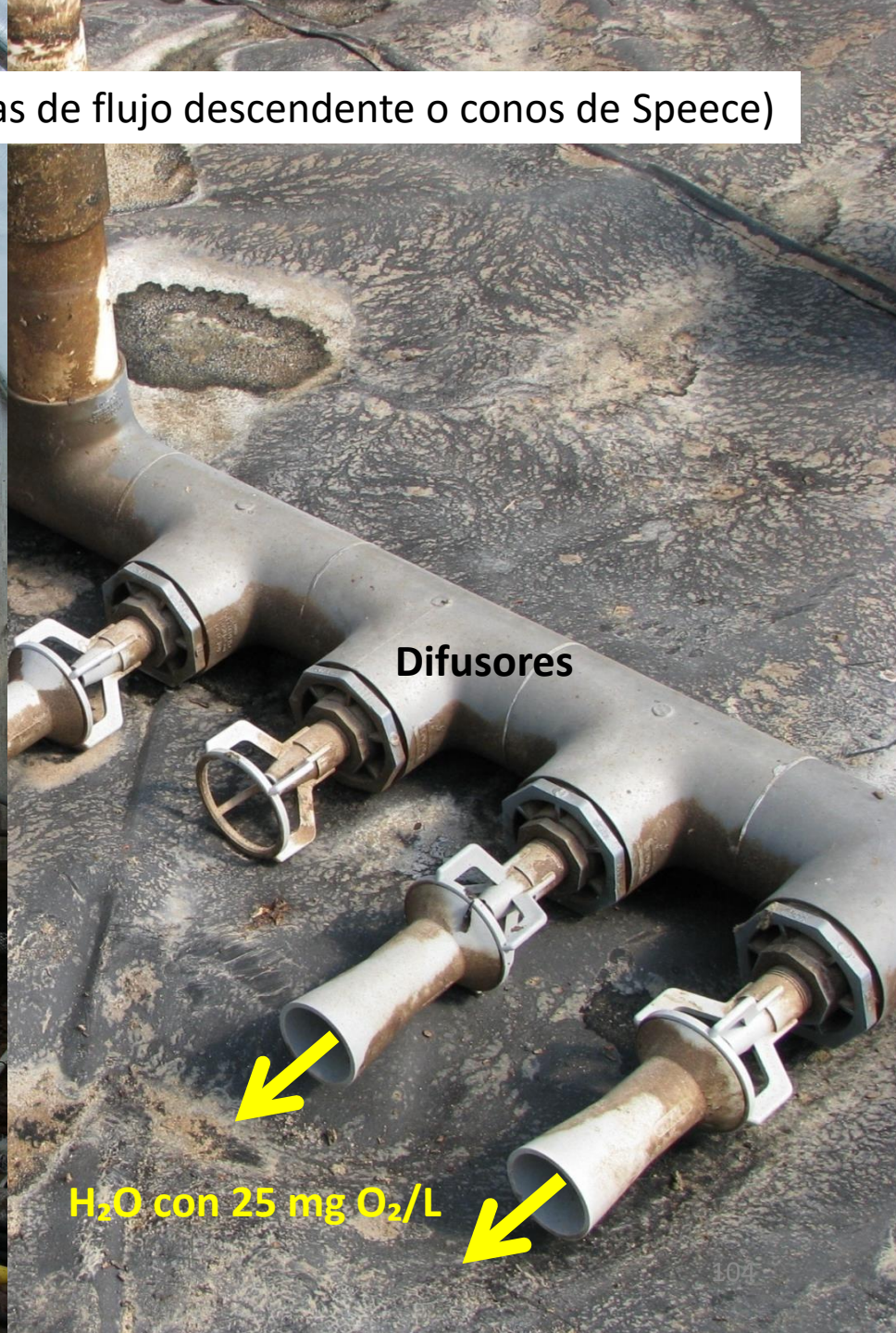
Los conos de saturación sirven para disolver el oxígeno concentrado (gas) en el agua del cultivo (líquido)

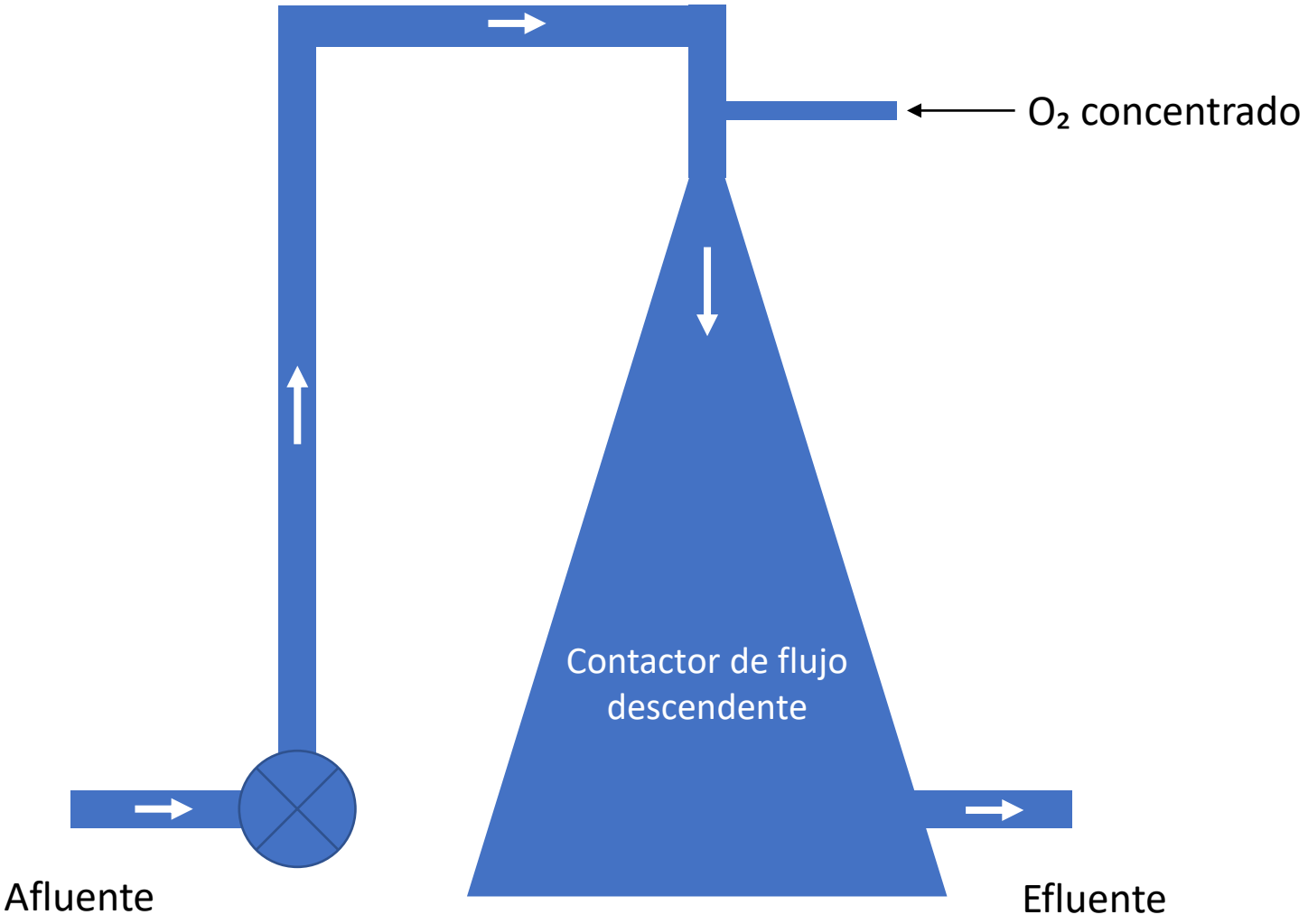
El agua y el oxígeno se encuentran en la parte superior del cono invertido y luego descienden gracias al flujo del agua. A medida que el diámetro del cono aumenta, la velocidad del agua disminuye, de tal forma que la velocidad del agua se iguala a la velocidad de flotación de las burbujas, las cuales se mantienen en suspensión hasta que todo el oxígeno se haya disuelto.

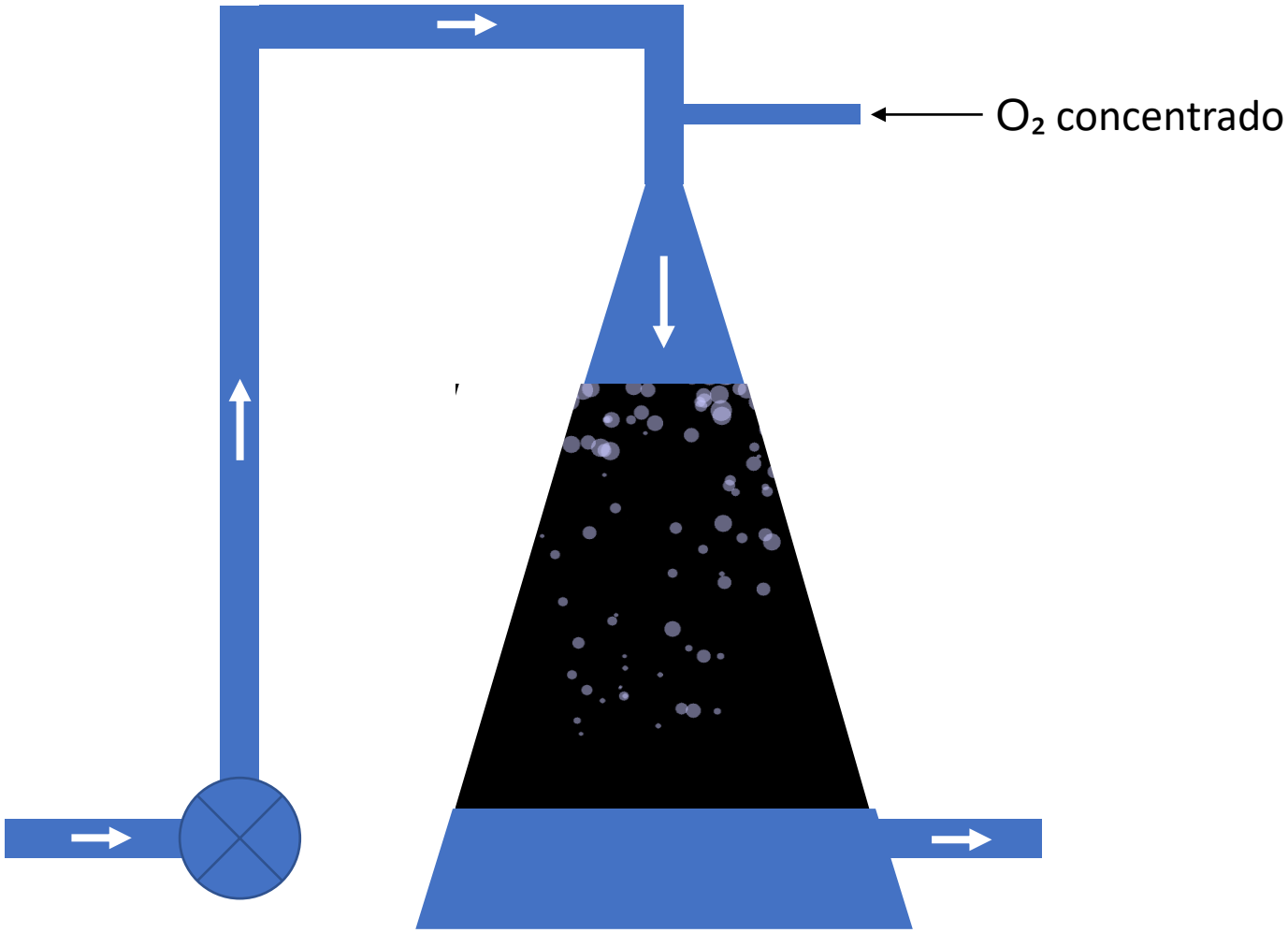
La eficiencia de los conos de saturación depende de la tasa de flujo del gas y del agua, de la concentración de OD del afluente, de la geometría del cono y de la presión de operación.

La eficiencia de estos conos varía de 95 a 100%, y la concentración de oxígeno del efluente puede estar entre 25 y 90 mg/L. Hay marcas de conos de saturación que logran transferir de 0,2 a 4,9 kg O_2/h a 25 mg/L con caudales entre 170 y 2.300 L/min.

Conos de saturación (contactor de burbujas de flujo descendente o conos de Speece)



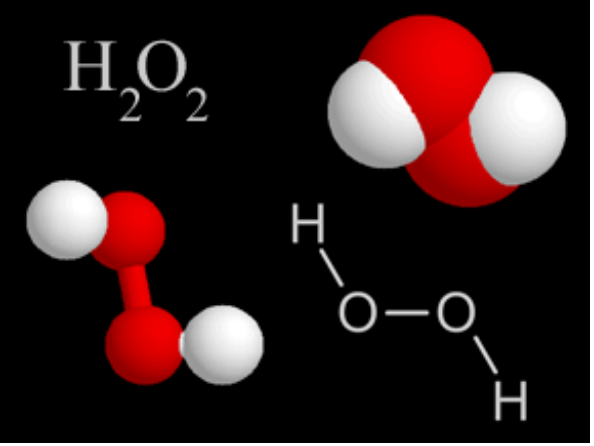

O_2 concentrado
Contactor de flujo descendente
Afluente
Efluente



luis.vinatea@ufsc.br

Oxígeno líquido (OXL)

- 1 L de OXL equivale a 0,85 m³ de oxígeno gaseoso puro
- La presión dentro de los contenedores varía de 10 a 14 atm
- Como a 1 atm el oxígeno líquido hierve a -182,96°C, es necesario almacenarlo en tanques criogénicos con aislamiento térmico (-238°C).
- Antes de ser usado, el OXL debe ser vaporizado a través de un intercambiador de calor (columna de gasificación).



$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

8 a 30 L/ha
dependiendo del susto

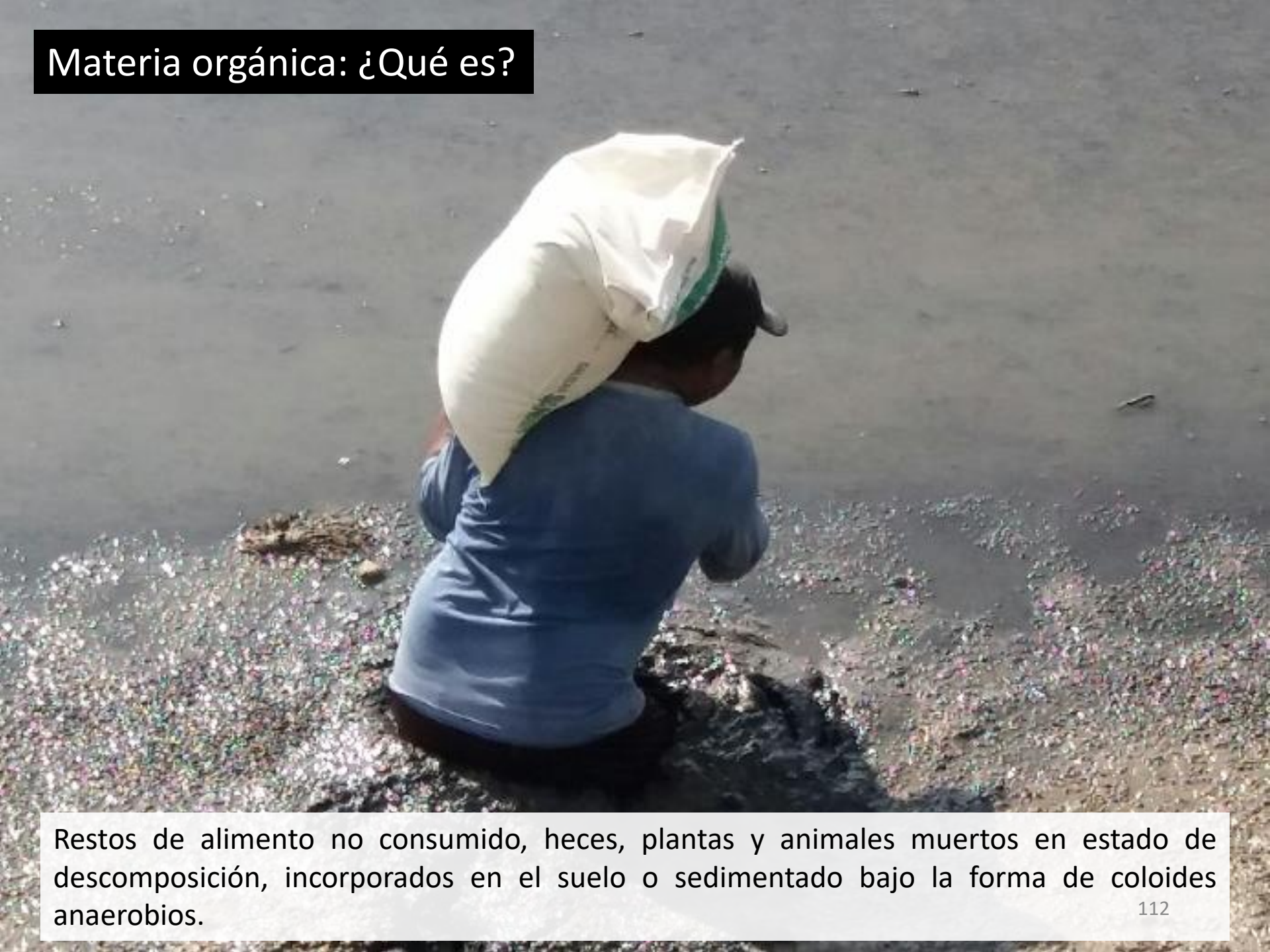
$$2NaNO_3 \rightarrow 2NaNO_2 + O_2$$

50 kg/ha para oxidar
suelos anaerobios

Antes de la aplicación de nitrato

Después de la aplicación de nitrato

Materia orgánica: ¿Qué es?



Restos de alimento no consumido, heces, plantas y animales muertos en estado de descomposición, incorporados en el suelo o sedimentado bajo la forma de coloides anaerobios.

La materia orgánica es el enemigo número uno del oxígeno disuelto

luis.vinatea@ufsc.br

Coloide orgánico anaerobio sedimentado
(alta producción de H_2S)

Suelo con 6 a 8 % de materia orgánica incorporada

Materia orgánica
H_2S
Vibrio sp.
Cianobacterias

Fish & Shellfish Immunology 63 (2017) 87–96

Contents lists available at ScienceDirect

Fish & Shellfish Immunology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fsi

Full length article

Response of gut health and microbiota to sulfide exposure in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*

Yantong Suo [a, b], Erchao Li [a, *], Tongyu Li [a], Yongyi Jia [b], Jian G. Qin [c], Zhimin Gu [b, **], Liqiao Chen [a]

[a] School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai, 200241, China
[b] Agriculture Ministry Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Key Laboratory of Freshwater Aquaculture Genetic and Breeding of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China
[c] School of Biological Sciences, Flinders University, Adelaide, SA 5001, Australia

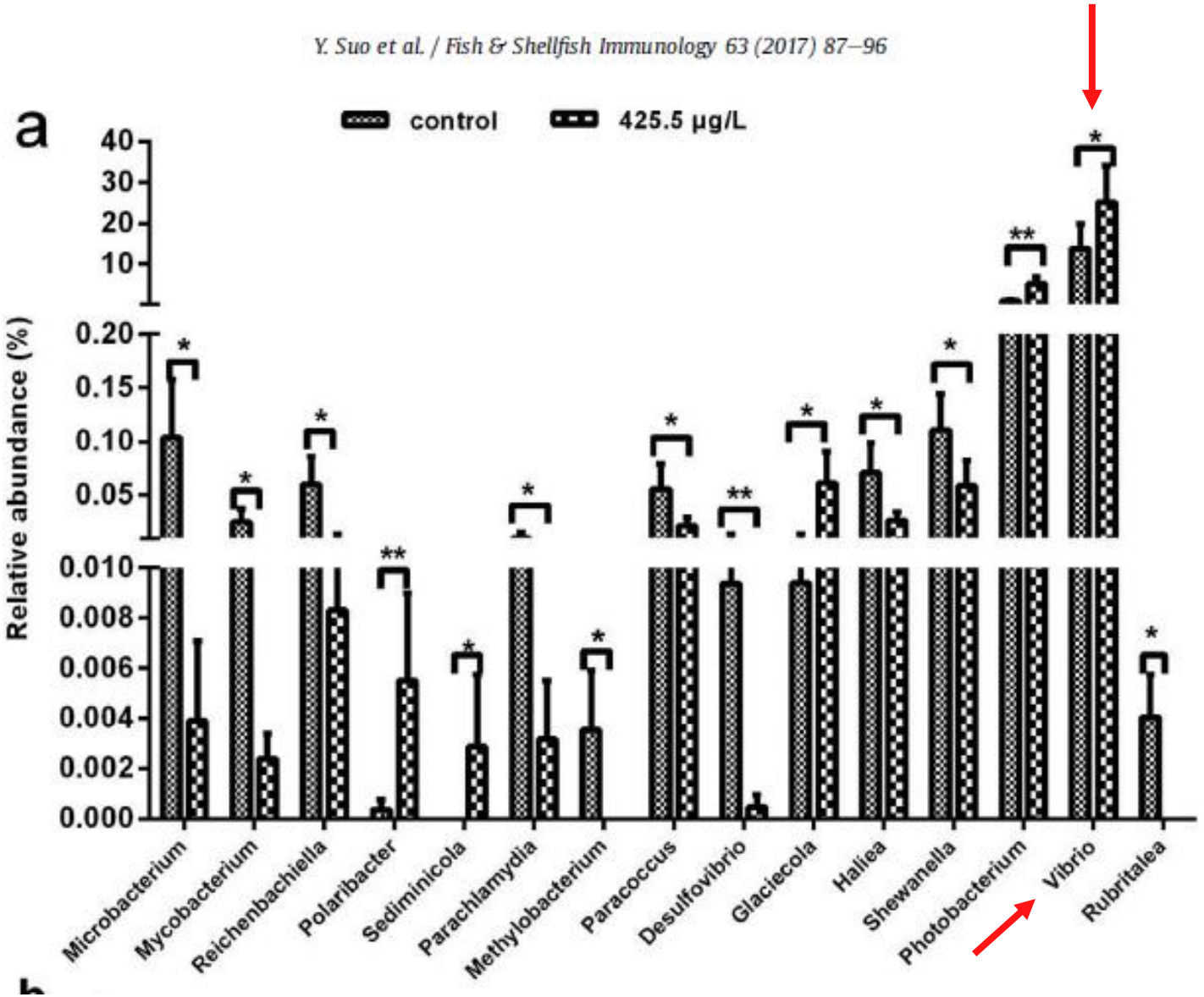
ARTICLE INFO

Article history:
Received 19 September 2016
Received in revised form
10 December 2016
Accepted 9 February 2017
Available online 10 February 2017

Keywords:
Litopenaeus vannamei
Sulfide
Gut health
Histology
Microbiota

ABSTRACT

Sulfide is a natural and widely distributed toxicant. It can be commonly found on the interface between water and sediment in the aquatic environment. The Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* starts life in the benthic zone soon after the mysis stage, an early stage of post larvae. Therefore, *L. vannamei* is inevitably affected by exposure to sulfide released from pond sediment. This study explored the toxicant effect of different concentrations of sulfide on the intestinal health and microbiota of Pacific white shrimp by monitoring the change of expression of inflammatory, immune related cytokines, and the structure of the intestinal microbiota. The gut histology, expressions of inflammatory and immune related cytokines (tumor necrosis factor-alpha, C-type lectin 3, myostatin and heat shock transcription factor 1), and the microbiota were determined in *L. vannamei* after exposure to 0 (control), 425.5 (1/10 LC 50–96 h), and 851 μg/L (1/5 LC 50–96 h) of sulfide for 21 days. With the increase of sulfide concentration, intestinal injury was aggravated and the inflammatory and immune related cytokines generated a range of reactions. The expression of myostatin (MSTN) was significantly down-regulated by the concentration of sulfide exposure. No difference in the expression of heat shock transcription factor 1



La concentración de *Vibrio* sp. se potencializa a partir de 0,42 mg H_2S/L

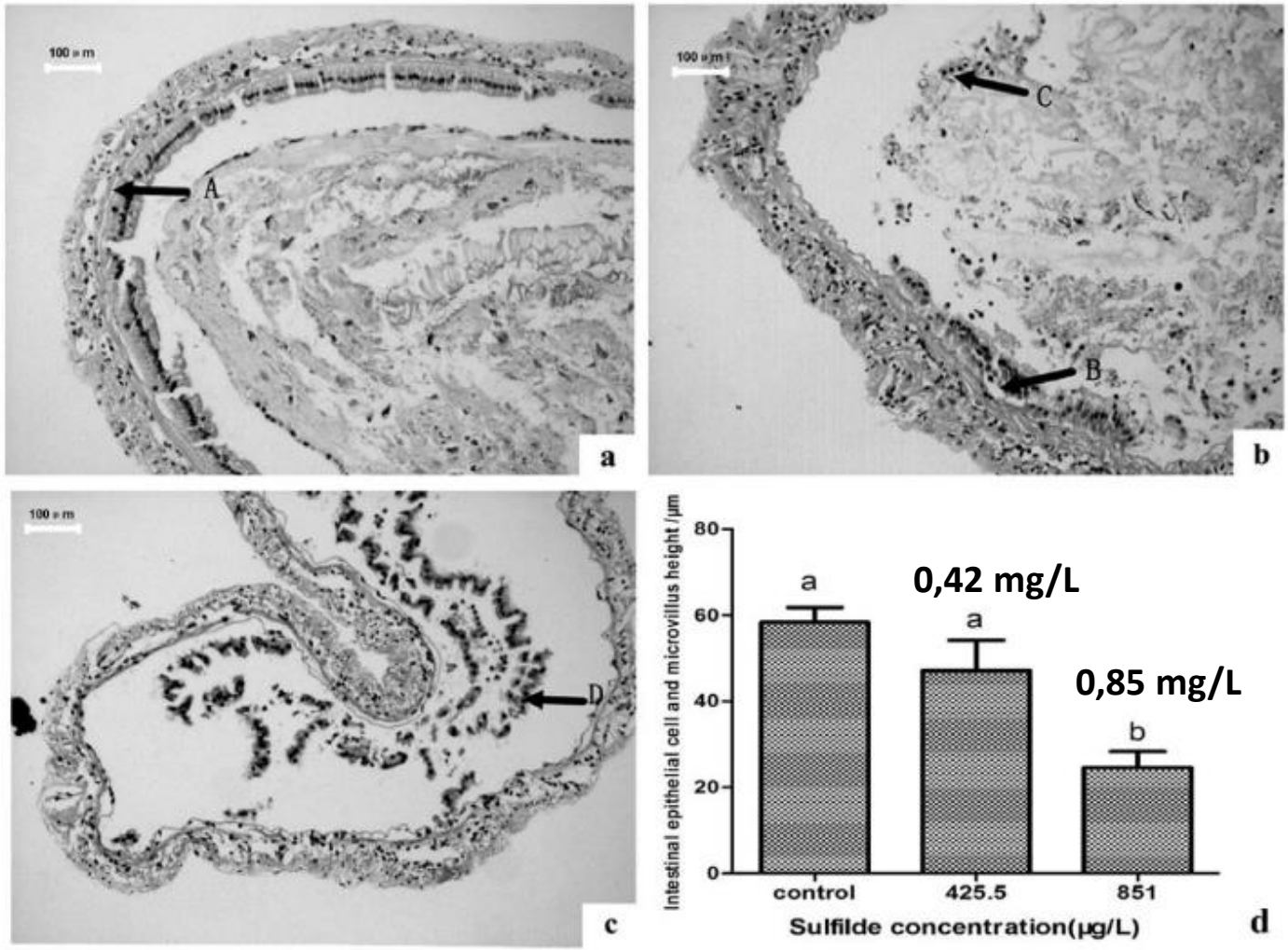


Fig. 1. Photomicrographs of the intestinal tract cross-cutting from *L. vannamei* at different sulfide concentrations with hematoxylin and eosin staining to show the changes in the intestinal epithelial cells and microvillus. Histological comparisons (a–c) on the difference in the mid-gut among the control, 425.5 μg/L and 825.0 μg/L sulfide. Arrows show the pathological changes. Magnification was 200×, and the scale represents 100 μm **a**: arrow A shows the close integration of the intestinal epithelial cells and the basement membrane; **b**: arrow C and B show the partial intestinal epithelial cells binding closely to the basement membrane; **c**: arrow D shows the intestinal epithelial cells completely detached from the basement membrane; **d**: the relationship between the height of intestinal epithelial cells and microvillus, and sulfide concentration.

Acumulación
de materia orgánica

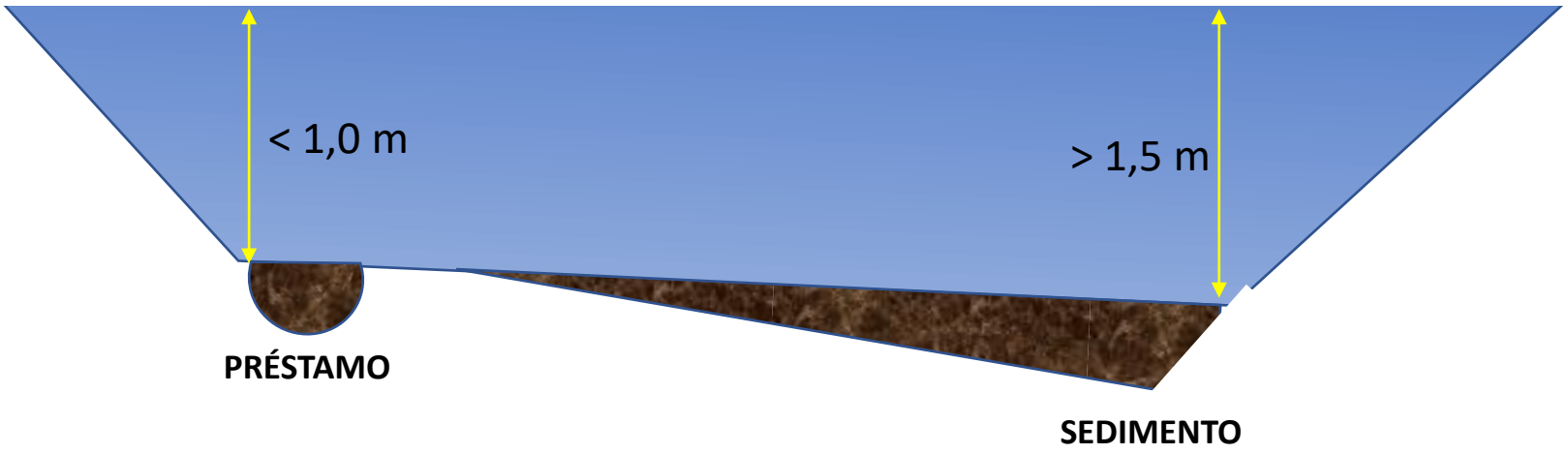
Exceso o mala calidad del balanceado

Profundidad

Oxígeno

Menor profundidad
Más luz, más oxígeno
La M.O. se descompone rápidamente y no se acumula

Mayor profundidad
Menos luz, menos oxígeno
La M.O. se descompone lentamente y se acumula



Préstamo: Brasil

Préstamo: Ecuador

Préstamo: Venezuela

Suelo con
baja concentración
de materia orgánica
Materia orgánica < de 4 % hasta el final
del cultivo

Suelo con alta
concentración
de coloide orgánico

NO OLVIDAR

< 4,0%

NOTA: Casi mitad de la materia orgánica es carbono

La materia orgánica se determina con el método de la mufla (500 °C)

El carbono orgánico se determina con el método del dicromato de K (x 1,7)

Aireación mecánica

luis.vinatea@ufsc.br

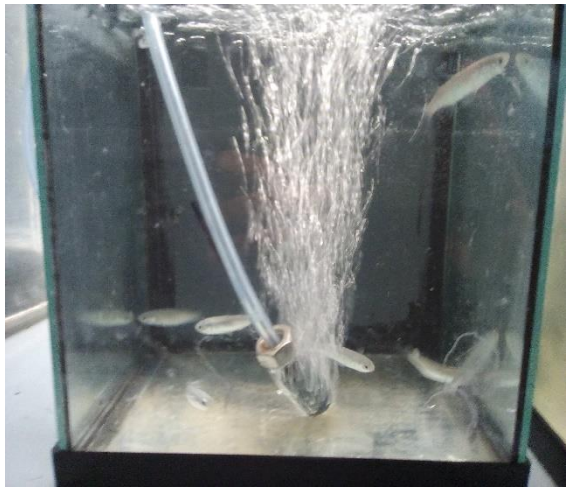
Fuente: Chalor Limsuwan

Aireación de pequeñas unidades de cultivo

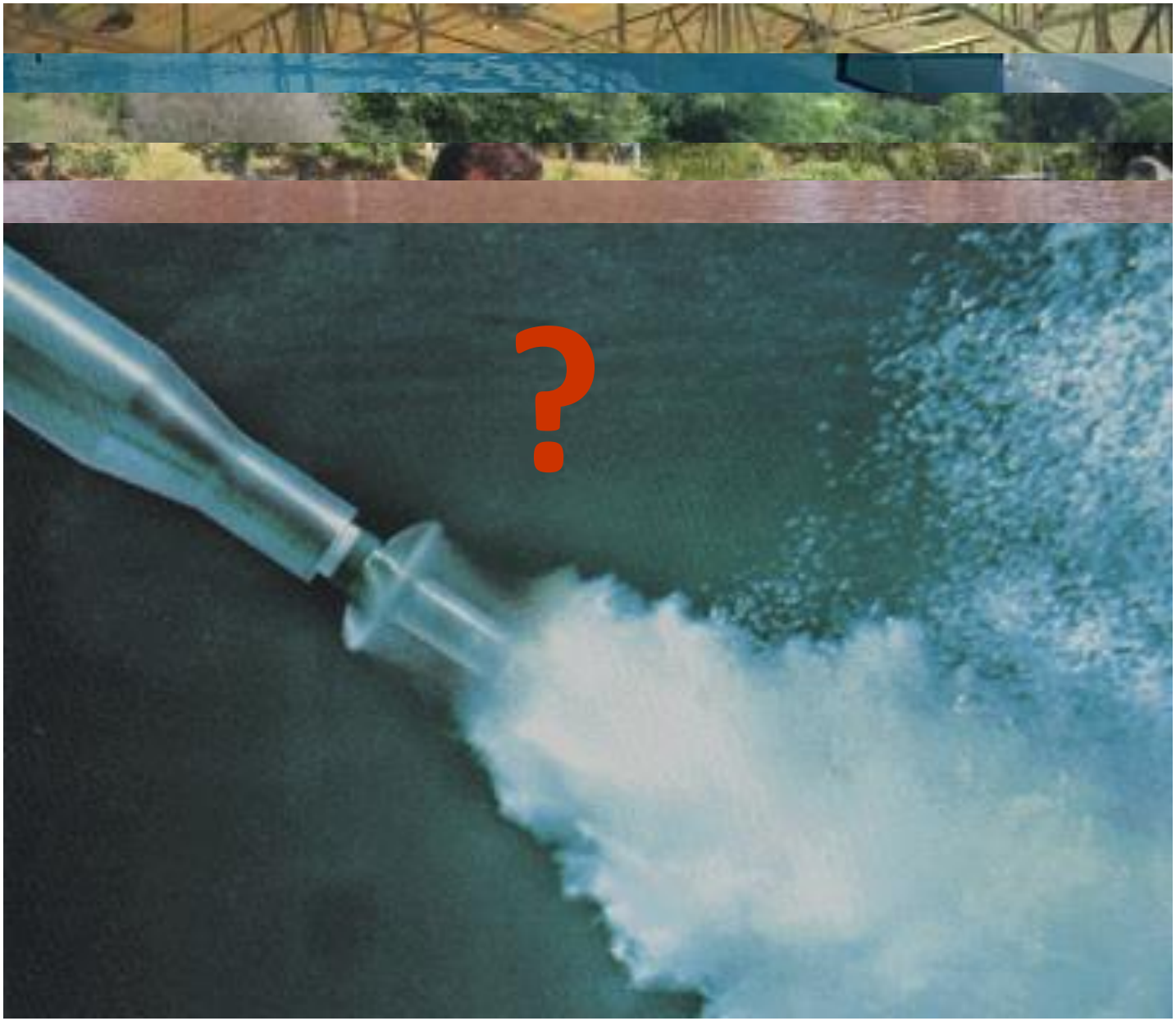
- Sopladores = proporcionan altos volúmenes de aire a baja presión
- Compresores = proporcionan pequeños volúmenes a alta presión

El aire proporcionado tanto por los sopladores como por los compresores debe ser capaz de vencer la presión hidrostática (peso de la columna de agua), la cual suele ser de 76 mmHg por cada metro de profundidad.

Difusores: se encargan de difundir (dispersar) el aire generado por los sopladores y compresores. Las piedras de aireación son poco eficientes para la transferencia de oxígeno (3 a 7%). Son adecuados apenas cuando las cargas de biomasa son bajas y cuando se practican altas tasas de recambio de agua.



¿CÓMO ESCOGER AIREADORES?



Principal error al momento de escoger aireadores:

¡PENSAR QUE TODOS SON IGUALES!

6. Eficiencia de aireadores mecánicos

S O T R

(Kg O_2/h)

S A E

(Kg O_2/kwh)

SOTR - Tasa Patrón de Transferencia de Oxígeno (kg O_2/h)

Cantidad de O_2 que un aireador puede transferir para un cuerpo de agua limpia, en una hora, a 20°C y con 0 mg O_2/litro.

SAE - Eficiencia Patrón del Aireador (kg O_2/kwh)

Cantidad de O_2 que un aireador puede transferir para un cuerpo de agua limpia en función de la energía consumida.

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Aquacultural Engineering 37 (2007) 73–78
aquacultural engineering
www.elsevier.com/locate/aqua-online

Review

Influence of water salinity on the SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity costs

Luis Vinatea *, José W. Carvalho

Laboratório de Camarões Marinhos, Departamento de Aqüicultura, CCA, Universidade Federal de Santa Catarina, 88.040-900, Florianópolis, SC, Brazil

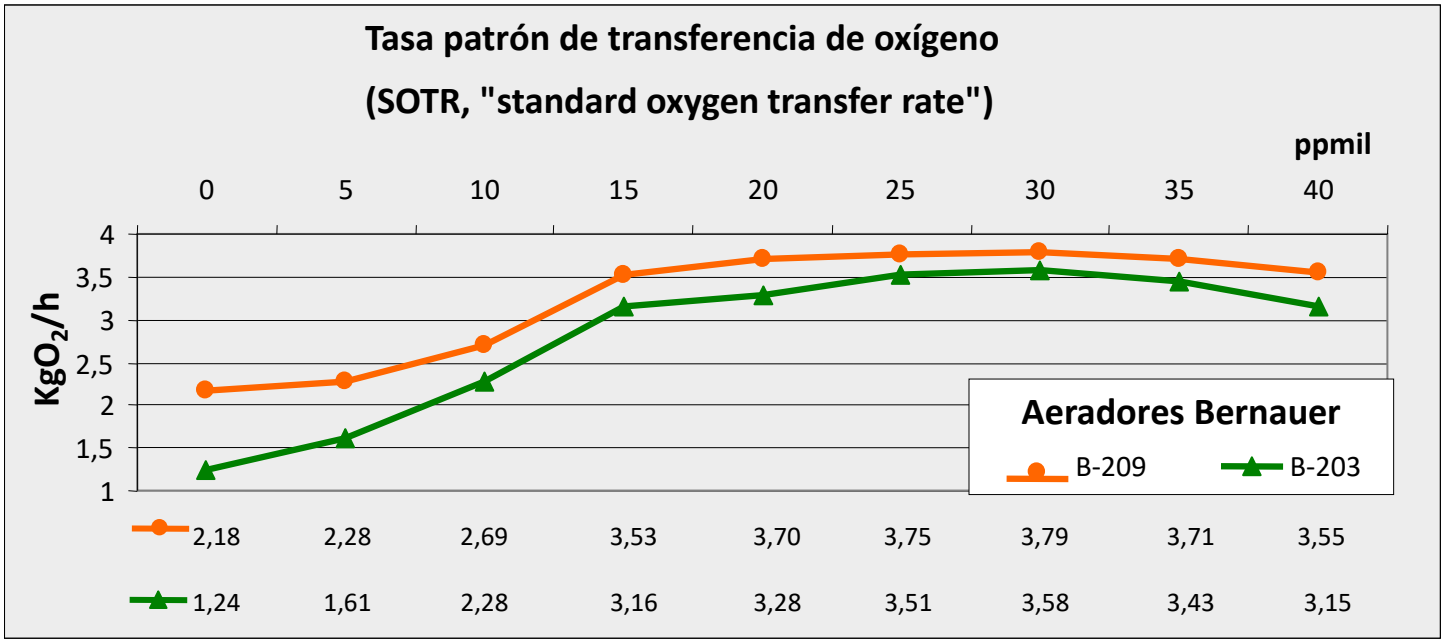
Received 16 August 2006; accepted 1 February 2007

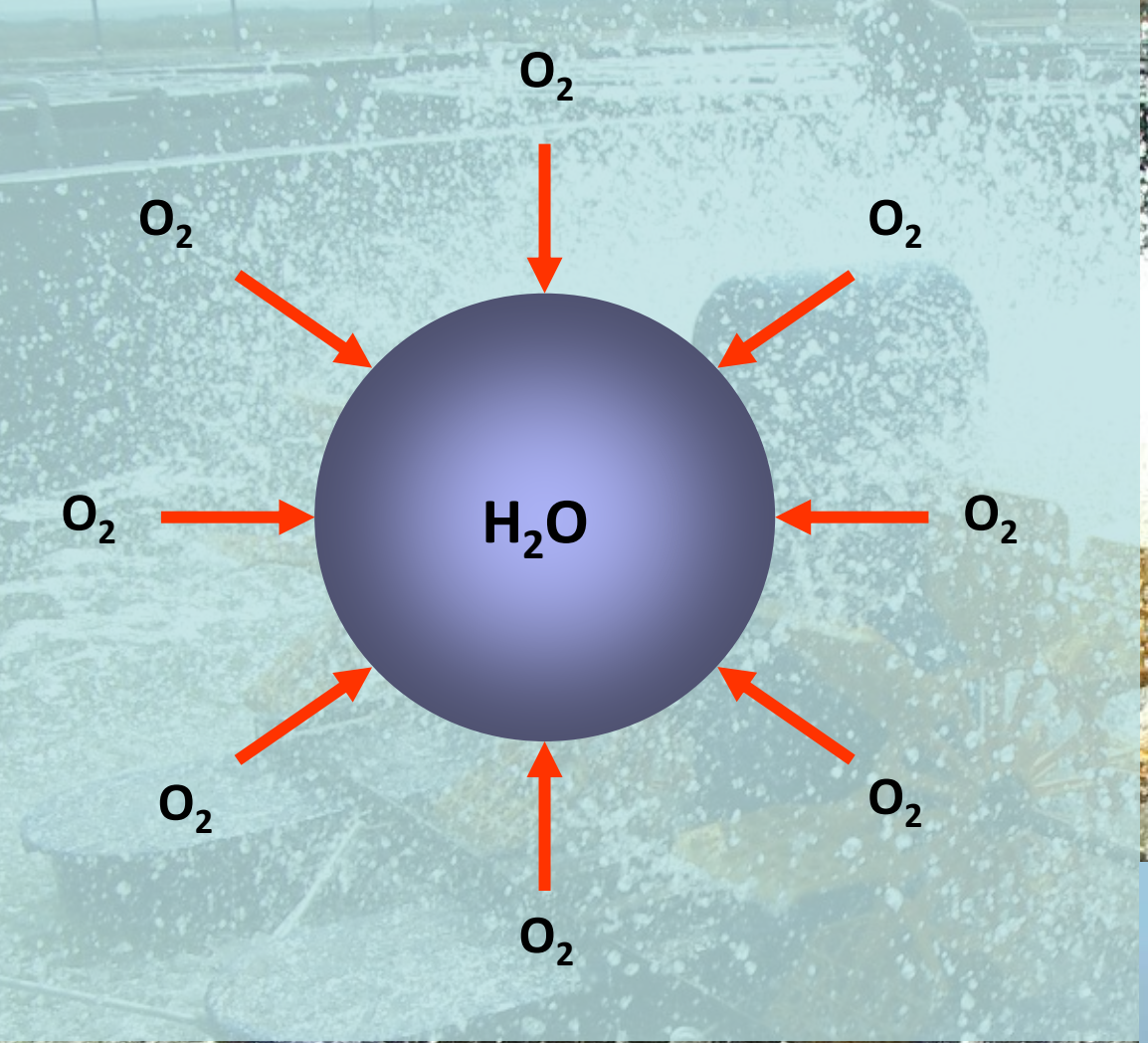
Abstract

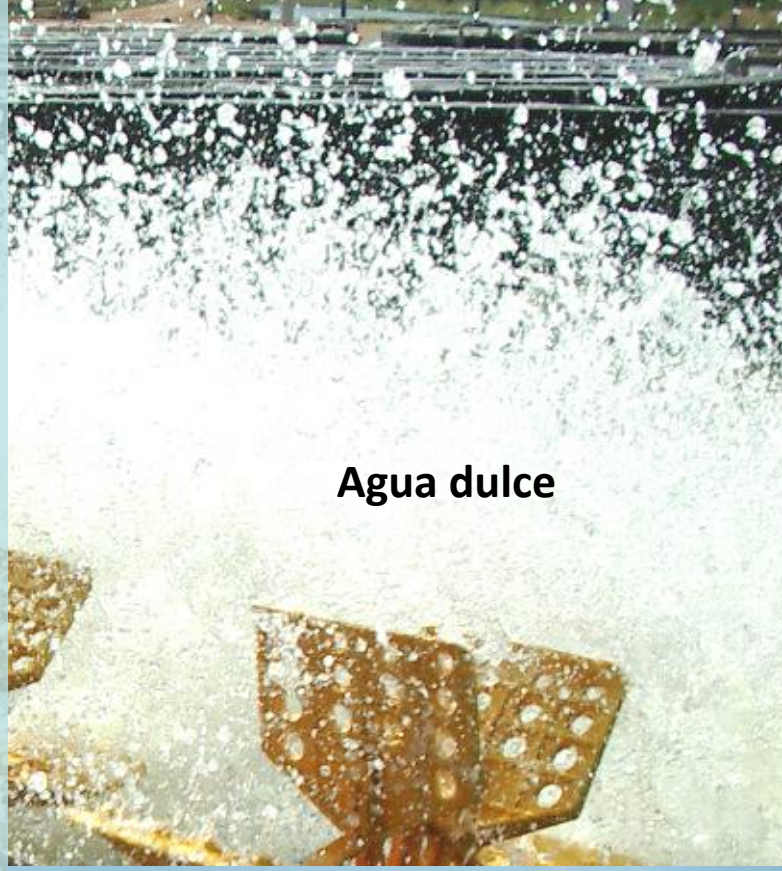
The objective of this study was to determine the standard oxygen transfer rate (SOTR) (kg O_2/h) of 2-HP (1.49 kW) paddlewheel (PW) and propeller-aspirator-pump (PAP) aerators submitted to salinities of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60‰. Tests were carried out in round 50 m^3 tanks. SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators was maximum (3.79 ± 0.30 and 3.62 ± 0.04 kg O_2/h, respectively) at salinity 30‰. Above 30‰, efficiency of aerators was slightly reduced. These results suggest that it is possible to calculate the number of aerators according to the salinity of the culture ponds and, consequently, predict electricity costs.

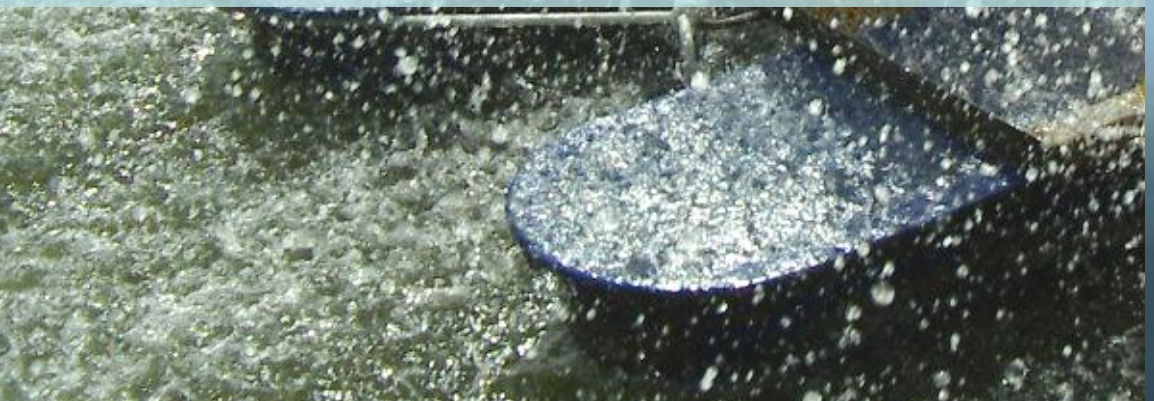
© 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: SOTR; Dissolved oxygen; Salinity; Aerators

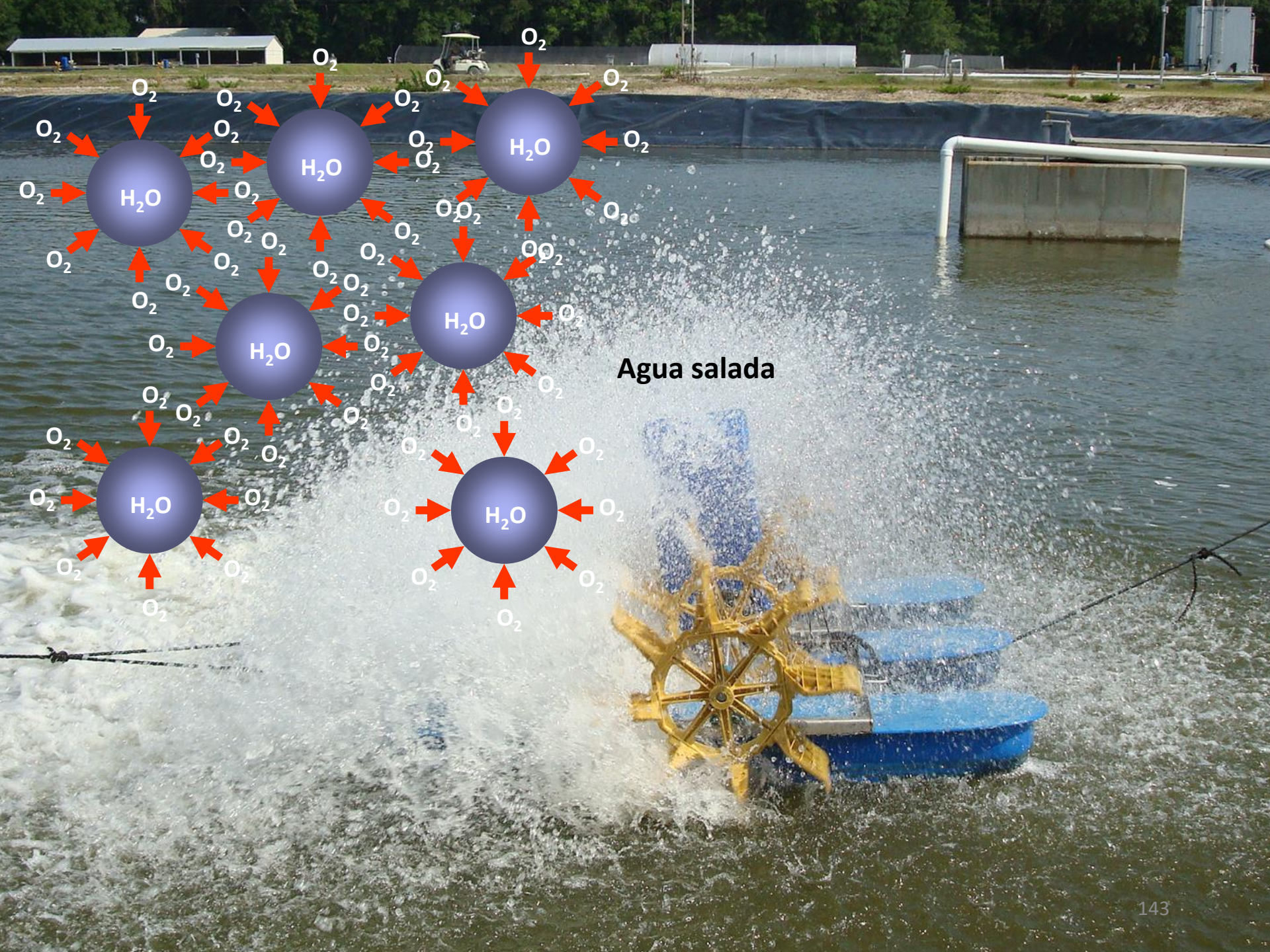

Tasa patrón de transferencia de oxígeno
(SOTR, "standard oxygen transfer rate")
ppmil
0 5 10 15 20 25 30 35 40
KgO2/h
4 3,5 3 2,5 2 1,5 1
Aeradores Bernauer
B-209
B-203
2,18 2,28 2,69 3,53 3,70 3,75 3,79 3,71 3,55
1,24 1,61 2,28 3,16 3,28 3,51 3,58 3,43 3,15


O_2
O_2
O_2
O_2
H_2O
O_2
O_2
O_2
O_2

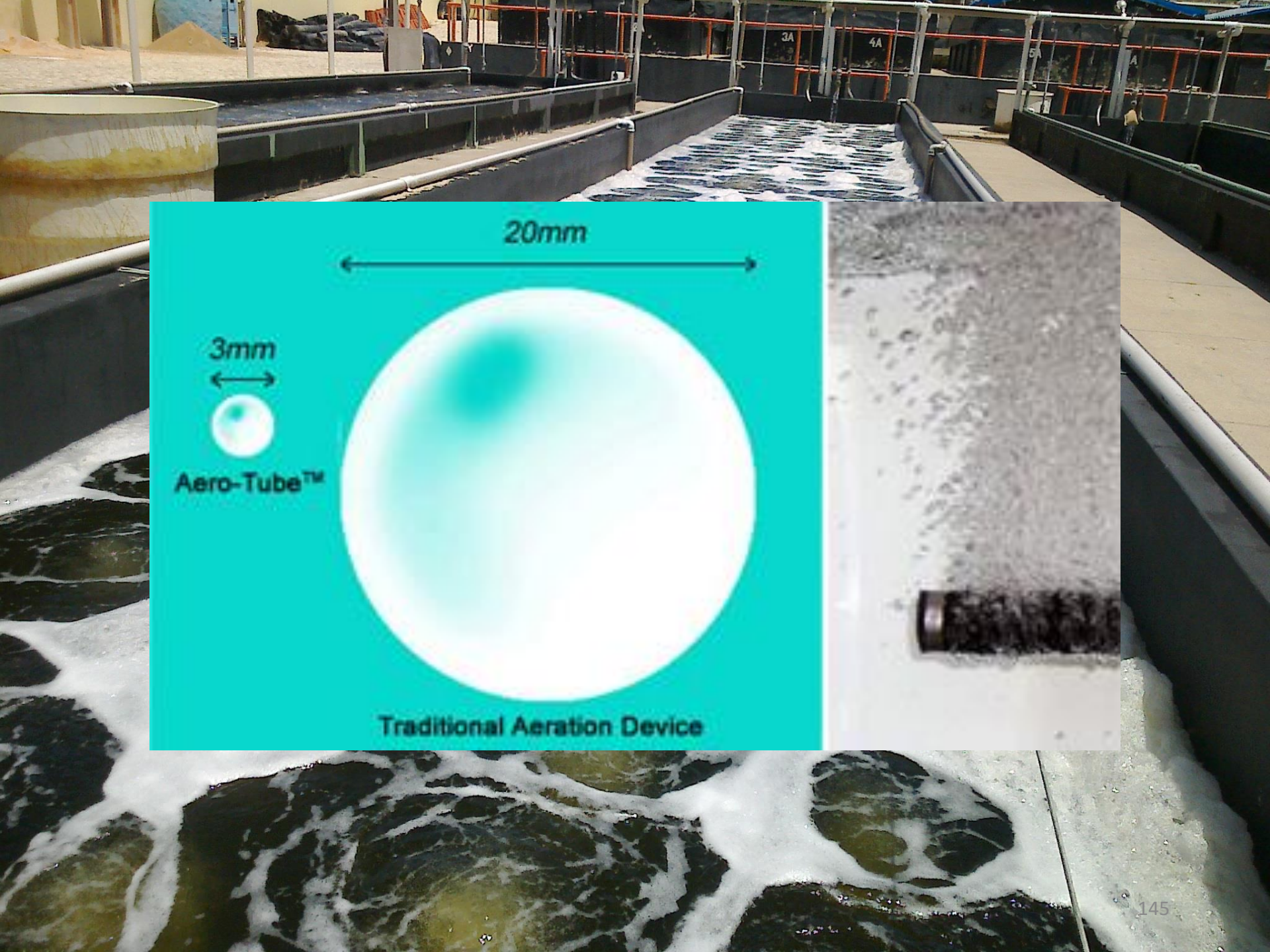

Agua dulce



Tensión
Superficial


Agua salada

Mangueras polidifusoras (aerotube)

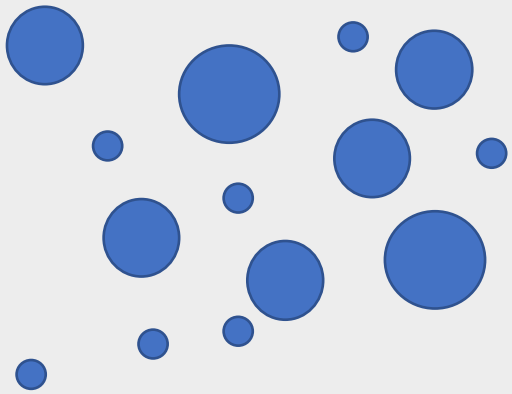

20mm
3mm
Aero-Tube™
Traditional Aeration Device

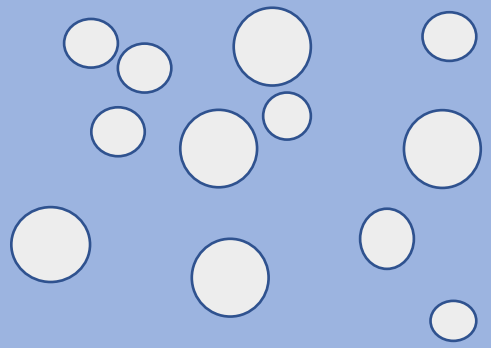
¿Cuál es más eficiente?

¿Aireador de paletas?

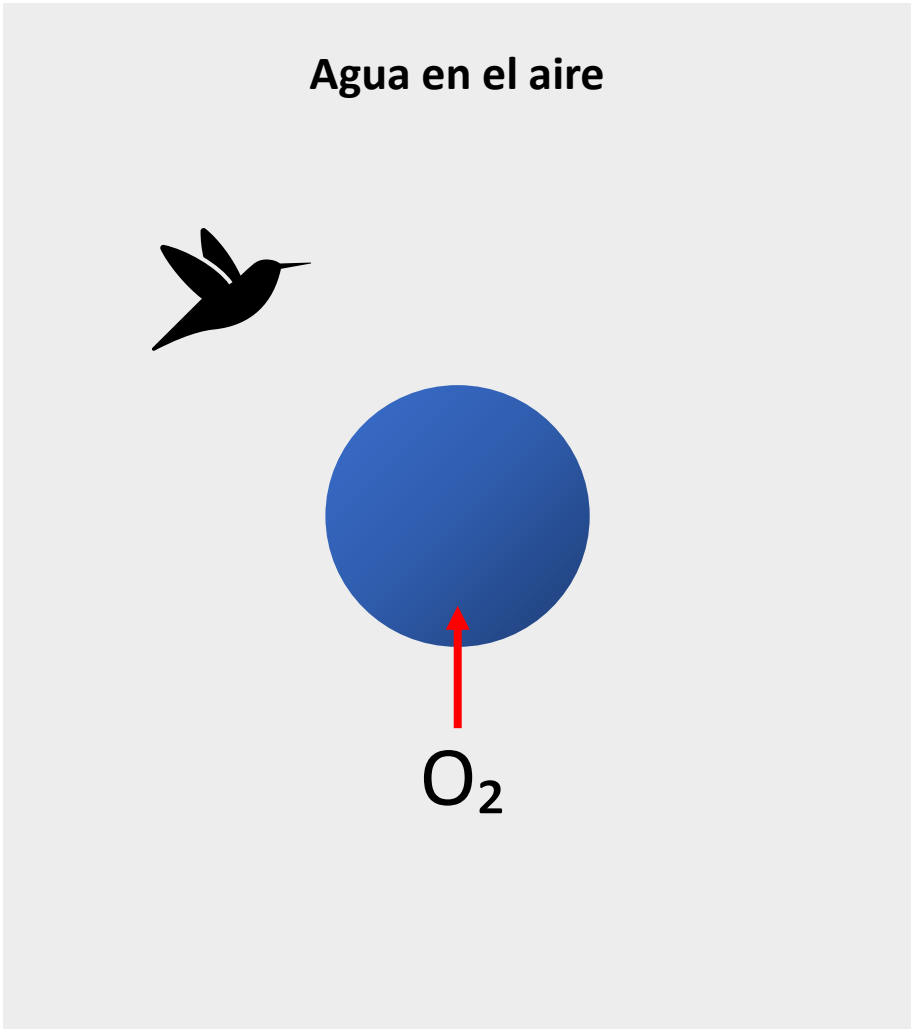
¿Turbina inyectora?

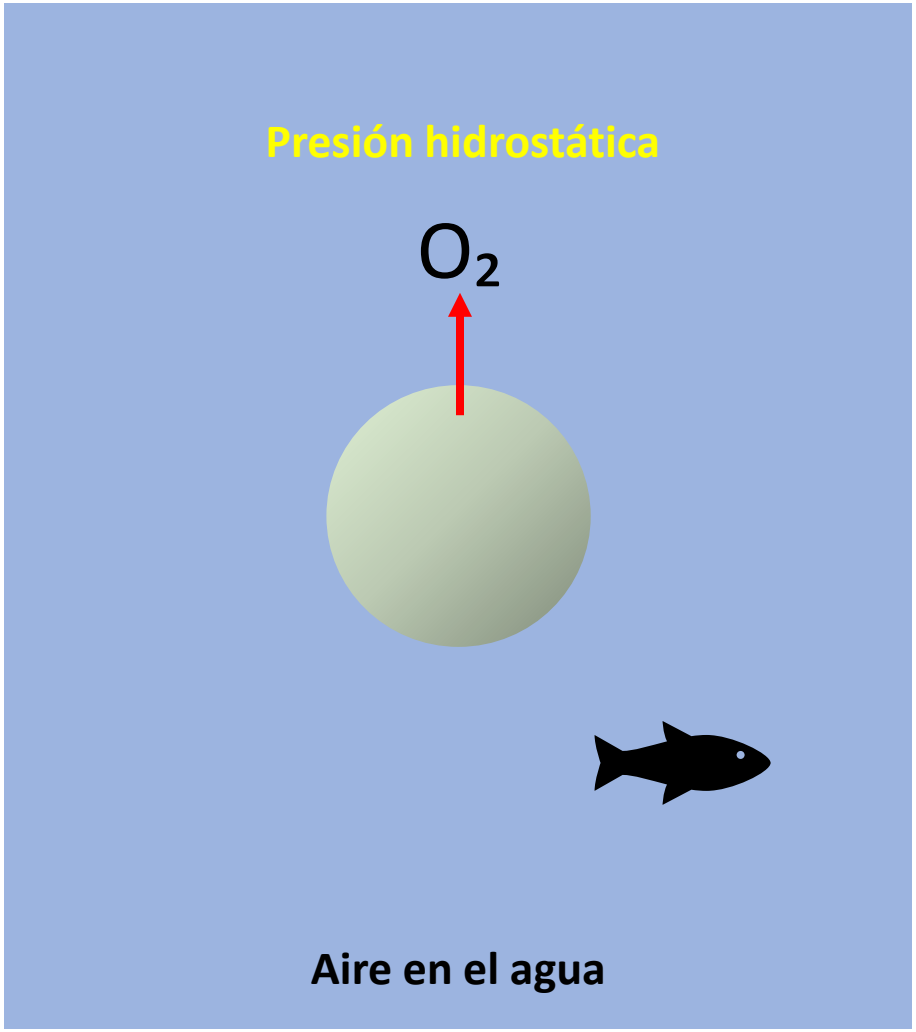
Agua en el aire





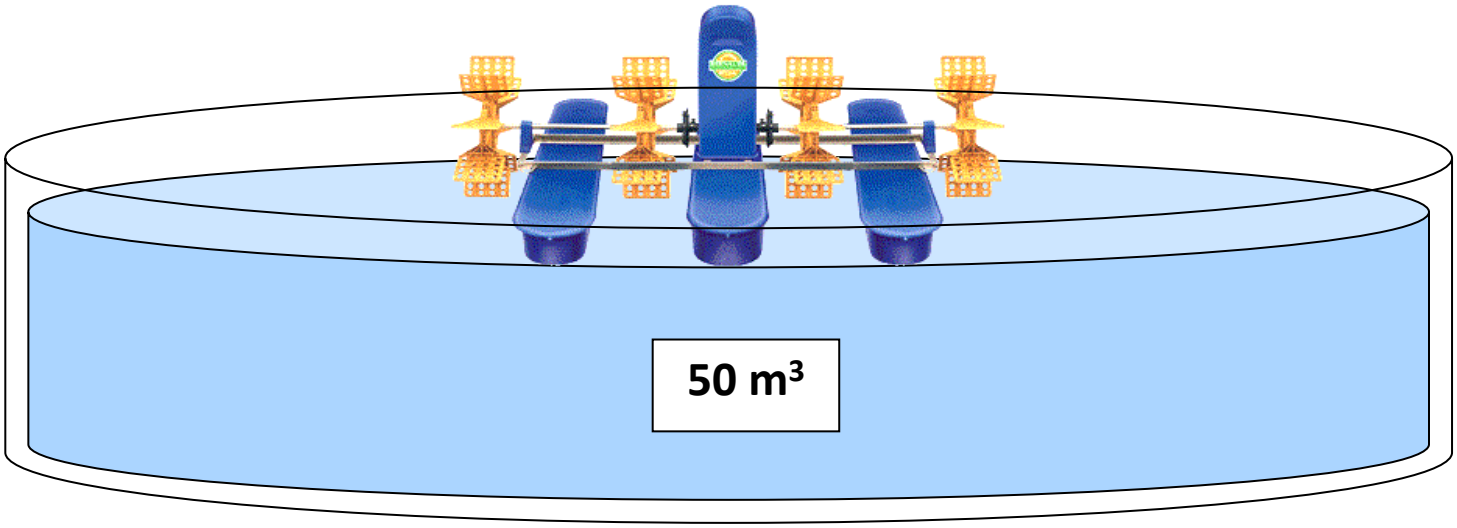
Aire en el agua





Más eficiente

Menos eficiente



Reactivos

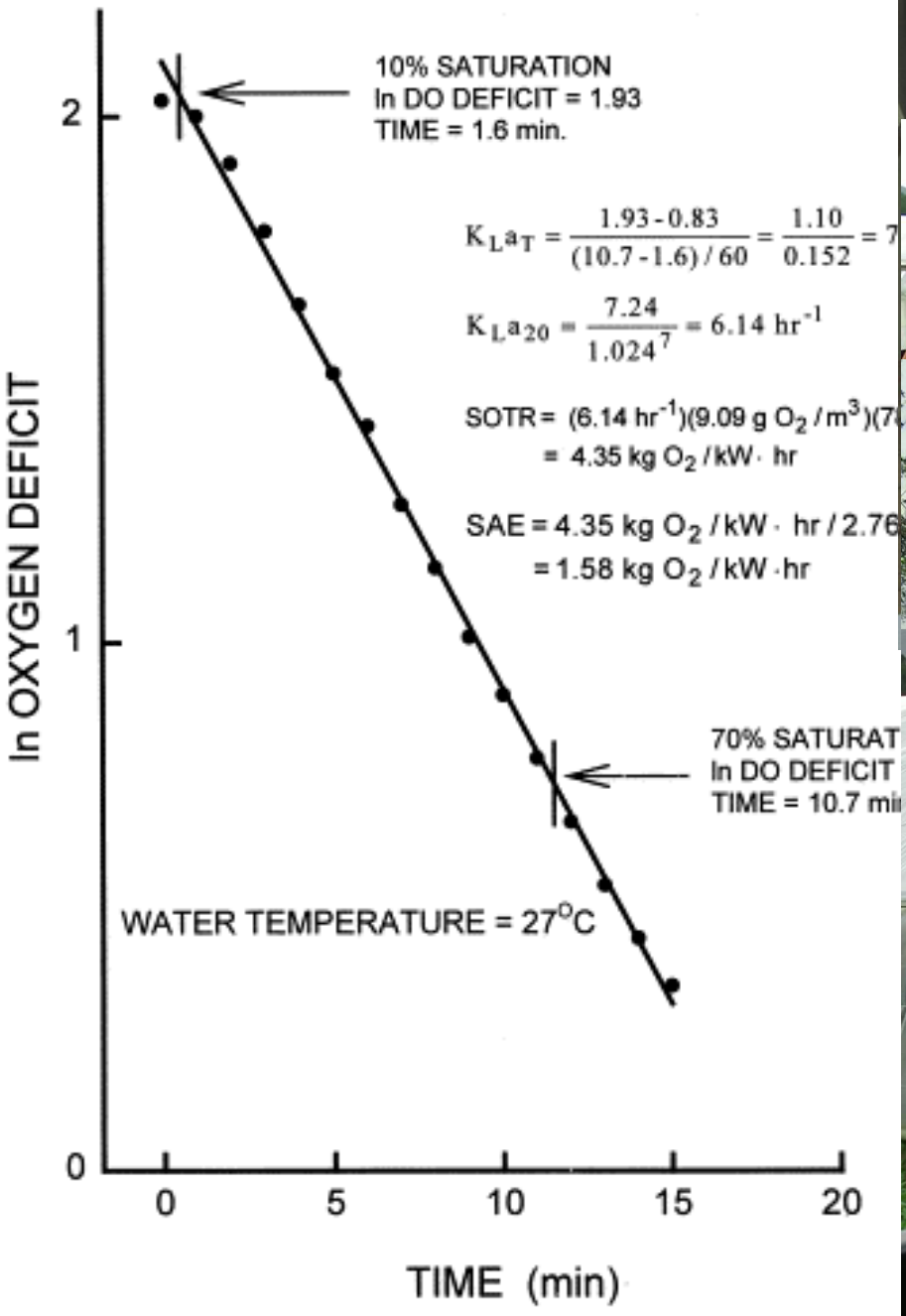
$Na_2S_5O_5$ (10 mg/L/mg de O_2)
$CoCl_2$ (0,1 mg/L)

Aparatos

Oxigenómetro
Termómetro
Cronómetro

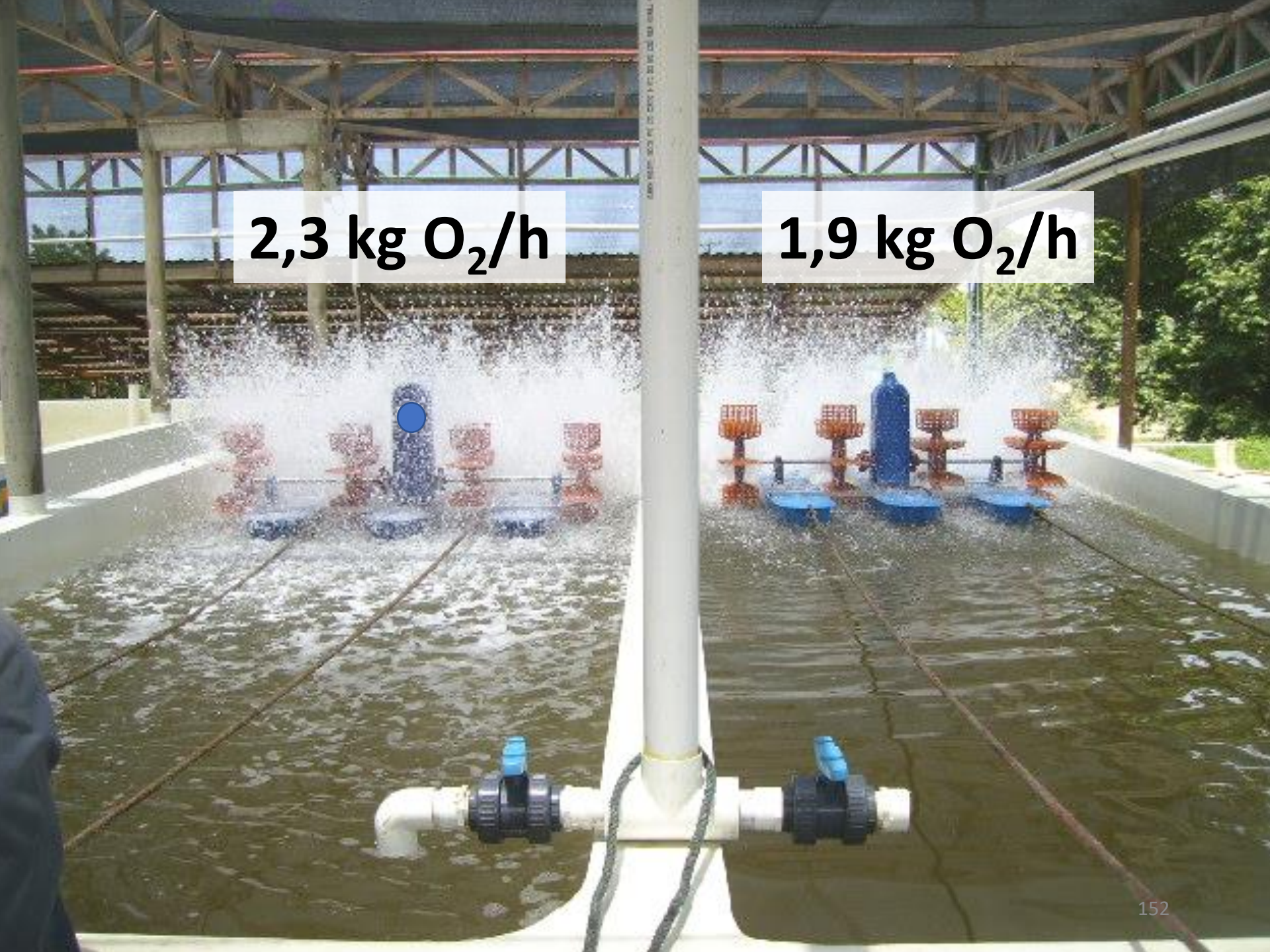
$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

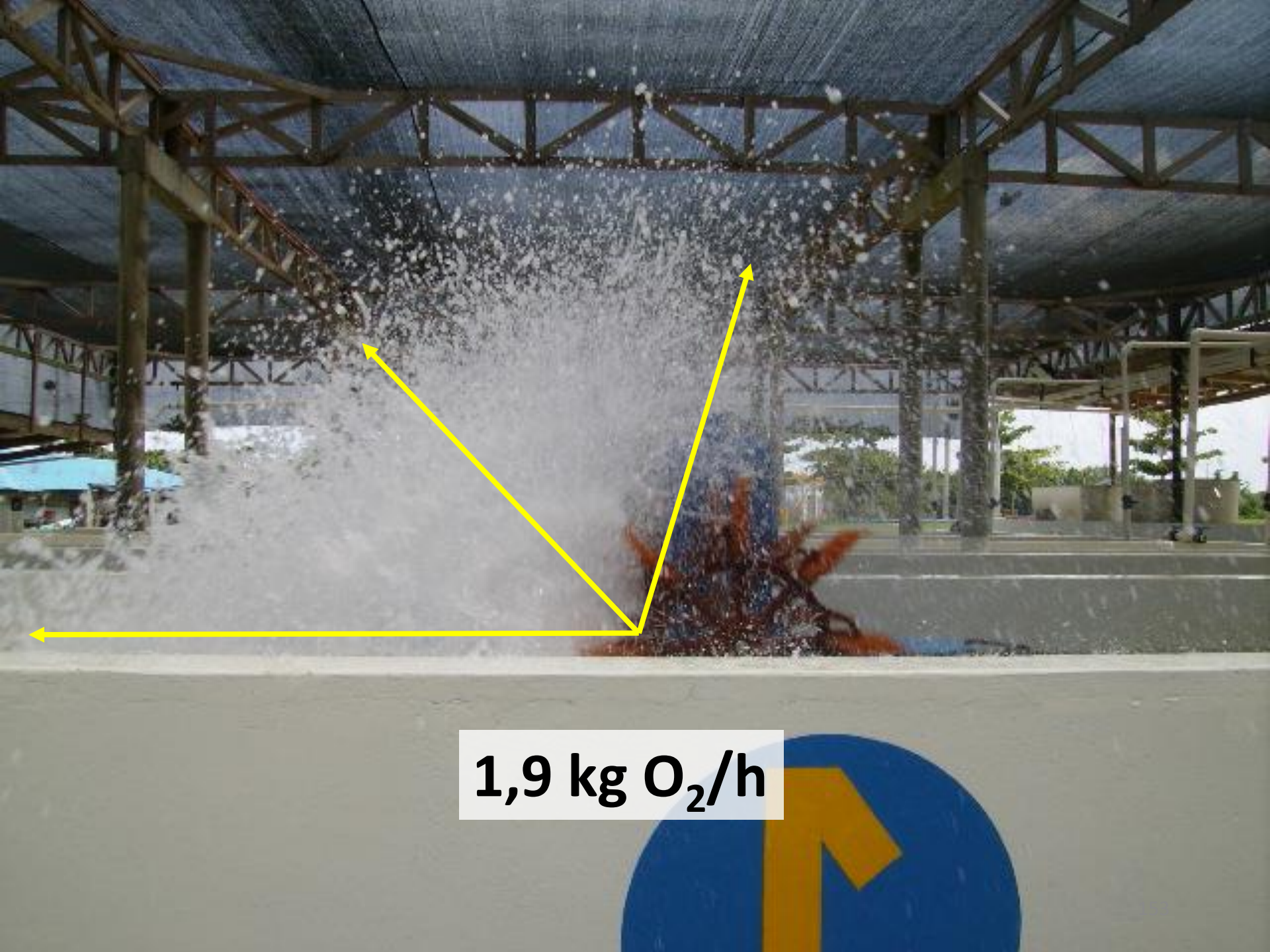
luis.vinatea@ufsc.br

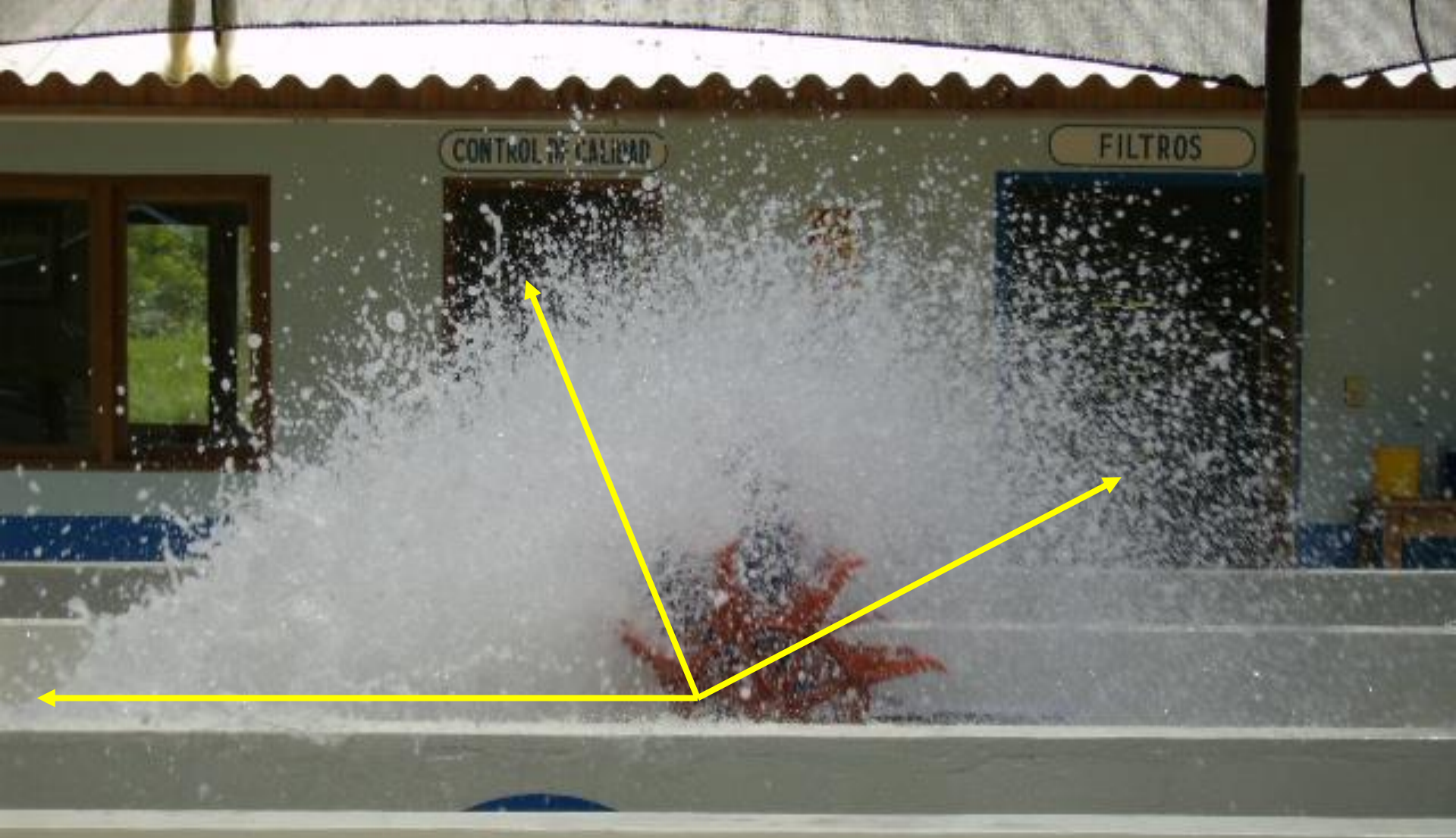

10% SATURATION
ln DO DEFICIT = 1.93
TIME = 1.6 min.
$K_L a_T = \frac{1.93 - 0.83}{(10.7 - 1.6)/60} = \frac{1.10}{0.152} = 7$
$K_L a_{20} = \frac{7.24}{1.024^7} = 6.14\ hr^{-1}$
SOTR = $(6.14\ hr^{-1})(9.09\ g\ O_2/m^3)(7$
= 4.35 kg O_2 / kW · hr
SAE = 4.35 kg O_2 / kW · hr / 2.76
= 1.58 kg O_2 / kW · hr
70% SATURAT
ln DO DEFICIT
TIME = 10.7 mi
WATER TEMPERATURE = 27°C
ln OXYGEN DEFICIT
2
1
0
0
5
10
15
20
TIME (min)

Pruebas comparativas

2 HP – 1,48 kw


2,3 kg O_2/h
1,9 kg O_2/h


1,9 kg O_2/h



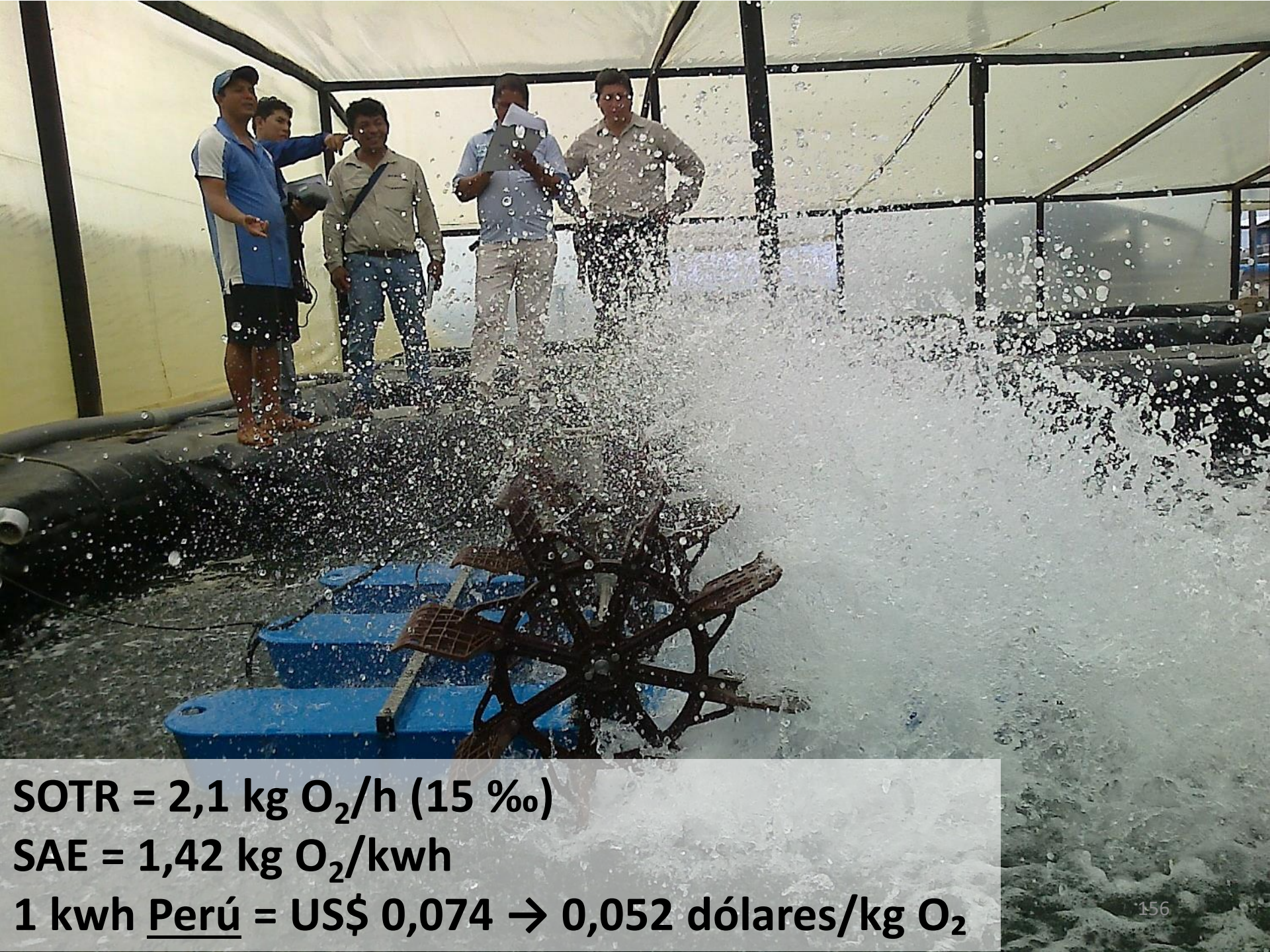
2,3 kg O_2/h

SOTR = 2,1 kg O_2/h (15 ‰)

SAE = 1,42 kg O_2/kwh

1 kwh <u>México</u> = US$ 0,040 → 0,028 dólares/kg O_2

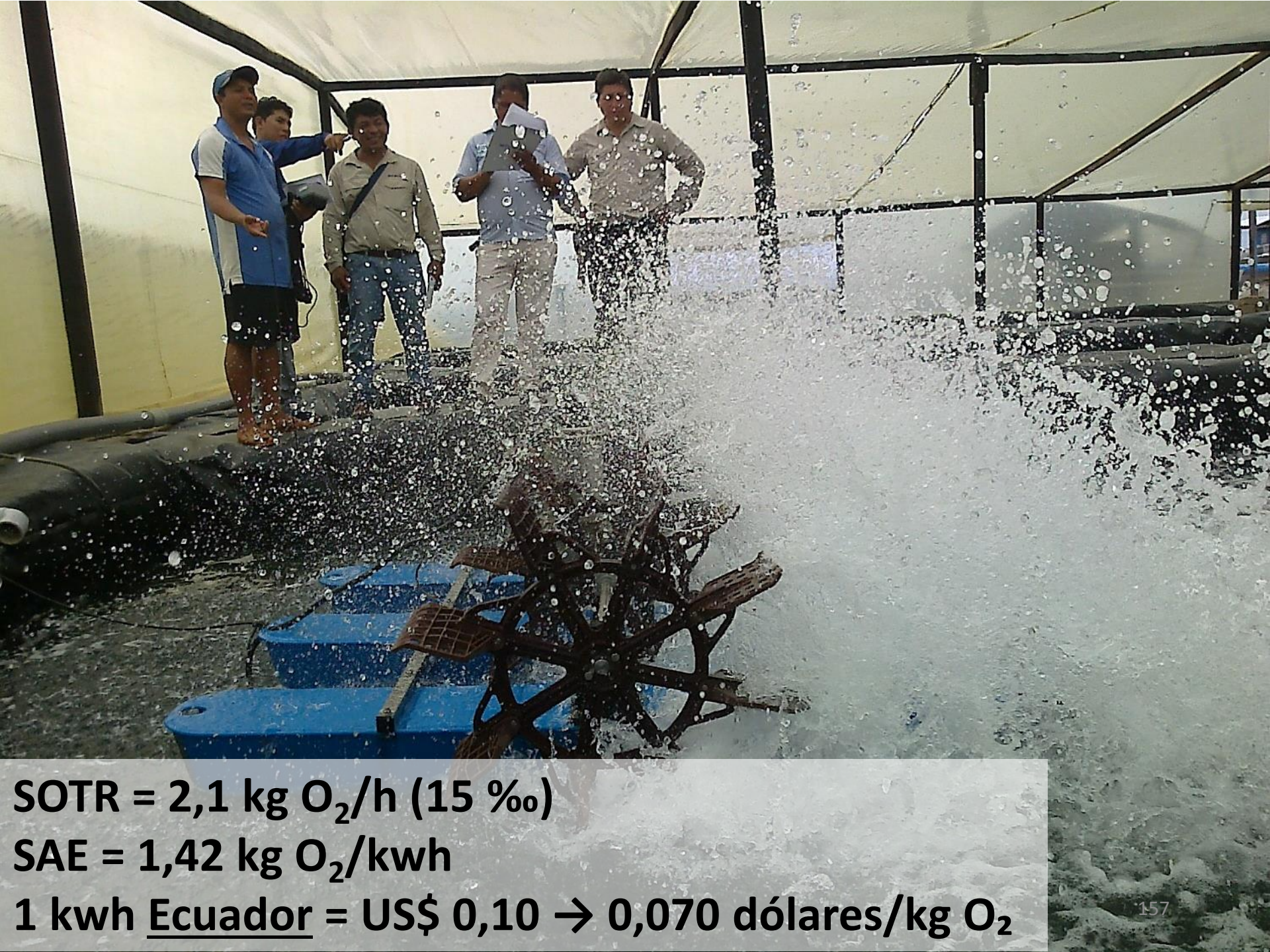
(US$/kwh ÷ SAE)



SOTR = 2,1 kg O_2/h (15 ‰)

SAE = 1,42 kg O_2/kwh

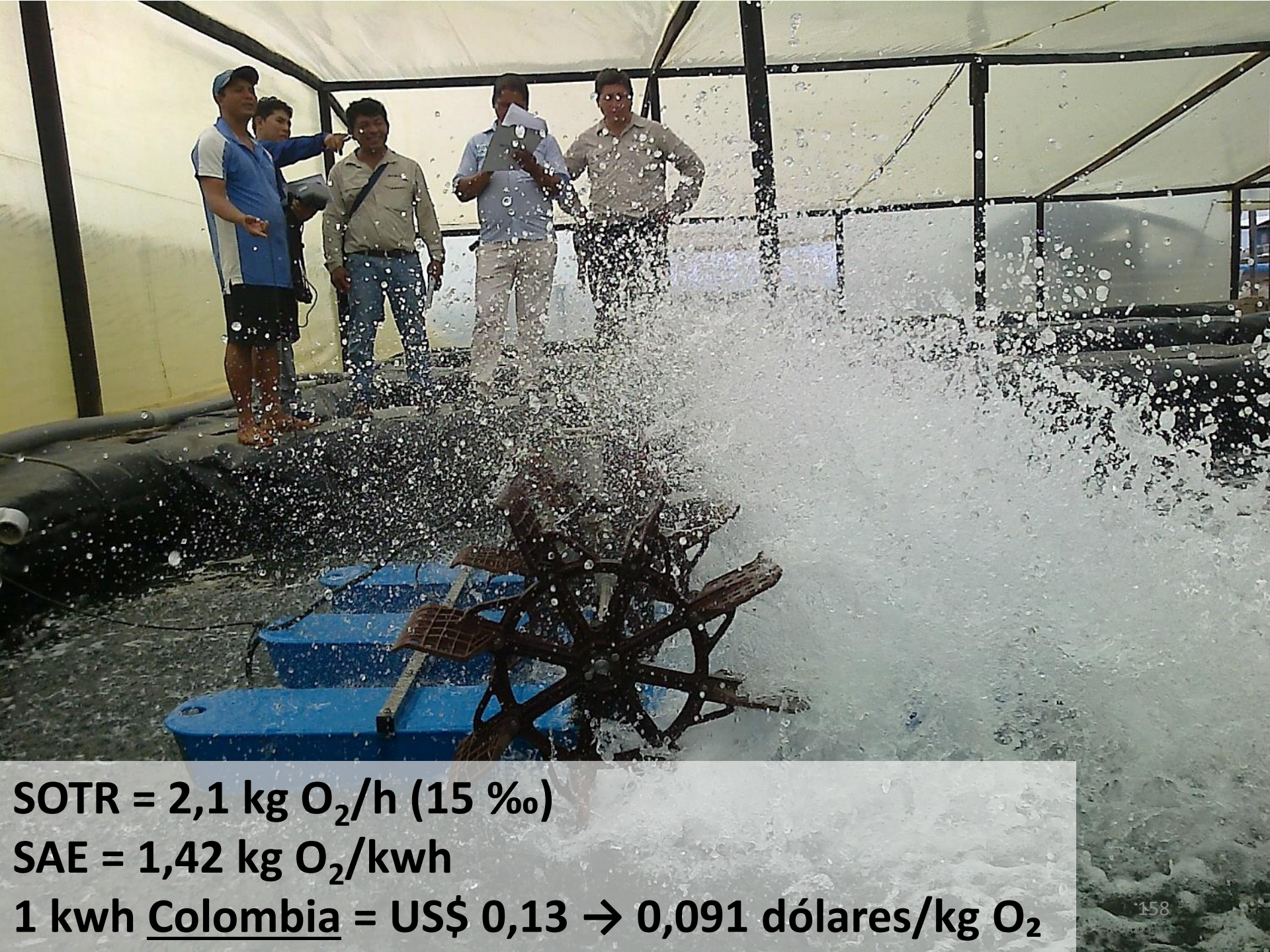
1 kwh Perú = US$ 0,074 → 0,052 dólares/kg O_2



SOTR = 2,1 kg O_2/h (15 ‰)

SAE = 1,42 kg O_2/kwh

1 kwh <u>Ecuador</u> = US$ 0,10 → 0,070 dólares/kg O_2



SOTR = 2,1 kg O_2/h (15 ‰)

SAE = 1,42 kg O_2/kwh

1 kwh Colombia = US$ 0,13 → 0,091 dólares/kg O_2

SOTR = 2,0 kg O_2/h (23 ‰) Monofásico

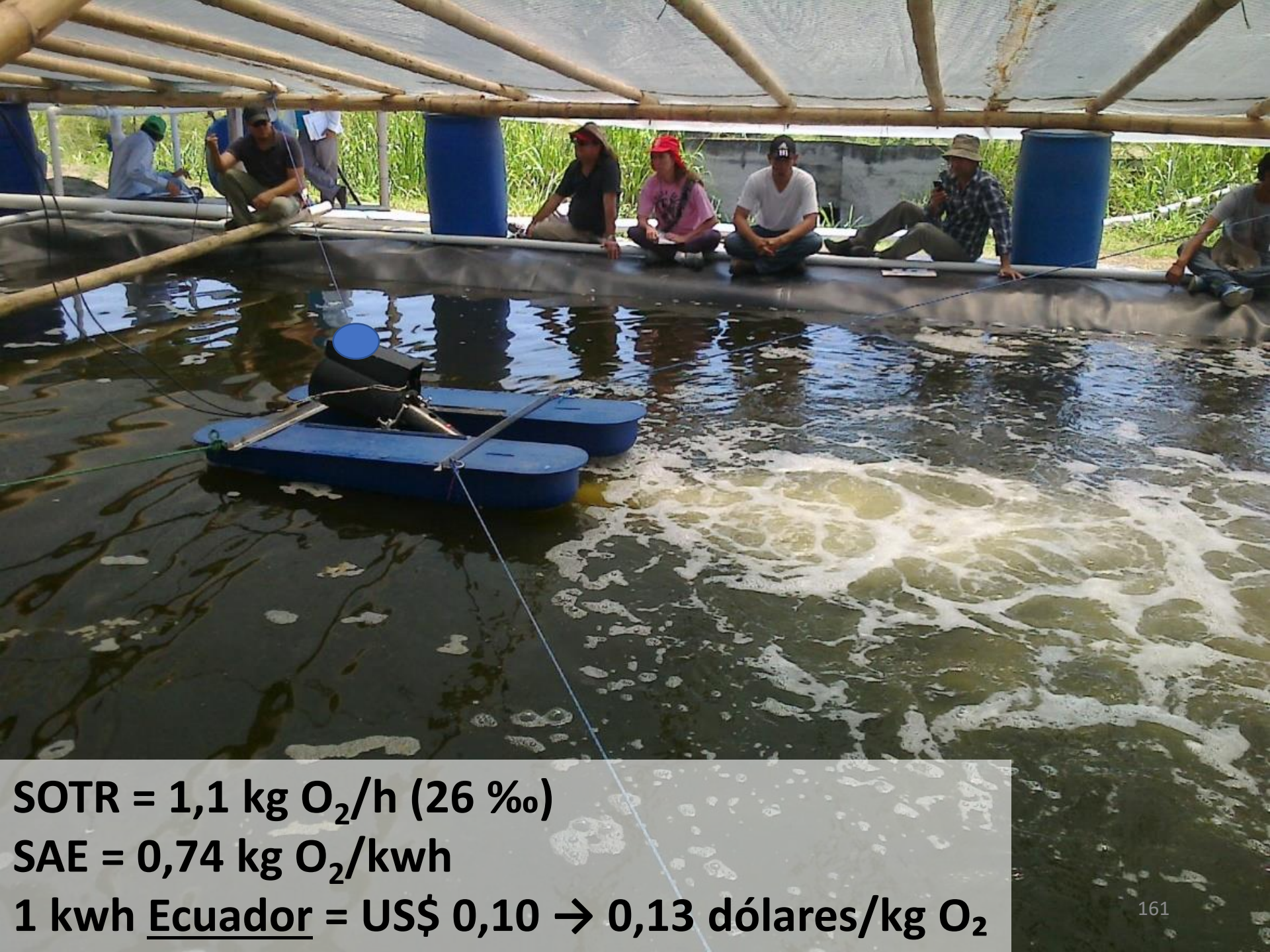
SAE = 1,35 kg O_2/kwh

1 kwh Ecuador = US$ 0,10 – 0,074 dólares/kg O_2

SOTR = 1,6 kg O_2/h (26 ‰)

SAE = 1,08 kg O_2/kwh

1 kwh <u>Ecuador</u> = US$ 0,10 → 0,092 dólares/kg O_2



SOTR = 1,1 kg O_2/h (26 ‰)

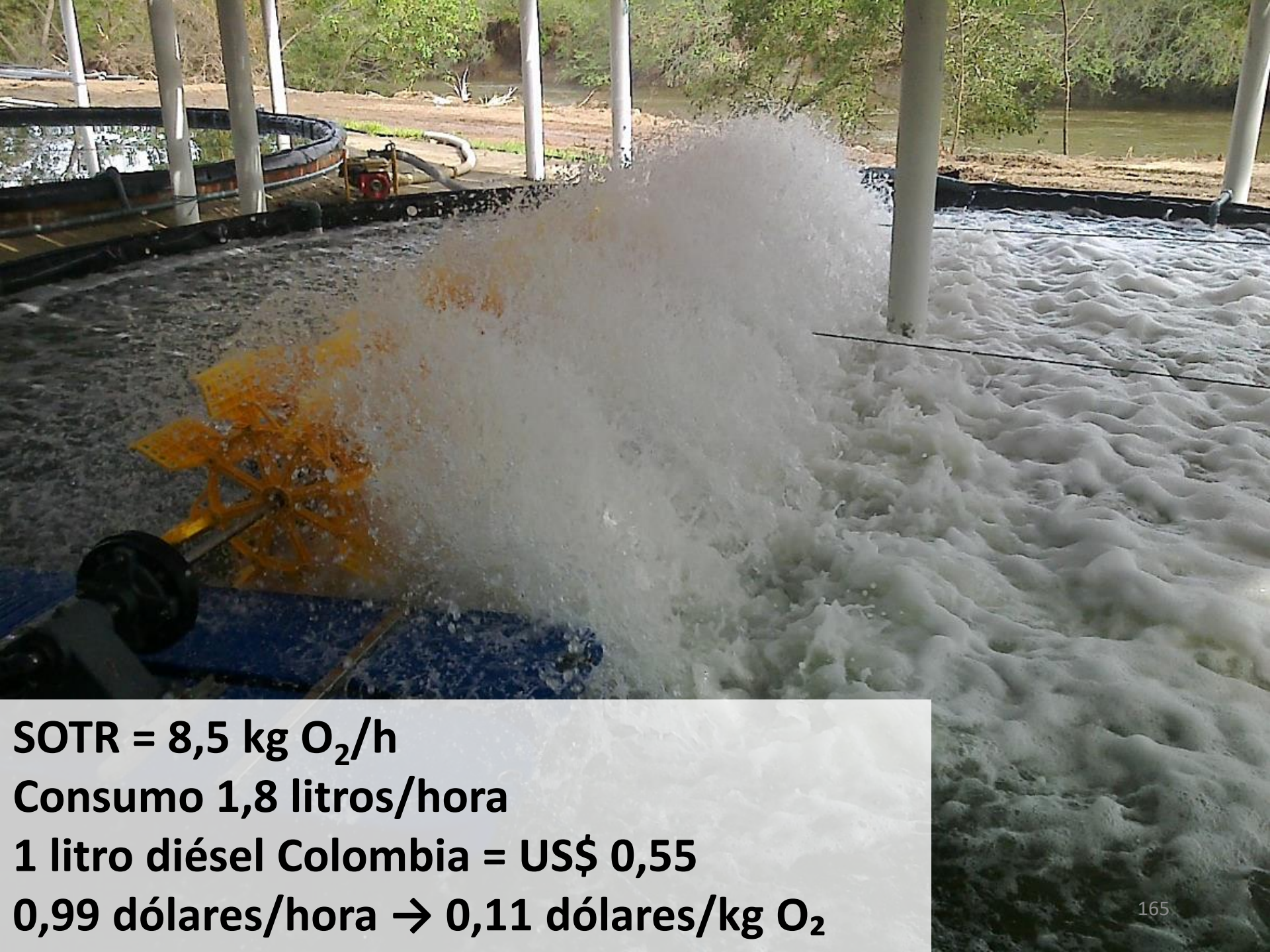
SAE = 0,74 kg O_2/kwh

1 kwh Ecuador = US$ 0,10 → 0,13 dólares/kg O_2

16 paletas acopladas a un motor diésel de 10 HP

Motor de 10 HP
15 litros diésel
8 horas de autonomía

SOTR = 8,5 kg O_2/h
Consumo 1,8 litros/hora
1 litro diésel Ecuador = US$ 0,24
0,432 dólares/hora → 0,051 dólares/kg O_2
(US$/hora ÷ SOTR)



SOTR = 8,5 kg O_2/h
Consumo 1,8 litros/hora
1 litro diésel Colombia = US$ 0,55
0,99 dólares/hora → 0,11 dólares/kg O_2

SOTR = 8,5 kg O_2/h

SAE = 1,14 kg O_2/kwh

Consumo 1,8 litros/hora

1 litro diésel Perú = US$ 0,96

1,72 dólares/hora → 0,20 dólares/kg O_2

SOTR = 8,5 kg O_2/h

SAE = 1,14 kg O_2/kwh

Consumo 1,8 litros/hora

1 litro diésel Brasil = US$ 1,00

1,80 dólares/hora → 0,21 dólares/kg O_2

ELSEVIER

Aquacultural Engineering 26 (2002) 129–147

aquacultural engineering

www.elsevier.com/locate/aqua-online

Effect of speed on Taiwanese paddlewheel aeration

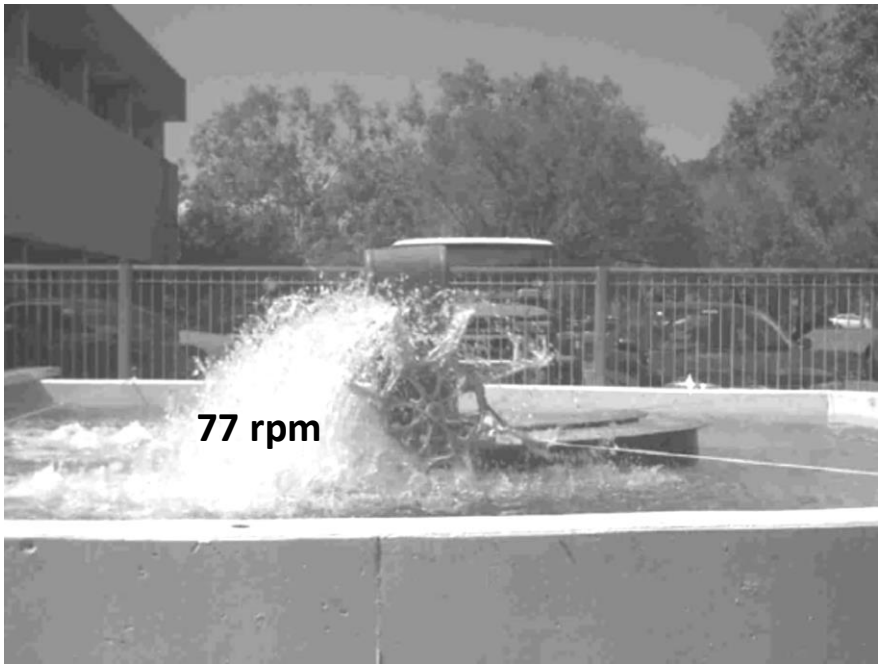
Eric L. Peterson *, Margaret B. Walker

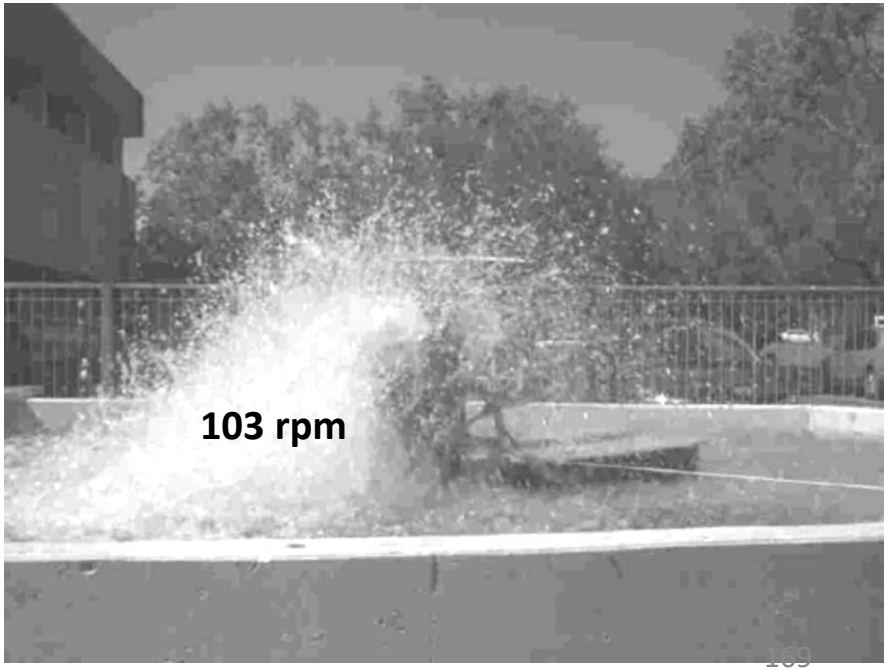
School of Engineering, James Cook University, Townsville 4811, Australia

Received 26 July 2001; accepted 3 April 2002

Abstract

Aerators are generally used in Australian aquaculture ponds day and night at full speed without regulation. This situation is untenable in view of climate change, as energy conservation becomes an essential issue for all industries, including aquaculture. Variable speed performance curves were developed for the paddlewheel aerators that have been employed on Australian marine aquaculture ponds so that speed may be actively adjusted to match pond water quality requirements. Results show that speed of rotation is a significant factor effecting the performance of a paddlewheel aerator. Of particular note was the observation of backsplashing when kinetic energy (pumping head) was greater than the radius of a paddlewheel. The process of backsplashing is readily identified when whitewater is seen flying above a paddlewheel. It is hypothesised that backsplashing dilutes the oxygen-starved water entering a paddlewheel, thereby degrading the operational efficiency. Backsplash breakpoint speed is related to paddlewheel diameter. Aerator users can reduce backsplash by changing mechanical gearboxes or using a variable frequency drive (VFD inverter). © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved.


77 rpm


103 rpm

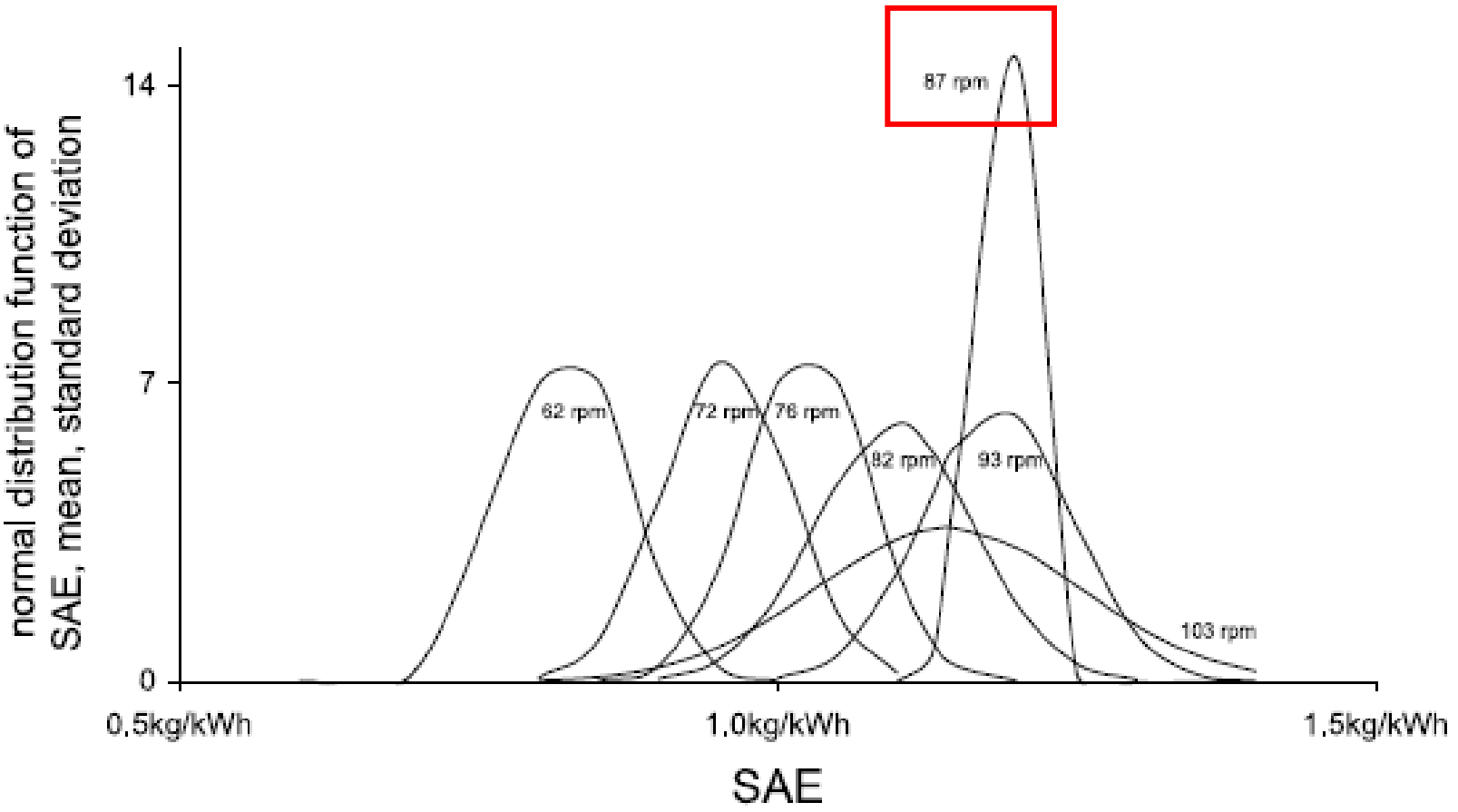


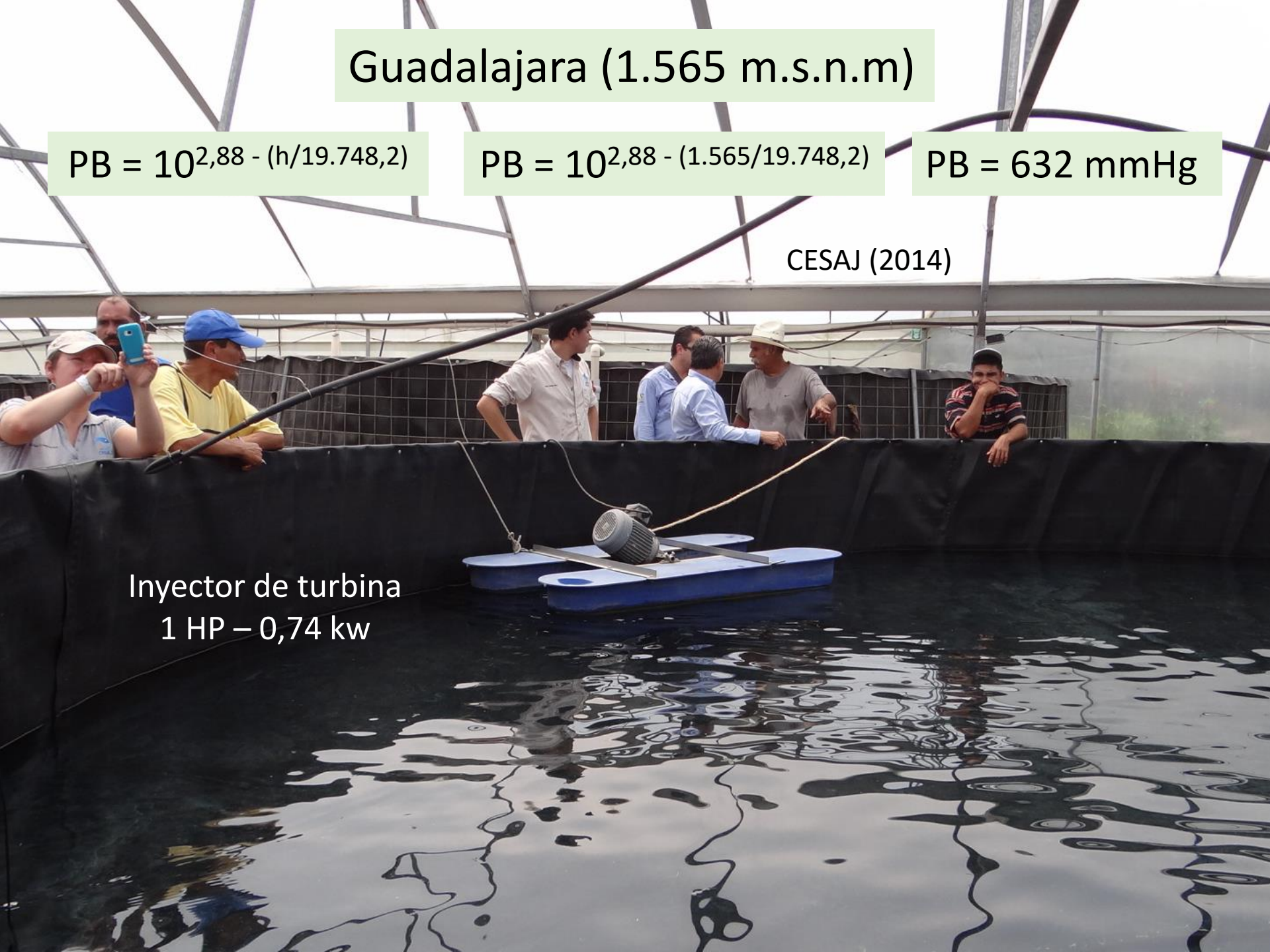
Fig. 4. Normal distributions of observations of paddlewheel A at various speeds. This figure establishes that a one-tailed significance test is appropriate for comparison of results as speed was increased. This also illustrates the variable confidence of estimated means, whereby 103 rpm is most undetermined, suggesting instability at this speed.

Guadalajara (1.565 m.s.n.m)

$PB = 10^{2,88 - (h/19.748,2)}$

$PB = 10^{2,88 - (1.565/19.748,2)}$

PB = 632 mmHg



CESAJ (2014)

Inyector de turbina
1 HP – 0,74 kw

45’ para 70 %
SOTR: 0,41 mg O_2/h
SAE: 0,54 mg O_2/kwh

7. Número de aireadores por estanque

Número de aireadores

Demanda Total de O_2

Altitud

Salinidad

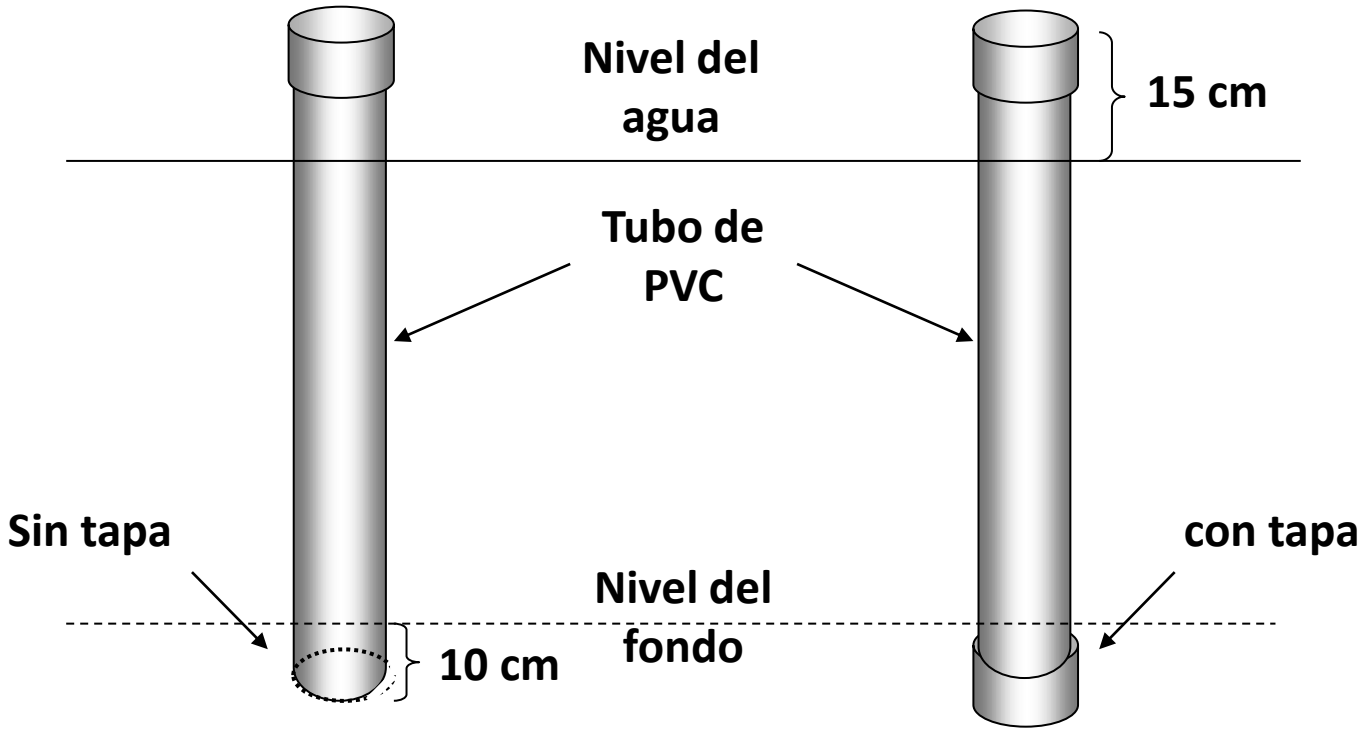
SOTR

luis.vinatea@ufsc.br

$$\text{Número de aireadores} = \frac{\text{TOD}}{\text{OTR}_T}$$

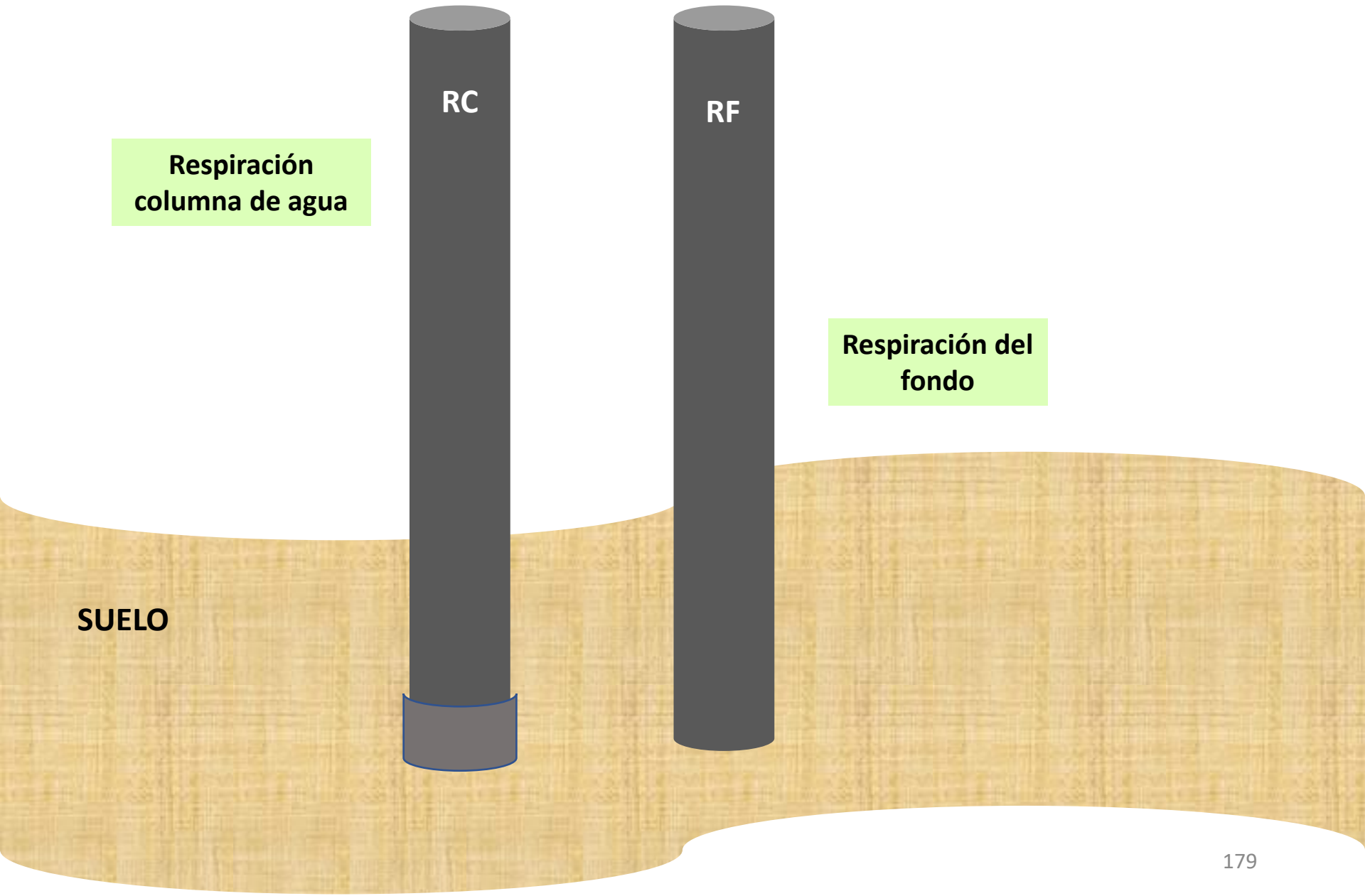
Demanda total de oxígeno del estanque

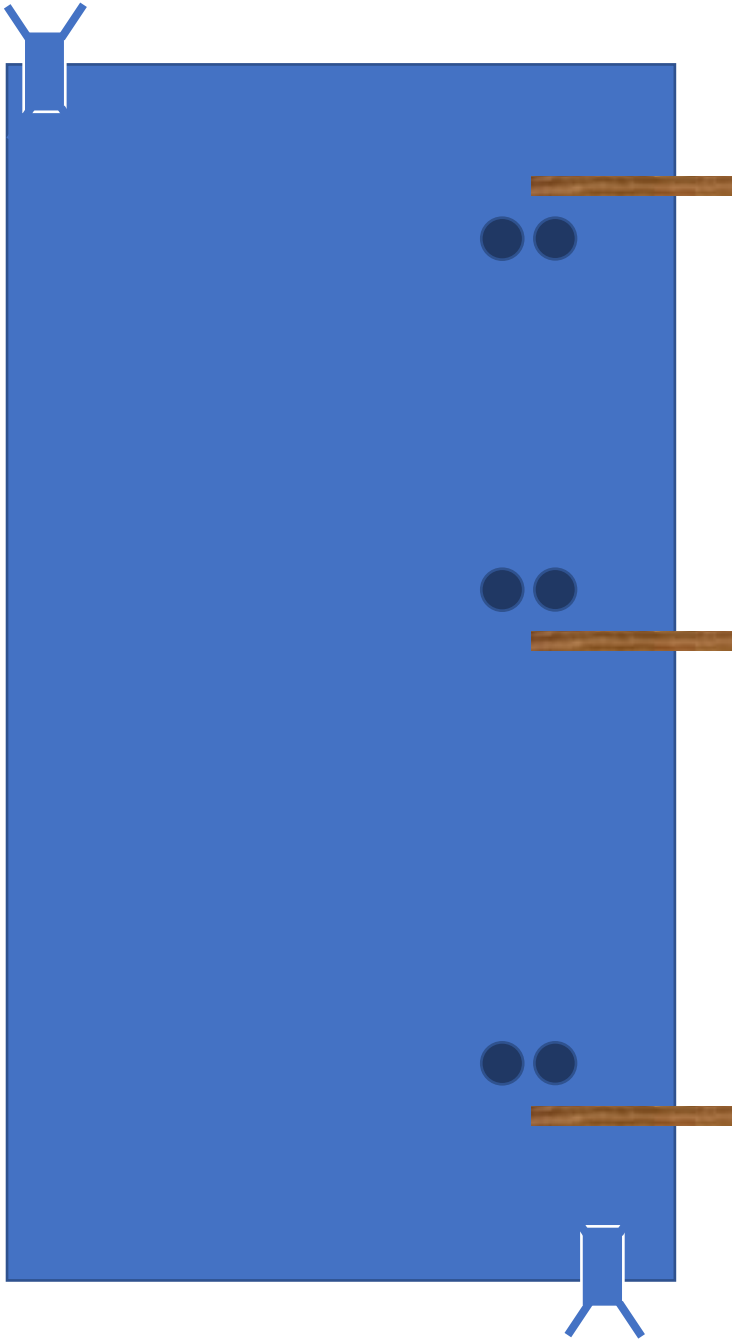
Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores

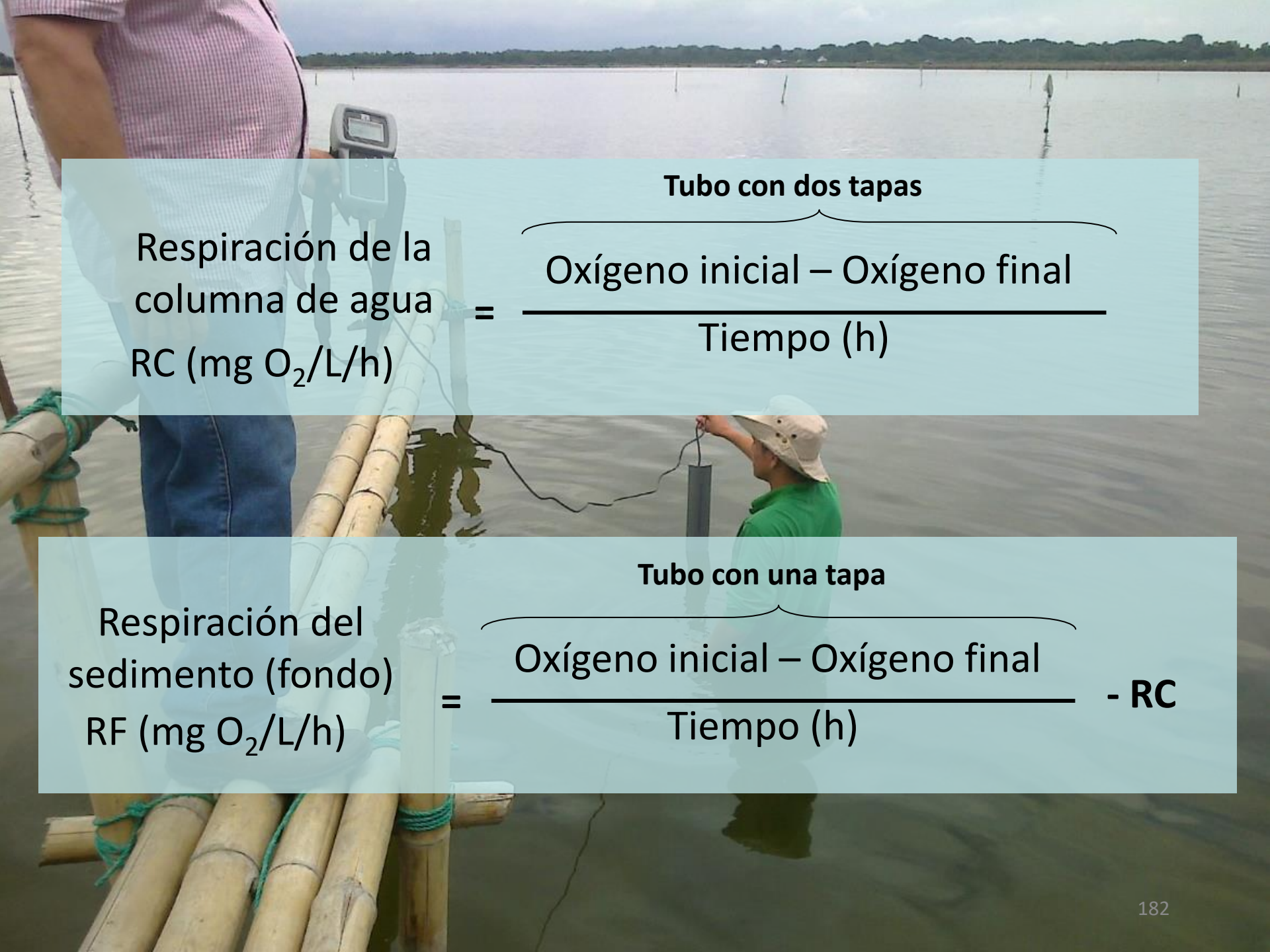


Columnas de respiración para la determinación del consumo de oxígeno del agua y del sedimento (adaptado de Boyd, 1995).

Respiración del fondo
Respiración columna de agua


RC
RF
Respiración columna de agua
Respiración del fondo
SUELO





Respiración de la columna de agua

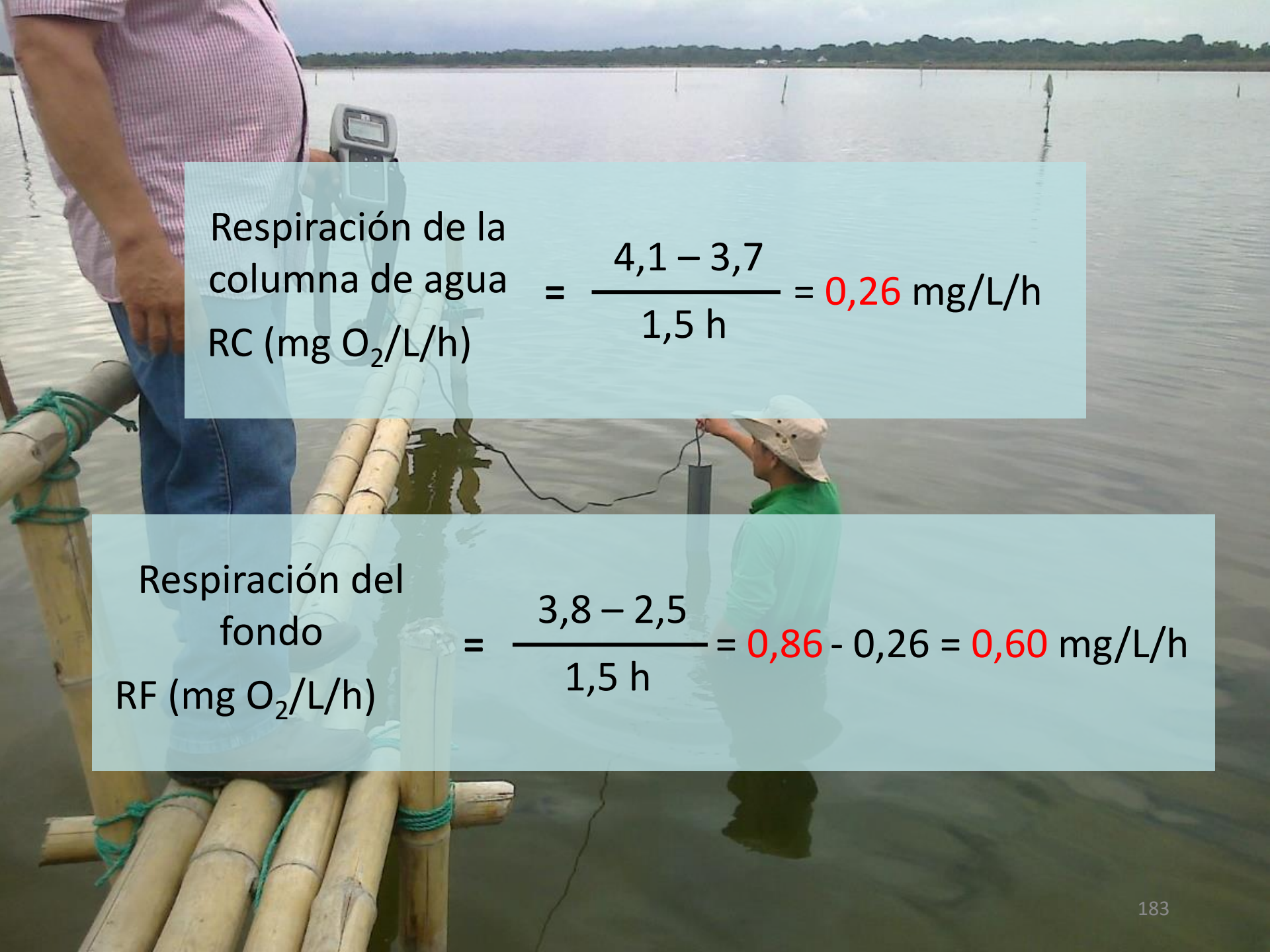
RC (mg O_2/L/h)

$$= \frac{\overbrace{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}^{\textbf{Tubo con dos tapas}}}{\text{Tiempo (h)}}$$

Respiración del sedimento (fondo)

RF (mg O_2/L/h)

$$= \frac{\overbrace{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}^{\textbf{Tubo con una tapa}}}{\text{Tiempo (h)}} \textbf{ - RC}$$



Respiración de la columna de agua

RC (mg O_2/L/h)

$$= \frac{4{,}1 - 3{,}7}{1{,}5\ \text{h}} = 0{,}26\ \text{mg/L/h}$$

Respiración del fondo

RF (mg O_2/L/h)

$$= \frac{3{,}8 - 2{,}5}{1{,}5\ \text{h}} = 0{,}86 - 0{,}26 = 0{,}60\ \text{mg/L/h}$$

Recomendaciones

Realizar las mediciones por la mañana temprano para evitar sobrecalentamiento

Realizar las mediciones por triplicado, abarcando lo máximo del estanque

Jamás considerar iguales el oxígeno inicial en ambos tubos

Retirar los tubos del agua después de cada medición para evitar el biofilm

Por lo general, el agua respira más que el fondo cuando comienza el cultivo o cuando estamos enfrentando blooms de cianobacterias

El fondo suele respirar más que el agua cuando el cultivo está finalizando o cuando hemos exagerado la alimentación o hemos usado balanceados de baja digestibilidad

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Aquacultural Engineering 36 (2007) 73–80
aquacultural engineering
www.elsevier.com/locate/aqua-online

Evaluation of respiration rates and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture ponds

Kárlia Dalla Santa, Luis Vinatea *

Laboratório de Camarões Marinhos, Departamento de Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, 88062-601 Florianópolis, SC, Brazil

Received 11 July 2006; accepted 26 July 2006

Abstract

To increase the efficiency of dissolved oxygen management in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture in Santa Catarina, Southern Brazil, the present study aimed at characterizing the respiration rates in three ponds (1.2 ha) and estimating the approximate calculation of the actual aeration requirements (HP ha^{-1}) during 9 weeks of a production cycle (February–April, 2003). The sediment respiration rate (SR) and the water column respiration rate (WR) were characterized using the column method, by which ponds initial and final dissolved oxygen concentrations (surface and bottom) were determined, then incubated for 24 h in PVC tubes fixed in the experimental units. SR was significantly higher than WR, except for the third week of culture. SR showed a wide variation (0.07–0.16 g m^{-2} h^{-1}) during the experiment and the highest respiration rate occurred in the last week of culture. Sediment analyses were done in the beginning and in the end of the experiment, and they also showed differences in the concentration of organic matter (3.4 and 6.3%). On the other hand, WR varied little (0.04–0.07 g m^{-2} h^{-1}) and presented a pattern

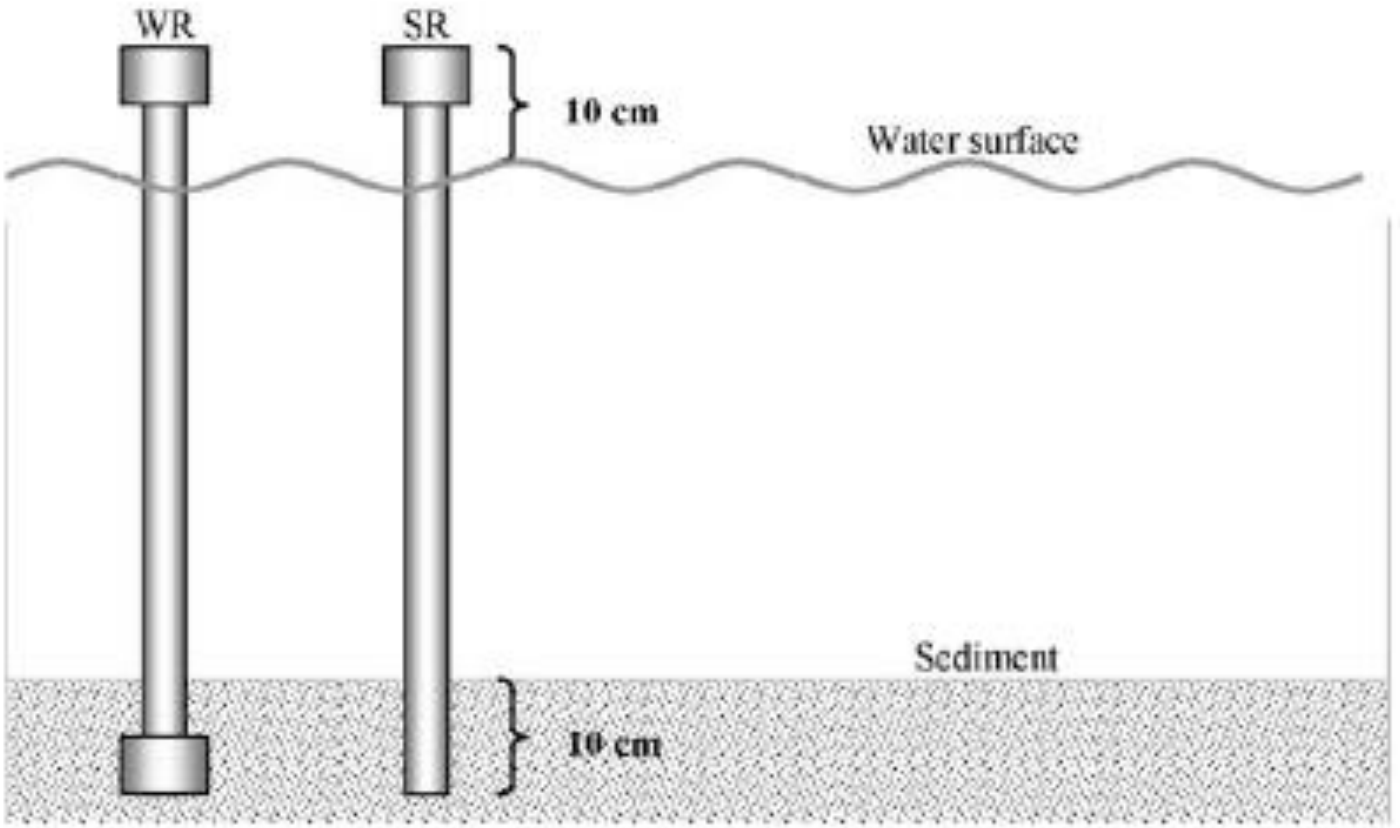


Fig. 1. Schematic drawing of the PVC columns used to determine water respiration rate (WR) and sediment respiration rate (SR).

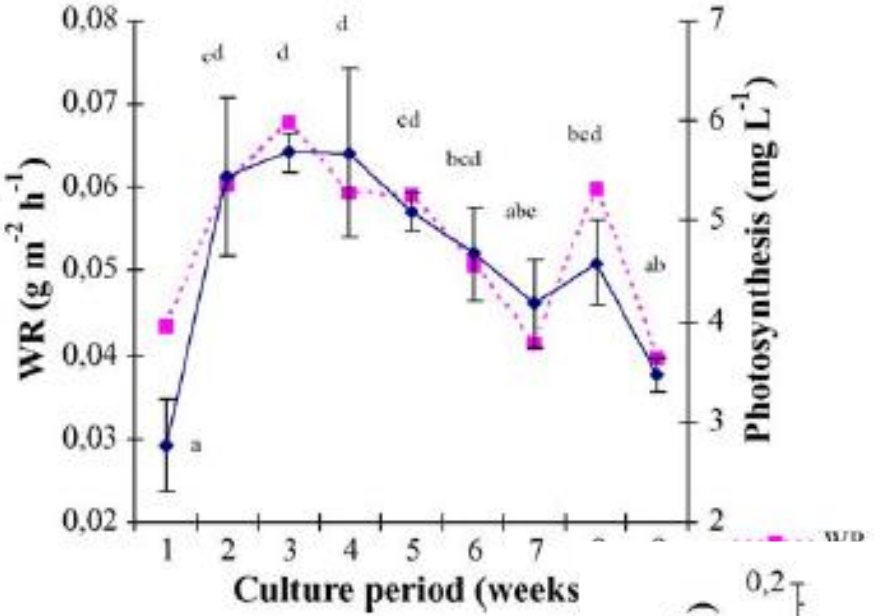


Fig. 3. Mean water respiration rates (W
synthesis (mg O_2 L^{-1}) in three shrimp *L*
culture period. In photosynthesis, bars ir
indicate significant difference between

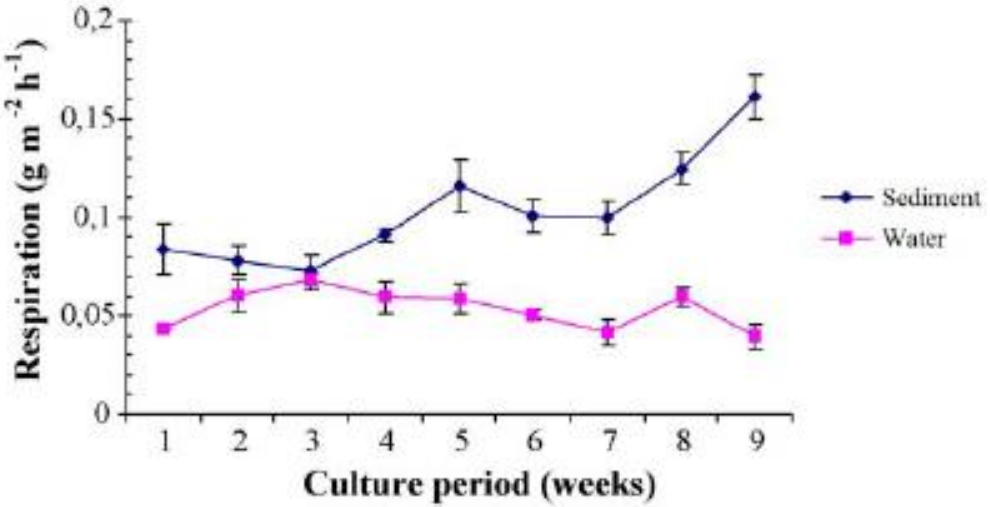


Fig. 2. Mean values of sediment and water respiration rates (g O_2 m^{-2} h^{-1}) in shrimp *Litopenaeus vannamei* ponds during a culture of 9 weeks. Bars indicate standard error means.

AQUACULTURAL ENGINEERING SOCIETY
PAPER AWARD
AQUACULTURAL ENGINEERING SOCIETY
This certifies that
Kárlia Dalla Santa
and
Luis Vinatea
have been selected to receive an Aquacultural Engineering Society Honorable Mention Paper Award given in recognition of authorship of a contribution to aquacultural engineering literature of exceptional merit.
CITATION: Evaluation of respiration rates and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp Litopenacus vannamei culture ponds
Aquacultural Engineering, Vol. 36: 73-80
Awarded February 2009

¿Cuánto respiran los camarones?

BRAZILIAN JOURNAL OF OCEANOGRAPHY, 57(4):305-314, 2009

COMBINED EFFECT OF BODY WEIGHT, TEMPERATURE AND SALINITY ON SHRIMP *Litopenaeus vannamei* OXYGEN CONSUMPTION RATE

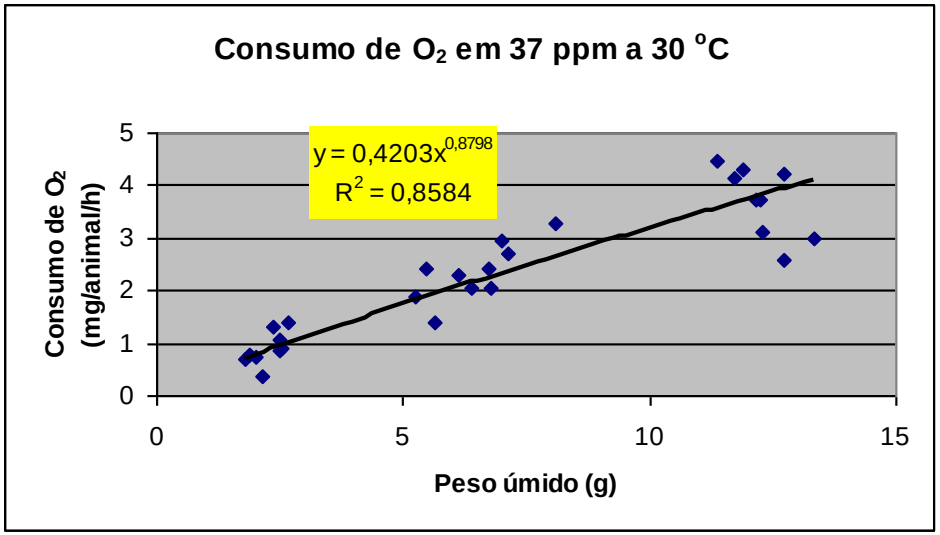
Crislei Bett and Luis Vinatea[1]

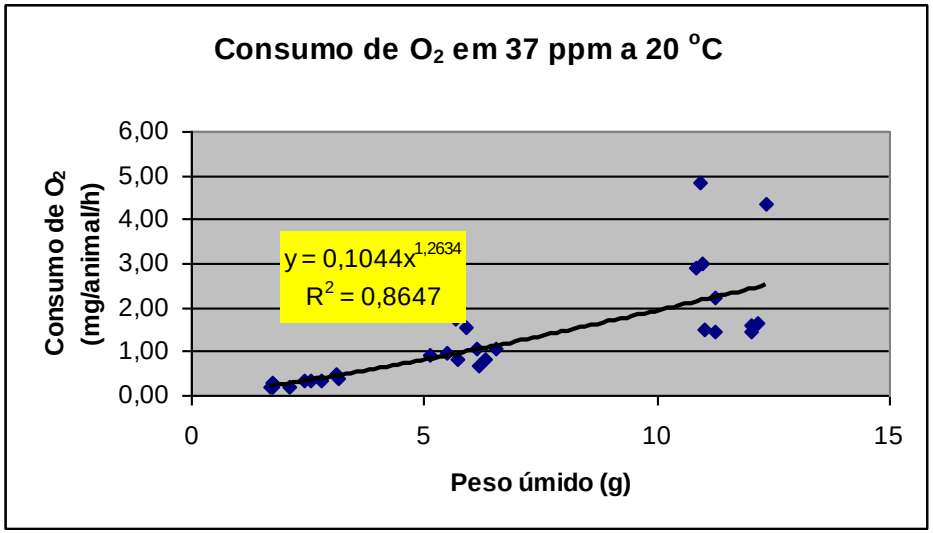
[1]Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos
(88.040.900 Florianópolis, SC, Brasil)
E-mail: vinatea@mbox1.ufsc.br

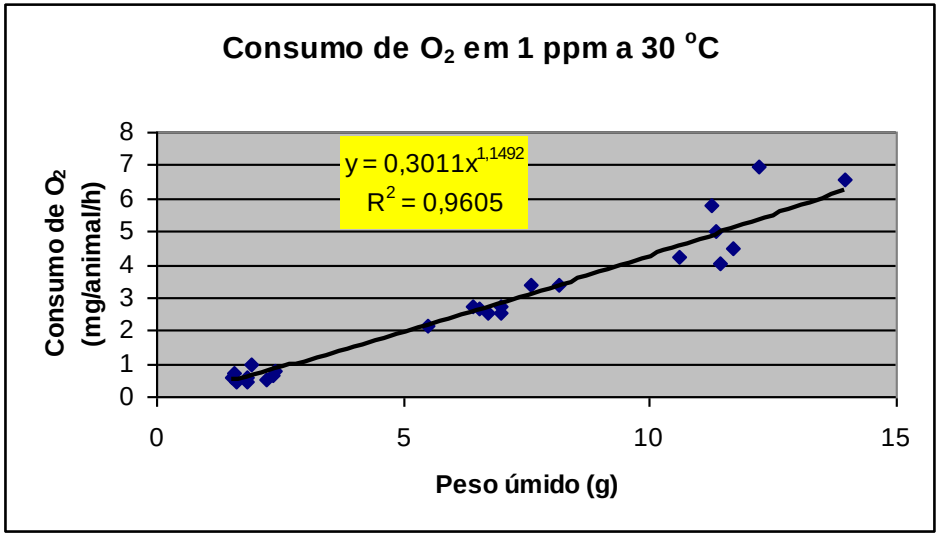
ABSTRACT

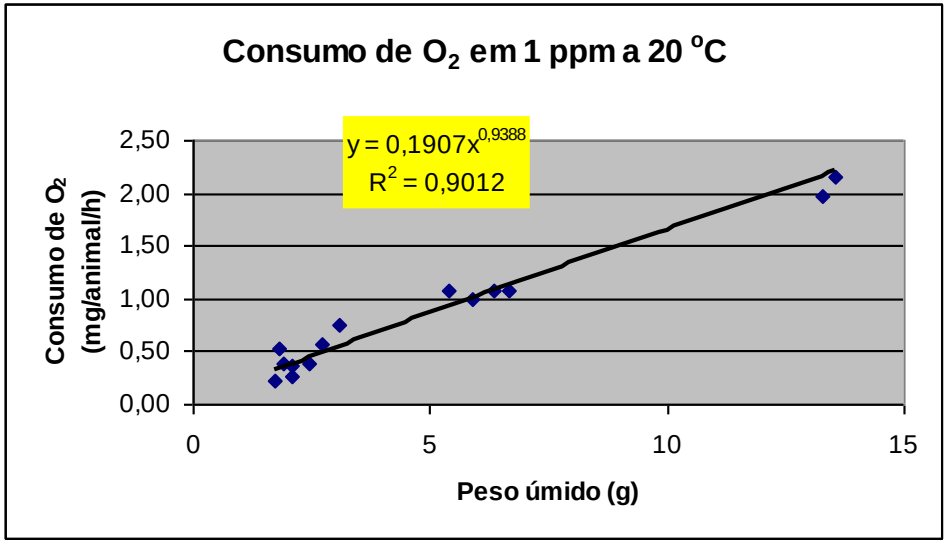
Aiming to optimize the calculations of mechanical aeration requirements in *Litopenaeus vannamei* marine shrimp cultures, oxygen consumption was quantified in combined conditions of temperature (20, 25 and 30°C) and salinity (1, 13, 25 and 37 ‰) at three body weights (2, 6 and 12 g) for juvenile *L. vannamei*. To measure oxygen consumption, shrimps were placed in a semi-open respirometry system. Results demonstrate that temperature, salinity, shrimp size and the interaction of these parameters significantly influence the specific oxygen consumption (mg O_2 g^{-1} h^{-1}). The 2-g shrimp perhaps suffered osmotic stress and consumed more oxygen at salinity 37 ‰, whereas 6 and 12-g shrimp suffered such stress at salinity 1 ‰. At 25 and 30°C oxygen consumption was more stable at salinities 13 and 25 ‰ for all groups. At 20°C and salinity below 25 ‰ oxygen consumption was

BERAQUA









luis.vinatea@ufsc.br

Tabla 2. Tasa respiratoria de *L. vannamei* según tamaño, salinidad y temperatura.

Salinidad	Temperatura	5 g	10 g	15 g	20 g
		(mg O_2/gramo/hora)			
37 ‰	20 °C	0,160	0,191	0,213	0,230
	25 °C	0,244	0,184	0,157	0,139
	30 °C	0,346	0,319	0,303	0,293
25 ‰	20 °C	0,162	0,188	0,205	0,218
	25 °C	0,246	0,250	0,252	0,254
	30 °C	0,326	0,322	0,320	0,318
13 ‰	20 °C	0,202	0,222	0,235	0,244
	25 °C	0,250	0,253	0,255	0,256
	30 °C	0,322	0,328	0,331	0,332
1 ‰	20 °C	0,172	0,166	0,161	0,159
	25 °C	0,238	0,255	0,265	0,272
	30 °C	0,382	0,425	0,451	0,471

Bett y Vinatea (2009)

¿Cuánto respiran las tilapias?

Revista ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Volumen 10 - Nº 1 - Año 2006

ARTÍCULO ORIGINAL

Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja *(Oreochromis sp)*

Effect of body weight and water temperature on the oxygen consumption of red tilapia (*Oreochromis sp.*)

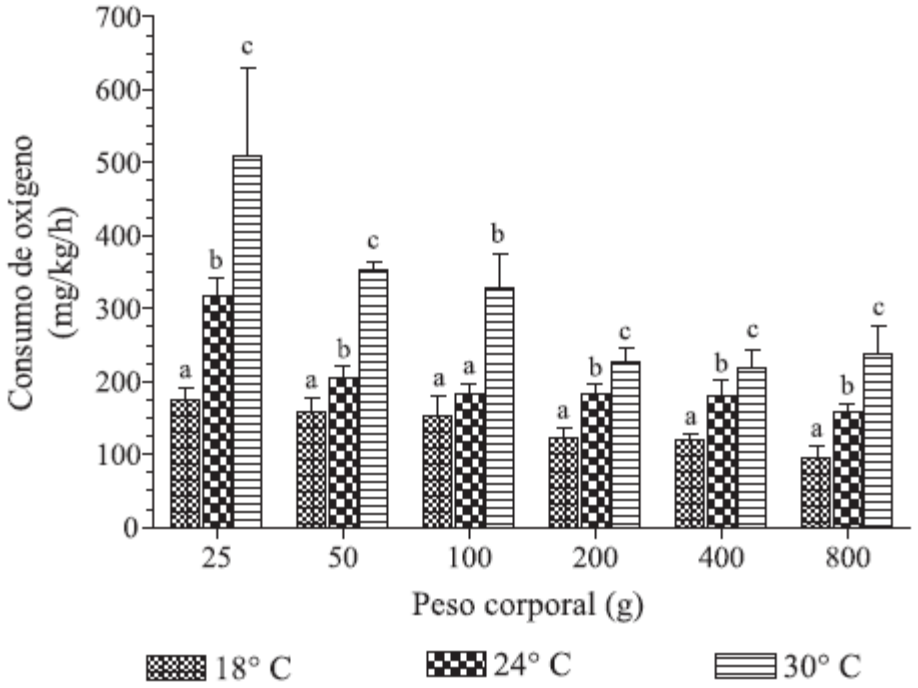
VALBUENA-VILLARREAL R.D.[1]; CRUZ-CASALLAS, P. E.[2]
[1]Biólogo, Esp. Acuicultura; Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana, Neiva - Huila, Colombia. rubendario@usco.edu.co
[2]Médico Veterinario Zootecnista, MSc, PhD, Instituto de Acuicultura, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos, Villavicencio – Meta, Colombia. pecruz@telecom.com.co

Recibido en febrero 15 de 2006 • Aprobado en marzo 28 de 2006

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los efectos del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxigeno de la tilapia roja (*Oreochromis sp*), individuos sometidos previamente a tratamiento de reversión sexual fueron seleccionados al azar para conformar seis grupos de peso corporal: G25, G50, G100, G200, G400 y G800, los cuales fueron alojados en un respirómetro de 170 l con agua a tres diferentes temperaturas: 18, 24 y 30 ºC. Previo periodo de adaptación de una hora, el consumo de O_2 fue monitoreado mediante una sonda Multiparametrica YSI-556. Se observó una relación directa entre el consumo de oxigeno y la temperatura del agua, encontrándose que peces de 25 g a 18 ºC consumieron 176 ± 15 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, en tanto que a 30 ºC el consumo promedio fue de 508 120 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$. En el rango de mayor peso corporal (G800), se observó un consumo de 96 ± 16 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ a 18 ºC y de 237 ± 38 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ a 30 ºC. Por otro lado, la relación del consumo de O_2 con el peso corporal fue inversa en todas las temperaturas estudiadas; por Ej.: a 18 ºC, peces de 25 g consumieron 176 ± 15 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, mientras que los peces de 800 g apenas 96 ± 16 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$. Una observación similar fue encontrada cuando la temperatura del agua fue de 24 y 30 ºC.

Palabras clave: Consumo de oxigeno, respirómetro, tilapia roja, peso corporal, temperatura del agua.



[a,b,c] Dentro de cada grupo de peso corporal, barras con letra diferente difieren estadísticamente ($p<0.05$). ANOVA seguido de la prueba de Tukey - Kramer.

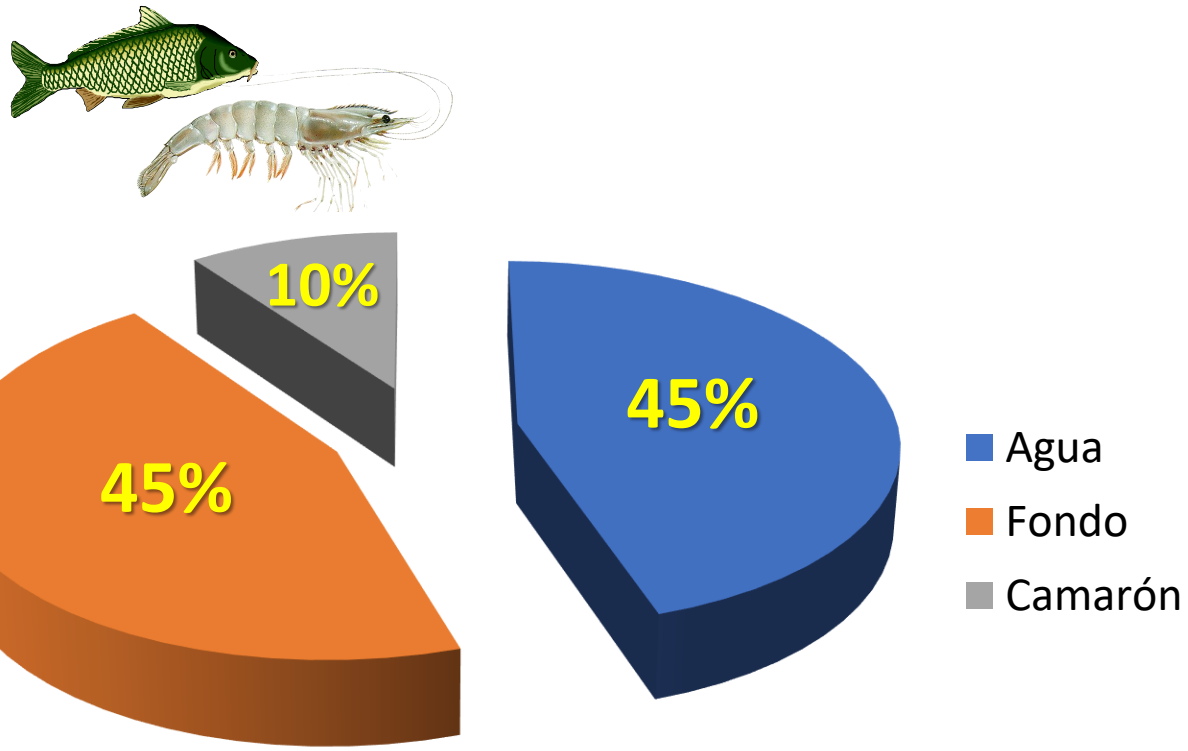
Figura 2. Efecto de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$) en tilapia roja (*Oreochromis sp*), en diferentes etapas de desarrollo corporal. Son ilustradas las medias ± error estándar (n = 5).

Tabla 3. Tasa respiratoria de *Oreochromis* sp. De acuerdo con el peso y a la temperatura.

Peso (g)	Temperatura (°C)	Tasa respiratoria (mg O_2/gramo/h)
25	18	0,176
25	24	0,325
25	30	0,508
50	18	0,167
50	24	0,205
50	30	0,361
100	18	0,165
100	24	0,195
100	30	0,349
200	18	0,151
200	24	0,193
200	30	0,243
400	18	0,147
400	24	0,188
400	30	0,241
800	18	0,096
800	24	0,169
800	30	0,237

Valbuena y Cruz (2006)

Consumo de oxígeno (mg/L/h)



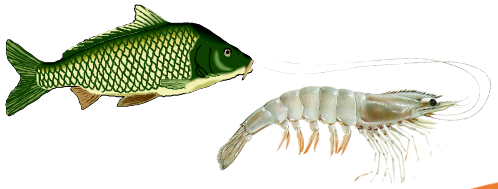
luis.vinatea@ufsc.br

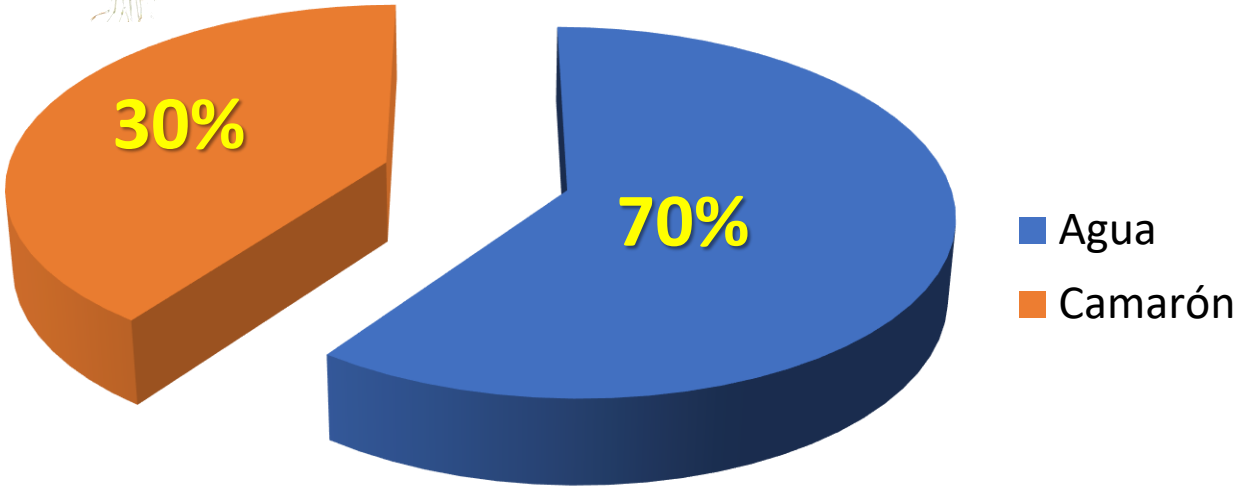
Estanques forrados con plástico (medir apenas RC)

Camarones

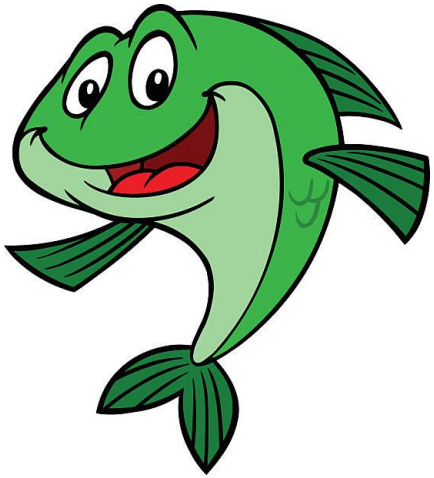
Peces

Consumo de oxígeno (mg/L/h)

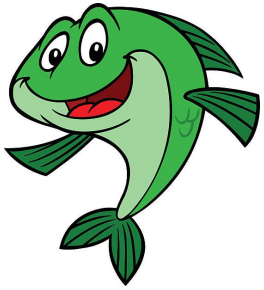




luis.vinatea@ufsc.br



50% de saturación



Máxima tasa de crecimiento

Mínima conversión alimenticia

Máxima inmunocompetencia

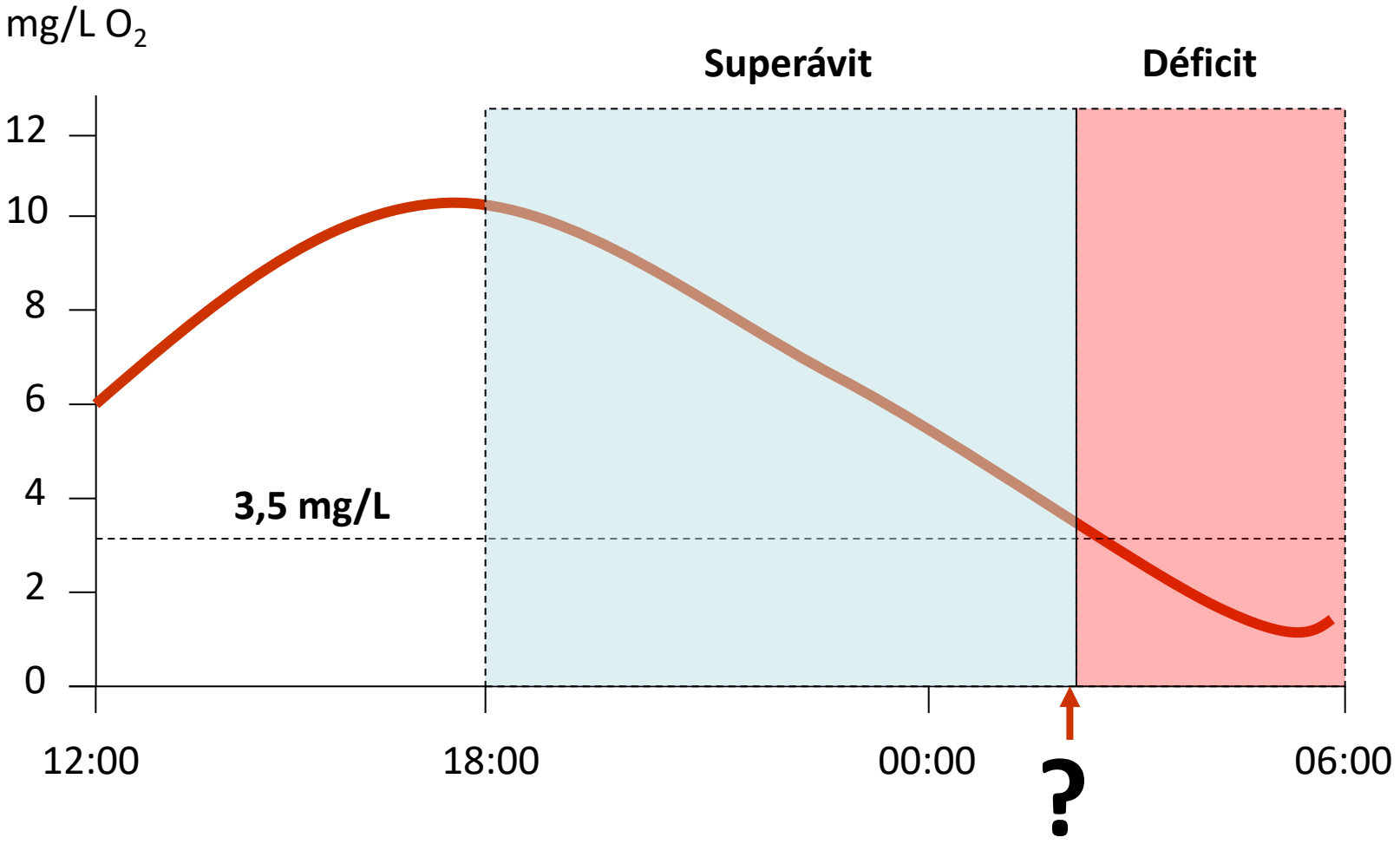
50% de saturación

Baja tasa de crecimiento

Alta conversión alimenticia

Susceptibilidad a enfermedades infecciosa

8. Tiempo de funcionamiento de los aireadores



$$\text{Número de horas con reserva de } O_2 = \frac{\text{Superávit de } O_2 \text{ (mg/L)}}{\text{Tasa total de pérdidas de } O_2 \text{ (mg/L/h)}}$$

Respiración del agua
Respiración del fondo

Demanda de O_2 (DO)

Ejemplo:

O_2 a las 18:00h = 8,5 mg/L

Superávit = 8,5 – 3,5 = **5** mg/L

Total de pérdidas = **0,60** mg/L/h

$$\text{Nº horas} = \frac{\textbf{5} \text{ mg/L}}{\textbf{0,60} \text{ mg/L/h}} = 8{,}3 \text{ horas} \approx \textbf{8 horas}$$

→ 18:00 + 8 = **02:00h**

$$\textbf{Número de horas con reserva de } O_2 = \frac{\textbf{Superávit de } O_2 \textbf{ (mg/L)}}{\textbf{Tasa total de pérdidas de } O_2 \textbf{ (mg/L/h)}}$$

Respiración del agua
Respiración del fondo

Demanda de O_2 (DO)

Ejemplo:

O_2 a las 18:00h = 10,5 mg/L

Superávit = 10,5 – 3,5 = **7** mg/L

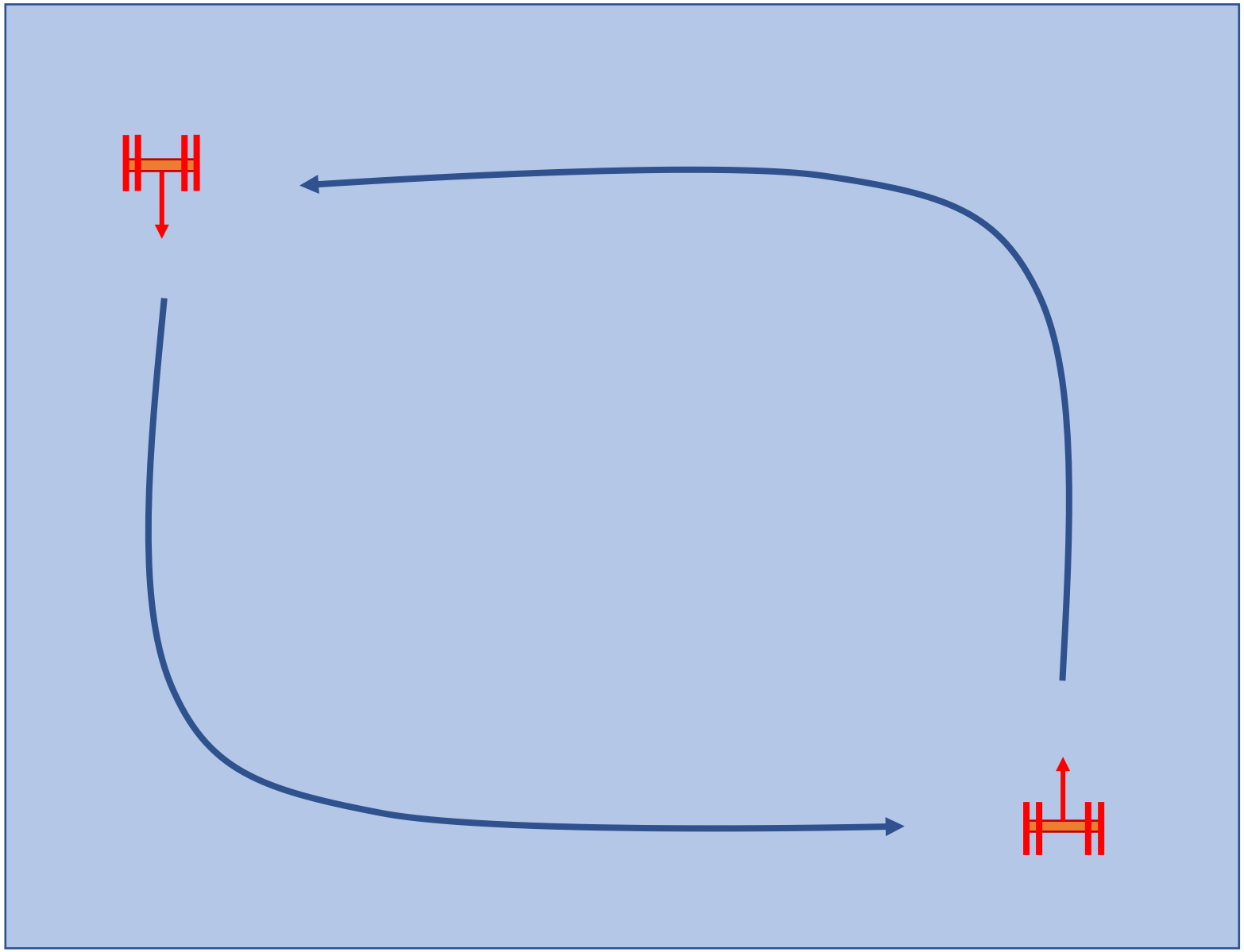
Total de pérdidas = **0,40** mg/L/h

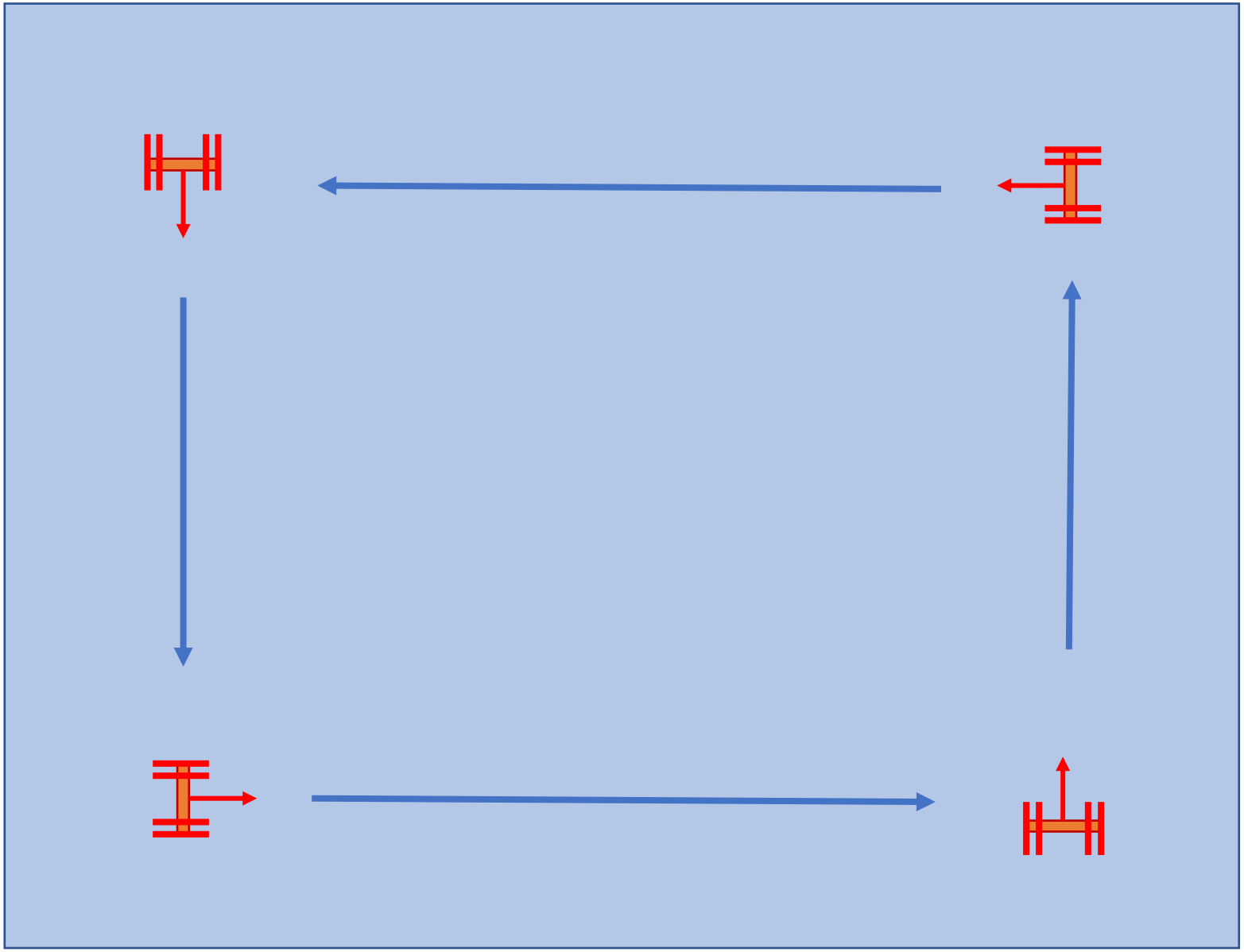
$$\text{Nº horas} = \frac{\textbf{7 mg/L}}{\textbf{0,40 mg/L/h}} = 17{,}5 \text{ horas} \approx \textbf{17 horas}$$

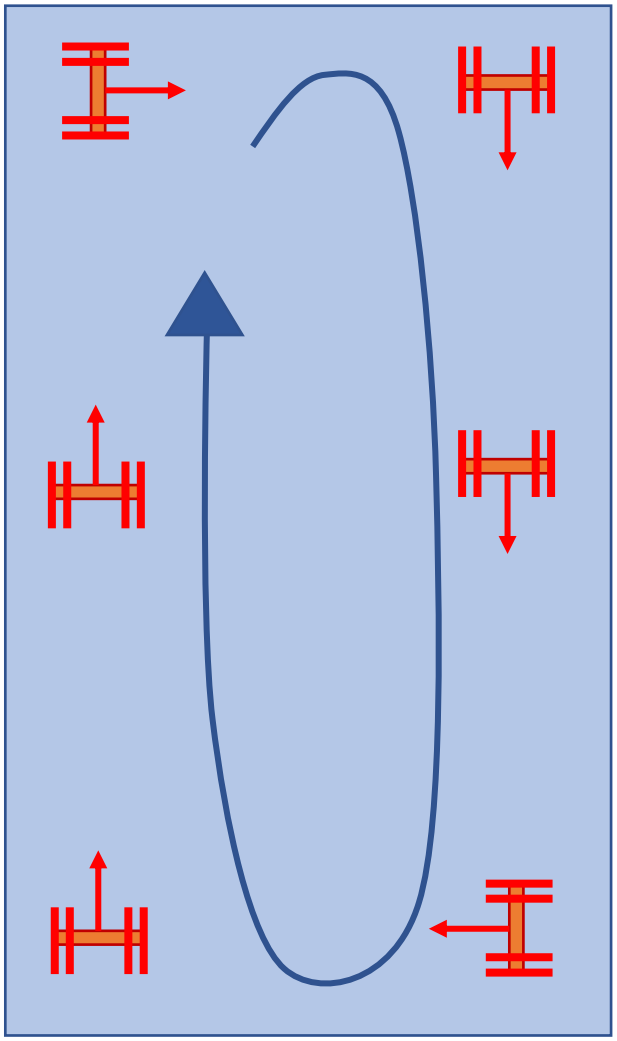
→ 18:00 + 17 = **11:00h**

No necesito prender ningún aireador

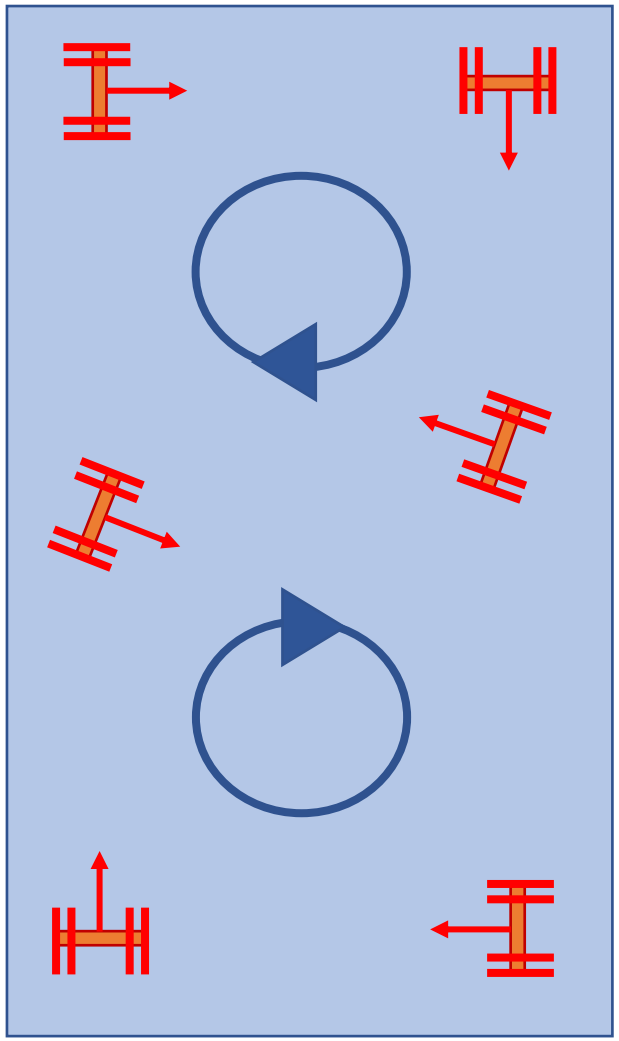
9. Distribución de los equipos



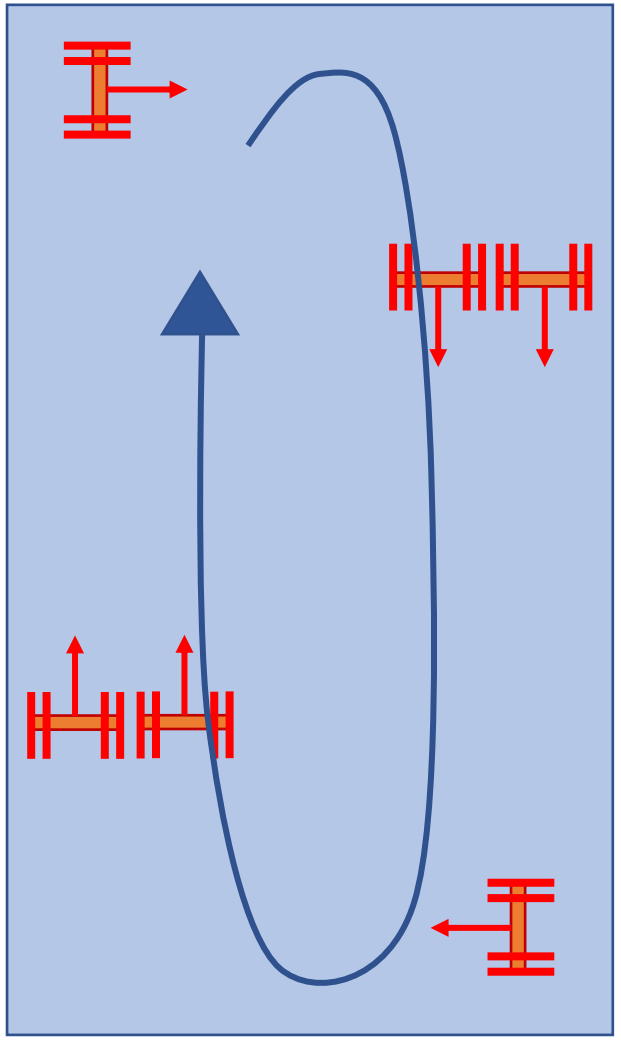




EN LÍNEA



DIAGONAL



PARALELO

B. Inst. Pesca, São Paulo, 31(2): 163 - 169, 2005

Jaqueline D. B. NETTO [1] e Luis Alejandro VINATEA Arana [1]

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF TWO DISPOSITIONS OF PADDLE-WHEEL AERATORS IN SHRIMP PONDS OF *Litopenaeus vannamei*

ABSTRACT

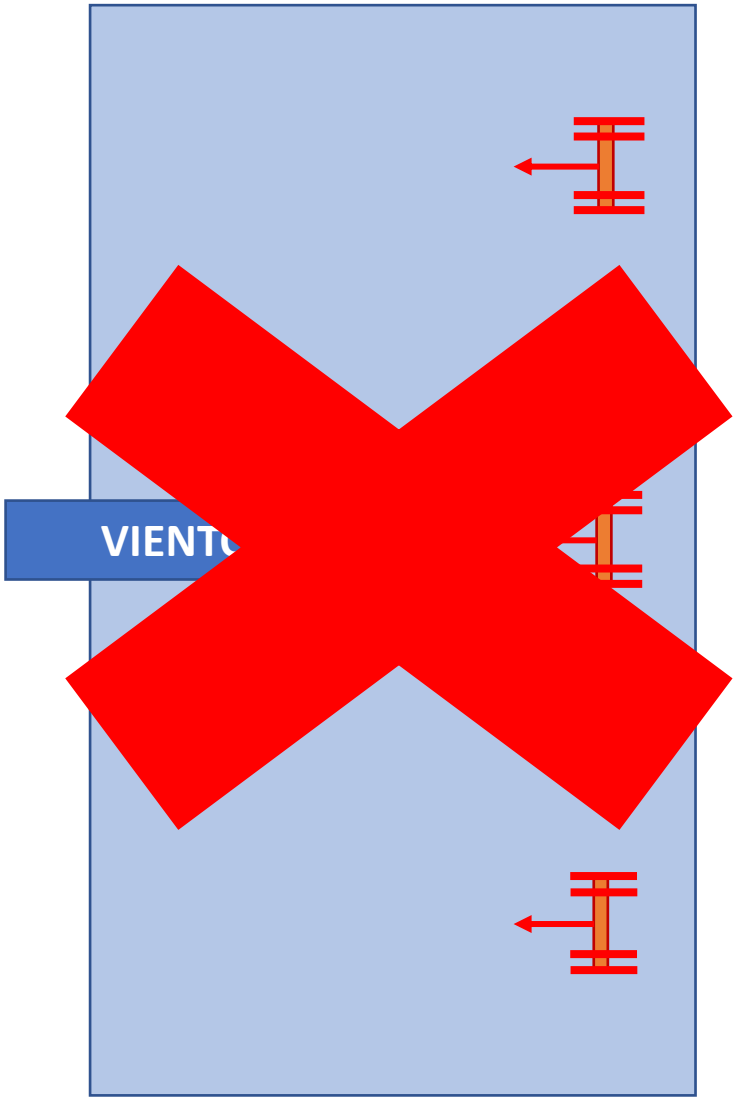
This work investigated if different arrangements of paddle-wheel aerators in shrimp grow-out ponds have influence in the pond quality, specially that related to the water oxygenation and the horizontal and vertical dissolved oxygen (DO) distribution. Residual dissolved oxygen concentration, water temperature, and salinity in the water surface and bottom were monitored in two rectangular shrimp ponds (250 m x 100 m). Aeration was provided by a total of six 2 HP paddle-wheel machines in each pond. There was one different arrangement of the aerators for each pond, named 'in Parallel' and 'in Diagonal'. Three investigations, each one during three days, were done in the winter time in the two *Litopenaeus vannamei* grow-out ponds. In each day, water parameters were determined at the following day times: 6:00, 18:00 and 24:00. The main objective of the work was to search for the best use of the aquaculture paddle wheel aerators utilized in shrimp culture and its capacity of oxygen incorporation in the pond water. The Diagonal arrangement seems to be more effective in the bottom water, with significant higher values of oxygen concentration than the Parallel one ($P < 0.05$).

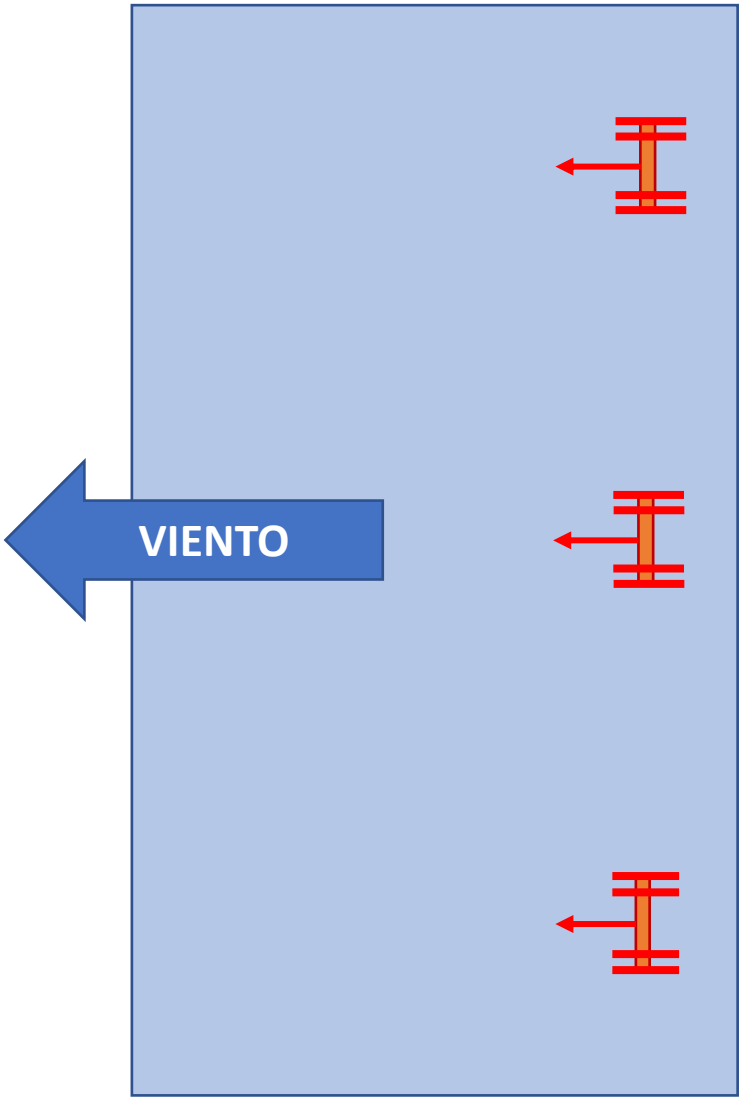
BERAQUA

Tabela 1. Teor de oxigênio dissolvido residual* (mg/L), registrado na água dos viveiros às 6 horas, após uma hora de funcionamento dos aeradores dispostos 'em Paralelo' e 'em Diagonal' (Os valores de P < 0,05 entre Paralelo e Diagonal estão denotados por um asterisco.)

	6h		*PARALELO* Média e desvio padrão	*DIAGONAL* Média e desvio padrão	*P*
64° dia de cultivo	1° dia	SUPERFÍCIE	0,55±0,14	0,68±0,06	*
		FUNDO	0,71±0,07	0,73±0,13	*
	2° dia	SUPERFÍCIE	0,49±0,09	0,53±0,18	
		FUNDO	0,61±0,18	0,66±0,09	*
	3° dia	SUPERFÍCIE	0,51±0,09	0,58±0,13	*
		FUNDO	0,52±0,16	0,60±0,14	*
102° dia de cultivo	1° dia	SUPERFÍCIE	0,81±0,12	0,77±0,12	
		FUNDO	0,84±0,13	0,89±0,21	
	2° dia	SUPERFÍCIE	0,70±0,06	0,69±0,04	
		FUNDO	0,69±0,09	0,75±0,04	*
	3° dia	SUPERFÍCIE	0.89±0,12	0,96±0.05	*
		FUNDO	0,98±0,10	1,01±0.05	
105° dia de cultivo	1° dia	SUPERFÍCIE	1,08±0,15	1,05±0,11	
		FUNDO	1,12±0,09	1,16±0,05	*
	2° dia	SUPERFÍCIE	1,18±0,12	1,03±0,14	
		FUNDO	1,10±0,04	1,15±0,08	*
	3° dia	SUPERFÍCIE	0,84±0,08	0,95±0,16	*
		FUNDO	0,88±0,13	1,08±0,08	*

** Teor de oxigênio dissolvido na água, uma hora depois de os aeradores serem ligados, menos teor de oxigênio dissolvido antes de os aeradores serem ligados*


VIENTO


VIENTO

OJO

La diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie no representa peligro para los animales en cultivo. Rara vez esta diferencia supera los 2°C.

SIN EMBARGO

Cuanto más profundo el estanque, mayores las chances de que los sólidos quedar estacionados en el fondo y descomponerse en anaerobiosis.

PROFUNDIDAD (columna de agua)

< de 40 cm → PELIGROSO (Temperatura > 35°C)

≈ 1,5 m → IDEAL

> 2 m → PELIGROSO (M.O. en anaerobiosis)

Superficie (10:30 h)

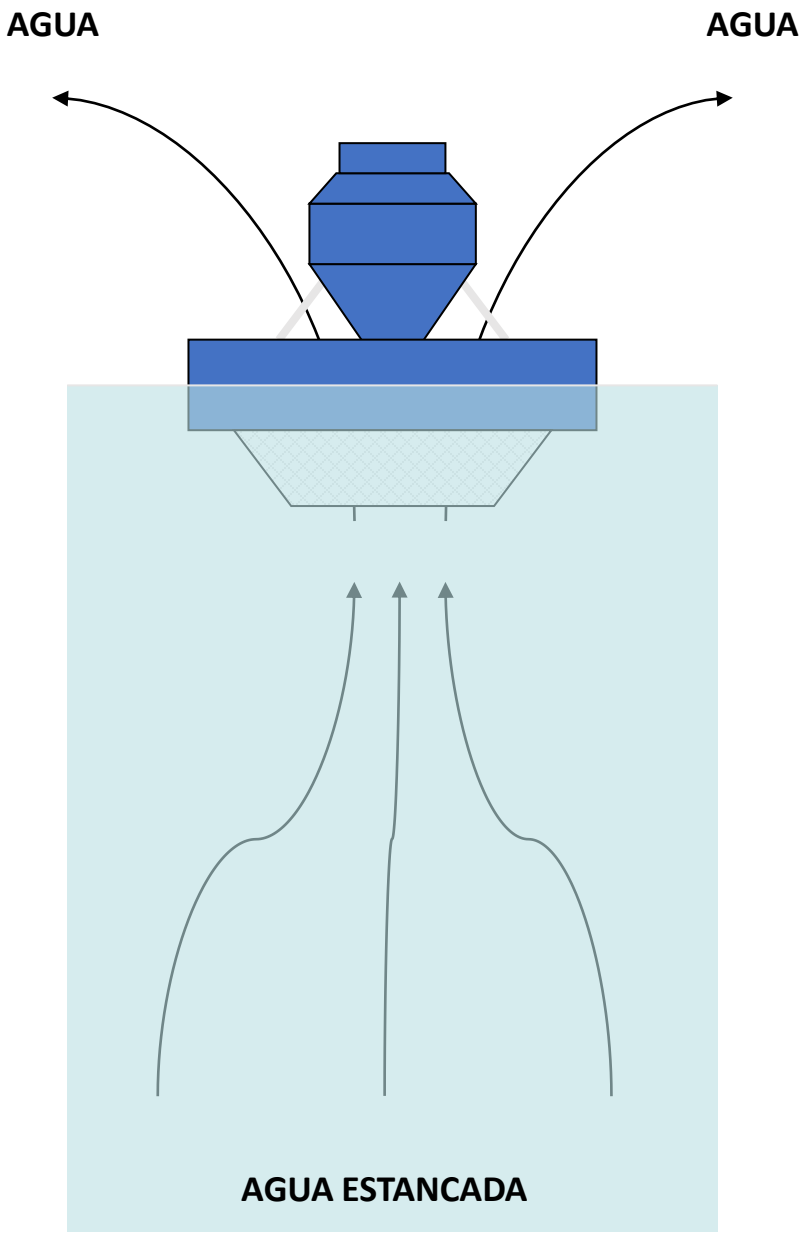
Estratificación química

Fondo – 1,9 m
(10:30 h)

Aireadores de paletas

Circuladores verticales

luis.vinatea@ufsc.br


AGUA
AGUA
AGUA ESTANCADA

10. Mantenimiento de aireadores

Consejos para no perder la eficiencia de los aireadores:

-No usar cables de más de 100 metros

-El segmento del cable debe tener por lo menos 2,5 mm^2

-Cambiar aceite después de las primeras 360 horas de funcionamiento y, después de esto, a cada 2 ciclos (± 1 año)

-Siempre abrir el reductor a cada ciclo para verificar si hay rodajes flojos o quebrados

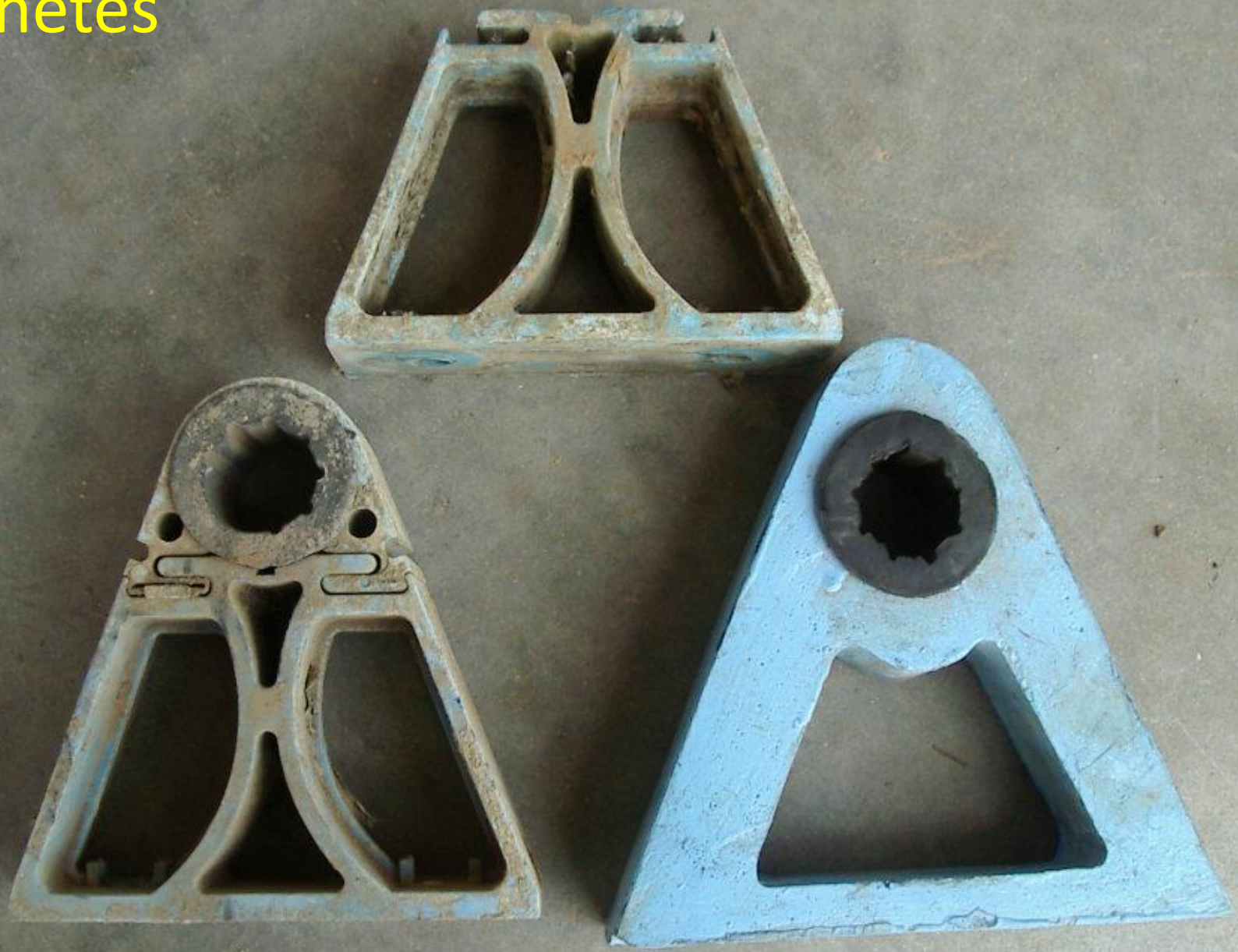
-Las empaquetaduras deben ser cambiados a cada mantenimiento para evitar que el agua entre y se mezcle con el aceite del motor.

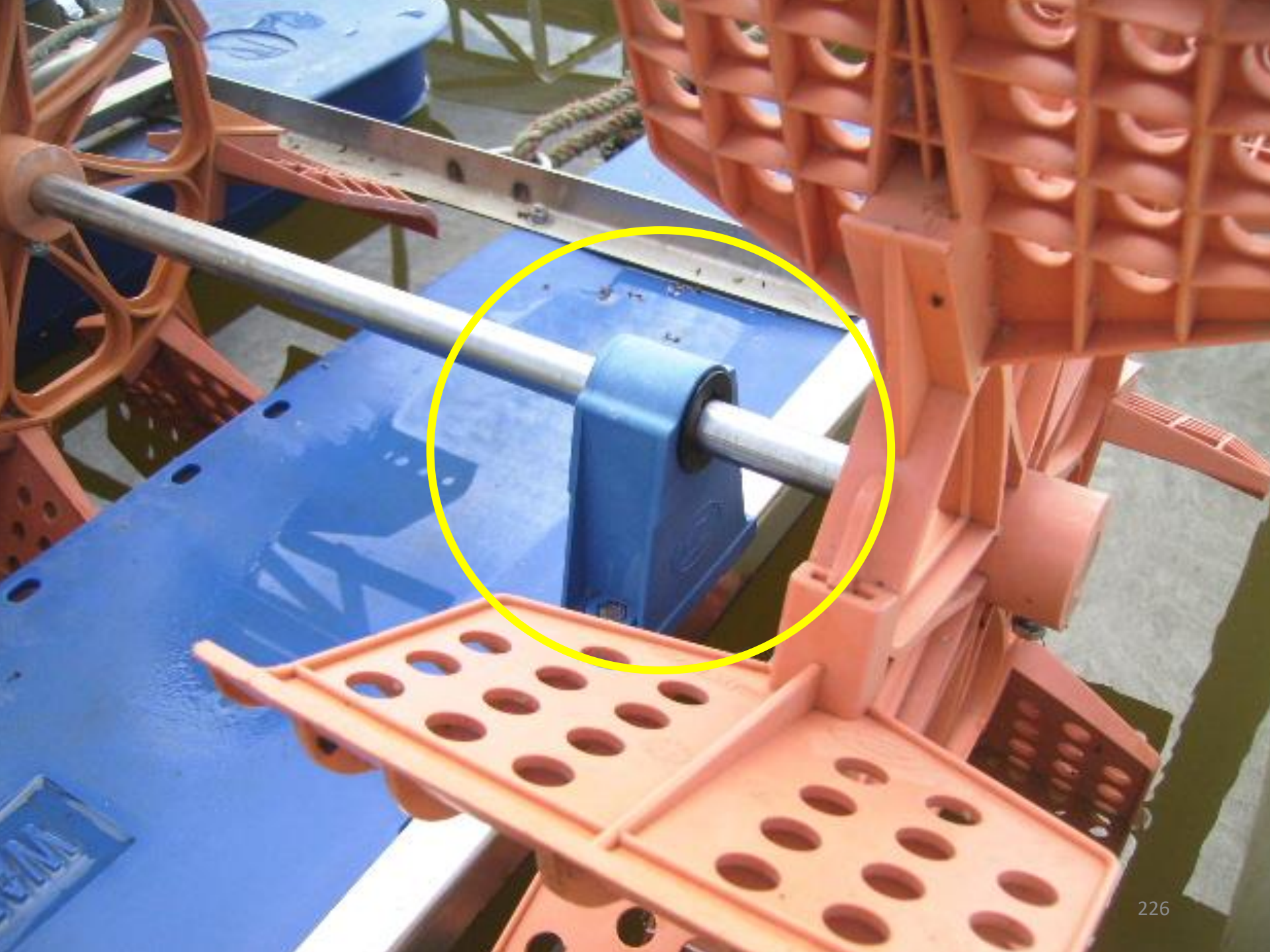
-Después de cada ciclo, retirar el óxido del motor y pintar el cuerpo

-Verificar si los flotadores están bien nivelados y si el aparato permanece en la horizontal.

MOTOR

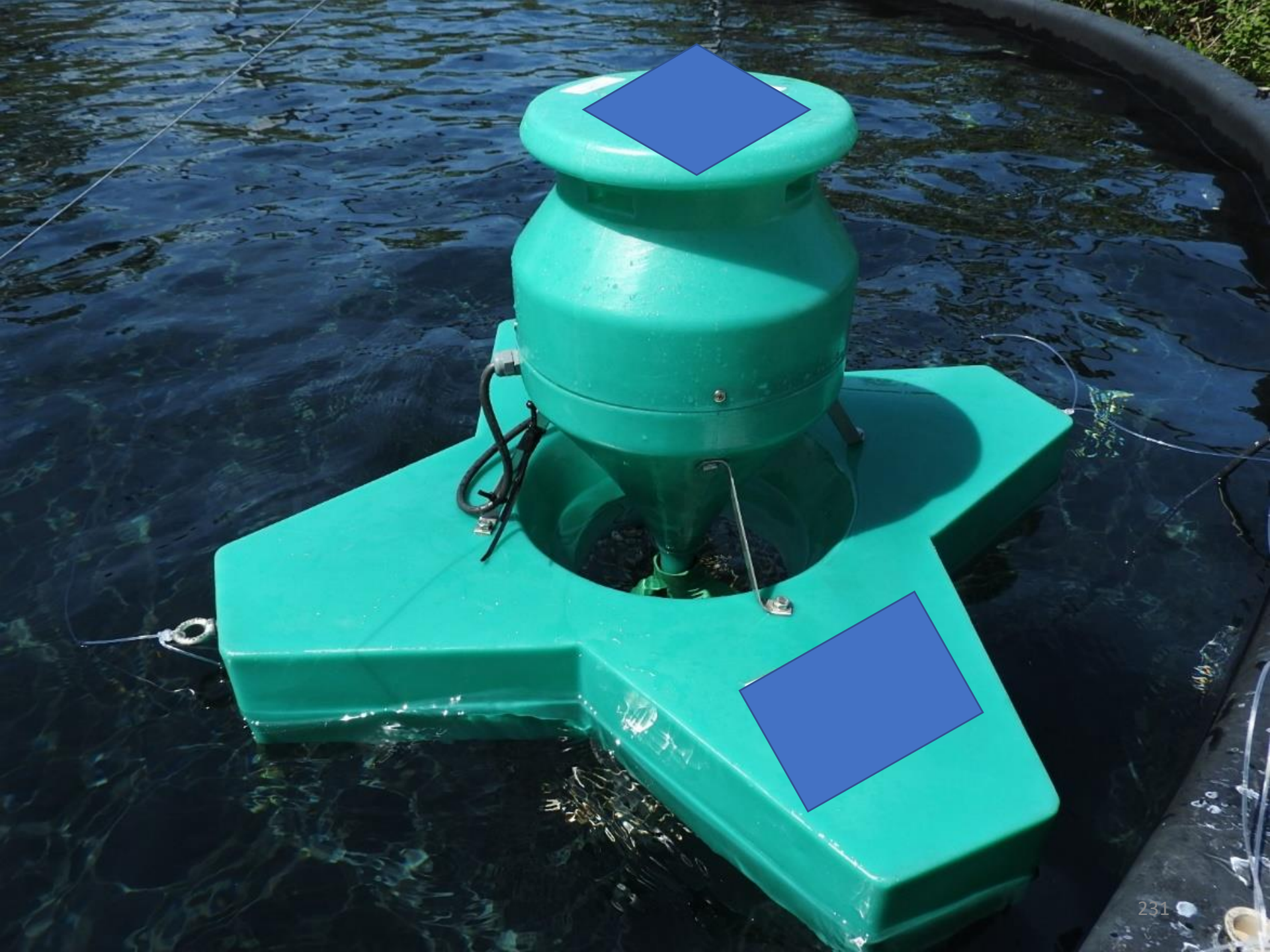
Cojinetes



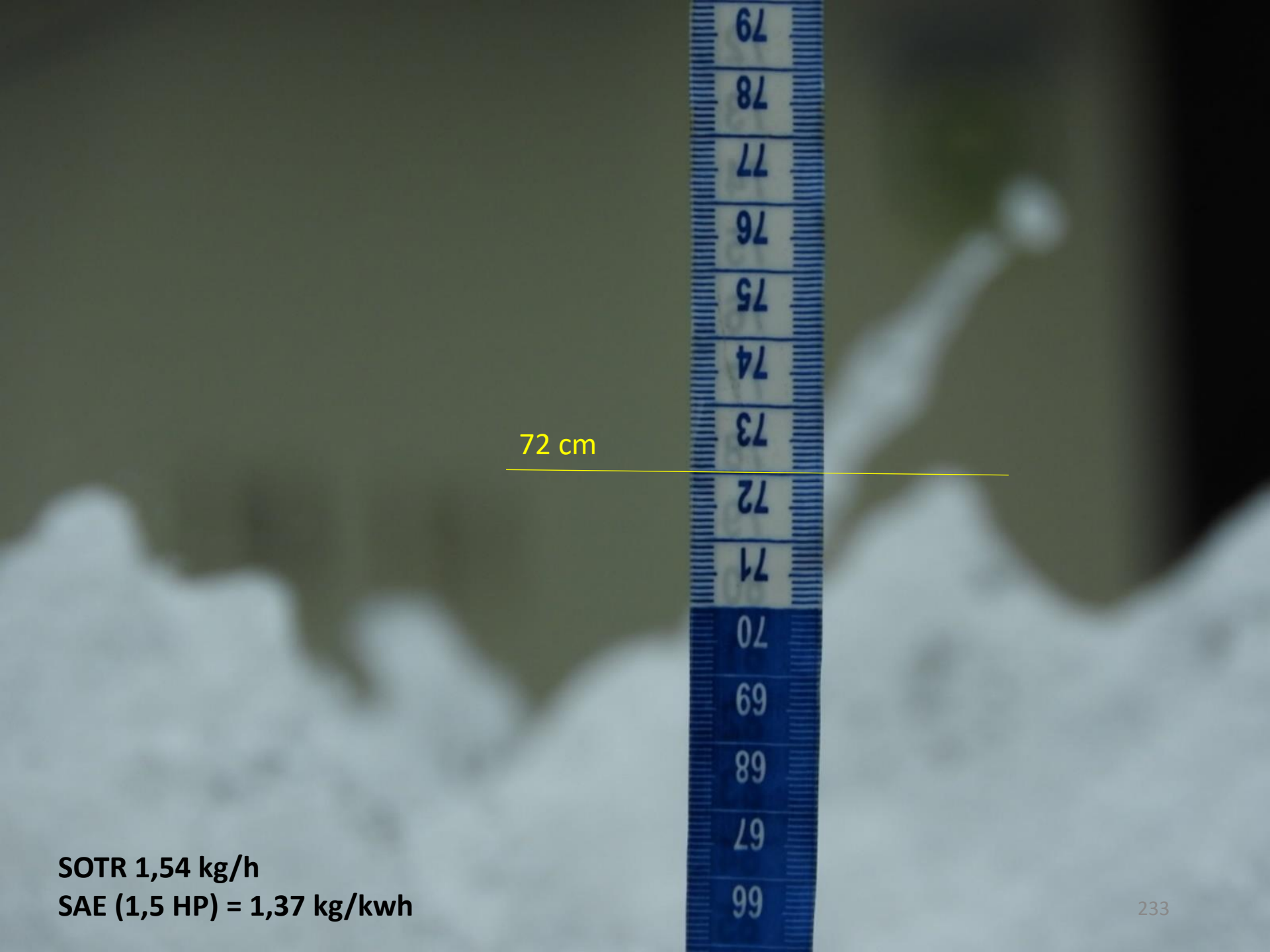


SOTR 2,34 kg/h
SAE (1,5 HP) = 2,08 kg/kwh

luis.vinatea@ufsc.br



03



SOTR 1,54 kg/h
SAE (1,5 HP) = 1,37 kg/kwh

Plástico sin filtro UV

Energía eléctrica sin pérdida de tensión

Energía eléctrica con pérdida de tensión

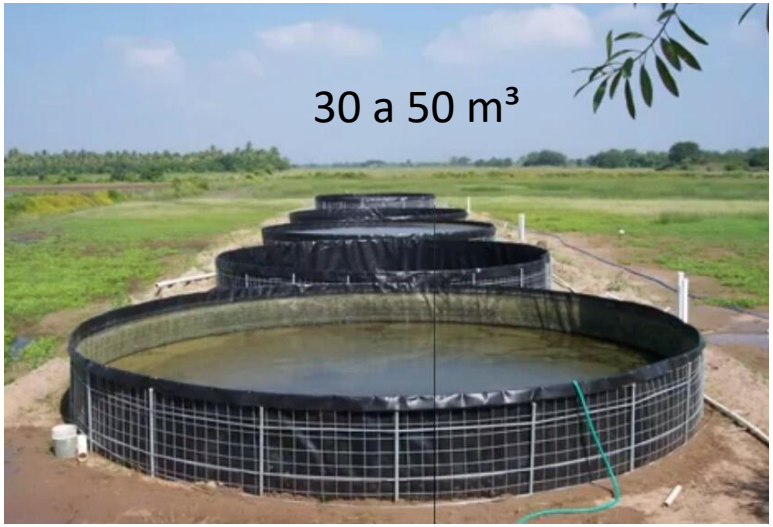
Energía eléctrica con pérdida de tensión

¿Energía solar?

invt
MILLENNIUM

Solo 3 horas de autonomía y SOTR muy bajo

11. Cálculo de SOTR, SAE y consumo de energía



$Na_2S_2O_5$

METABISULFITO SÓDICO
DISULFITO DE SODIO
PIROSULFITO SÓDICO
SAL SODICA

NOCIVO EN CASO DE INGESTIÓN
PROVOCA IRRITACIÓN DE LA PIEL
PROVOCA LESIONES OCULARES GRAVES

LAVARSE BIEN TRAS SU MANIPULACIÓN. NO COMER, BEBER NI FUMAR DURANTE SU MANIPULACIÓN. LLEVAR GUANTES/PRENDAS/GAFAS/MÁSCARA DE PROTECCIÓN. EN CASO DE INGESTIÓN: CONTACTAR INMEDIATAMENTE CON EL SERVICIO MEDICO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA AL TLF. 915 620 420 ENJUAGARSE BIEN LA BOCA CON ABUNDANTE AGUA. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: ACLARAR CUIDADOSAMENTE CON AGUA DURANTE VARIOS MINUTOS. QUITAR LAS LENTES DE CONTACTO SI LAS HUBIERA Y LE RESULTA FÁCIL Y CONTINUAR ACLARANDO. EN CASO DE ACCIDENTE CONTACTAR CON EL SERVICIO MEDICO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA AL TELÉFONO 915 620 420.

MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS

16 g
Nº CE. 231-673-0
Nº CAS. 7681-57-4

Metabisulfito de sodio

$CoCl_2$

Cloruro de cobalto

Metabisulfito de sodio

10 mg/L/mg O_2

$CoCl_2$

Cloruro de cobalto

0,1 mg/L

Volumen: 50 m^3

Oxígeno disuelto: 4,2 mg/L

Temperatura: 28 °C

Salinidad: 15 ‰

$Na_2S_2O_5$
10 mg/L/mg O_2

10 mg $Na_2S_2O_5$ x 50.000 L x 4,2 mg O_2/L = **2,1 kg**

$CoCl_2$
0,1 mg/L

0,1 mg $CoCl_2$ x 50.000 L = **5 g**

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
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

Volumen: 50 m^3

Temperatura: **28 °C**

Salinidad: **20 ‰**

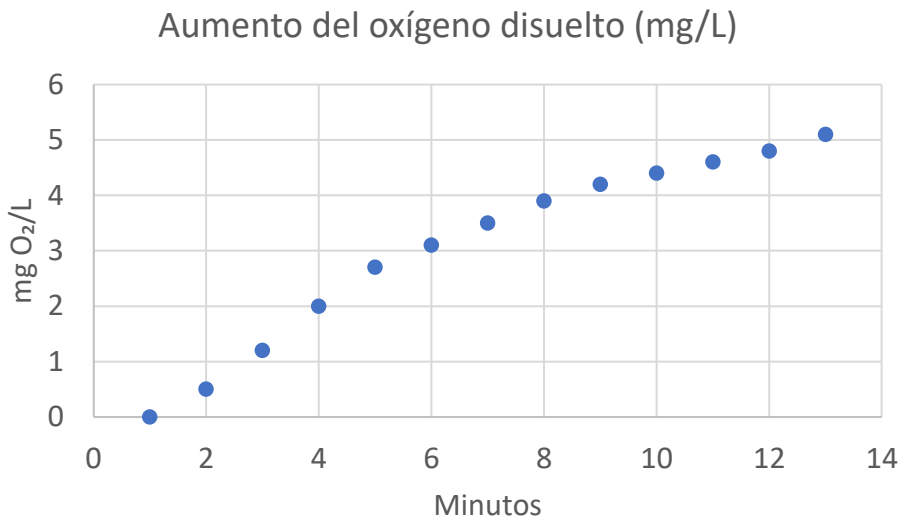
100 % = 6,9 mg/L

70 % = 4,8 mg/L

10 % = 0,69 mg/L

La prueba termina cuando el O_2 alcanza 4,8

Minutos	mg O_2/L
1	0
2	0,5
3	1,2
4	2
5	2,7
6	3,1
7	3,5
8	3,9
9	4,2
10	4,4
11	4,5
12	4,6
13	5,1



100 % = 6,9 mg/L

70 % = 4,8 mg/L

10 % = 0,69 mg/L

La prueba termina cuando el O_2 alcanza 4,8

%	Minutos	
10	2,5	→ t_{10}
70	12,5	→ t_{70}

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$Kla_{20} = Klat \times 1{,}024^{20-T}$$

$$Klat = \frac{1{,}1}{(t_{70} - t_{10})/60}$$

t_{70}: 12,5 t_{10}: 2,5

$$Klat = \frac{1,1}{(t_{70} - t_{10})/60} = \frac{1,1}{(12,5 - 2,5)/60} = 6,8\ h^{-1}$$

t_{70} → 12,5 t_{10} → 2,5

$$Kla_{20} = Klat \times 1,024^{20-T}$$

$$Kla_{20} = 6,8 \times 1,024^{20-28} \qquad Kla_{20} = 6,8 \times 1,024^{-8}$$

$$Kla_{20} = 5,49\ h^{-1}$$

20 °C

8

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$SOTR = 5{,}49\ h^{-1} \times 8\ \cancel{g/m^3} \times 50\ \cancel{m^3} \times 0{,}001\ kg/\cancel{g}$$

$$SOTR = 2{,}19\ kg/h$$

$$SAE = SOTR/kw$$

1,0 HP
0,74 kw

$$SAE_{(1\ HP)} = 2{,}19/0{,}74 = 2{,}95\ kg\ O_2/kwh$$

1,5 HP
1,11 kw

$$SAE_{(1{,}5\ HP)} = 2{,}19/1{,}11 = 1{,}97\ kg\ O_2/kwh$$

2,0 HP
1,48 kw

$$SAE_{(2\ HP)} = 2{,}19/1{,}48 = 1{,}47\ kg\ O_2/kwh$$

Precio del kg de O_2

US$ kwh/SAE

1 kwh Ecuador = US$ 0,10

1 kwh Perú = US$ 0,074

1 kwh Colombia = US$ 0,13

Precio del kg de O_2 en Perú

(1,0 HP) US$ 0,074/2,95 = US$ **0,025**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,97 = US$ **0,037**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,47 = US$ **0,050**

Ejemplo 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
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

Volumen: 42 m³

Temperatura: **29 °C**

Salinidad: **0 ‰**

t_{10}: 2 minutos

t_{70}: 13 minutos

100 % = 7,6 mg/L

70 % = 5,32 mg/L

10 % = 0,76 mg/L

La prueba termina cuando el O_2 alcanza 5,32

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$Kla_{20} = Klat \times 1{,}024^{20-T}$$

$$Klat = \frac{1{,}1}{(t_{70} - t_{10})/60}$$

t_{70}: 13 t_{10}: 2

$$Klat = \frac{1,1}{(t_{70} - t_{10})/60} = \frac{1,1}{(13 - 2)/60} = 6,1\ h^{-1}$$

13 2

$$Kla_{20} = Klat \times 1,024^{20-T}$$

$$Kla_{20} = 6,1 \times 1,024^{20-29} \qquad Kla_{20} = 6,1 \times 1,024^{-9}$$

$$Kla_{20} = 4,88\ h^{-1}$$

20 °C

9

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$SOTR = 4{,}88\ h^{-1} \times 9\ \cancel{g/m^3} \times 42\ \cancel{m^3} \times 0{,}001\ kg/\cancel{g}$$

$$SOTR = 1{,}84\ kg/h$$

$$SAE = SOTR/kw$$

1,0 HP
0,74 kw

$$SAE_{(1\ HP)} = 1{,}84/0{,}74 = 2{,}48\ kg\ O_2/kwh$$

1,5 HP
1,11 kw

$$SAE_{(1{,}5\ HP)} = 1{,}84/1{,}11 = 1{,}65\ kg\ O_2/kwh$$

2,0 HP
1,48 kw

$$SAE_{(2\ HP)} = 1{,}84/1{,}48 = 1{,}24\ kg\ O_2/kwh$$

Precio del kg de O_2

US$ kwh/SAE

1 kwh Ecuador = US$ 0,10

1 kwh Perú = US$ 0,074

1 kwh Colombia = US$ 0,13

Precio del kg de O_2 en Perú

(1,0 HP) US$ 0,074/2,48 = US$ **0,029**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,65 = US$ **0,044**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,24 = US$ **0,059**

Ejemplo 3

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
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

Volumen: 48 m³

Temperatura: **26 °C**

Salinidad: **10 ‰**

t_{10}: 4 minutos

t_{70}: 22 minutos

100 % = 7,6 mg/L

70 % = 5,32 mg/L

10 % = 0,76 mg/L

La prueba termina cuando el O_2 alcanza **5,32**

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$Kla_{20} = Klat \times 1{,}024^{20-T}$$

$$Klat = \frac{1{,}1}{(t_{70} - t_{10})/60}$$

22 4

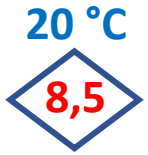
$$Klat = \frac{1,1}{(t_{70} - t_{10})/60} = \frac{1,1}{(22 - 4)/60} = 3,6\ h^{-1}$$

22 4

$$Kla_{20} = Klat \times 1,024^{20-T}$$

$$Kla_{20} = 3,6 \times 1,024^{20-26} \qquad Kla_{20} = 3,6 \times 1,024^{-6}$$

$$Kla_{20} = 3,09\ h^{-1}$$



$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

$$SOTR = 3{,}09\ h^{-1} \times 8{,}5\ \cancel{g}/\cancel{m}^3 \times 48\ \cancel{m}^3 \times 0{,}001\ kg/\cancel{g}$$

$$SOTR = 1{,}26\ kg/h$$

$$SAE = SOTR/kw$$

1,0 HP
0,74 kw

$$SAE_{(1\ HP)} = 1{,}26/0{,}74 = 1{,}70\ kg\ O_2/kwh$$

1,5 HP
1,11 kw

$$SAE_{(1{,}5\ HP)} = 1{,}26/1{,}11 = 1{,}13\ kg\ O_2/kwh$$

2,0 HP
1,48 kw

$$SAE_{(2\ HP)} = 1{,}26/1{,}48 = 0{,}85\ kg\ O_2/kwh$$

Precio del kg de O_2

US$ kwh/SAE

1 kwh Ecuador = US$ 0,10

1 kwh Perú = US$ 0,074

1 kwh Colombia = US$ 0,13

Precio del kg de O_2 en Perú

(1,0 HP) US$ 0,074/1,70 = US$ **0,043**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,13 = US$ **0,065**

(2,0 HP) US$ 0,074/0,85 = US$ **0,087**

Aireador 1

(1,0 HP) US$ 0,074/2,95 = US$ **0,025**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,97 = US$ **0,037**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,47 = US$ **0,050**

Aireador 2

(1,0 HP) US$ 0,074/2,48 = US$ **0,029**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,65 = US$ **0,044**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,24 = US$ **0,059**

Aireador 3

(1,0 HP) US$ 0,074/1,70 = US$ **0,043**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,13 = US$ **0,065**

(2,0 HP) US$ 0,074/0,85 = US$ **0,087**

1 kwh Perú = US$ 0,074

Nota: no pensar que cuánto mayor la potencia, más caro el kg de O_2. Estos resultados son efecto del ejemplo

Aireador 1

(1,0 HP) US$ 0,10/2,95 = US$ **0,033**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,97 = US$ **0,050**

(2,0 HP) US$ 0,10/1,47 = US$ **0,068**

Aireador 2

(1,0 HP) US$ 0,10/2,48 = US$ **0,040**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,65 = US$ **0,060**

(2,0 HP) US$ 0,10/1,24 = US$ **0,080**

Aireador 3

(1,0 HP) US$ 0,10/1,70 = US$ **0,058**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,13 = US$ **0,088**

(2,0 HP) US$ 0,10/0,85 = US$ **0,117**

1 kwh Ecuador = US$ 0,10

Nota: no pensar que cuánto mayor la potencia, más caro el kg de O_2. Estos resultados son efecto del ejemplo

Aireador 1

(1,0 HP) US$ 0,13/2,95 = US$ **0,044**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,97 = US$ **0,065**

(2,0 HP) US$ 0,13/1,47 = US$ **0,088**

Aireador 2

(1,0 HP) US$ 0,13/2,48 = US$ **0,052**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,65 = US$ **0,078**

(2,0 HP) US$ 0,13/1,24 = US$ **0,104**

Aireador 3

(1,0 HP) US$ 0,13/1,70 = US$ **0,076**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,13 = US$ **0,115**

(2,0 HP) US$ 0,13/0,85 = US$ **0,152**

1 kwh Colombia = US$ 0,13

Nota: no pensar que cuánto mayor la potencia, más caro el kg de O_2. Estos resultados son efecto del ejemplo

Aireador 1

(1,0 HP) US$ 0,074/2,95 = US$ **0,025**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,97 = US$ **0,037**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,47 = US$ **0,050**

Perú

(1,0 HP) US$ 0,10/2,95 = US$ **0,033**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,97 = US$ **0,050**

(2,0 HP) US$ 0,10/1,47 = US$ **0,068**

Ecuador

(1,0 HP) US$ 0,13/2,95 = US$ **0,044**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,97 = US$ **0,065**

(2,0 HP) US$ 0,13/1,47 = US$ **0,088**

Colombia

Aireador 2

(1,0 HP) US$ 0,074/2,48 = US$ **0,029**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,65 = US$ **0,044**

(2,0 HP) US$ 0,074/1,24 = US$ **0,059**

Perú

(1,0 HP) US$ 0,10/2,48 = US$ **0,040**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,65 = US$ **0,060**

(2,0 HP) US$ 0,10/1,24 = US$ **0,080**

Ecuador

(1,0 HP) US$ 0,13/2,48 = US$ **0,052**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,65 = US$ **0,078**

(2,0 HP) US$ 0,13/1,24 = US$ **0,104**

Colombia

Aireador 3

(1,0 HP) US$ 0,074/1,70 = US$ **0,043**

(1,5 HP) US$ 0,074/1,13 = US$ **0,065**

(2,0 HP) US$ 0,074/0,85 = US$ **0,087**

Perú

(1,0 HP) US$ 0,10/1,70 = US$ **0,058**

(1,5 HP) US$ 0,10/1,13 = US$ **0,088**

(2,0 HP) US$ 0,10/0,85 = US$ **0,117**

Ecuador

(1,0 HP) US$ 0,13/1,70 = US$ **0,076**

(1,5 HP) US$ 0,13/1,13 = US$ **0,115**

(2,0 HP) US$ 0,13/0,85 = US$ **0,152**

Colombia

Precio del kg de O_2 (US$) de acuerdo al tipo, potencia y costo de energía

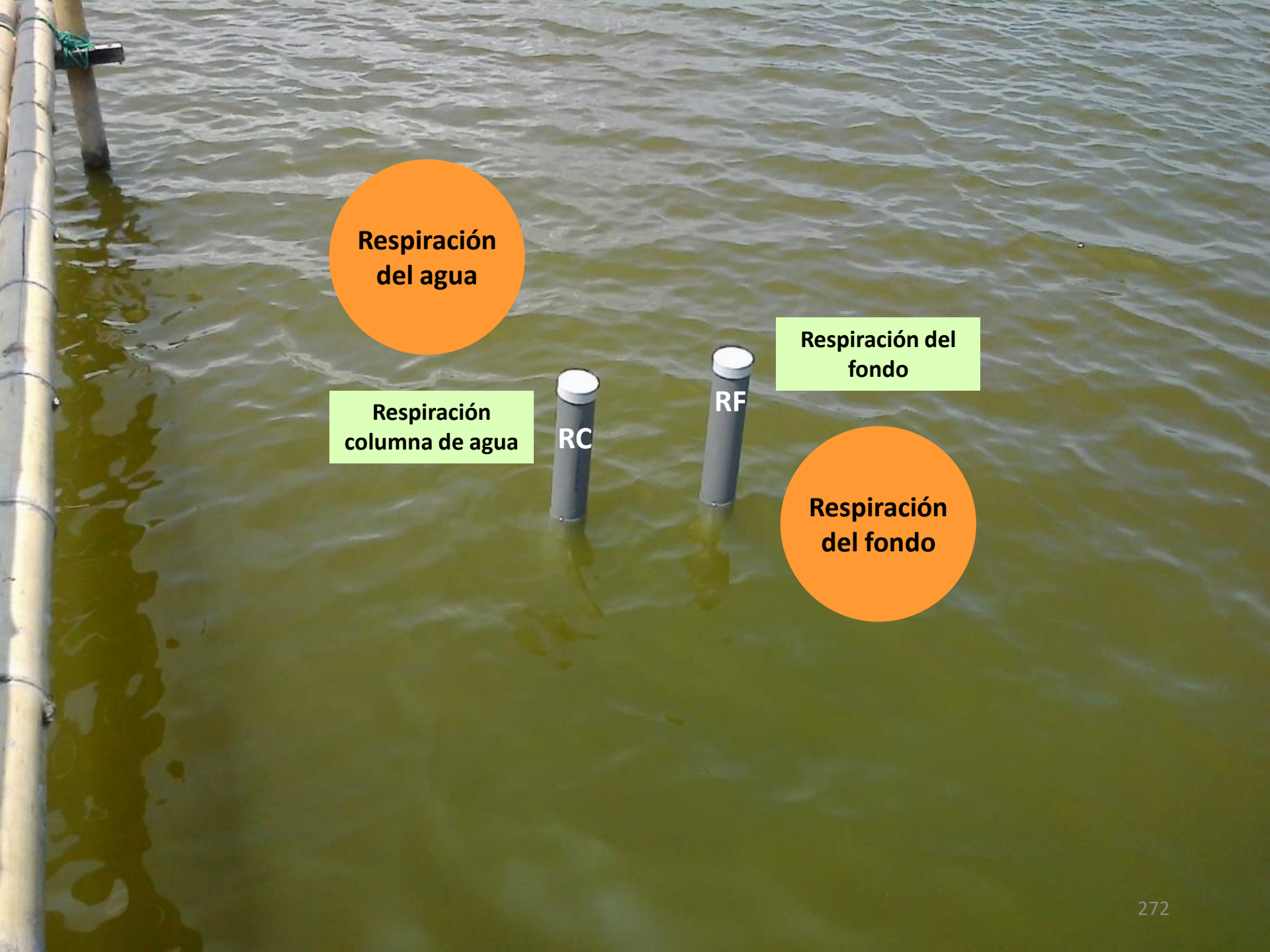
	Aireador 1			Aireador 2			Aireador 3		
	1 HP	1,5 HP	2 HP	1 HP	1,5 HP	2 HP	1 HP	1,5 HP	2 HP
PE	**0,025**	0,037	0,050	0,029	0,044	0,059	0,043	0,065	0,087
EC	0,033	0,050	0,068	0,040	0,060	0,080	0,058	0,088	0,117
CO	**0,044**	0,065	0,088	0,052	0,078	0,104	0,076	0,115	**0,152**
	1,7 x								**6 x**

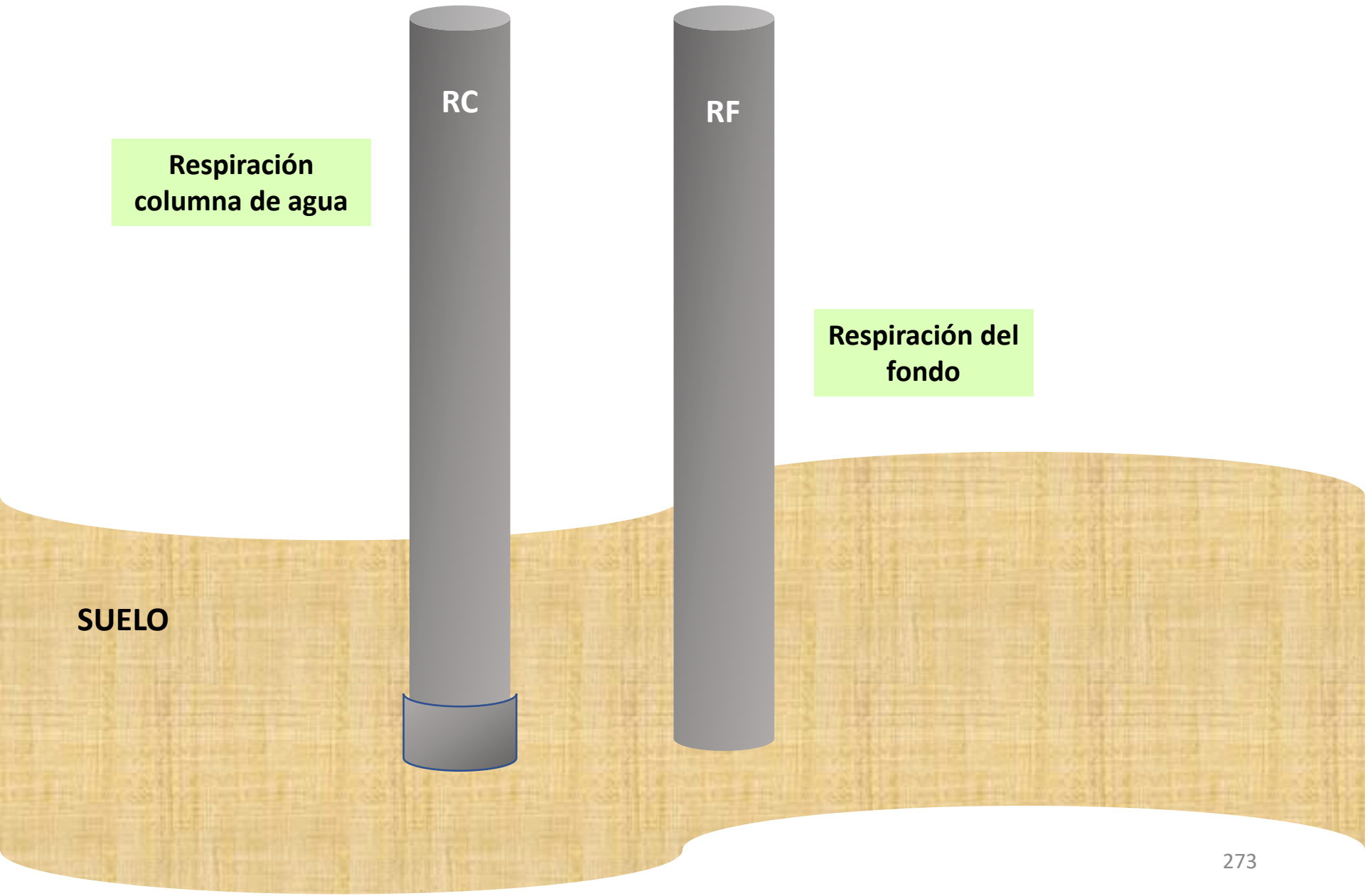
luis.vinatea@ufsc.br

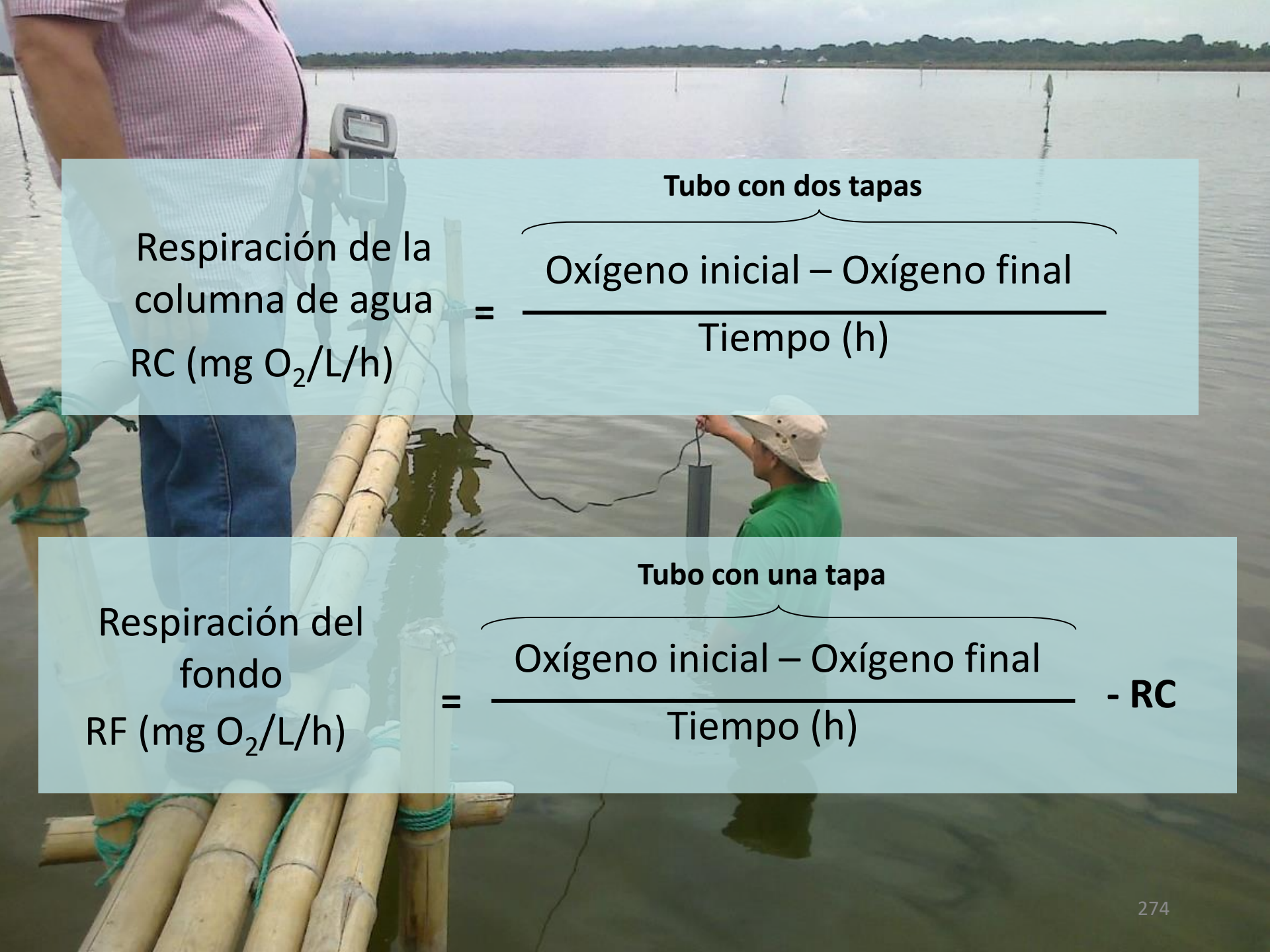
Me perdí, ¿cuál aireador debo escoger entonces?

SAE

12. Cálculo del número de aireadores por estanque

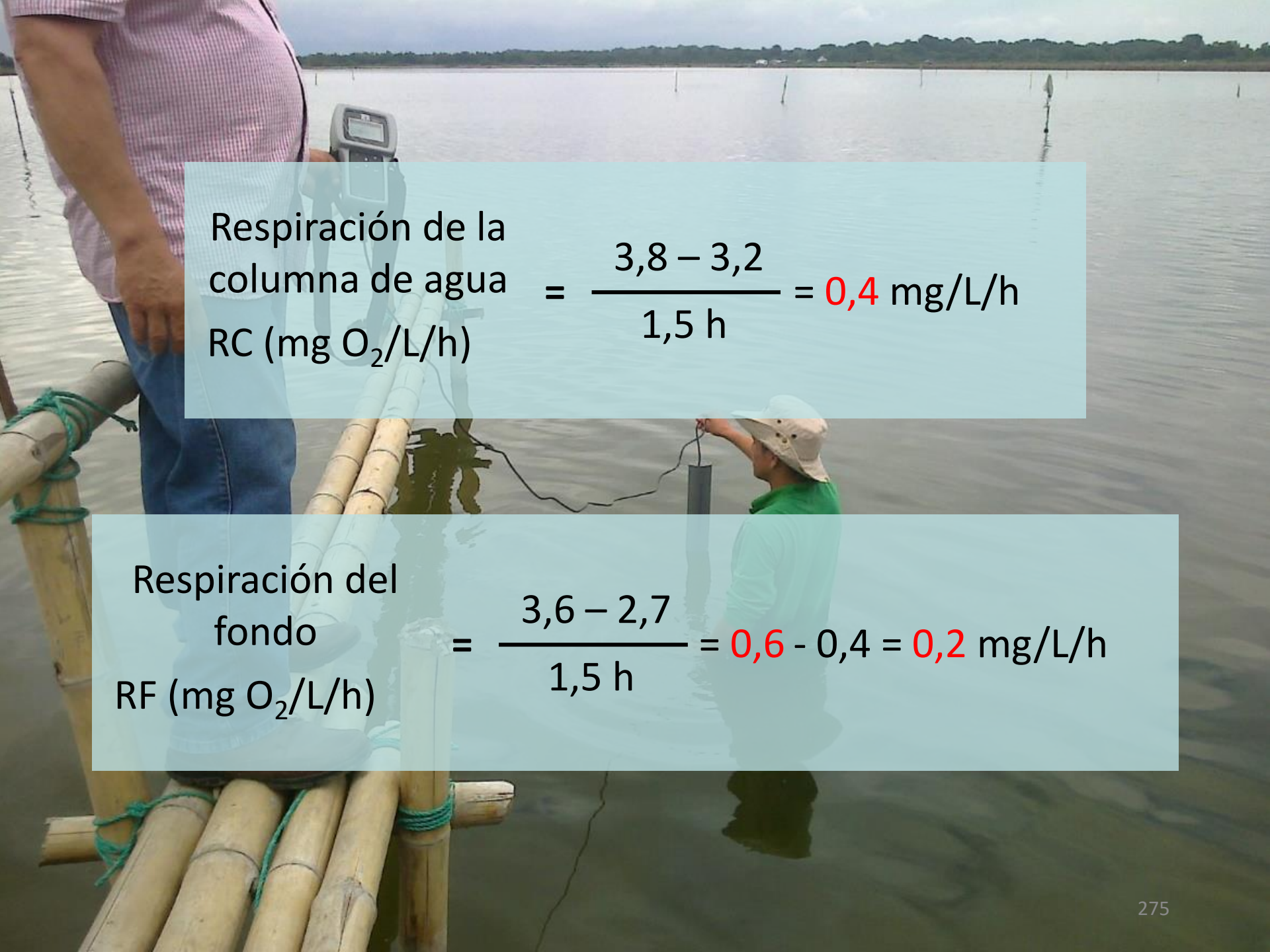

Respiración del agua
Respiración columna de agua
RC
RF
Respiración del fondo
Respiración del fondo


RC
RF
Respiración columna de agua
Respiración del fondo
SUELO



$$\text{Respiración de la columna de agua RC (mg } O_2\text{/L/h)} = \frac{\overbrace{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}^{\textbf{Tubo con dos tapas}}}{\text{Tiempo (h)}}$$

$$\text{Respiración del fondo RF (mg } O_2\text{/L/h)} = \frac{\overbrace{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}^{\textbf{Tubo con una tapa}}}{\text{Tiempo (h)}} \textbf{ - RC}$$



Respiración de la columna de agua

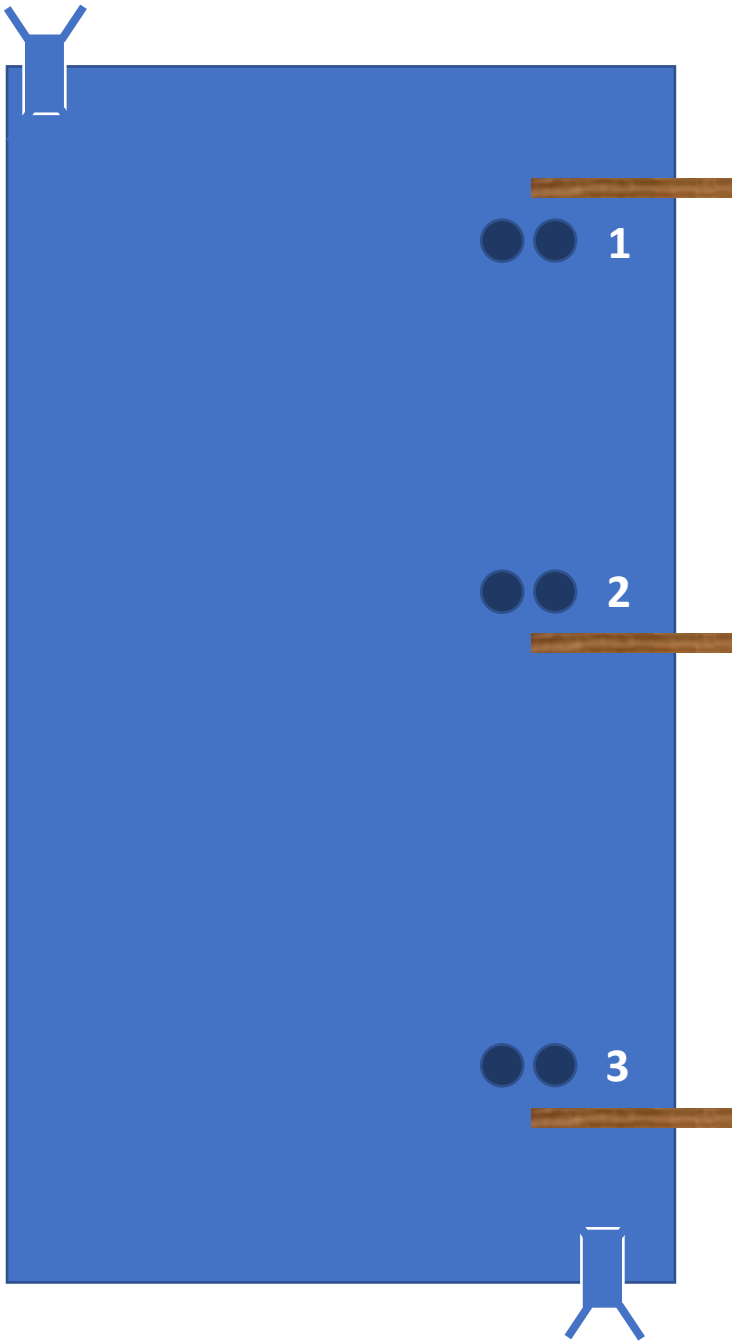
RC (mg O_2/L/h)

$$= \frac{3{,}8 - 3{,}2}{1{,}5\ h} = 0{,}4 \text{ mg/L/h}$$

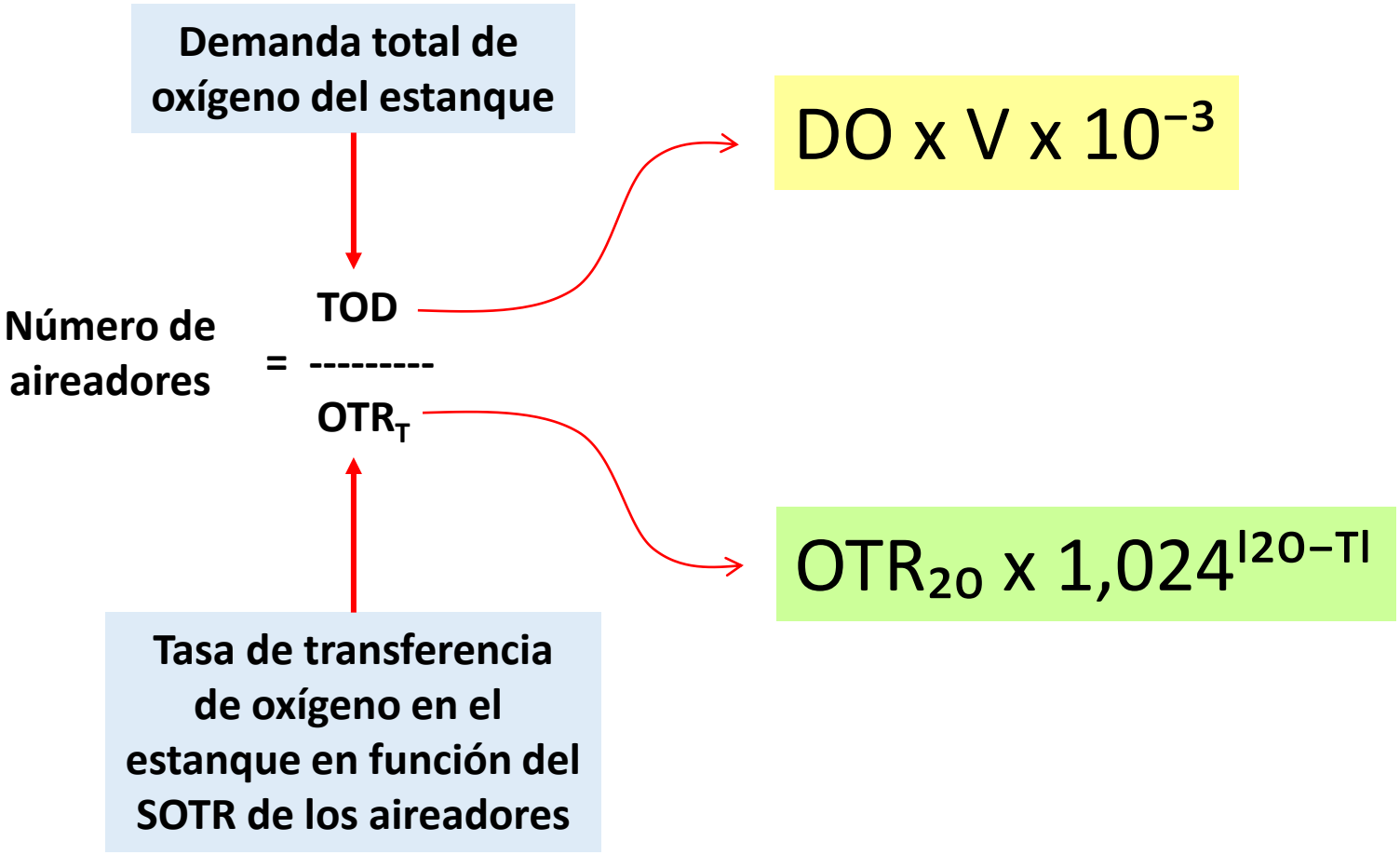
Respiración del fondo

RF (mg O_2/L/h)

$$= \frac{3{,}6 - 2{,}7}{1{,}5\ h} = 0{,}6 - 0{,}4 = 0{,}2 \text{ mg/L/h}$$



	RC	RF
1	0,4	0,2
2	0,5	0,1
3	0,4	0,3
	0,43	0,20


Demanda total de oxígeno del estanque
Número de aireadores
=
TOD

OTR$_T$
Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores
DO x V x 10^{-3}
OTR_{20} x $1,024^{[20-T]}$

$DO \times V \times 10^{-3}$

$DO = RC + RF + CO$

$DO = 0{,}43 + 0{,}20 + CO$

?

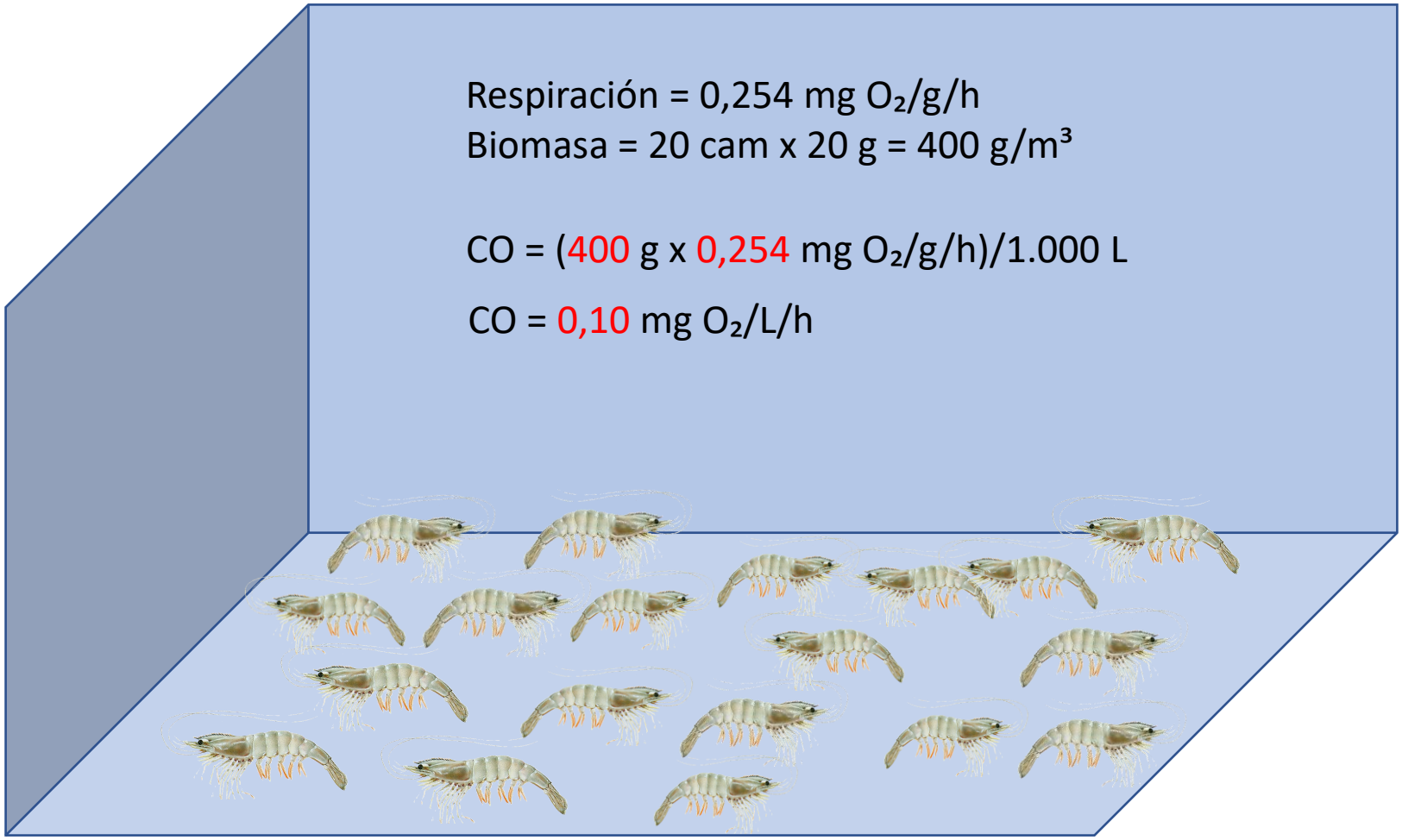
A = 10.000 m²
h = 1,0 m
V = 10.000 m³
S = 25 ‰
T = 25 °C
ρ = 20 camarones/m²
w = 20 gramos

CAMARONES

Tabla 2. Tasa respiratoria de *L. vannamei* según tamaño, salinidad y temperatura.

Salinidad	Temperatura	5 g	10 g	15 g	20 g
		(mg O_2/gramo/hora)			
37 ‰	20 °C	0,160	0,191	0,213	0,230
	25 °C	0,244	0,184	0,157	0,139
	30 °C	0,346	0,319	0,303	0,293
25 ‰	20 °C	0,162	0,188	0,205	0,218
	25 °C	0,246	0,250	0,252	0,254
	30 °C	0,326	0,322	0,320	0,318
13 ‰	20 °C	0,202	0,222	0,235	0,244
	25 °C	0,250	0,253	0,255	0,256
	30 °C	0,322	0,328	0,331	0,332
1 ‰	20 °C	0,172	0,166	0,161	0,159
	25 °C	0,238	0,255	0,265	0,272
	30 °C	0,382	0,425	0,451	0,471

Bett y Vinatea (2009)



1 m^3 = 20 camarones de 20 g

1 m^3 = 1.000 litros

$$DO = RC + RF + CO$$

$$DO = 0{,}43 + 0{,}20 + 0{,}10 = 0{,}73 \text{ mg } O_2/L/h = 0{,}73 \text{ g/m}^3/h$$

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

$$TOD = 0{,}73 \text{ g/m}^3/h \times 10.000 \text{ m}^3 \times 0{,}001 \text{ kg/g}$$

$$TOD = 7{,}3 \text{ kg } O_2/h$$

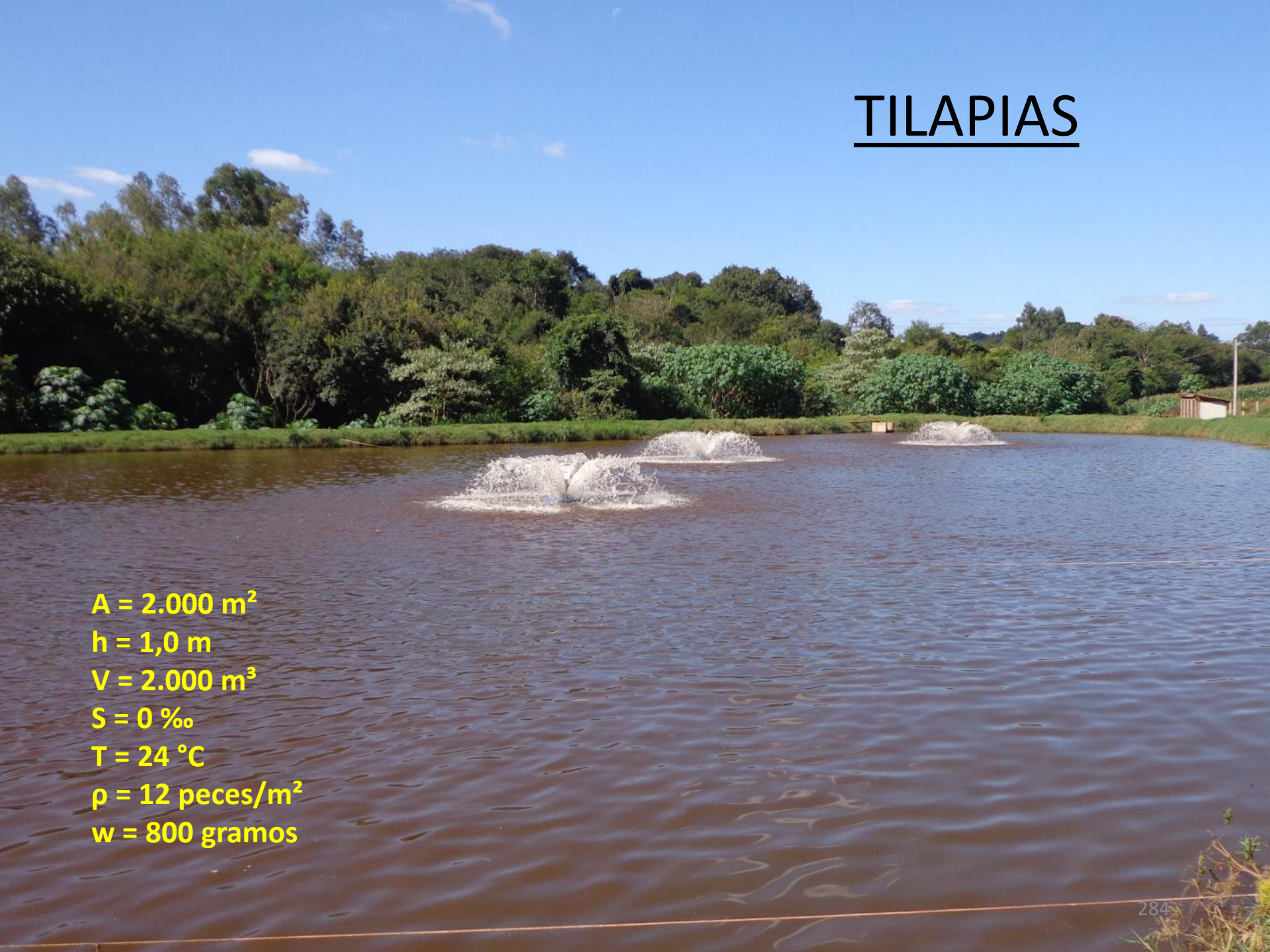
Demanda total de oxígeno del estanque

$$\text{Número de aireadores} = \frac{7{,}3 \text{ kg/h}}{OTR_T}$$

Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores

luis.vinatea@ufsc.br

TILAPIAS

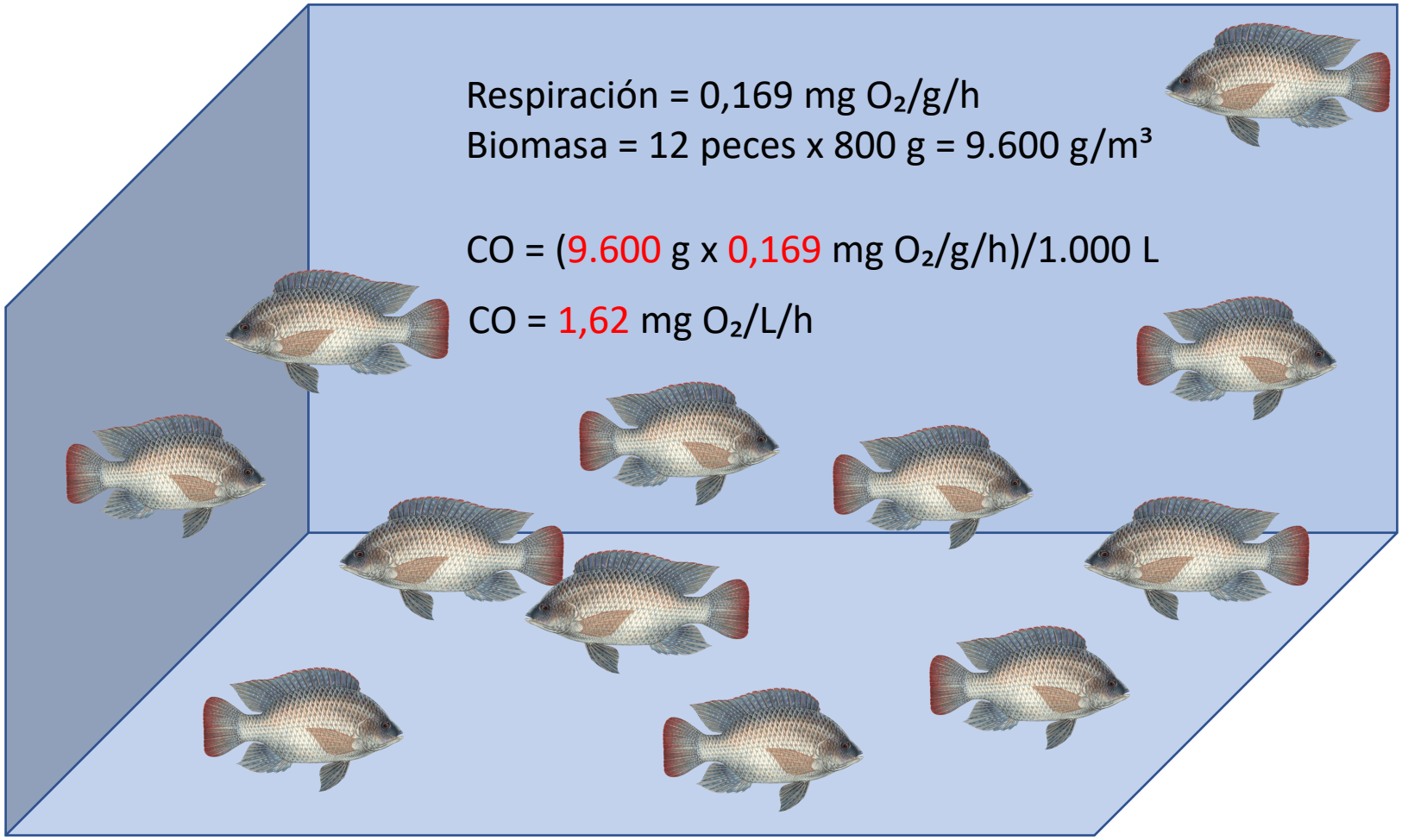


A = 2.000 m²
h = 1,0 m
V = 2.000 m³
S = 0 ‰
T = 24 °C
ρ = 12 peces/m²
w = 800 gramos

Tabla 3. Tasa respiratoria de *Oreochromis* sp. De acuerdo con el peso y a la temperatura.

Peso (g)	Temperatura (°C)	Tasa respiratoria (mg O_2/gramo/h)
25	18	0,176
25	24	0,325
25	30	0,508
50	18	0,167
50	24	0,205
50	30	0,361
100	18	0,165
100	24	0,195
100	30	0,349
200	18	0,151
200	24	0,193
200	30	0,243
400	18	0,147
400	24	0,188
400	30	0,241
800	18	0,096
800	24	0,169
800	30	0,237

Valbuena y Cruz (2006)



1 m³ = 12 peces de 800 g

1 m³ = 1.000 litros

$$DO = RC + RF + CO$$

$$DO = 0{,}43 + 0{,}20 + 1{,}62 = 2{,}25 \text{ mg } O_2/L/h = 2{,}25 \text{ g/m}^3/h$$

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

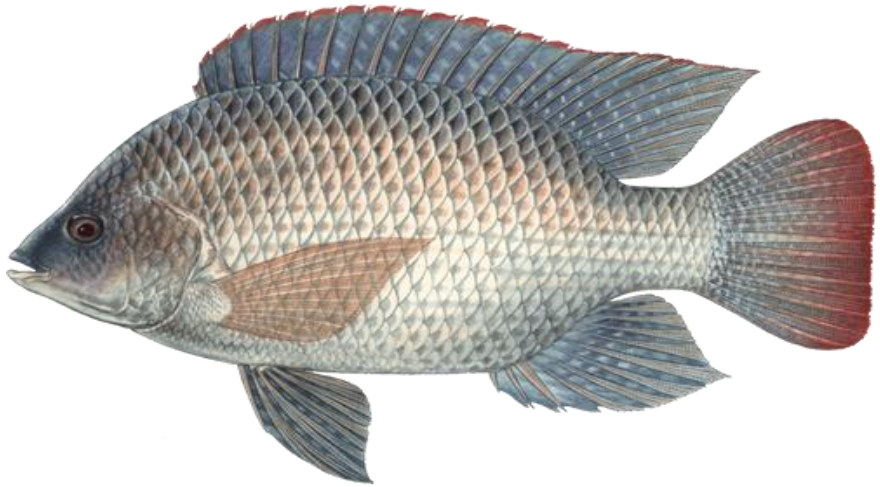
$$TOD = 2{,}25 \text{ g/m}^3/h \times 2.000 \text{ m}^3 \times 0{,}001 \text{ kg/g}$$

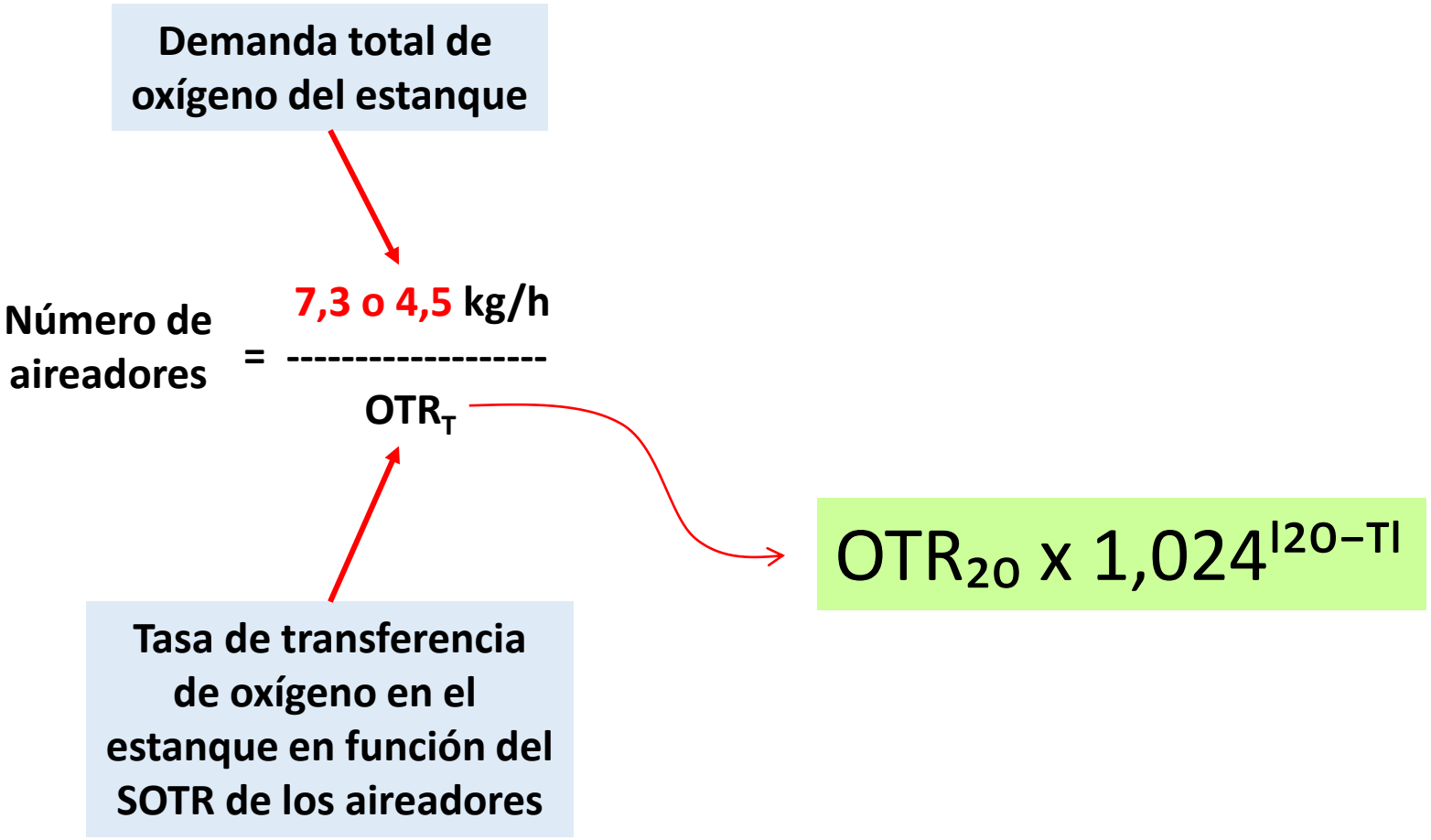
$$TOD = 4{,}5 \text{ kg } O_2/h$$

Demanda total de oxígeno del estanque

$$\text{Número de aireadores} = \frac{4{,}5 \text{ kg/h}}{OTR_T}$$

Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores




Demanda total de oxígeno del estanque
Número de aireadores
=
7,3 o 4,5 kg/h
OTR$_T$
Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores
$OTR_{20} \times 1{,}024^{[20-T]}$

OTR = Tasa de transferencia de oxígeno en el estanque en función del SOTR de los aireadores

$$OTRt = OTR_{20} \times 1{,}024^{[20-T]}$$

$$OTR_{20} = \frac{SOTR\ (Cs - C_1)}{Cs}$$

Aireador	SOTR	SAE	Agua
1 (2,0 HP)	3,0	2,02	Salada (35 ‰)
2 (1,5 HP)	2,5	2,25	Salada (35 ‰)
3 (2,0 HP)	2,6	1,75	Dulce (0 ‰)
4 (1,5 HP)	2,2	1,98	Dulce (0 ‰)

Aireador	SOTR	Especie	Agua	TOD	Estanque
1 (2,0 HP)	3,0	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
2 (1,5 HP)	2,5	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
3 (2,0 HP)	2,6	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²
4 (1,5 HP)	2,2	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²

$$OTR_{20} = \frac{SOTR\ (Cs - C_1)}{Cs} \qquad OTR_{20} = \frac{3{,}0\ (7{,}3 - 3{,}65)}{7{,}3} = 1{,}5 \text{ kg/h}$$

20 °C, 35 ‰ (Tabla 1)

$$OTRt = OTR_{20} \times 1{,}024^{|20-T|} \qquad OTRt = 1{,}5 \times 1{,}024^{|20-25|} = 1{,}68 \text{ kg/h}$$

$$\textbf{Número de Aireadores} = \frac{\textbf{7,3 kg/h}}{\textbf{OTR}_T} \qquad \textbf{Número de aireadores} = \frac{\textbf{7,3 kg/h}}{\textbf{1,68 kg/h}} = 4{,}3 \text{ aireadores}$$

Aireador	SOTR	Especie	Agua	TOD	Estanque
1 (2,0 HP)	3,0	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
2 (1,5 HP)	2,5	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
3 (2,0 HP)	2,6	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²
4 (1,5 HP)	2,2	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²

$$OTR_{20} = \frac{SOTR\ (Cs - C_1)}{Cs} \qquad OTR_{20} = \frac{2,5\ (7,3 - 3,65)}{7,3} = 1,25\ kg/h$$

$$OTRt = OTR_{20} \times 1,024^{|20-T|} \qquad OTRt = 1,25 \times 1,024^{|20-25|} = 1,40\ kg/h$$

$$\text{Número de aireadores} = \frac{7,3\ kg/h}{OTR_T} \qquad \text{Número de aireadores} = \frac{7,3\ kg/h}{1,4\ kg/h} = 5,2\ \text{aireadores/ha}$$

Aireador	SOTR	Especie	Agua	TOD	Estanque
1 (2,0 HP)	3,0	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
2 (1,5 HP)	2,5	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
3 (2,0 HP)	2,6	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²
4 (1,5 HP)	2,2	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²

$$OTR_{20} = \frac{SOTR\ (Cs - C_1)}{Cs} \qquad OTR_{20} = \frac{2,6\ (9 - 4,5)}{9} = 1,3 \text{ kg/h}$$

20 °C, 0 ‰ (Tabla 1)

$$OTRt = OTR_{20} \times 1,024^{|20-T|} \qquad OTRt = 1,3 \times 1,024^{|20-24|} = 1,41 \text{ kg/h}$$

$$\textbf{Número de aireadores} = \frac{\textbf{4,5 kg/h}}{\textbf{OTR}_T} \qquad \textbf{Número de aireadores} = \frac{\textbf{4,5 kg/h}}{\textbf{1,41 kg/h}} = 3,2 \text{ aireadores}$$

Aireador	SOTR	Especie	Agua	TOD	Estanque
1 (2,0 HP)	3,0	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
2 (1,5 HP)	2,5	Camarón	Salada	7,3	10.000 m²
3 (2,0 HP)	2,6	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²
4 (1,5 HP)	2,2	Tilapia	Dulce	4,5	2.000 m²

$$OTR_{20} = \frac{SOTR\ (Cs - C_1)}{Cs} \qquad OTR_{20} = \frac{2,2\ (9 - 4,5)}{9} = 1,1\ kg/h$$

$$OTRt = OTR_{20} \times 1,024^{|20-T|} \qquad OTRt = 1,1 \times 1,024^{|20-24|} = 1,19\ kg/h$$

$$\text{Número de aireadores} = \frac{4,5\ kg/h}{OTR_T} \qquad \text{Número de aireadores} = \frac{4,5\ kg/h}{1,19\ kg/h} = 3,8 \text{ aireadores}$$

PERÚ

Aireador	SOTR	SAE	US$/kg O_2	N° aparatos	N° horas/día	US$/día
1 (2,0 HP)	3,0	2,02	0,036	4,3	8	**3,71**
2 (1,5 HP)	2,5	2,25	0,032	5,2	8	**3,32**
3 (2,0 HP)	2,6	1,75	0,042	3,2	8	**2,79**
4 (1,5 HP)	2,2	1,98	0,037	3,8	8	**2,47**

Perú = US$ 0,074/kwh

Aireador	US$/día	US$/mes	N° estanques	US$/mes	Ahorro/mes
1 (2,0 HP)	**3,71**	111,3	100 (100 ha)	11,130	0
2 (1,5 HP)	**3,32**	99,6	100 (100 ha)	9.960	1.170
3 (2,0 HP)	**2,79**	83,7	100 (20 ha)	8.370	0
4 (1,5 HP)	**2,47**	74,1	100 (20 ha)	7.410	960

Nota: no pensar que los aireadores de 1,5 HP son más eficientes que los de 2 HP. Estos resultados son efecto del ejemplo.

Solo agua salada
Perú

Equipos de 2 HP
TOD: 7,3 kg O_2/h
T: 25 °C
S: 25 ‰
ρ: 20 camarones/m²
w: 20 gramos
B: 0,4 kg/m²

Equipo	SOTR	US$/kg O_2	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,036	4,3	111,4	11.140	55.700	111.400
2 HP	2,5	0,044	5,2	137,2	13.730	68.650	137.300
2 HP	2,0	0,054	6,5	168,4	16.850	84.250	168.500
2 HP	1,5	0,073	8,7	228,6	22.860	114.300	228.600

Perú = US$ 0,074/kwh

Diferencia de US$ 117.200 (!)

ECUADOR

Aireador	SOTR	SAE	US$/kg O_2	N° aparatos	N° horas/día	US$/día
1 (2,0 HP)	3,0	2,02	0,049	4,3	8	**5,05**
2 (1,5 HP)	2,5	2,25	0,044	5,2	8	**4,57**
3 (2,0 HP)	2,6	1,75	0,057	3,2	8	**3,79**
4 (1,5 HP)	2,2	1,98	0,050	3,8	8	**3,34**

Ecuador = US$ 0,10/kwh

Aireador	US$/día	US$/mes	N° estanques	US$/mes	Ahorro/mes
1 (2,0 HP)	**5,05**	151,5	100 (100 ha)	15.155	0
2 (1,5 HP)	**4,57**	137,1	100 (100 ha)	13.710	1.445
3 (2,0 HP)	**3,79**	113,7	100 (20 ha)	11.370	0
4 (1,5 HP)	**3,34**	100,2	100 (20 ha)	10.020	1.350

Nota: no pensar que los aireadores de 1,5 HP son más eficientes que los de 2 HP. Estos resultados son efecto del ejemplo.

Solo agua salada
Ecuador

Equipos de 2 HP
TOD: 7,3 kg O_2/h
T: 25 °C
S: 25 ‰
ρ: 20 camarones/m²
w: 20 gramos
B: 0,4 kg/m²

Equipo	SOTR	US$/kg O_2	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,049	4,3	151,7	15.171	75.855	151.171
2 HP	2,5	0,059	5,2	184,1	18.410	92.050	184.100
2 HP	2,0	0,074	6,5	230,8	23.080	115.400	230.800
2 HP	1,5	0,099	8,7	310,1	31.010	155.050	310.100

Ecuador = US$ 0,10/kwh

Diferencia de US$ 158.929 (!)

COLOMBIA

Aireador	SOTR	SAE	US$/kg O_2	N° aparatos	N° horas/día	US$/día
1 (2,0 HP)	3,0	2,02	0,064	4,3	8	**6,60**
2 (1,5 HP)	2,5	2,25	0,057	5,2	8	**5,92**
3 (2,0 HP)	2,6	1,75	0,074	3,2	8	**4,92**
4 (1,5 HP)	2,2	1,98	0,065	3,8	8	**4,34**

Colombia = US$ 0,13/kwh

Aireador	US$/día	US$/mes	N° estanques	US$/mes	Ahorro/mes
1 (2,0 HP)	**6,60**	198,0	100 (100 ha)	19.800	0
2 (1,5 HP)	**5,92**	177,6	100 (100 ha)	17.760	2.040
3 (2,0 HP)	**4,92**	147,6	100 (20 ha)	14.760	0
4 (1,5 HP)	**4,34**	130,2	100 (20 ha)	13.020	1.740

Nota: no pensar que los aireadores de 1,5 HP son más eficientes que los de 2 HP. Estos resultados son efecto del ejemplo.

Solo agua salada
Colombia

Equipos de 2 HP
TOD: 7,3 kg O_2/h
T: 25 °C
S: 25 ‰
ρ: 20 camarones/m²
w: 20 gramos
B: 0,4 kg/m²

Equipo	SOTR	US$/kg O_2	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,064	4,3	198,1	19.810	99.050	198.100
2 HP	2,5	0,077	5,2	240,2	24.020	120.100	240.200
2 HP	2,0	0,096	6,5	299,5	29.950	149.750	299.500
2 HP	1,5	0,128	8,7	400,8	40.080	200.400	400.800

Colombia = US$ 0,13/kwh

Diferencia de US$ 202.700 (!)

Equipo	SOTR	US$/kg O_2 **Perú**	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,036	4,3	111,4	11.140	55.700	111.400
2 HP	2,5	0,044	5,2	137,2	13.730	68.650	137.300
2 HP	2,0	0,054	6,5	168,4	16.850	84.250	168.500
2 HP	1,5	0,073	8,7	228,6	22.860	114.300	228.600

Equipo	SOTR	US$/kg O_2 **Ecuador**	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,049	4,3	151,7	15.171	75.855	151.171
2 HP	2,5	0,059	5,2	184,1	18.410	92.050	184.100
2 HP	2,0	0,074	6,5	230,8	23.080	115.400	230.800
2 HP	1,5	0,099	8,7	310,1	31.010	155.050	310.100

Equipo	SOTR	US$/kg O_2 **Colombia**	Equipos/ha	US$/mes/ha	US$/mes 100 ha	US$/mes 500 ha	US$/mes 1000 ha
2 HP	3,0	0,064	4,3	198,1	19.810	99.050	198.100
2 HP	2,5	0,077	5,2	240,2	24.020	120.100	240.200
2 HP	2,0	0,096	6,5	299,5	29.950	149.750	299.500
2 HP	1,5	0,128	8,7	400,8	40.080	200.400	400.800

Acta Scientiarum. Biological Sciences
Maringá, v. 33, n. 2, p. 125-132, 2011

DOI: 10.4025/actascibiolsci.v33i2.7018

The impact of oxygen consumption by the shrimp *Litopenaeus vannamei* according to body weight, temperature, salinity and stocking density on pond aeration: a simulation

Luis Vinatea[1*], Walter Muedas[2] and Rafael Arantes[1]

*[1]Universidade Federal de Santa Catarina, Campus universitário, 88040-900, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. [2]Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brazil. *Author for correspondence. Email: luis.vinatea@pq.cnpq.br*

ABSTRACT. A simulation was conducted to determinate the impact caused by the combination of *Litopenaeus vannamei* respiratory rate (mg O_2 shrimp^{-1} h^{-1}), the behavior of SOTR (kg O_2 h^{-1}) of mechanical aerators as a function of salinity, as well as the oxygen consumption rate of the pond water and soil (mg O_2 L^{-1} h^{-1}) on the aeration of shrimp ponds (1, 10, 50 and 100 ha) stocked with different densities (10, 40 and 120 shrimp m^{-2}), salinities (1, 13, 25 and 37 ppt), temperatures (20, 25 and 30°C), and shrimp wet weight (5, 10, 15 and 20 g). Results showed that under lower salinity, with larger shrimp, and higher stocking density, higher will be the quantity of required 2-HP aerators to keep dissolved oxygen over 50% saturation. In addition, under low salinity, with 5 and 10 g shrimp, independent of stocking density, more aerators per hectare are required and electricity cost is higher at 20°C and salinity 1 ppt. Less aerators and lower electricity cost was observed at 30°C, salinities of 25 and 37 ppt, and shrimp of 15 and 20 g.

Keywords: aeration, shrimp farming, respiration, oxygen consumption, density.

Número de aireadores a ser colocados en un estanque de 1 ha en función del SOTR (kg/h) y la demanda de oxígeno (mg/L/h). Valores válidos para una salinidad de 35 ‰ y una temperatura de 28 °C.

SOTR (kg/h)	Demanda de oxígeno (mg/L/h)								
	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
0,5	6,44	12,87	19,31	25,74	32,18	38,61	45,05	51,48	**57,92**
0,75	4,29	8,58	12,87	17,16	21,45	25,74	30,03	34,32	38,61
1	3,22	6,44	9,65	12,87	16,09	19,31	22,52	25,74	28,96
1,25	2,57	5,15	7,72	10,30	12,87	15,44	18,02	20,59	23,17
1,5	2,15	4,29	6,44	8,58	10,73	12,87	15,02	17,16	19,31
1,75	1,84	3,68	5,52	7,35	9,19	11,03	12,87	14,71	16,55
2	1,61	3,22	4,83	6,44	8,04	9,65	11,26	12,87	14,48
2,25	1,43	2,86	4,29	5,72	7,15	8,58	10,01	11,44	12,87
2,5	1,29	2,57	**3,86**	5,15	6,44	7,72	9,01	10,30	11,58
2,75	1,17	2,34	3,51	4,68	5,85	7,02	8,19	9,36	10,53
3	1,07	2,15	3,22	4,29	5,36	6,44	7,51	8,58	9,65
3,25	0,99	1,98	2,97	3,96	4,95	5,94	6,93	7,92	8,91
3,5	**0,92**	1,84	2,76	3,68	4,60	5,52	6,44	7,35	8,27

Mejor escenario

Promedio observado

Peor escenario

ECUADOR: Costo mensual de energía/combustible (US$/hectárea) en función del número de aireadores

Motor	US$/kg	SORT	Demanda de Oxígeno (DO)								
8 horas/noche			0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Número de aireadores/ha			1,32	2,65	3,97	5,3	6,62	7,96	9,27	10,6	11,92
Eléctrico	**0,059**	2,5	46,7	93,8	140,5	187,6	234,3	281,7	328,1	375,2	421,9
Número de aireadores/ha			0,31	0,62	0,93	1,25	1,56	1,87	2,18	2,49	2,8
Diésel	**0,051**	8,5	32,2	64,5	96,7	130,0	162,3	194,5	226,8	259,0	291,3

PERÚ: Costo mensual de energía/combustible (US$/hectárea) en función del número de aireadores

Motor	US$/kg	SORT	Demanda de Oxígeno (DO)								
8 horas/noche			0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Número de aireadores/ha			1,32	2,65	3,97	5,3	6,62	7,96	9,27	10,6	11,92
Eléctrico	**0,041**	2,5	32,5	65,2	97,7	130,4	162,9	195,8	228,0	260,8	293,2
Número de aireadores/ha			0,31	0,62	0,93	1,25	1,56	1,87	2,18	2,49	2,8
Diésel	**0,203**	8,5	128,4	256,8	385,1	517,7	646,0	774,4	902,8	1031,2	1159,5

Análisis de costo beneficio (circuladores verticales, *splash*)

Potencia	SOTR*	US$**	Equipos/ ha	US$/ha	Tiempo de vida	Inversión en 10 años/ha	Inversión en 10 años/100 ha
1,5 HP	3,0	750	4	3.000	10 años	3.000	300.000
1,5 HP	2,8	400	5	2.000	2 años	10.000	1.000.000
1,5 HP	2,6	600	6	3.600	5 años	7.200	720.000

(*) Determinado en 30 ‰ (**) precio sin impuestos

Potencia	SOTR	SAE	Equipos/ ha	US$ Kg O_2*	US$/año/ha **	Costo en 10 años/ha	Costo en 10 años/100 ha
1,5 HP	3,0	2,70	4	0,027	699	6.990	699.000
1,5 HP	2,8	2,52	5	0,029	876	8.760	876.000
1,5 HP	2,6	2,34	6	0,031	1.044	10.440	1.044.000

(*) US$ 0,074/kwh (**) US$ 9 meses/año

Equipo	Potencia	SOTR	Inversión en 10 años/ha	Costo en 10 años/100 ha	Total US$ 10 años/100 ha
1	1,5 HP	3,0	300.000	699.000	999.000
2	1,5 HP	2,8	1.000.000	876.000	1.876.000
3	1,5 HP	2,6	720.000	1.044.000	1.764.000

Futuro de la aireación = automación

Fazenda Modelo, Laguna, SC, Brasil (2020)

https://www.luisvinatea.com

BERAQUA

Acuicultura Ber Aqua Aquiber S.A.

Nely Apolo Carrión
nelyapolo@beraqua.com.ec
Contacto: +593 998298316
Ecuador - Perú

ARS ET SCIENTIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
UFSC

TECNOAQUA
Colombia, Centroamérica y el Caribe

COLOMBIA: (+57) 350 8022753
(+57) 316 6996911
(+57)(8) 6833953
ventas@tecnoaquasas.com

CENTROAMERICA: (+504) 33926176
ventas.ca@tecnoaquasas.com
julioparada@tecnoaquasas.com

(México, República Dominicana): (+57) 350 8022 753 / (+57)(8) 6833953
ventas.int@tecnoaquasas.com

WWW.TECNOAQUASAS.COM