

Sistemas de recirculación acuícola

Ing. Juan Benavides
Profesor e Investigador de la Escuela de Ingeniería Agrícola
Universidad de Costa Rica

Fish Farming International



AquaMaof



Strait Shooter/KUTERRA



SRA

Oxígeno



**CO₂
NH₄⁺ / NH₃**



Alimento



Materia fecal



Control total del ambiente circundante

- Temperatura
- Sólidos
- Oxígeno disuelto
- CO_2
- pH
- $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$
- Alcalinidad
- Salinidad



Los SRA permiten:

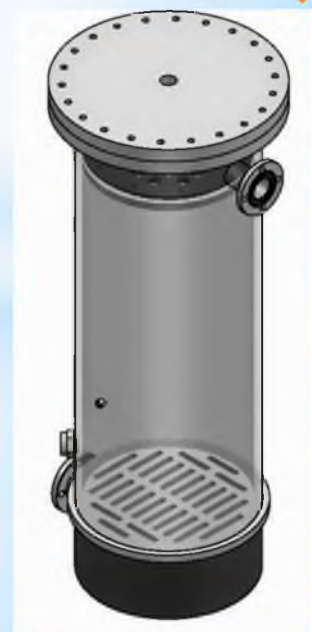
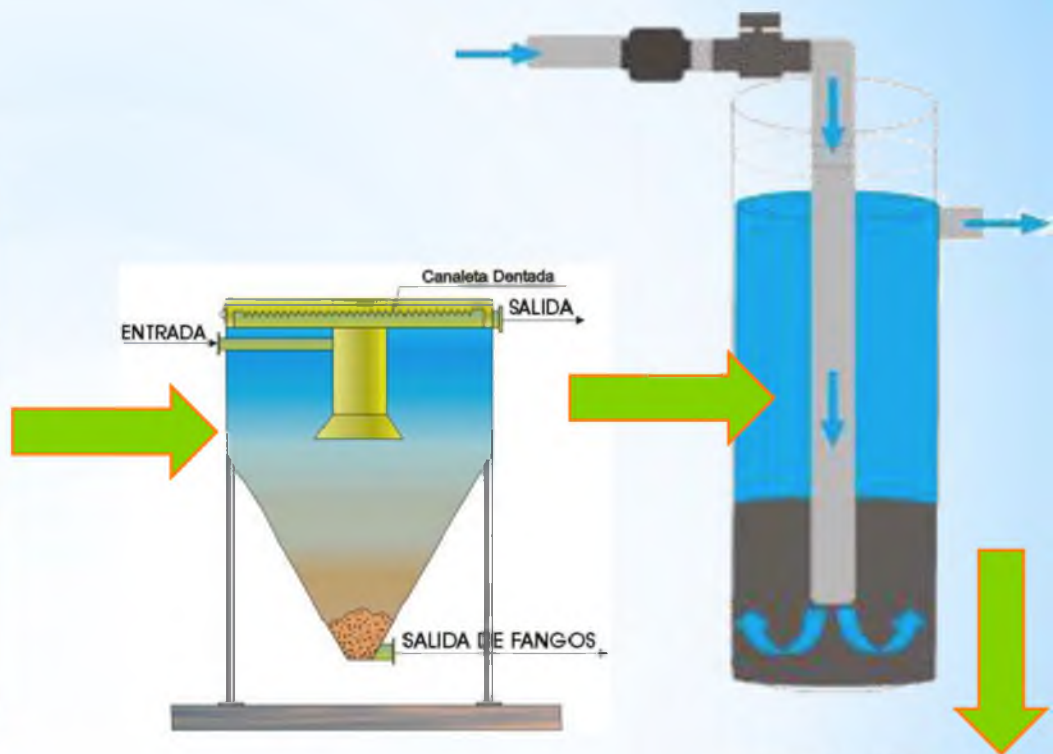
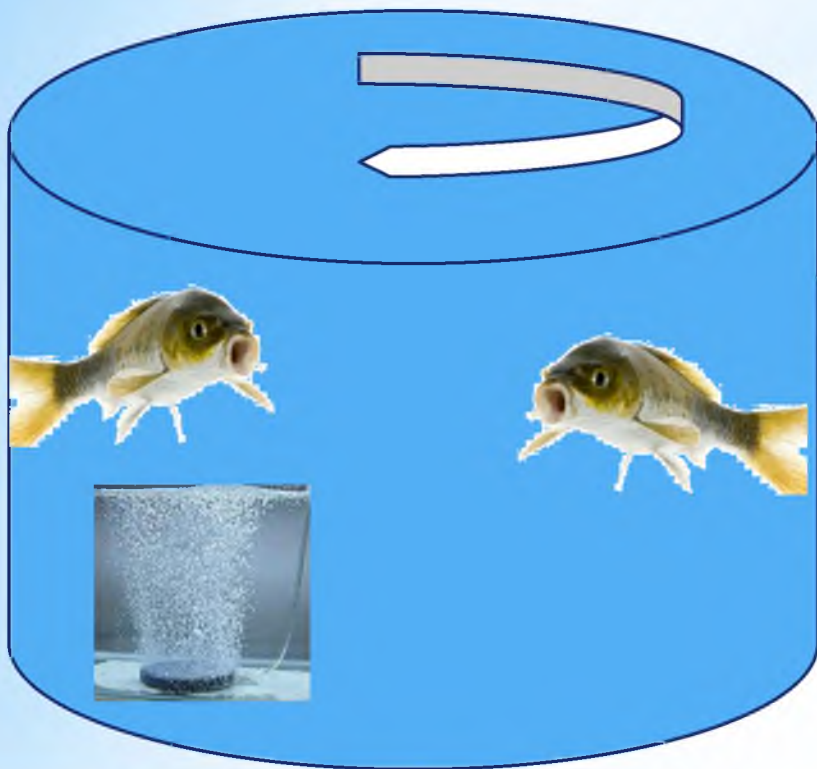
- Control ambiental completo
- Producción durante todo el año
- Volumen de producción controlado
- Bajo impacto ambiental
- Ubicación



SRA - 5 operaciones unitarias

- **Circulación del agua**
- **Remoción de sólidos**
- **Filtración biológica**
- **Desgasificación**
- **Aireación / oxigenación**





Ventajas

- **Uso racional del agua**
- **Impacto ambiental**
- **Control variables fisicoquímicas**
- **Zonas alejadas de cuerpos de agua**
- **Clima no afecta --- todo el año**
- **Control de enfermedades**
- **Mayor rendimiento por m³**
- **Tasas de conversión alimenticia**

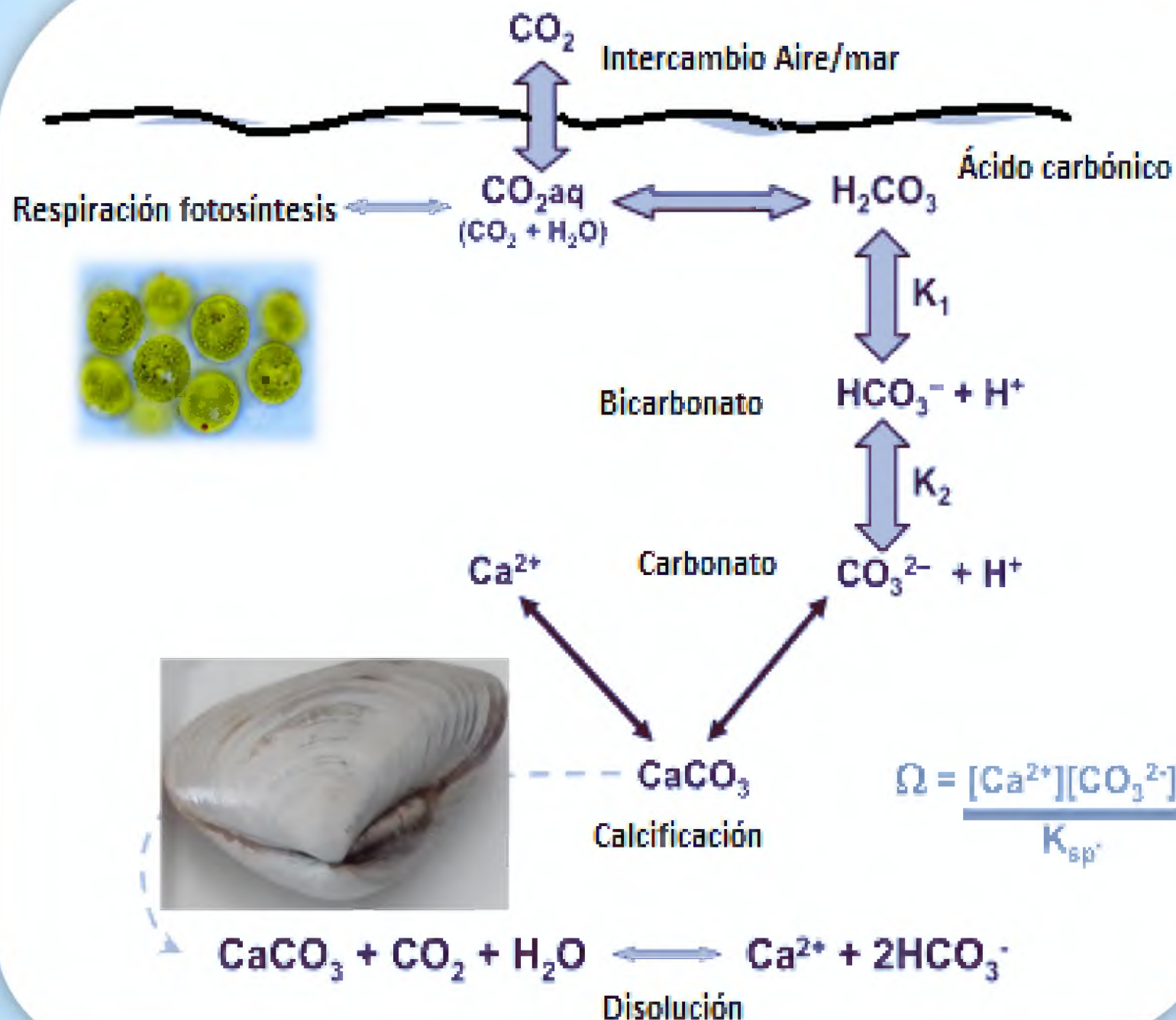
Desventajas

- Inversión inicial
- Complejidad
- Monitoreo constante
- Efectos crónicos CO₂, amonio

Crassostrea sikamea

Japón







CO₂ antropogénico (Broadgate *et al.*, 2013)

Prácticas inadecuadas y falta de controles sanitarios (Kinne y Lauckner, 2009)

Mareas rojas (Lovatelli *et al.*, 1990; Ermgassen *et al.*, 2013)

Deterioro de zonas de cultivo (Beck *et al.*, 2011; Dudognon *et al.*, 2015)

Objetivo general

Evaluar el efecto de la interacción entre las estrategia de alimentación y la dinámica del sistema carbón-carbonato en el acondicionamiento reproductivo del ostión Kumamoto (*Crassostrea sikamea*).

Materiales y Métodos

Sistema de recirculación acuícola

Tanque de
cultivo

12 SRA
20L
20 ostiones
0 recambio

Filtro biológico



500 organismos

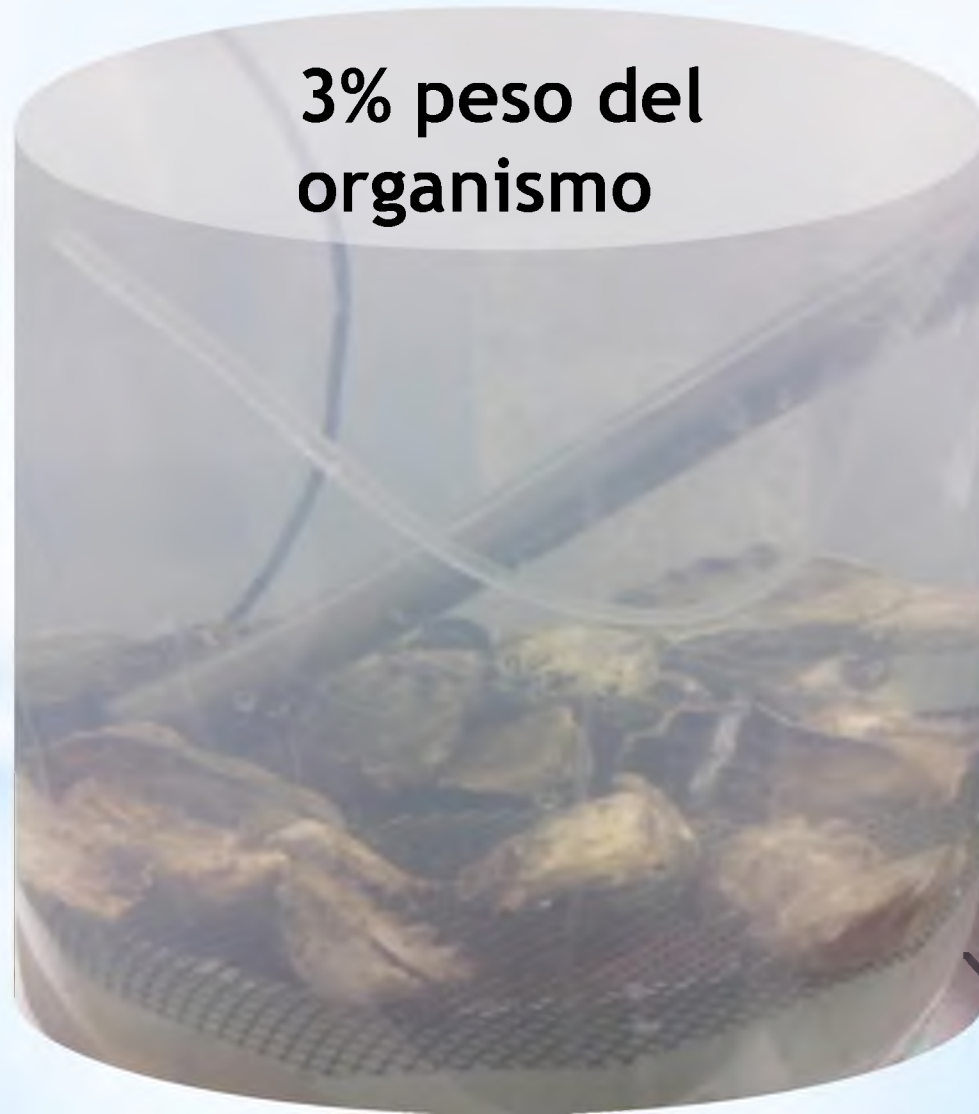


Estrategia de alimentación

Alimentación continua



Alimentación discontinua





**Reed
Mariculture**

Composición proximal (peso seco)

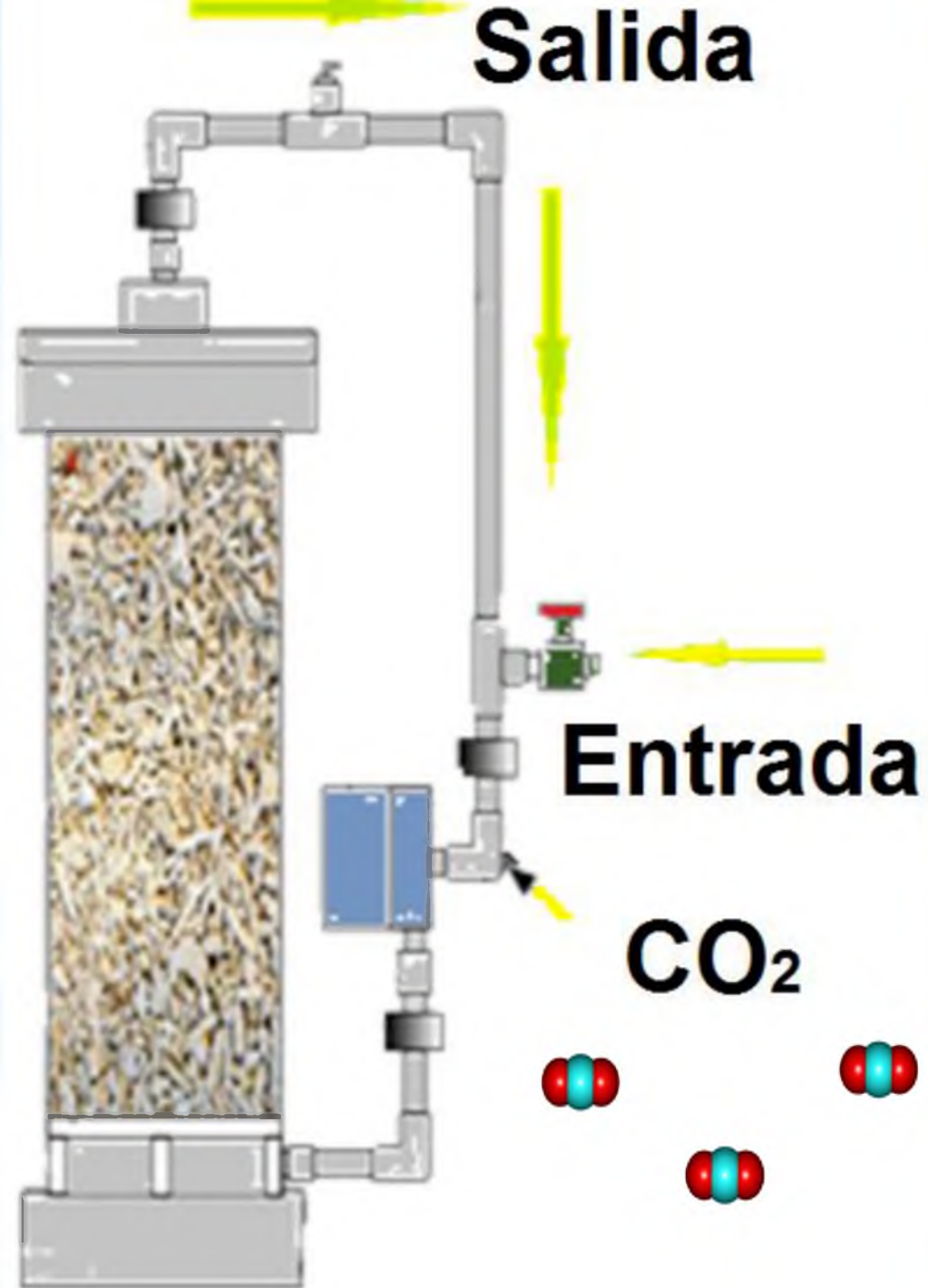
Proteína	45%
Lípidos	14%
Carbohidratos	14%
Cenizas	22%
Coliformes fecales	<0,3 NMP/ml
Salmonella	Negativo
Bacterias marinas	Negativo

Pasta de microalgas
2000millones / mL

Sistema carbón- carbonato

**Reactor de
calcio**

**Sin Reactor
de calcio**



Aclimatación y Desove

2 semanas

**Choque
térmico**



Diseño experimental

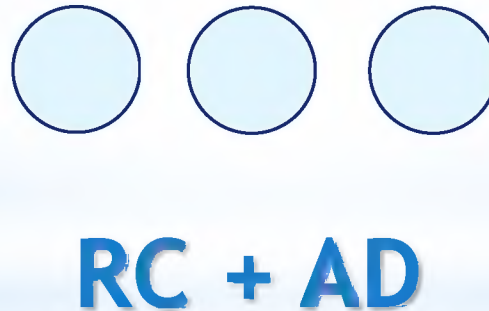
**Reactor de
calcio**

**Sin Reactor
de calcio**

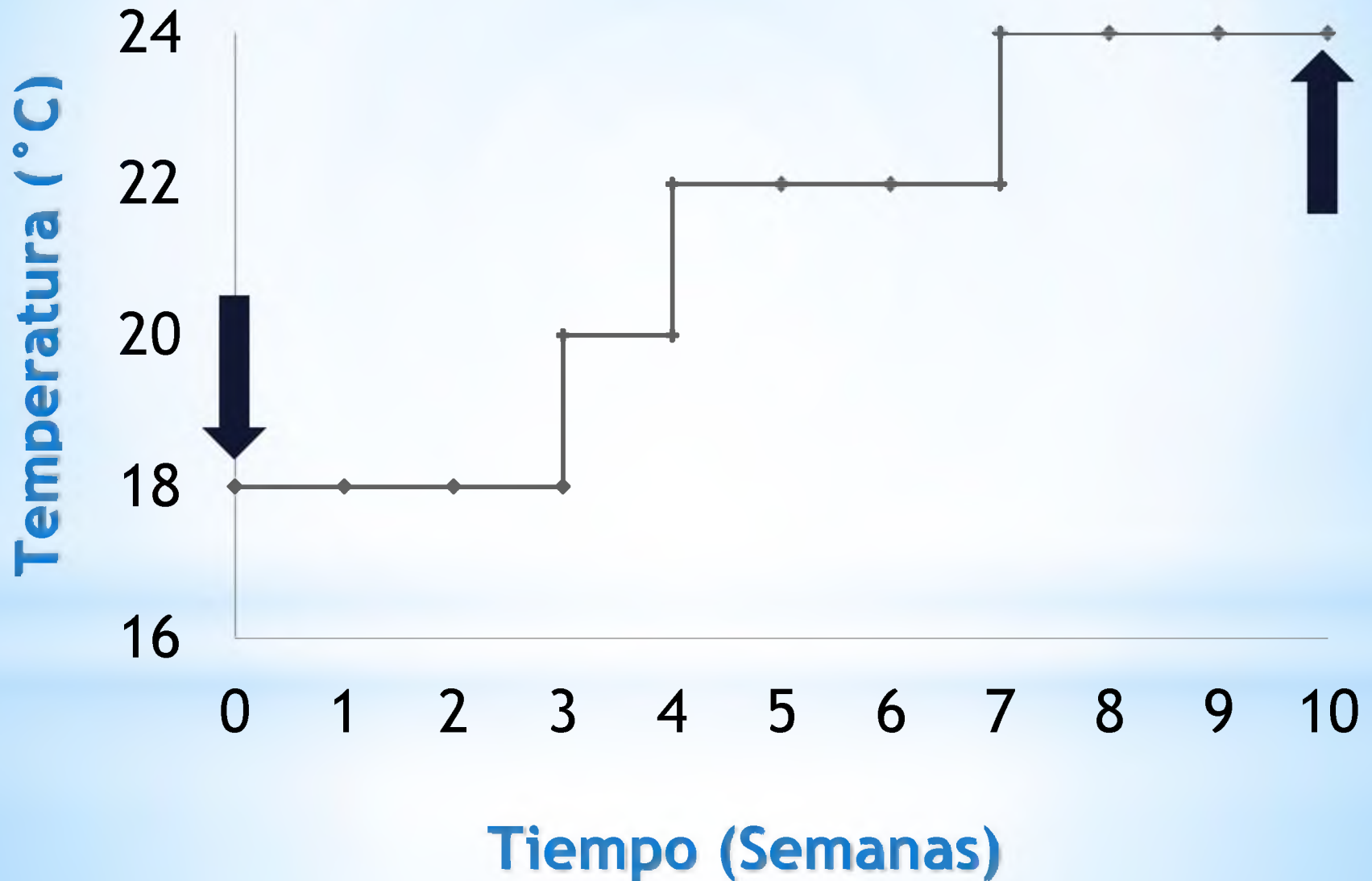
**Alimentación
continua**



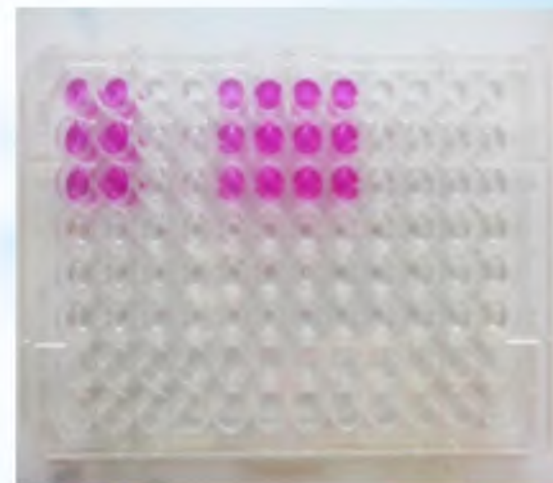
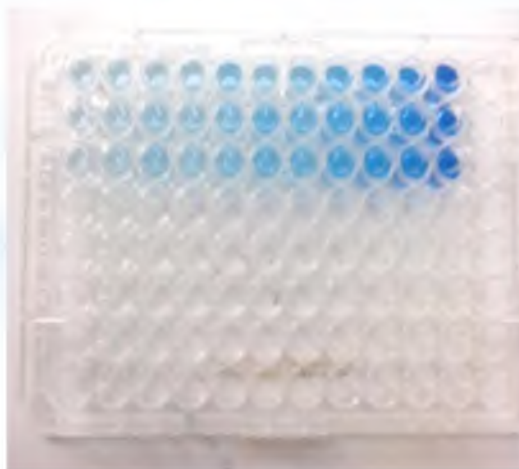
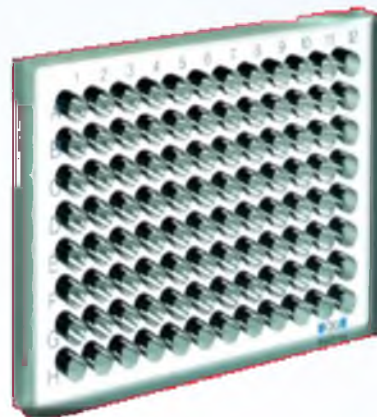
**Alimentación
discontinua**



Gradiente de temperatura



NAT → azul de indofenol → Adams V. Dean, 1990
N-NO₂ → formación de compuestos azo → APHA, 1995
N-NO₃⁻ → Técnica de ultravioleta a 2 longitudes de onda →
4500 NO₃, APHA, 1995



CO₂, CO₃⁻² y HCO₃⁻ → Ecuaciones (DOE, 1994)

Temperatura y OD → Oxímetro (YSI)

Alcalinidad → titulación con fenolftaleína (Adams V. Dean 1990)

pH → potenciómetro (LaMotte)



$$\text{CO}_2 = \frac{\text{Ac} [\text{H}^+]^2}{K_1 ([\text{H}^+] + 2K_2)}$$

$$\text{HCO}_3^- = \frac{\text{Ac} [\text{H}^+]}{[\text{H}^+] + 2K_2}$$

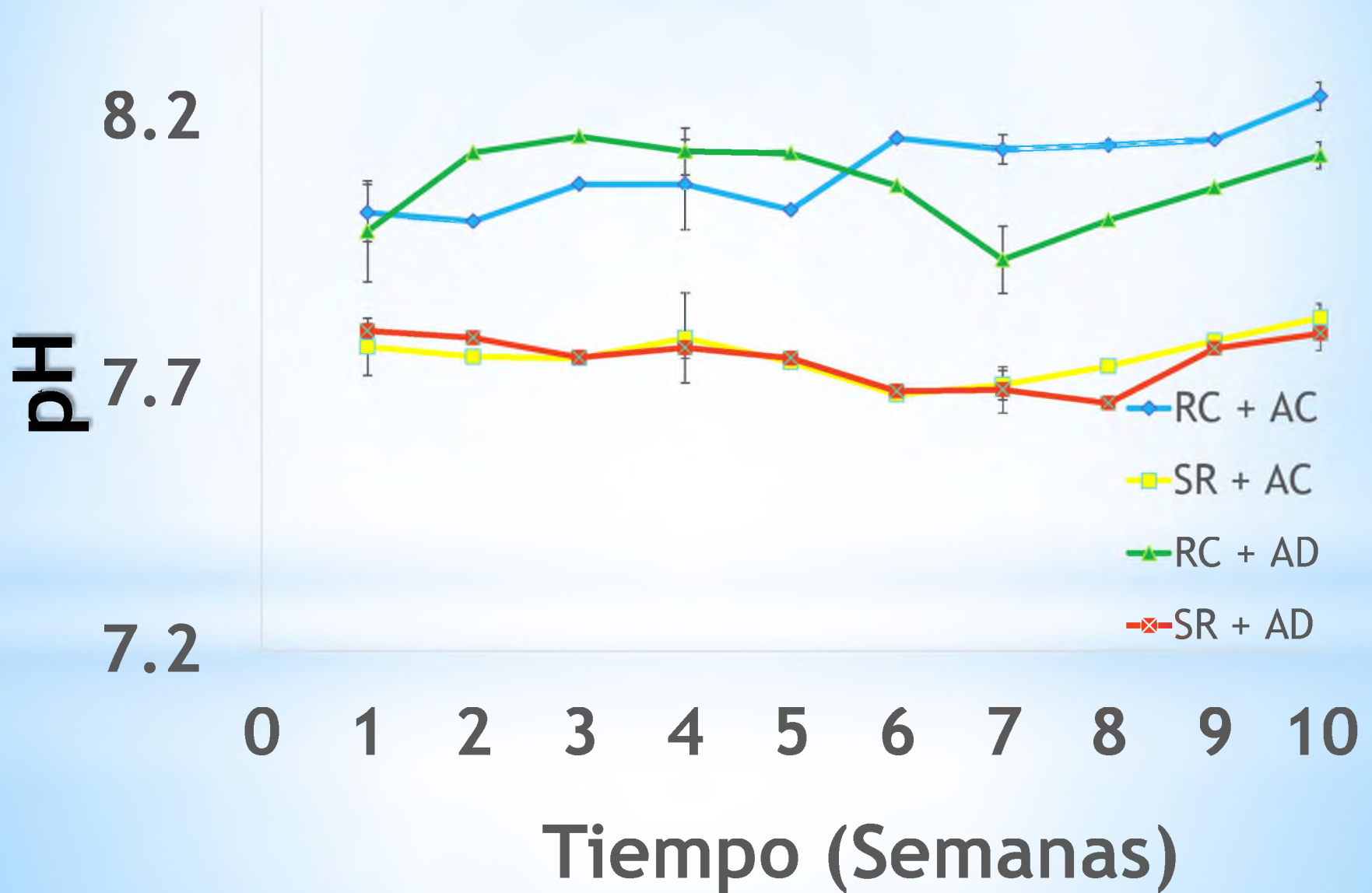
$K_1 = 4.3 \times 10^{-8}$
 $K_2 = 4.7 \times 10^{-11}$

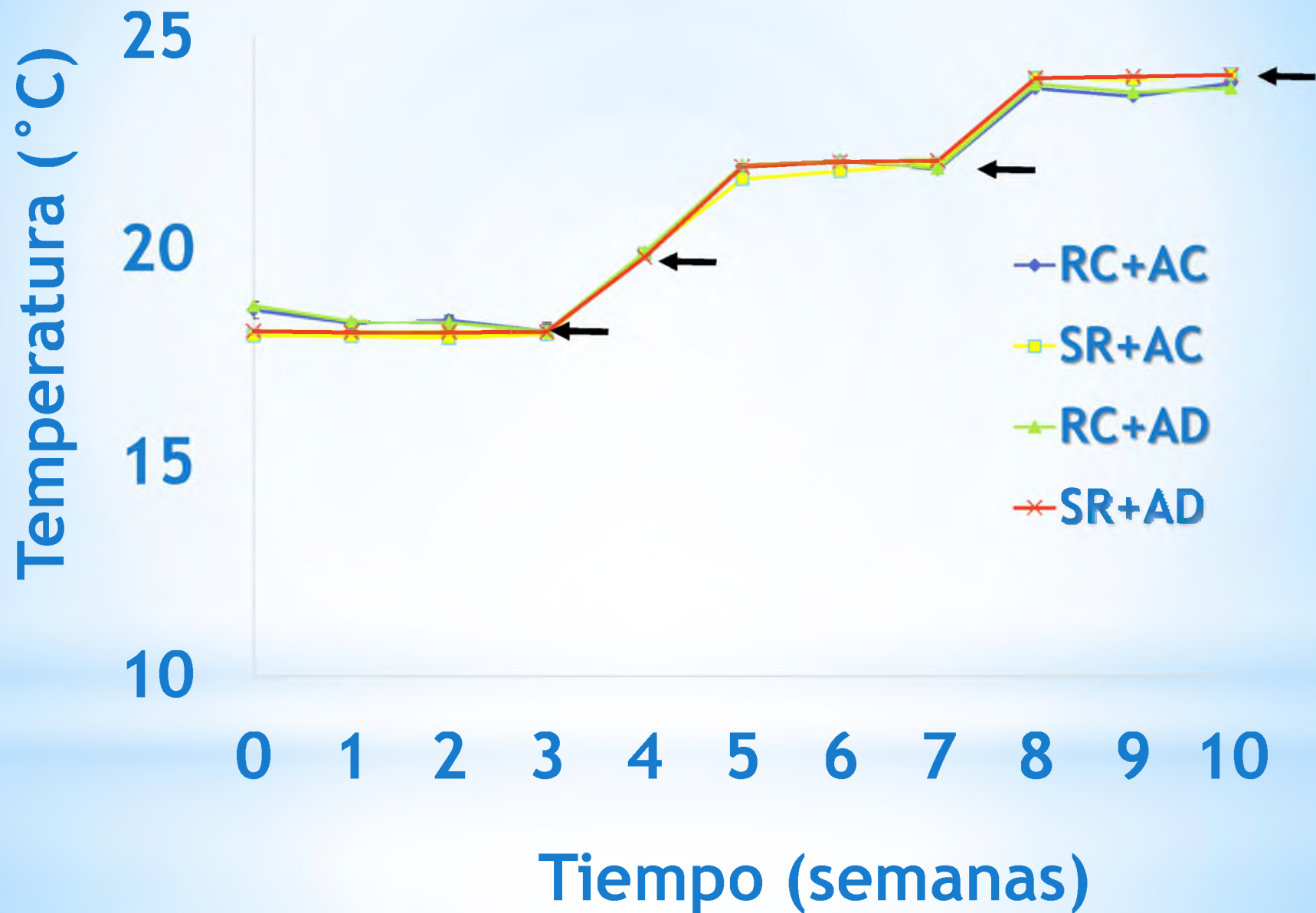
$$\text{CO}_3^{-2} = \frac{\text{Ac} \times K_2}{[\text{H}^+] + 2K_2}$$

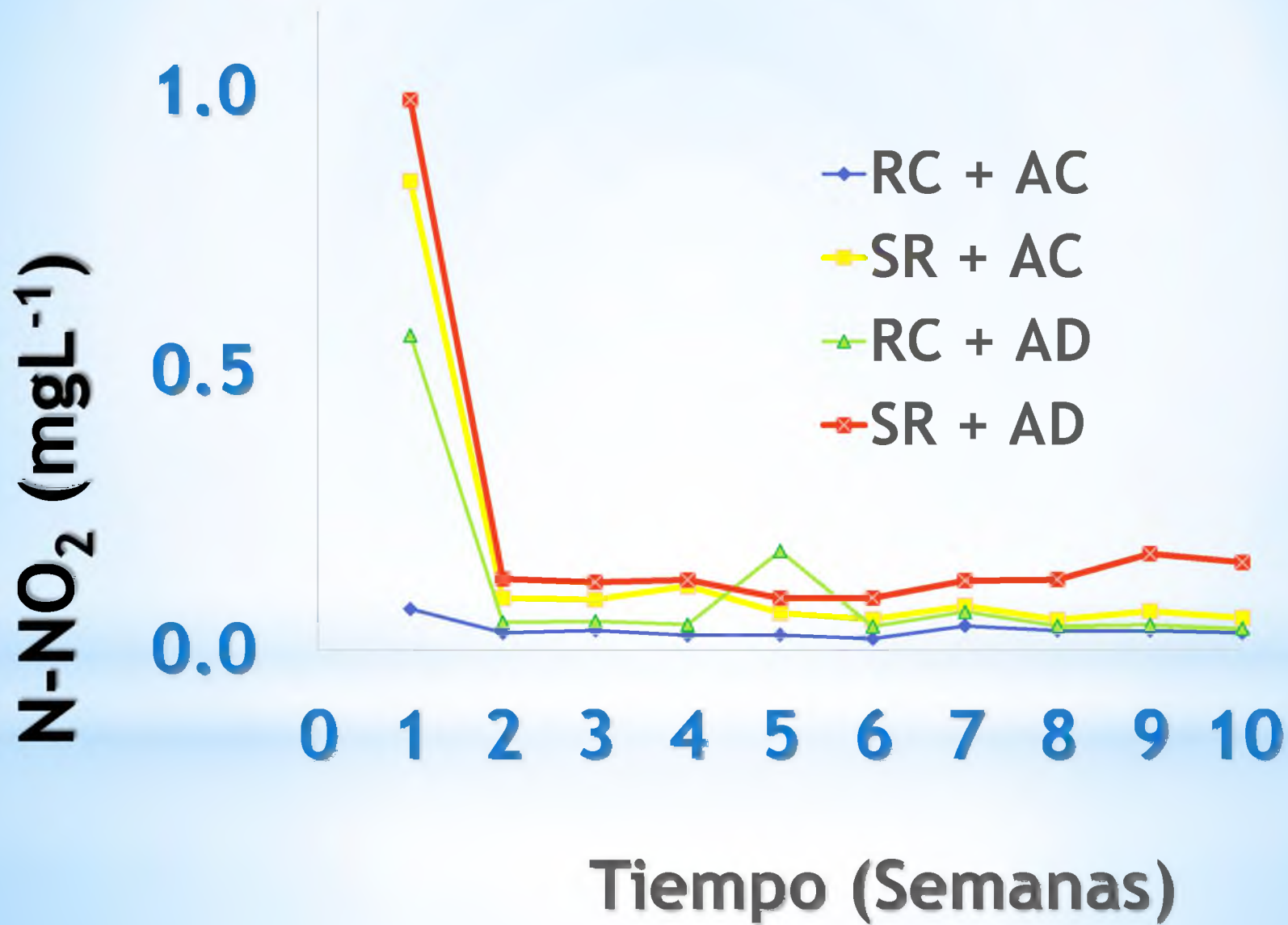


Reactor de calcio (8.06 $\pm$ 0.06)

Sin reactor de calcio (7.95 $\pm$ 0.06) (Villasuso, 2014)

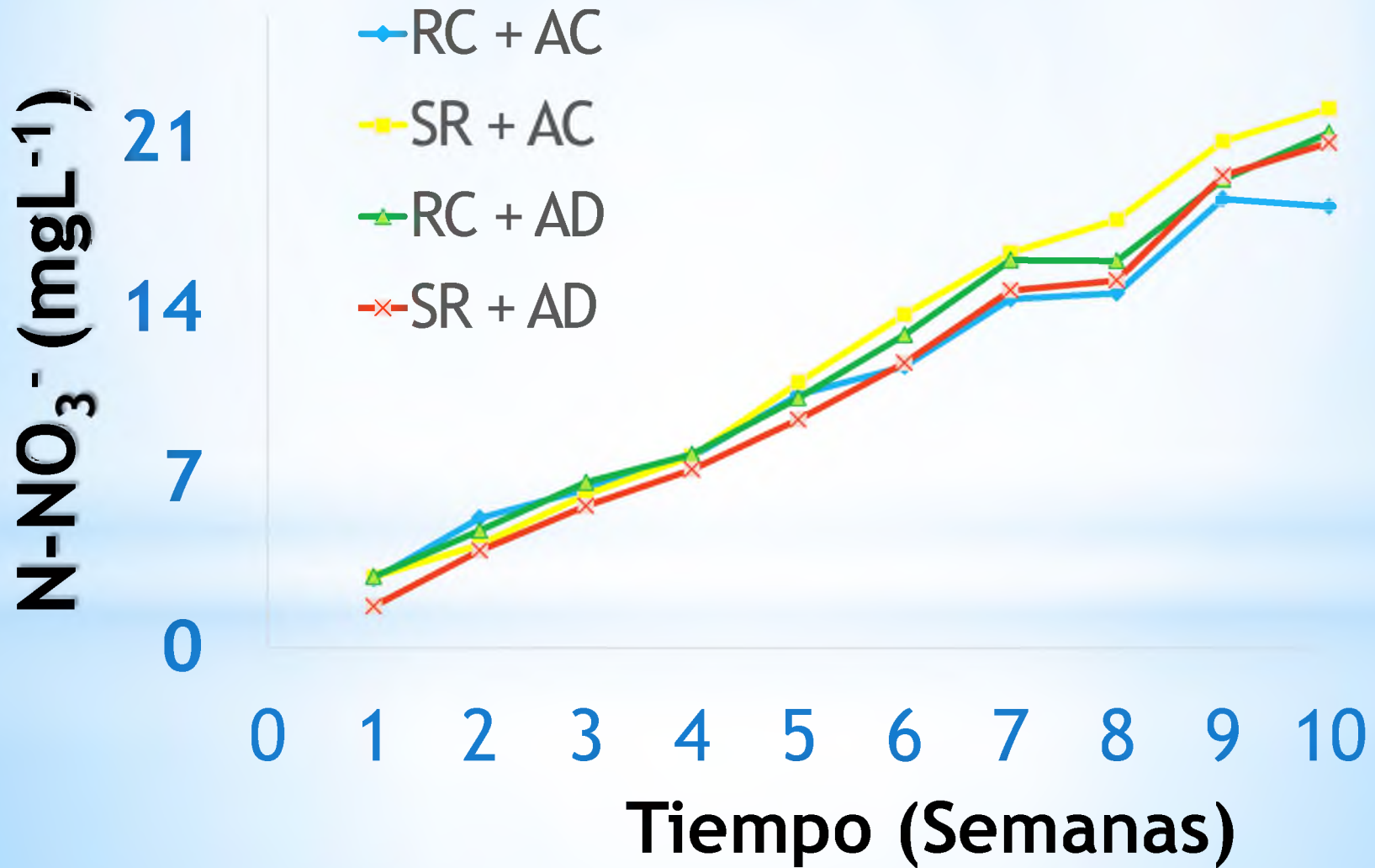




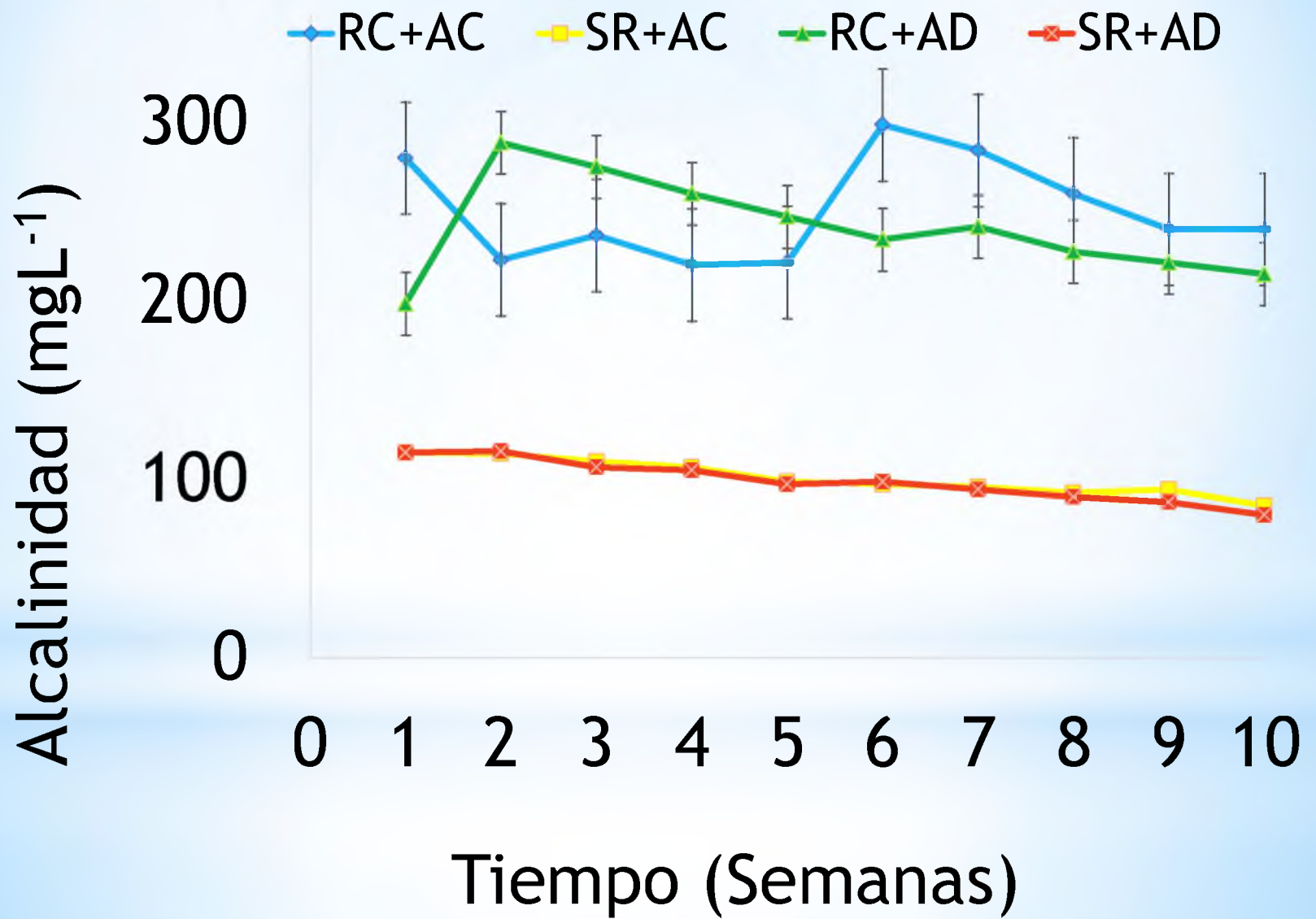


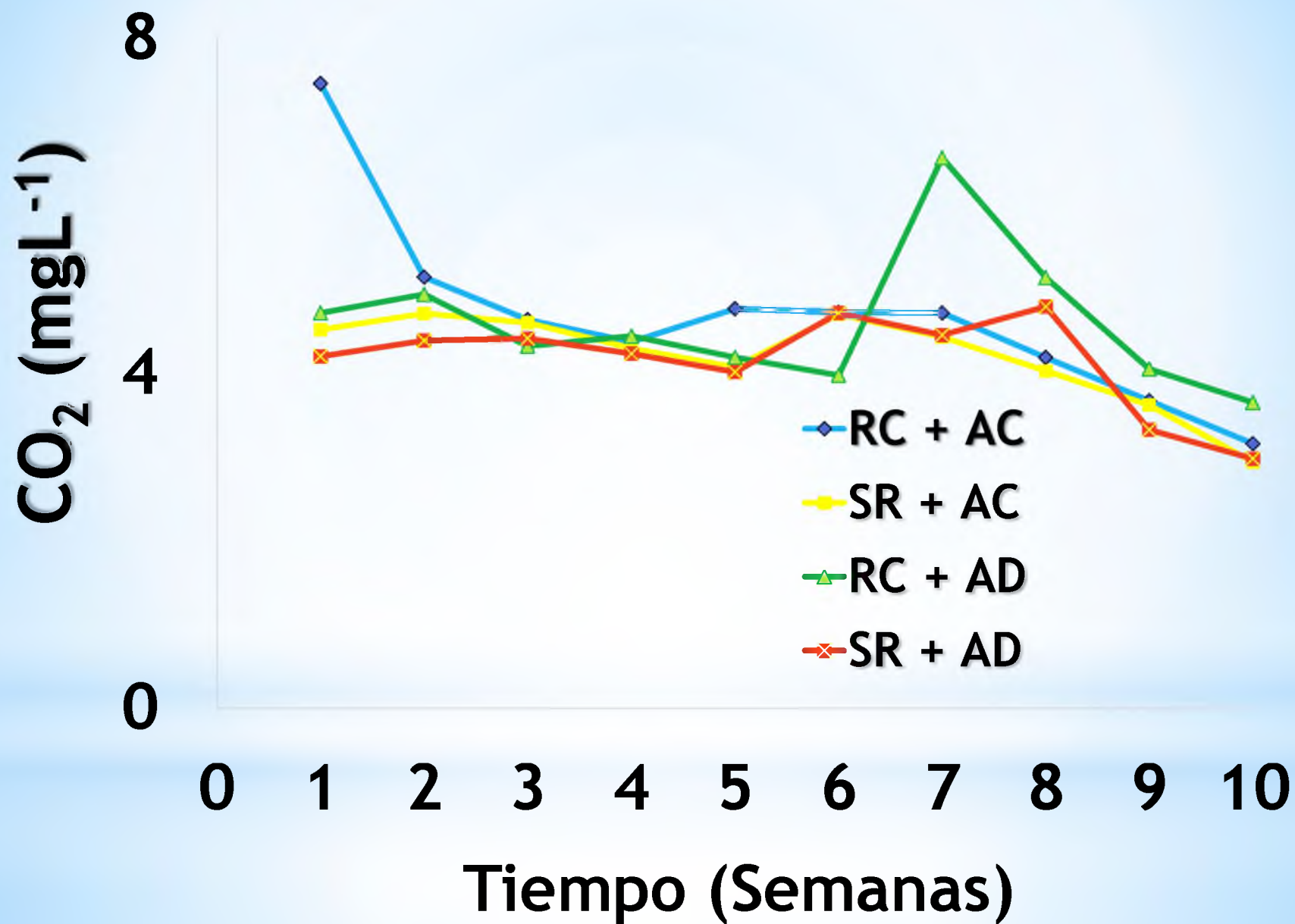
Producto final de nitrificación (Timmons *et al* 2010)

Cero recambio

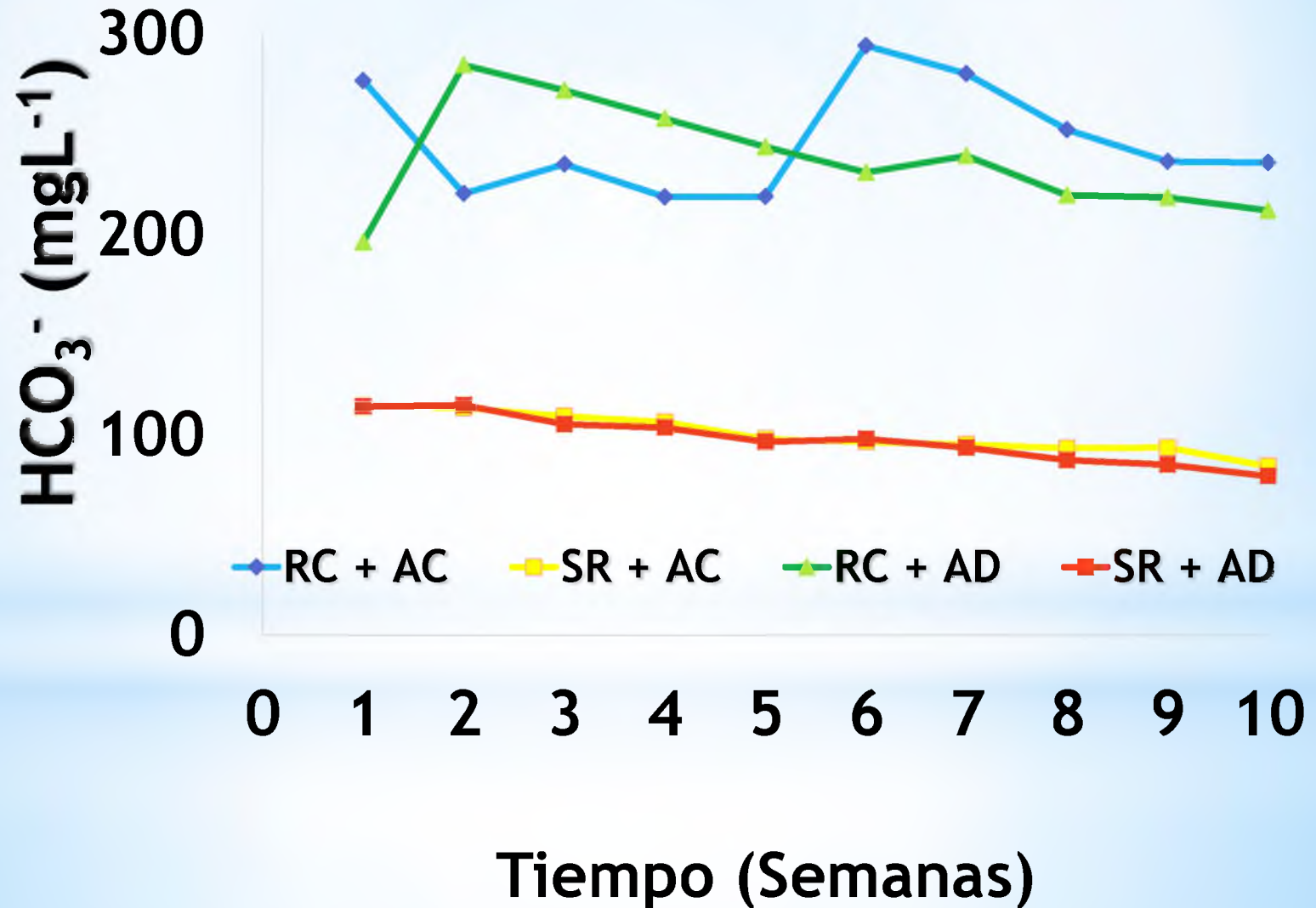


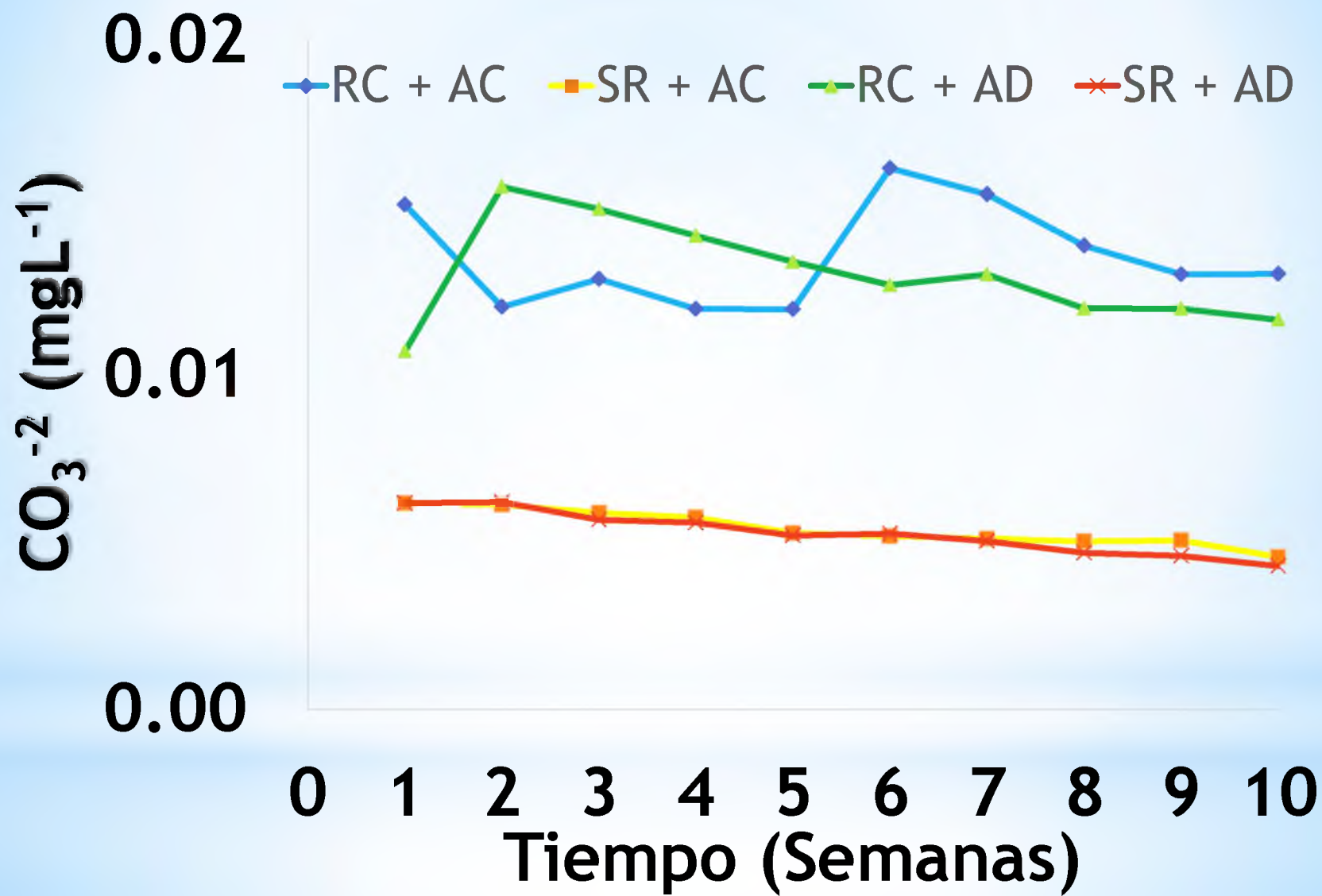
Parámetros	RC+AC	SR+AC	RC+AD	SR+AD
OD (mg/L)	6.07± 0.19 ^a	6.05 ± 0.12 ^a	6.10 ± 0.13 ^a	6.08 ± 0.12 ^a
pH	8.16 ± 0.08 ^a	7.77 ± 0.05 ^b	8.03 ± 0.07 ^a	7.87 ± 0.06 ^b
Temperatura (°C)	18.44 ± 0.27 ^a	17.81 ± 0.23 ^b	18.53 ± 0.30 ^a	17.89 ± 0.33 ^b
NAT (mg/L)	0.02 ± 0.03 ^a	1x10 ⁻⁴ ±4x10 ⁻⁴ a	0.04 ± 0.07 ^a	0.004 ± 0.01 ^a
N-NO ₂ (mg/L)	0.04 ± 0.01 ^c	0.07 ± 0.02 ^b	0.04 ± 0.007 ^c	0.11 ± 0.04 ^a
N-NO ₃ (mg/L)	18.18 ± 2.96 ^a	19.26 ± 2.59 ^a	17.93 ± 2.49 ^a	17.97 ± 2.34 ^a



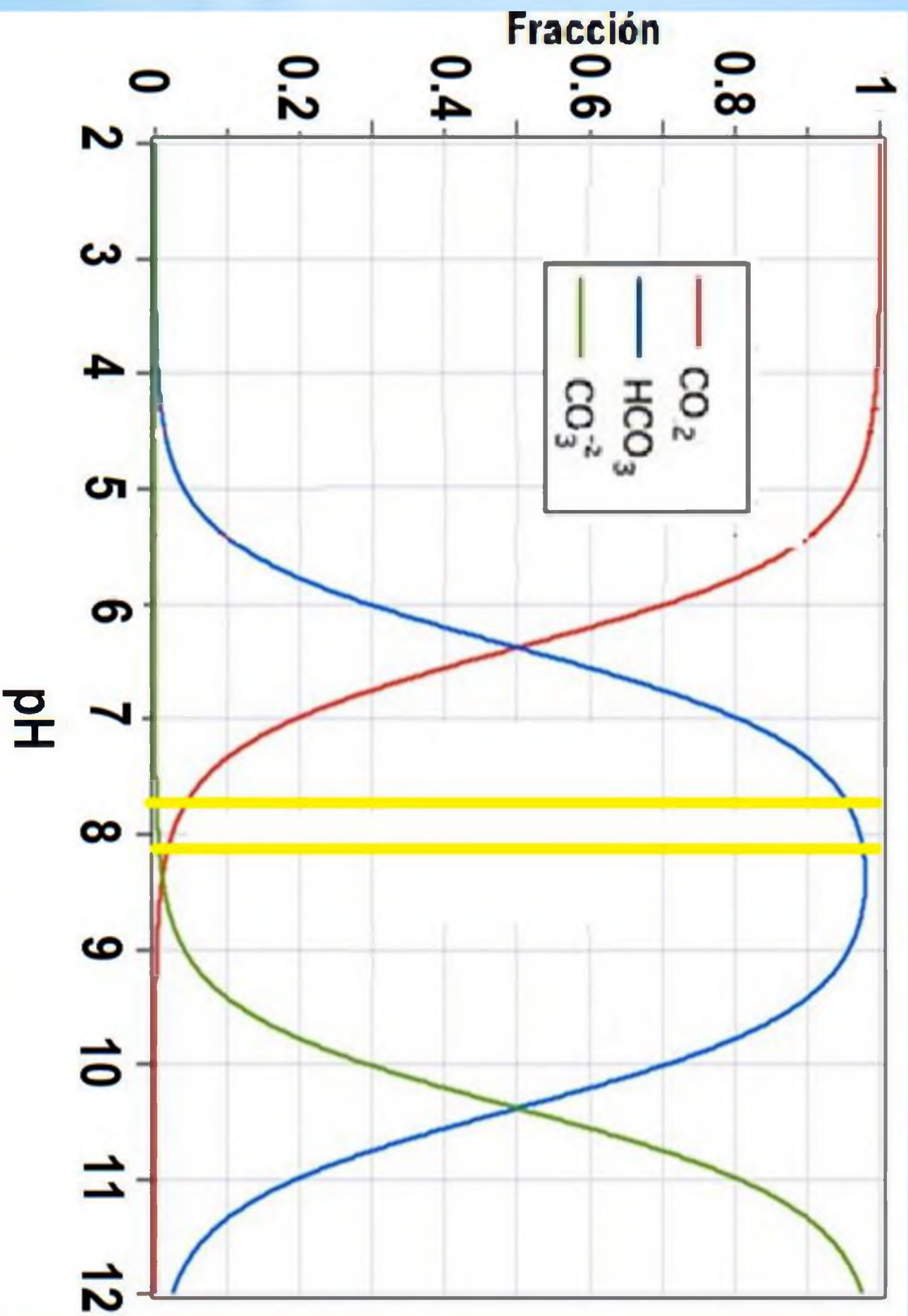


$\text{HCO}_3^- \rightarrow$ ion con mayor capacidad de amortiguar ΔpH (Timmons *et al.*, 2010)



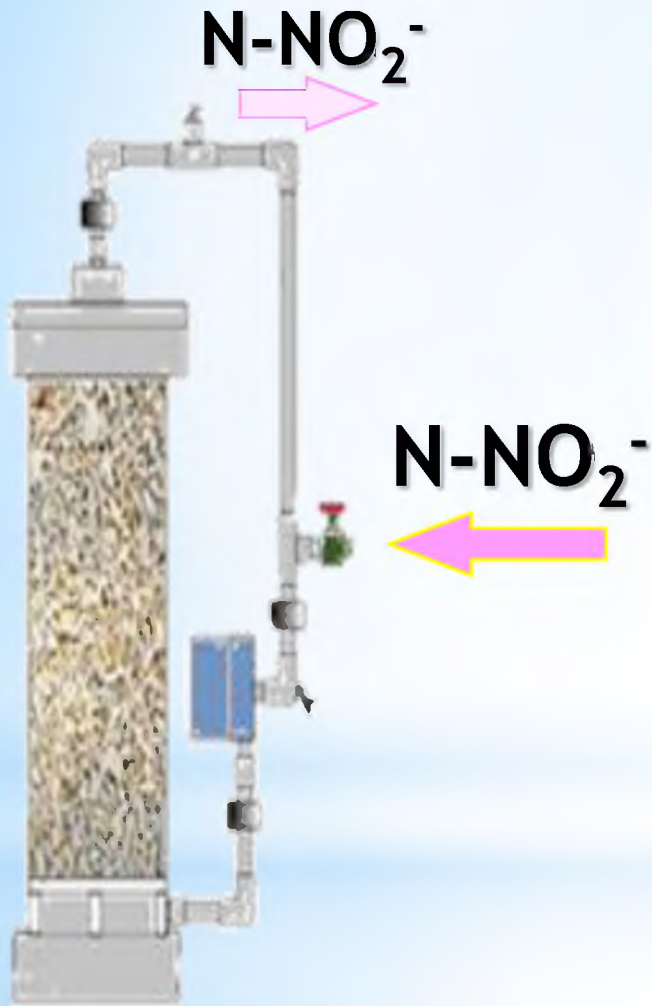


Parámetros	RC+AC	SR+AD	RC+AD	SR+AD
Alcalinidad (mg/L)	260.6 ±34.8 ^a	90.36± 5.30 ^c	226.16 ±17.6 ^b	89.05 ± 4.58 ^c
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	254.91±33.1 ^a	90.23± 5.39 ^b	222.62±16.3 ^a	87.90± 4.62 ^b
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01 ±0.002 ^a	0.005 ±3x10 ^{-4b}	0.01 ±0.001 ^a	0.005 ±2x10 ^{-4b}
CO ₂ (mg/L)	4.08 ± 0.47 ^{ab}	3.52 ± 0.41 ^b	4.42 ± 0.84 ^a	3.56 ± 0.62 ^b

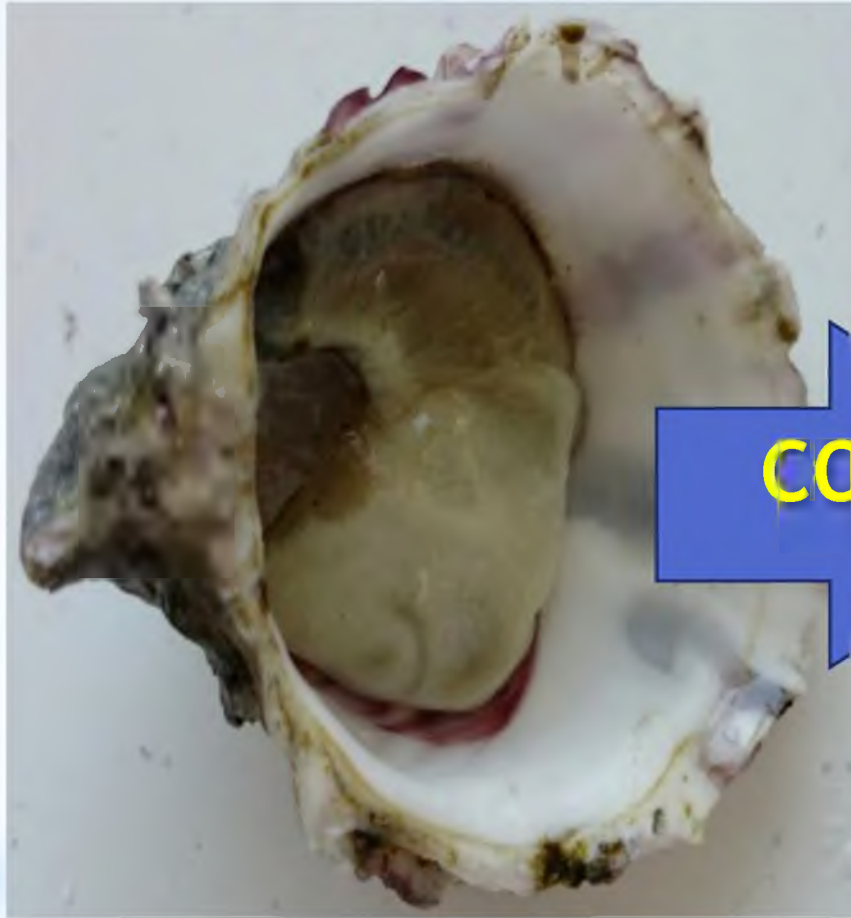




Al aumentar la temperatura hay un descenso en la solubilidad del oxígeno
(Timmons *et al*, 2002)



NAT → efectos en
reproducción (Ebeling y
Timmons, 2012)



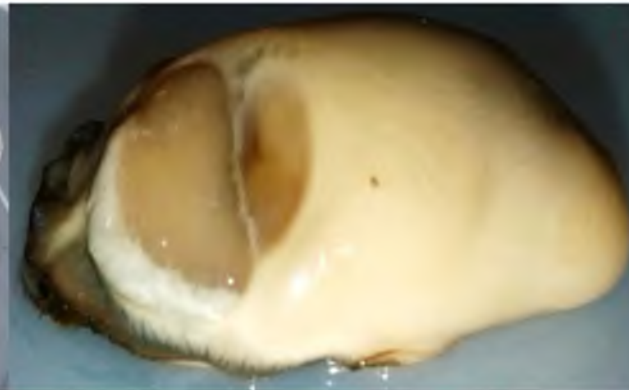
Reservas del organismo para amortiguar pH
(Gazeau et al., 2013)

Índice de condición

$$\frac{\text{peso fresco de tejido} \times 100}{\text{Peso total}}$$

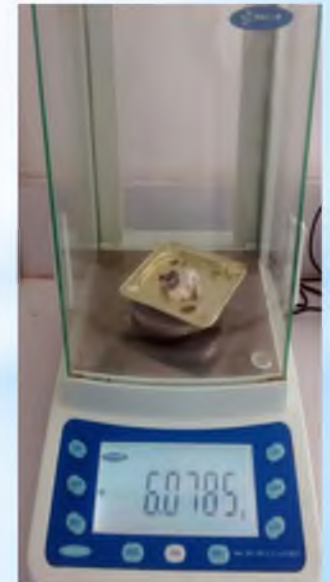


Tejido fresco: Sakai, (1979)

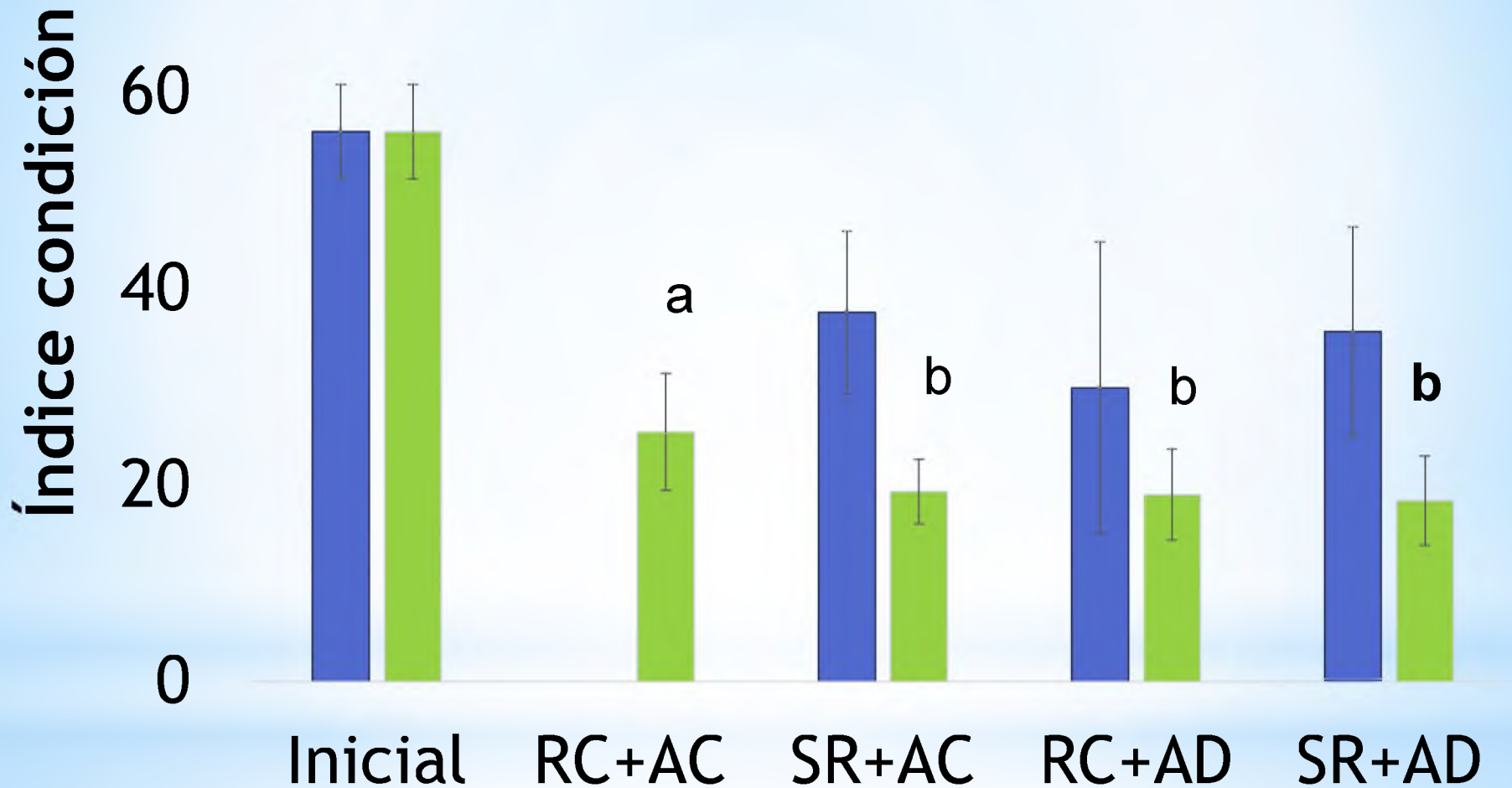


peso seco de tejido x 1000
Peso seco de la concha

The image displays two sets of biological specimens. The top set consists of five large, dark brown to black, irregularly shaped objects, possibly fossilized or preserved plant parts, arranged horizontally. Below them is a grid of 20 smaller, similar objects, also arranged horizontally in four rows of five. Each small object appears to be a specimen mounted on a light-colored card or paper, with some showing internal structures or patterns. The overall appearance suggests a collection of botanical or paleontological samples.



■ IC Tejido seco ■ IC Tejido fresco



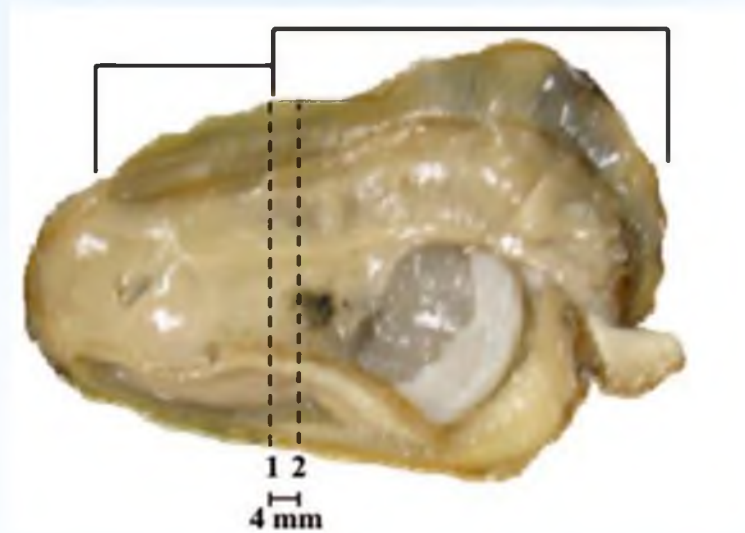
Buchanan *et al.*, 1998 → ostiones
provenientes del medio natural, disminuyen
IC acondicionados en el SRA

IC → respuesta metabólica del organismo y
no dependa del peso de la valva o de la
cantidad de agua → estado de madurez de
bivalvos (Gabbott. 1975; Lagade *et al.*, 2013)

Índice gonadosomático

$$\text{IG} = \frac{\text{Área cubierta por gónada} \times 100}{\text{Área cubierta por glándula digestiva}}$$

Análisis histológico



Análisis histológico





hematoxilina y eosina

$$\text{TAE} = \sum t_i - \Theta$$

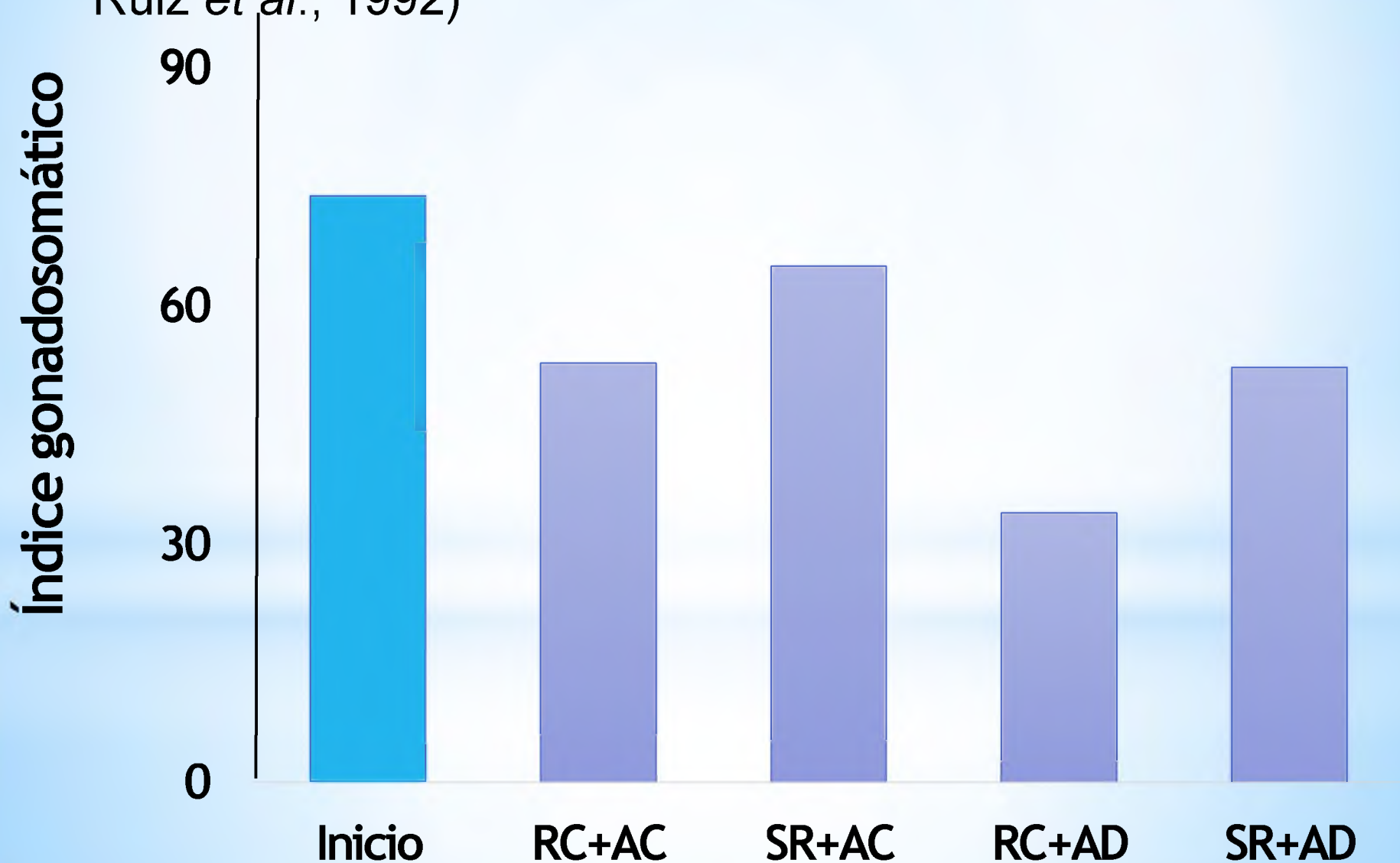
**TAE = temperatura acumulada efectiva
(°C día)**

t_i = temperatura diaria ($t > \Theta$)

**Θ = cero biológico (12°C para el género
Crassostrea)**

Mann (1978)

El IG está influenciado por la **temperatura** y la disponibilidad de alimento. (Robinson, 1992; Ruiz *et al.*, 1992)



Tratamiento	Sexo	Estadio gonadal	%	TAE
Inicio	Macho	maduro	20	0
	Hembra	desovado	80	
RC + AC	Hembra	Reabsorción	40	646.2
	-	Indiferenciado	20	
	Macho	Desarrollo	40	
SR + AC	Hembra	Reabsorción	40	644.8
	-	Indiferenciado	20	
	Macho	Desarrollo	40	
RC + AD	-	Reabsorción	20	652.1
	-	Indiferenciado	60	
	Hembra	Desarrollo	20	
SR + AD	-	Indiferenciado	60	646.0
	Hembra	Desarrollo	20	
	Macho	Maduro	20	

Helm (2006) → TAE para moluscos bivalvos
de 350 a 650 grados día.

20%

40%



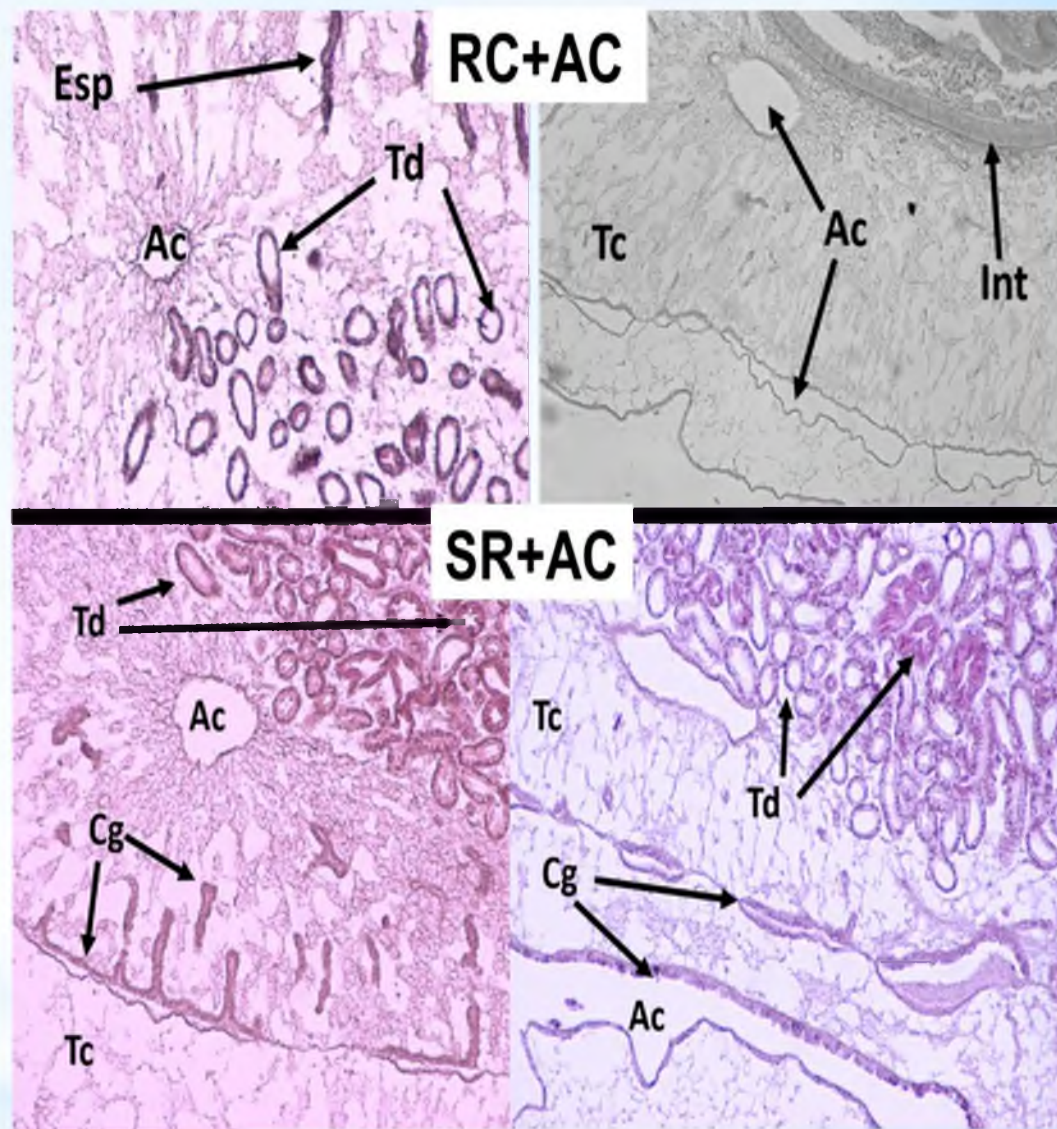
Gónadas

Glándula digestiva

Branquias

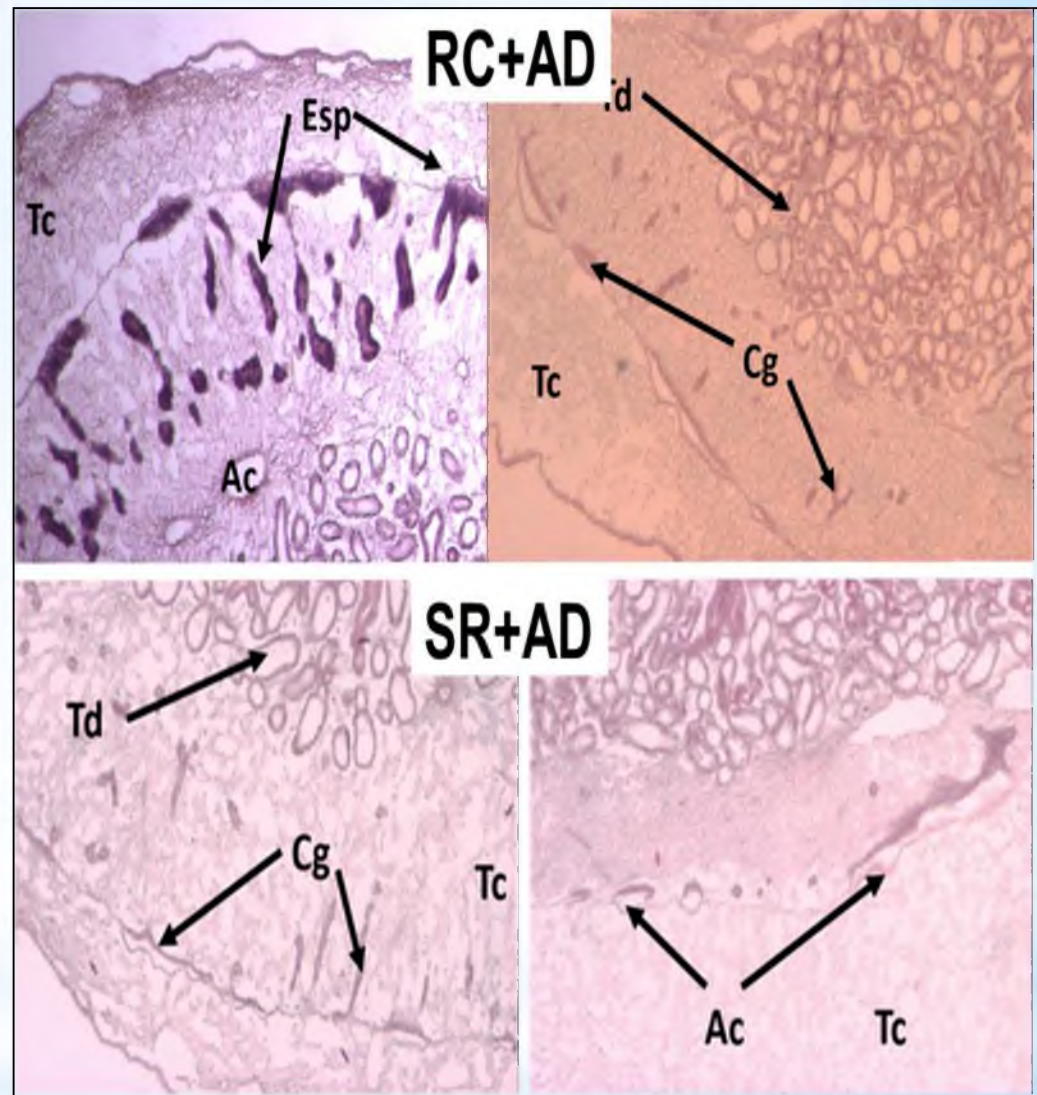
Desarrollo temprano

Desarrollo tardío



56

Reserva de lípidos y glucógeno → paredes de
túbulos digestivos cóncavas y engrosadas
(Saout *et al.*, 1999; Mazón-Suástegui *et al.*, 2008)



Túbulos de la glándula digestiva
forma redondeada → alimentación
ineficiente (Usheva y Frolova, 2006)

pH → sistema carbón-carbonatos (Lekang, 2007; Timmons *et al.*, 2010)

Reabsorción Indiferenciado En desarrollo Maduro

Inicial	80%			20%
RC + AC	40%	20%	40%	
SR + AC	40%	20%	40%	
RC + AD	20%	60%	20%	
SR + AD		60%	20%	20%

Reactor de calcio → efectos en larva (Villasuso, 2014)

- Los SRA permiten controlar los niveles de nitrógeno inorgánico presentes en el agua.
- El uso de reactor de calcio aumenta la capacidad de nitrificación de un SRA.

- En el acondicionamiento reproductivo del ostión Kumamoto, la estrategia de alimentación continua proporciona un mejor índice de condición en tejido fresco y en el índice gonadosomático.
- La temperatura base para el acondicionamiento de ostiones Kumamoto es 18 °C
- El gradiente de temperatura activa el proceso de acondicionamiento reproductivo en moluscos bivalvos

- El acondicionamiento reproductivo de *C. sikamea* es influenciado por el estado de madurez inicial, el gradiente de temperatura, la estrategia de alimentación, CO_2 - alcalinidad-pH y el balance iónico.
- La alimentación continua con el reactor de calcio tiene un efecto directo en el acondicionamiento reproductivo del ostión Kumamoto.

Muchas gracias

