

Temperatura y salinidad como proxys del cambio climático:
Evaluando la respuesta de juveniles *Mytilus chilensis* frente a
estresores ambientales en la Patagonia Norte

Joseline A. Büchner Miranda
Bióloga Marina
Dra(c) Ciencias de la Acuicultura, Uach

Cambio climático

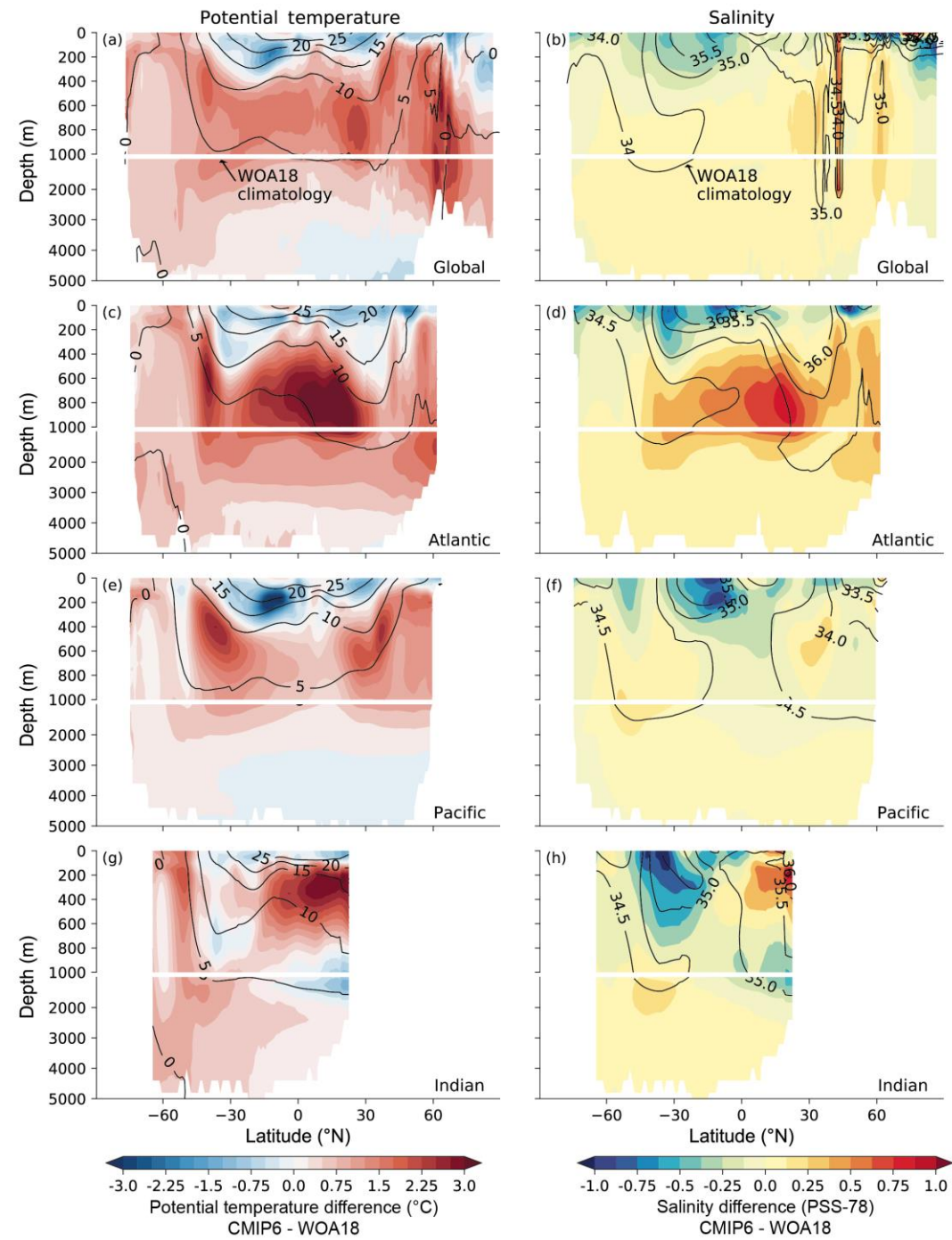
Doctorado en Ciencias
de la Acuicultura

UACH
SEDE PUERTO MONTT

Actividades humanas → gases de efecto invernadero



Potential temperature and salinity bias for ocean basins (1981-2010)



Doctorado en Ciencias
de la Acuicultura

UACH
PUERTO MONTT

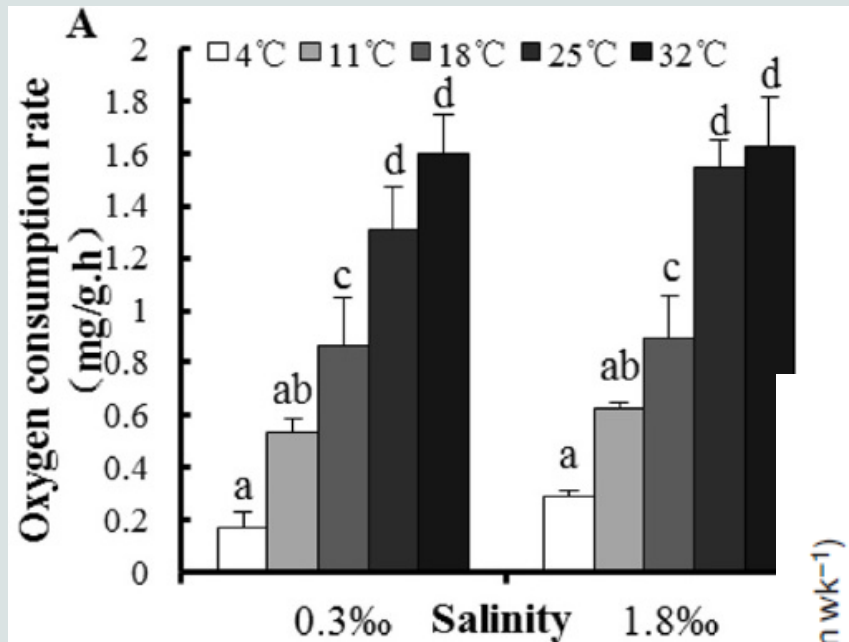
A finales de siglo, se proyecta que los cambios en la temperatura superficial del mar incrementen en 4 °C (Navarro et al., 2020; IPCC, 2023)

IPCC, 2023

A finales de siglo, se proyecta que los cambios en la columna de agua aumentarán notablemente, por un orden de ~ 1.0 psu (Stocker et al., 2013; IPCC, 2023)

Causar efectos antagónicos, sinérgicos y aditivos, los cuales, suelen afectar entre especies o incluso diferir entre organismos adultos y juveniles de una misma especie (Wahl et al., 2011)

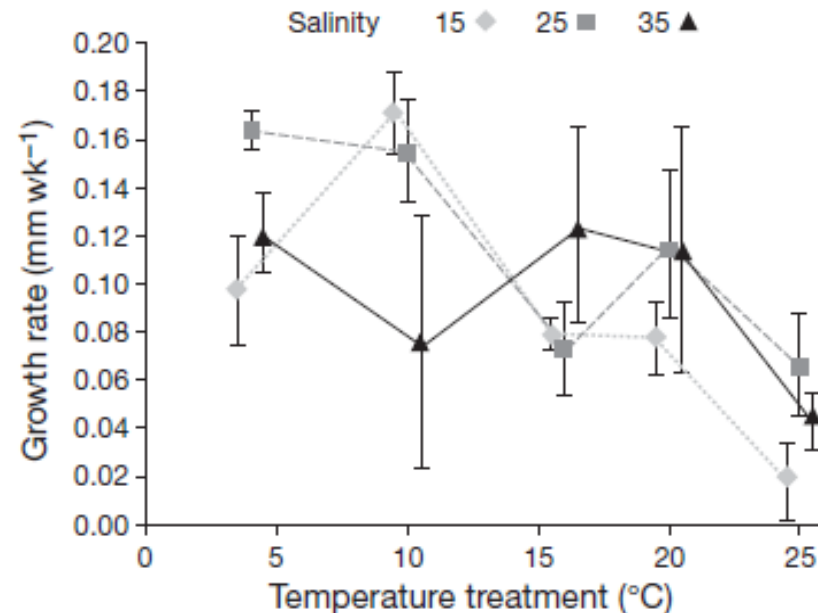
Efecto combinado: Temperatura y Salinidad



Hiebenthal et al., 2012

→ *M. Edulis*

~60 %



✓ Abundancia (Philippart et al., 2003)

✓ Crecimiento (Beiras et al., 1994)

✓ Reclutamiento (Beukema et al., 2001)

✓ Desove (Baba et al., 1999) y en el desarrollo de estadios larvales y post larvales (Chícharo & Chícharo, 2001)



Xiao et al., 2014

Efecto combinado: Temperatura y Salinidad

Estrés oxidativo

Oxidación tisular desequilibrada = **mayor producción de ROS intra y extracelular** → rotura del ADN, inhibición enzimática, daño de membrana, oxidación de aminoácidos, peroxidación lipídica y apoptosis (Abele & Puntarulo 2004; Parque et al., 2009)



Radicales libres de oxígeno → reducción de electrones del oxígeno: **aniones superóxido (O_2^-) y radicales de hidroxilo (OH)** y el **peróxido de hidrógeno (H_2O_2)**. Si no son controlados por los sistemas de defensa antioxidantes, se produce estrés oxidativo (Sies, 1985)

Estrés ambiental

Receptores membrana celular

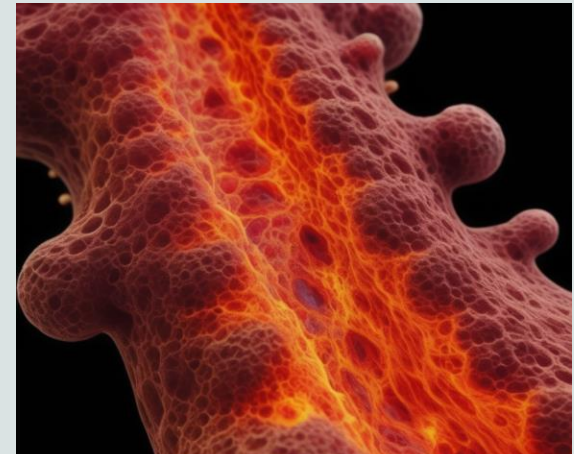
Señales de ROS

Respuesta inmune

Enzima relacionada con ROS (SOD, CAT, GPx ,etc)

Modificación de proteínas, lípidos, ADN

Pourmozaffar et al., 2019



Cambio en la fluidez de la membrana celular

Patagonia norte: Laboratorio natural para estudiar el efecto del cambio climático

Patrones batimétricos, de mareas y de vientos genera una fuerte circulación estuarina (41–56 S) (Pickard & Stanton, 1980; Dávila et al., 2002; Iriarte et al., 2010; León-Muñoz et al., 2018; Aguayo et



✓ 99% de las instalaciones acuícolas, coincide con los bancos naturales de *M. chilensis* en el norte de la Patagonia (Iriarte et al., 2015, 2017)



Entre los 41°30'S y 43°10'S en el Seno de Reloncaví y el Mar Interior de Chiloé

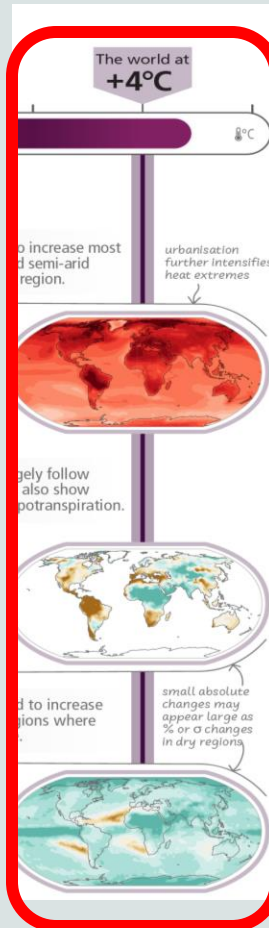
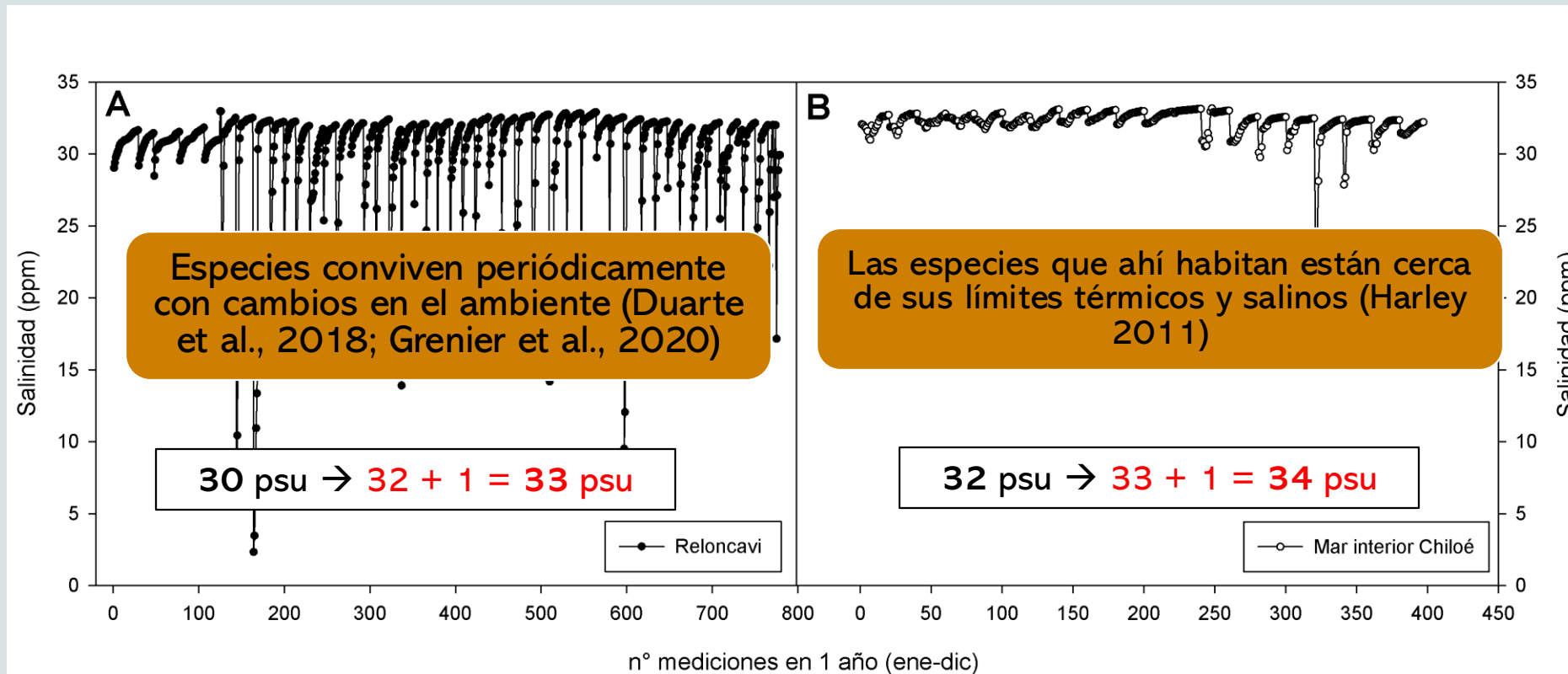


La región es considerada **un ecosistema vulnerable y altamente sensible al cambio climático** y la actividad antropogénica (Iriarte et al., 2010; Iriarte, 2018; González et al., 2019)

Disminuciones tendrían lugar principalmente en verano (~ - 20% de agua dulce) y otoño (~ - 15% de agua dulce) (Aguayo et al., 2019)

Proyección Cambio climático

- Escenario RCP8.5 (IPCC, 2023) = + 4 °C (Reloncavi: 11°C → 15°C y Mar interior de Chiloé: 12°C → 16°C)
- La temperatura más alta medida por los CTD para cada localidad → cuantificar el efecto de la temperatura más “extrema” registrada (Reloncaví 19°C y Mar interior de Chiloé 18°C)
- Proyecciones locales en la Patagonia norte (Aguayo et al., 2019; IPCC, 2023; Röthig et al., 2023) Se consideró la salinidad más alta medida en cada zona + 1 unidad de salinidad (+ 1 psu) para los tratamientos proyectados



¿Cómo las diferencias entre localidades pueden generar respuestas diferenciales en su desempeño fisiológico y celular de *Mytilus chilensis* cuando son expuestas a distintas combinaciones de temperatura y salinidad?



Metodología

Doctorado en Ciencias
de la Acuicultura

UACH
SEDE PUERTO MONTT

~ 400 juveniles de *M. chilensis* (~2.0
– 3.0 cm longitud de concha



Mantenimiento de los juveniles

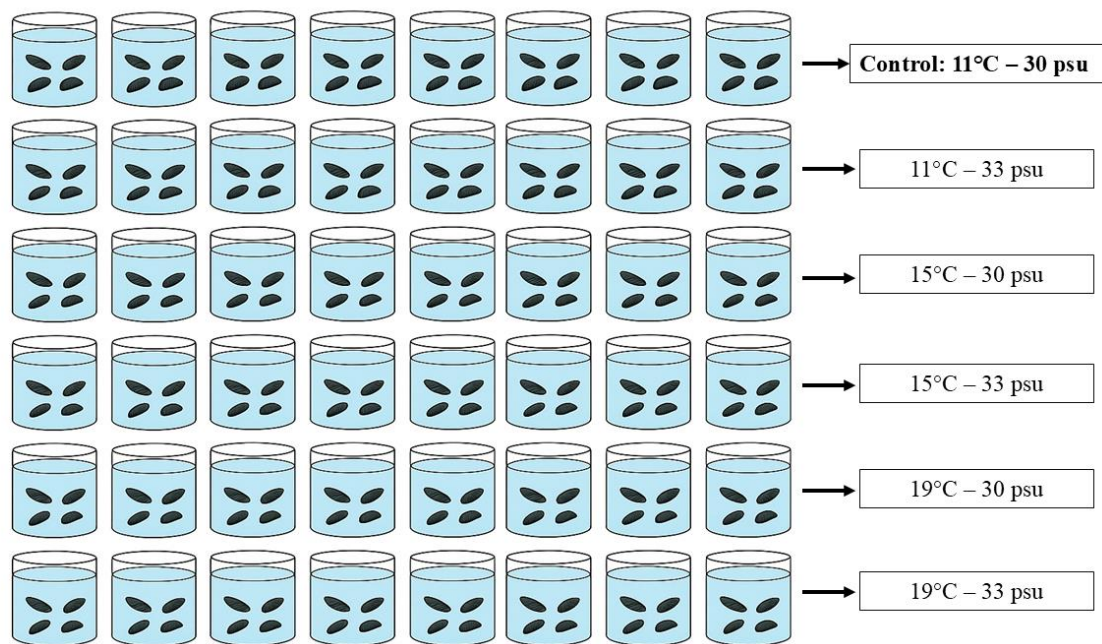
Doctorado en Ciencias
de la Acuicultura

UACH
SEDE PUERTO MONTT

- ✓ Juveniles *M. chilensis* de cada sitio de muestreo se mantuvieron en condición control → se subió progresivamente la temperatura hasta alcanzar las temperaturas extremas
- ✓ Se alimentaron diariamente con cultivos puros de la microalga *Isochrysis galbana* (~ 50.000 cel / ml) (Salas-Yanquin et al., 2018)

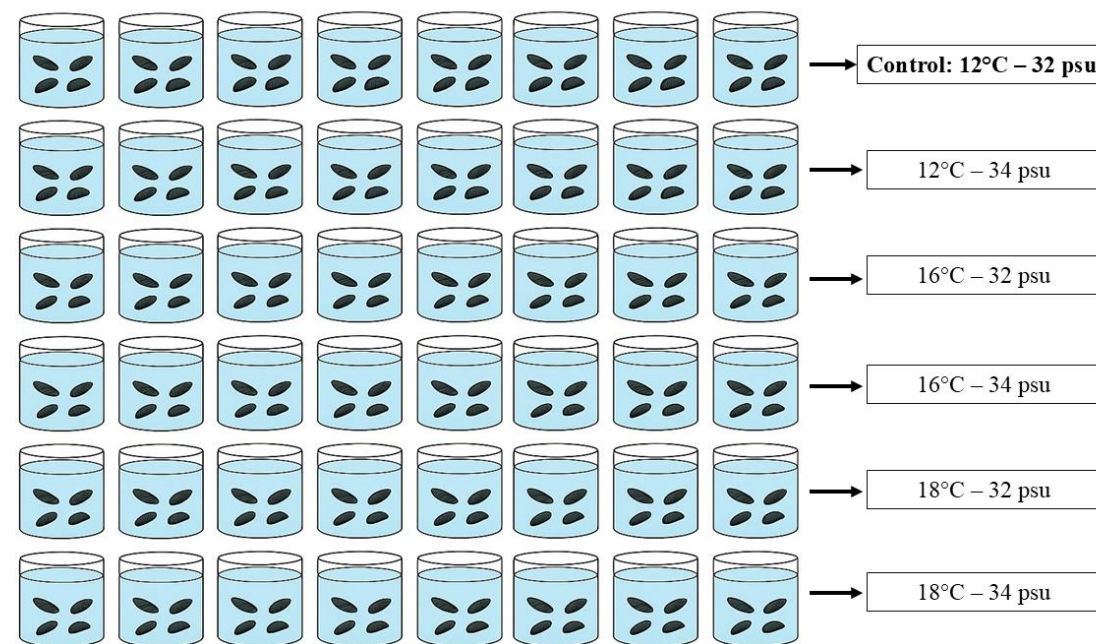
Experimento “efecto combinado de temperatura y salinidad”

A



Estuario del Reloncaví, Rollizo

B



Mar interior de Chiloé, Castro

Cuantificaciones fisiológicas y celulares

Mediciones: día 1, 15 y 30 (fisiología)

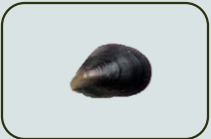
- ✓ Tasa de aclaramiento
- ✓ Tasa de consumo de oxígeno

Post día 30 (bioquímica):

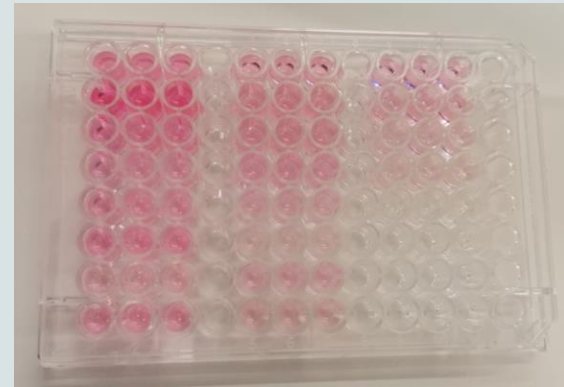
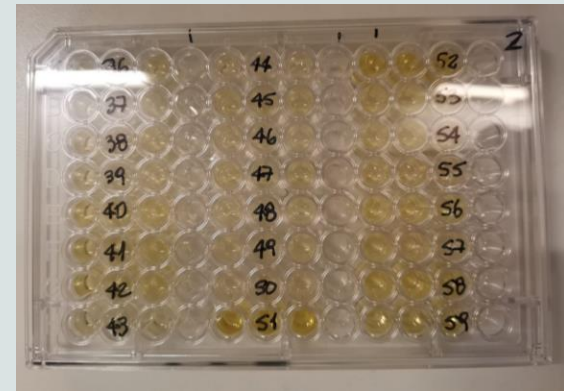
- ✓ Actividad enzimática (CAT, SOD, GPx)



2 lt agua de mar filtrada
50.000 cel/ml *I. galbana*



agua de mar filtrada
Previamente burbujeada



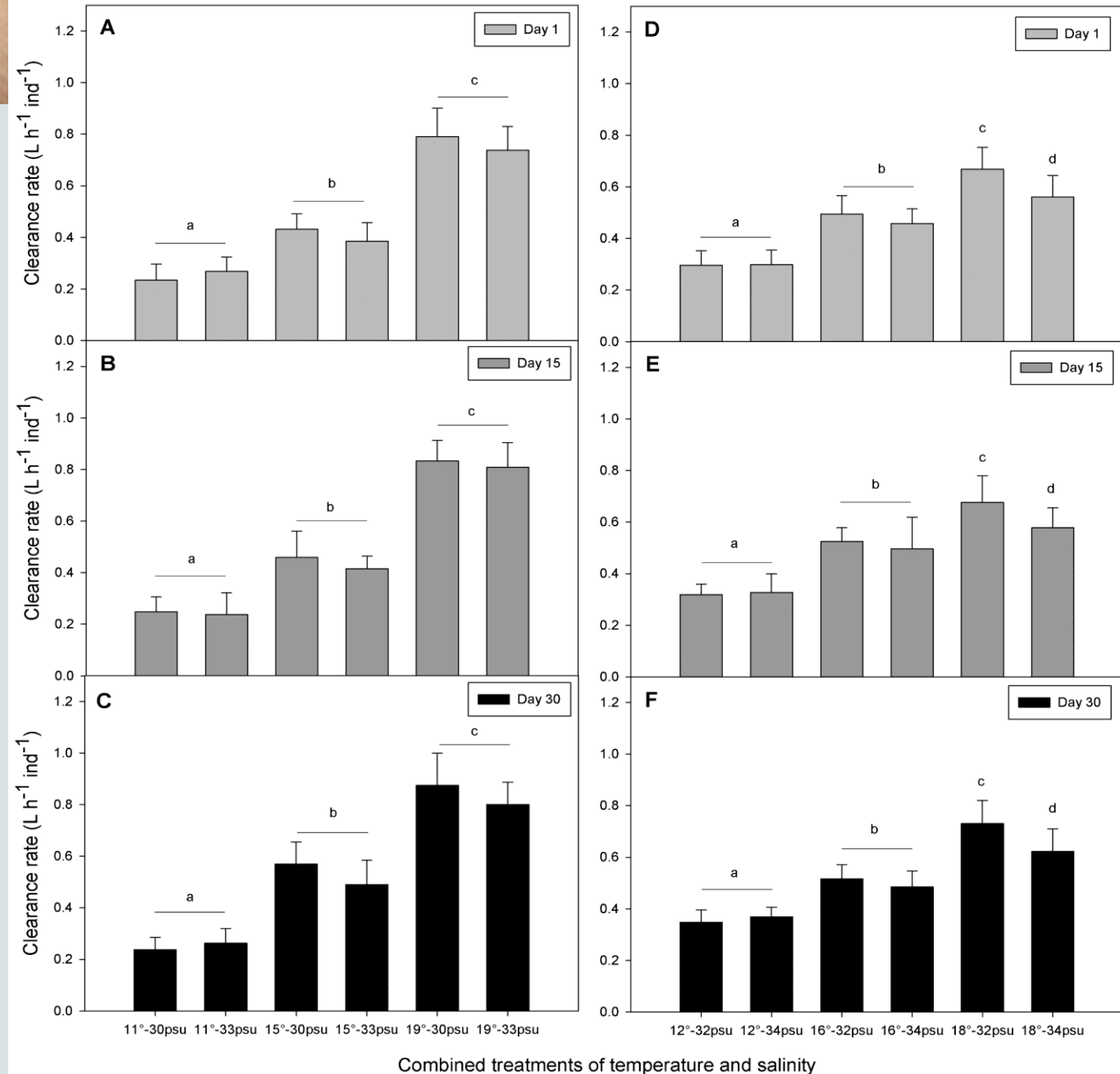
Post día 30 (fisiología):

- ✓ Peso seco (mg)
- ✓ Índice de condición (%)
- ✓ Fuerza de adhesión del biso (N)

Resultados fisiológicos

Tasa de aclaramiento

~70% de aumento en CR en Rollizo y ~45-50% en Castro



Rollizo

MLM; tratamiento: $F_{(5,129)} = 234.06$, $p < 0.001$;
días: $F_{(2,129)} = 8.29$, $p < 0.0004$; $n = 144$

Castro

MLM; tratamiento: $F_{(5,129)} = 101.49$, $p < 0.001$;
días: $F_{(2,129)} = 5.97$, $p < 0.003$; $n = 144$



Consumo de oxígeno

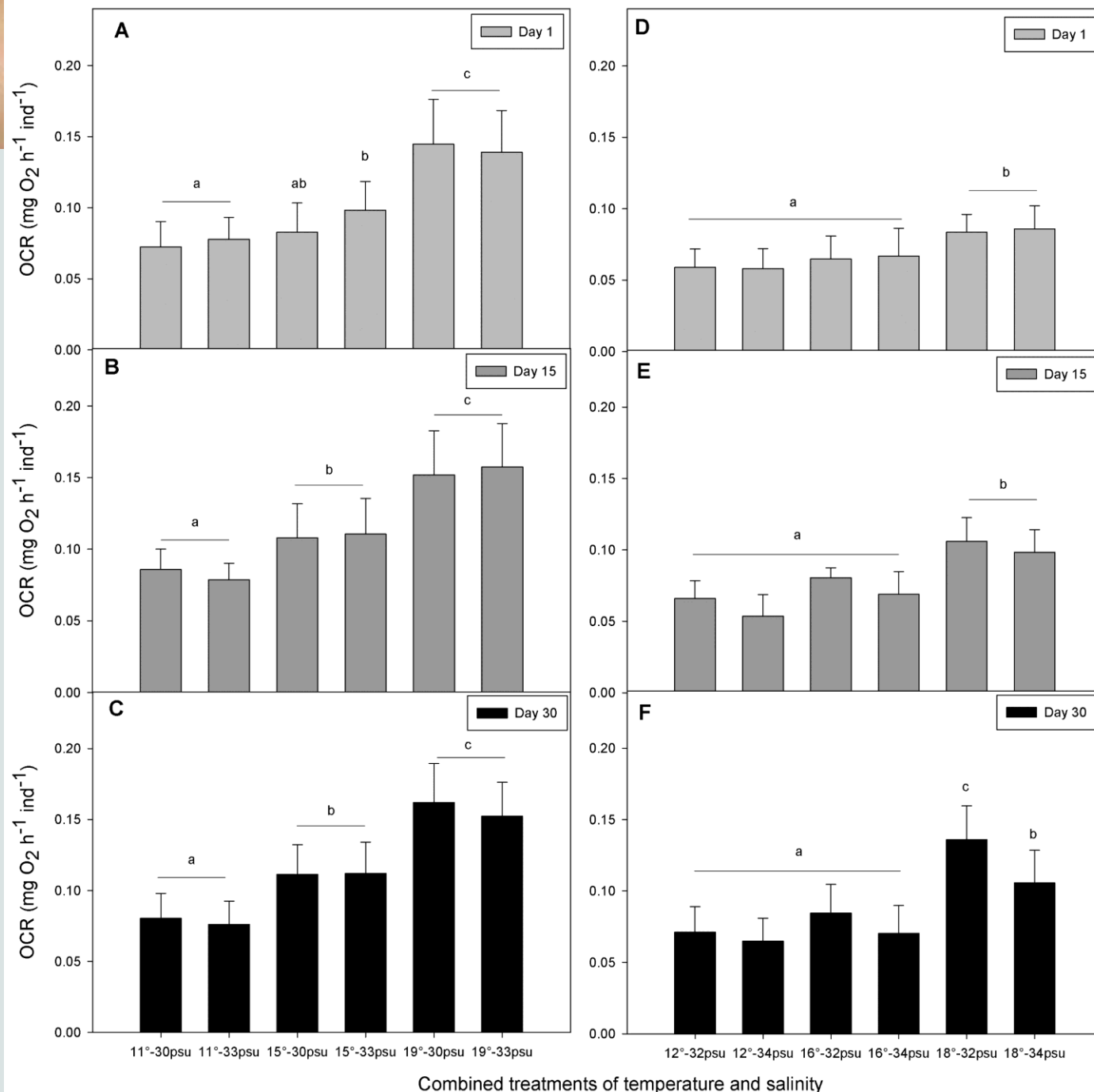
Incrementando cerca del 50% en los juveniles de Rollizo y alrededor de un 30% para los juveniles de Castro

Rollizo

MLM; tratamiento: $F_{5,129} = 53.04$, $p < 0.001$;
días: $F(2,129) = 5.52$, $p < 0.005$; $n = 144$

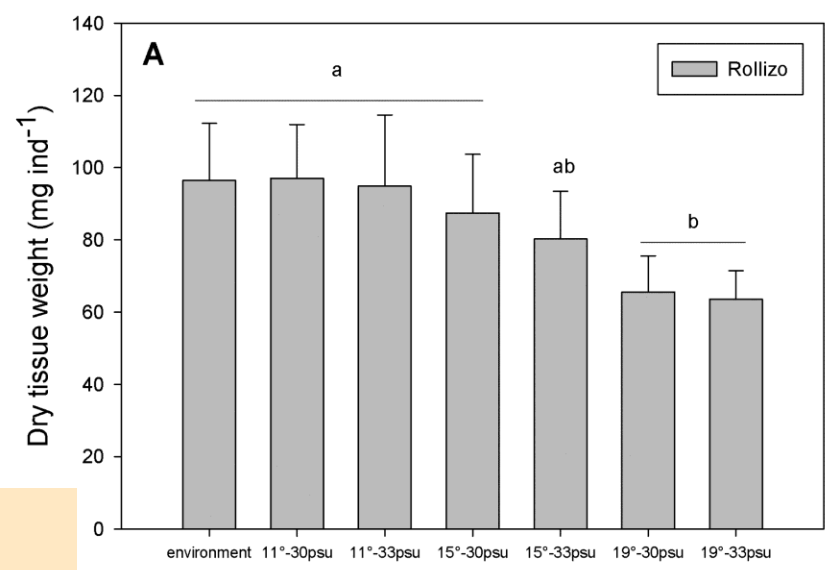
Castro

MLM; tratamiento: $F_{5,119} = 33.23$, $p < 0.001$;
días: $F(2,119) = 16.09$, $p < 0.001$; $n = 144$



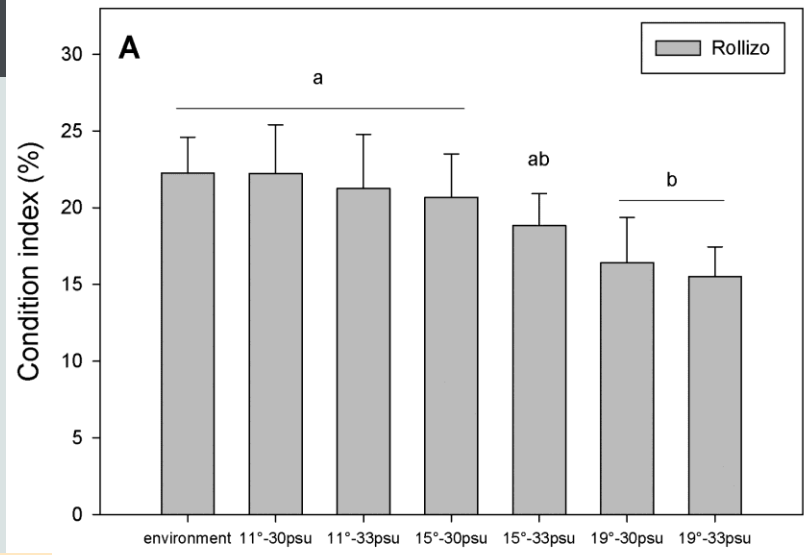
Peso seco

ROLLIZO
 $F_{(6,53)} = 8.15, p < 0.00001; n = 60$



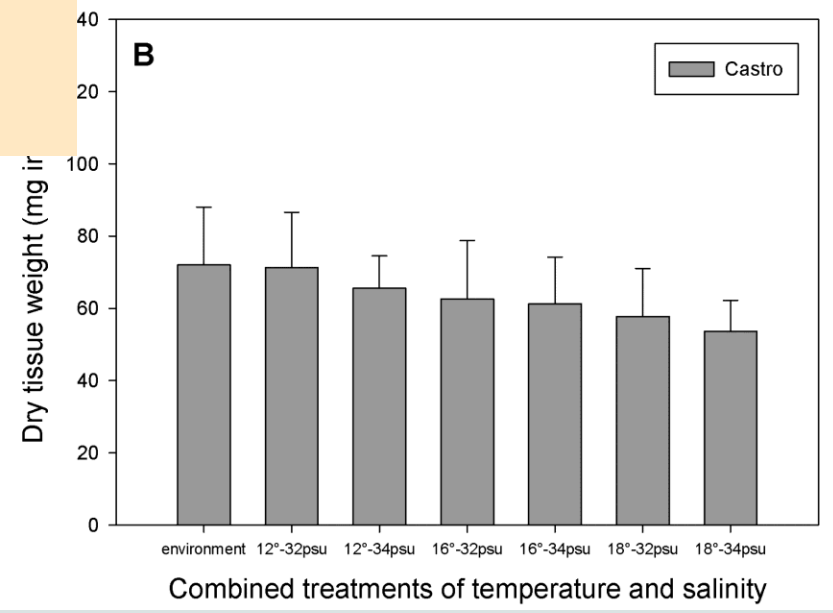
Índice de condición

ROLLIZO
 $F_{(6,53)} = 8.72, p < 0.00001, \text{total } n = 60$



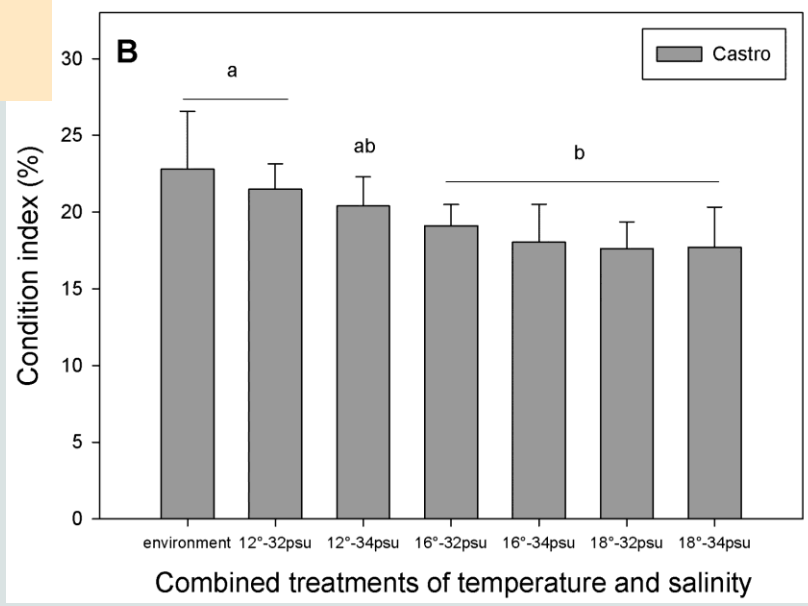
~34% de reducción en Rollizo y ~24% en Castro

CASTRO
 $F_{(6,53)} = 2.23, p = 0.054; n = 60$



~30 en Rollizo y ~22% en Castro

CASTRO
 $F_{(6,53)} = 6.35, p < 0.00001, n = 60$

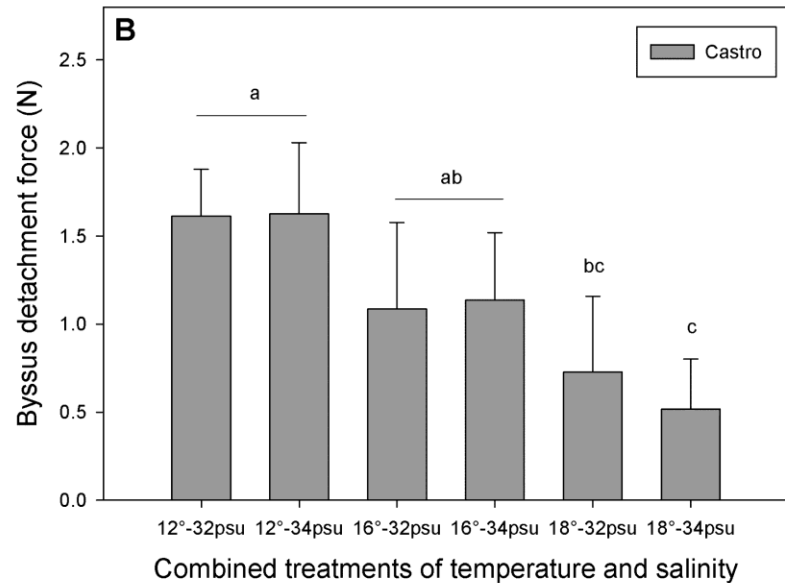
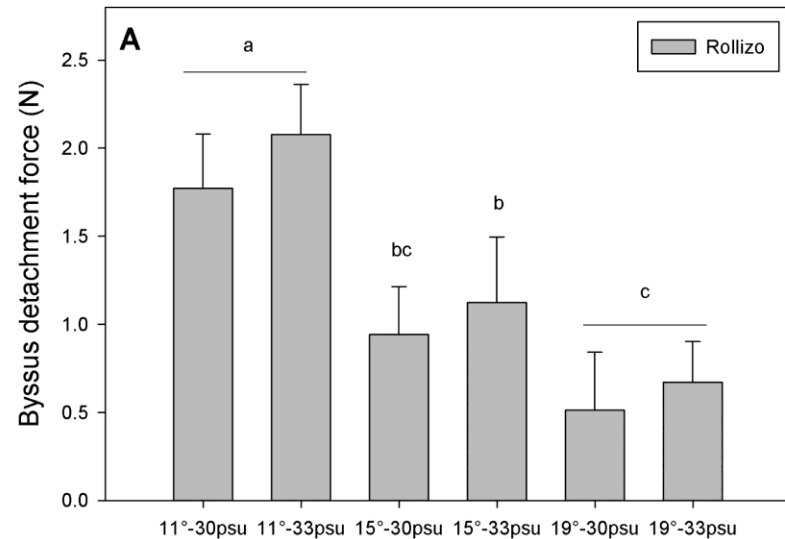


Fuerza requerida para desprender el biso

ROLLIZO

$F_{(5,42)} = 33.45$, $p < 0.00001$, total $n = 48$

~62% en Rollizo y ~67% en Castro



CASTRO

$F_{(5,42)} = 11.01$, $p < 0.00001$, total $n = 48$

La temperatura actúa como el **principal factor modulador**, determinando no solo las alteraciones fisiológicas, sino también los cambios físicos y mecánicos que pueden comprometer la integridad y funcionalidad de los organismos

Resultados estrés oxidativo

Rollizo

PERMANOVA (Análisis de varianza multivariado permutacional)

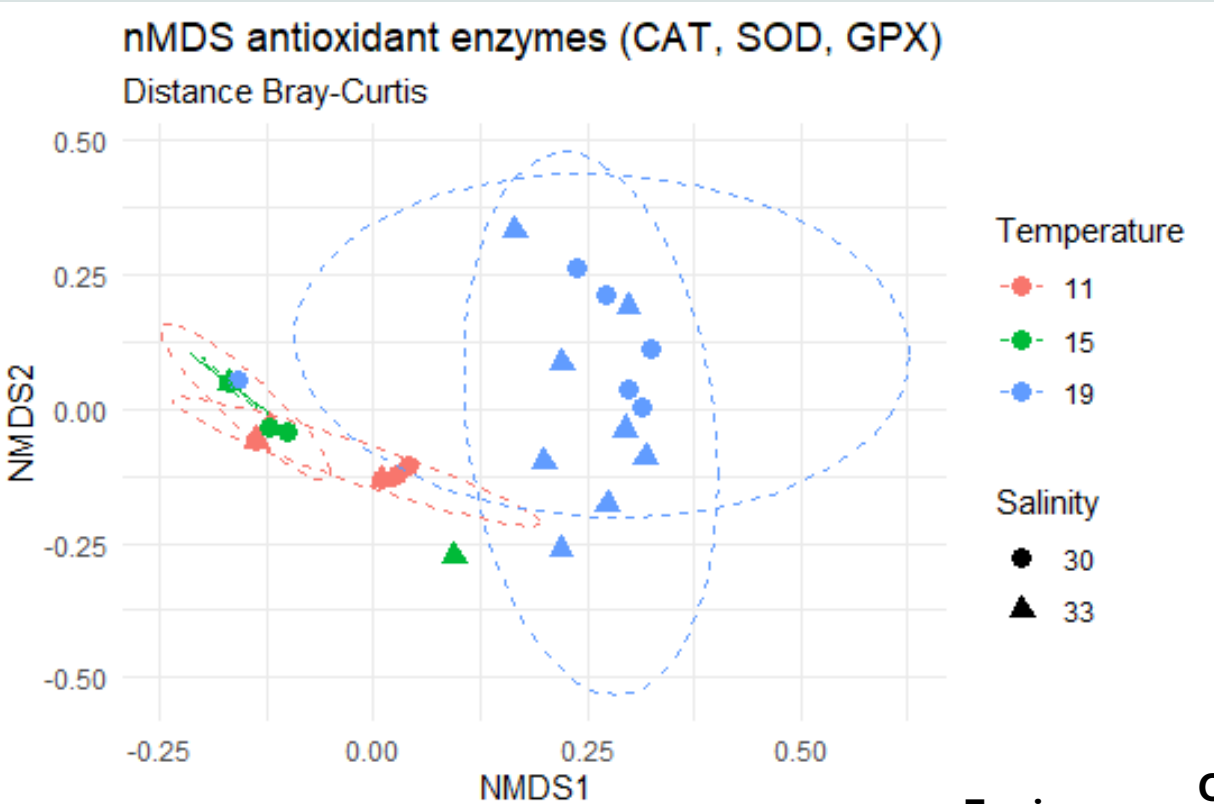
Factor	suma de cuadrados	R ²	F	Pr(>F)
Temperatura	2.0095	0.59435	104.786	0.001 ***
salinidad	0.3495	0.10337	18.224	0.001 ***
temp x sal	0.2549	0.07539	13.292	0.001 ***
residual	0.7671	0.22688		

El factor temperatura explicó la mayor proporción de la varianza (59.4%), seguido por la salinidad (10.3%) y su interacción (7.5%)

Tabla – Resultados del análisis SIMPER para enzimas antioxidativas (CAT, SOD, GPx) en *M. chilensis* de Rollizo

Enzima	Contribución promedio	Desviación estándar	Ratio (average/SD)	Contribución acumulada (%)
GPx	0.3305	8.695	0.038	38.9
SOD	0.2759	7.562	0.036	71.4
CAT	0.2431	9.439	0.026	100

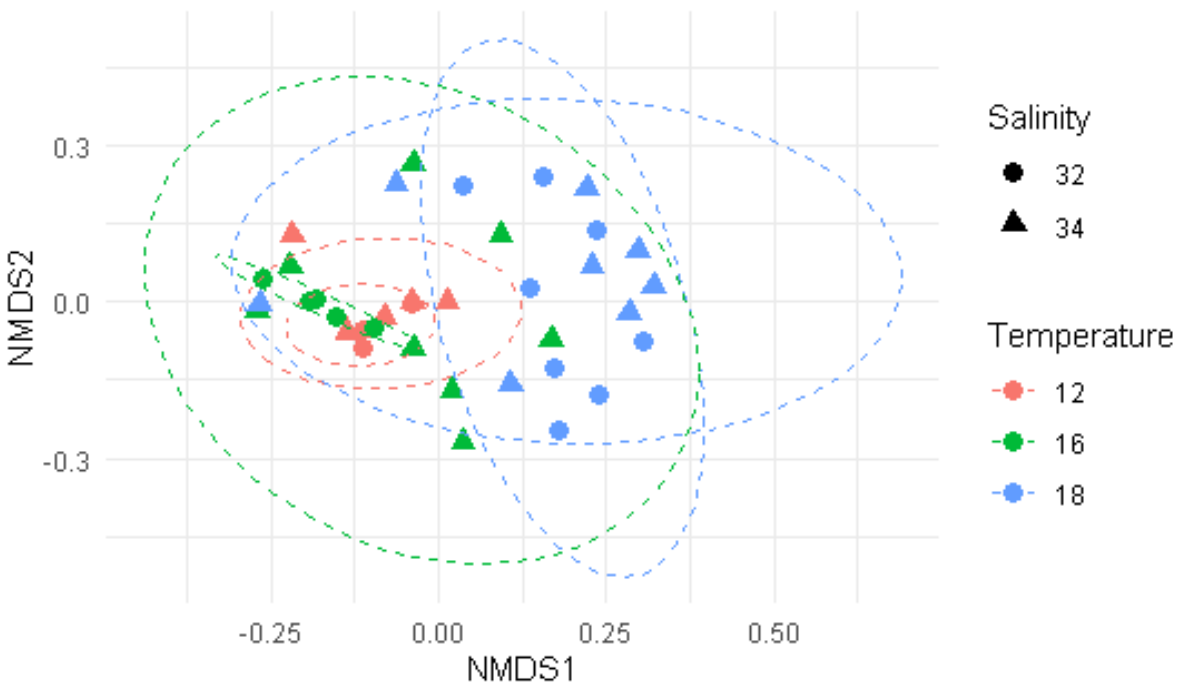
SIMPER (Análisis de porcentaje de similitud)



~39% de la contribución →
32.5% →
28.5% →

Resultados estrés oxidativo

nMDS antioxidant enzymes (SOD, CAT, GPx) Castro
Distance Bray-Curtis



Castro

PERMANOVA (Análisis de varianza multivariado permutacional)

Factor	suma de cuadrados	R ²	F	Pr(>F)
Temperatura	1.6092	0.52901	43.476	0.001 ***
salinidad	0.0216	0.0071	0.583	0.478
temp x sal	0.0046	0.00151	0.124	0.852
residual	1.4065	0.46238		

El factor temperatura explicó la mayor proporción de la varianza en la actividad enzimática (~53%), mientras que la salinidad y la interacción temp × sal no presentaron efectos significativos ($p > 0.5$)

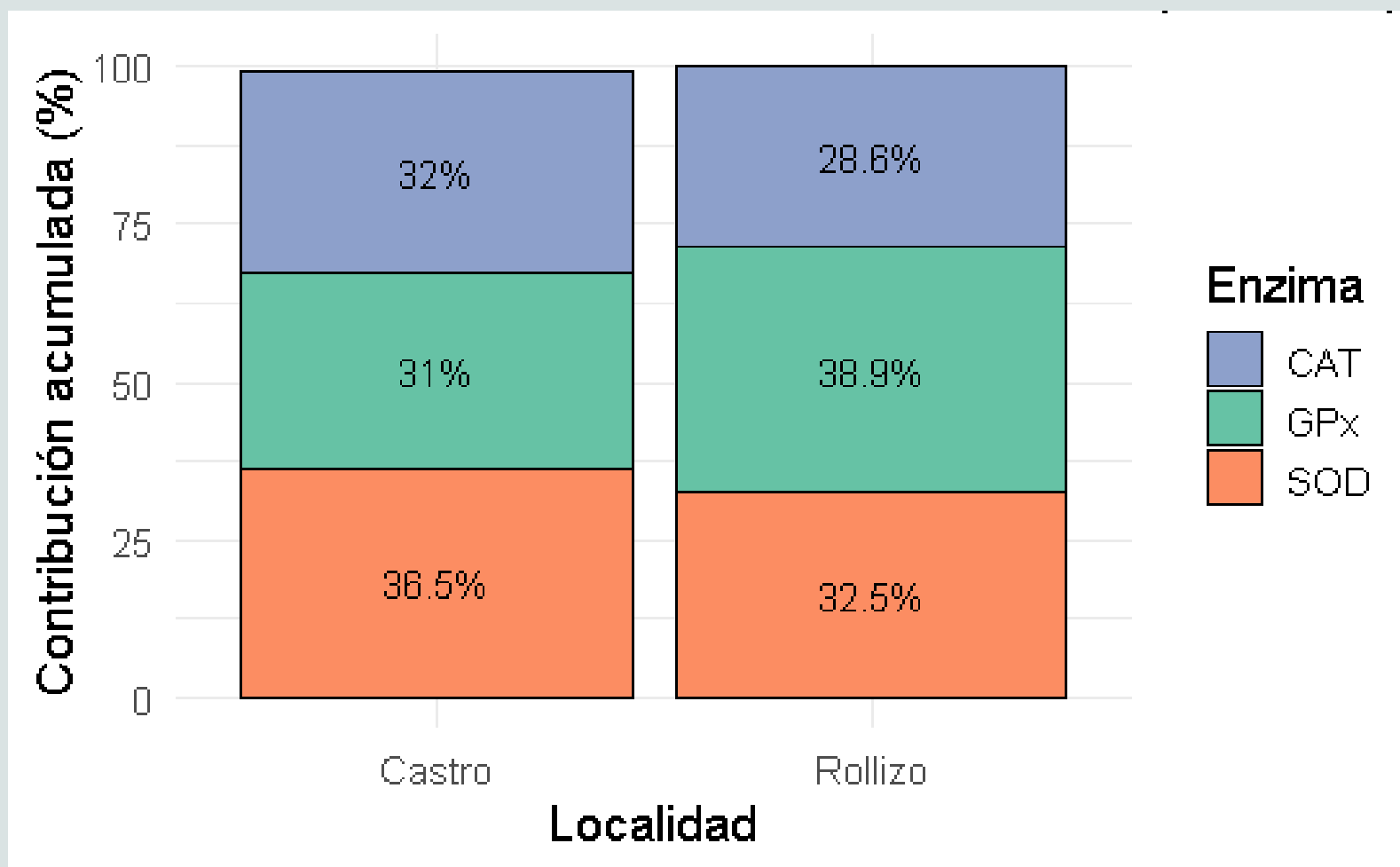
Tabla – Resultados del análisis SIMPER para enzimas antioxidativas (CAT, SOD, GPx) en *M. chilensis* de Castro

Enzima	Contribución promedio	Desviación estándar	Ratio (average/SD)	Contribución acumulada (%)
SOD	3.245	88.55	0.037	36.5
CAT	2.848	77.94	0.037	68.5
GPx	2.801	77.03	0.036	100

36.5% de la contribución →
32% →
31.5% →

SIMPER (Análisis de porcentaje de similitud)

SIMPER (Análisis de porcentaje de similitud)





Conclusiones

Doctorado en Ciencias
de la Acuicultura

UACH
SEDE PUERTO MONTT

- ✓ En general, las variaciones térmicas tuvieron un efecto más determinante sobre los parámetros fisiológicos evaluados por sobre los cambios en la salinidad en ambas localidades estudiadas (Pörtner, 2010)
- ✓ La exposición a cambios salinos puede incrementar el costo fisiológico de mantenimiento (Gunderson et al., 2016), especialmente cuando se combina con otros factores de estrés como el aumento de temperatura
- ✓ Pese a la pérdida significativa de peso seco, los juveniles de Rollizo presentaron un mayor peso seco que los de Castro, lo que indicaría una mayor capacidad de adquisición y acumulación de reservas energéticas lo que coincide con un mayor incremento de la TA
- ✓ En Castro, se sugiere una respuesta de estrés fisiológico y celular acumulativa, donde la combinación de una alta temperatura y con un aumento salino incrementa el costo metabólico en organismos provenientes de un ambiente naturalmente más estable como ocurre en Castro, lo que, en un escenario de cambio climático, podría traducirse en periodos de estrés prolongado y reducción del desempeño productivo → estrés fisiológico (Duarte et al., 2018), costos energéticos (producción de mecanismos celulares; Anatis et al., 2010)
- ✓ El estrés térmico reduce tanto la cantidad como la calidad de los filamentos del bisco, disminuyendo su capacidad adhesiva. Estudios como el de Li et al. (2020) en *M. coruscus*, muestran que incluso incrementos moderados de temperatura previstos para el futuro cercano pueden debilitar significativamente la producción y el rendimiento del bisco



Agradecimientos

- Laboratorio de Ecofisiología de la reproducción, Universidad Austral de Chile, Valdivia
- Laboratorio Costero de Recursos Acuáticos Calfuco, Uach
- Stress Lab, Universidad Austral de Chile, Valdivia
- Universidad Austral de Chile, sede Puerto Montt, Laboratorio de Genética
- Universidad de Concepción, centro de Biotecnología, Laboratorio de genómica y biotecnología acuícola

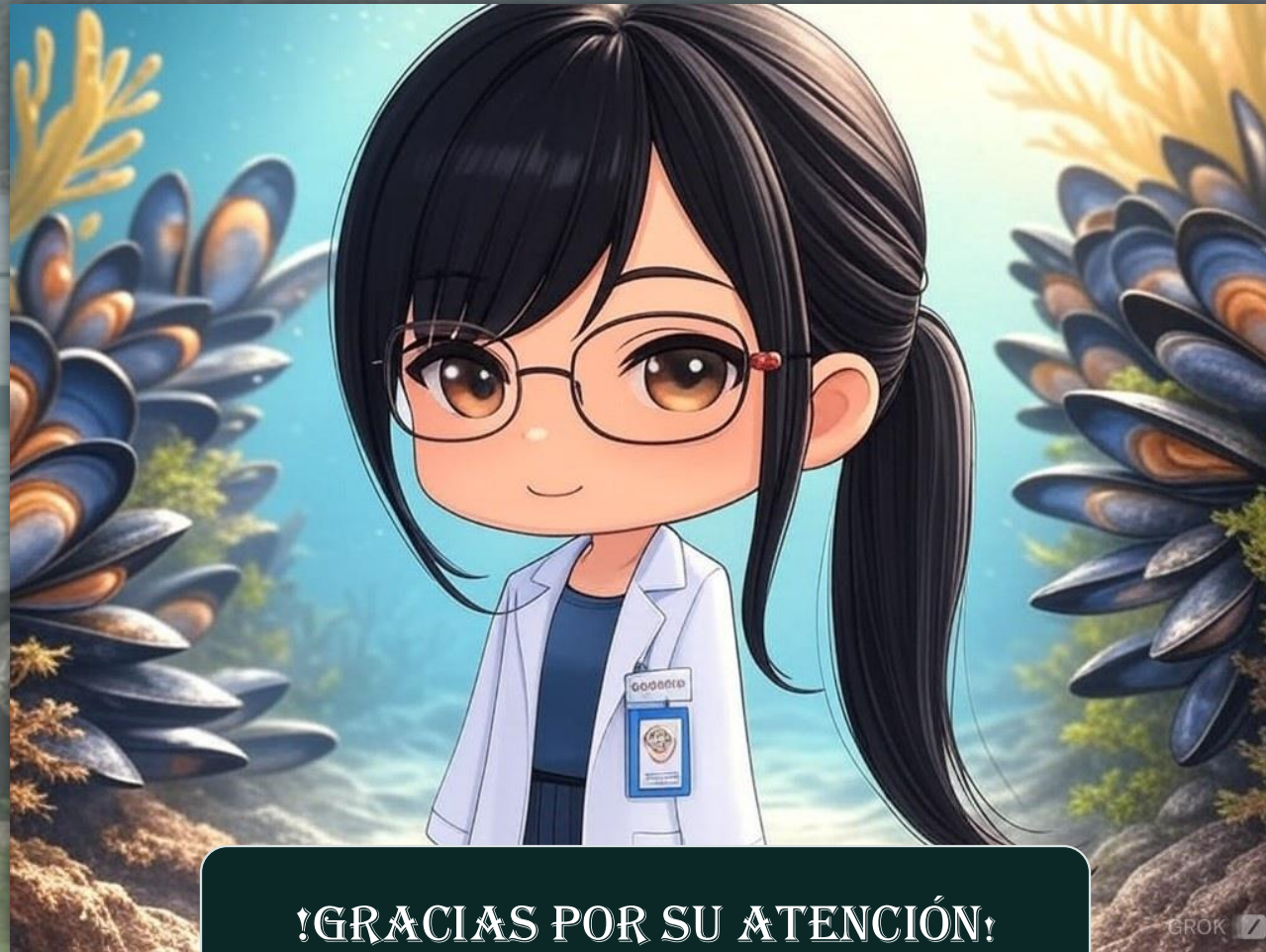
✓ Programa de doctorado en Ciencias de la Acuicultura

- Proyecto FIPA 2023-01, Dr. Carlos Molinet
- Proyecto Fondecyt 1230222, Dr. Oscar Chaparro

Agencia Nacional de Investigación y desarrollo (ANID)/programa de becas/Beca Nacional de Doctorado

- Caleta de pescadores Caleta Rollizo
- Cristian Segura, Instituto de Fomento pesquero, IFOP Castro

Temperatura y salinidad como proxys del cambio climático:
Evaluando la respuesta de juveniles *Mytilus chilensis* frente a
estresores ambientales en la Patagonia Norte



¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!