



Efecto del Cambio climático en larvas marinas: caso de estudio en crustáceo decápodo



Dr. Kurt Paschke

- ¹ Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. kpaschke@uach.cl
- ² Centro FONDAP de Investigación en Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)
- ³ Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Subantárticos (BASE)



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza



IDEAL
Centro de Investigación
Dinámica de Ecosistemas Marinos
de Altas Latitudes



Efecto del cambio climático en estadios tempranos del desarrollo de centolla



Palabras clave:

- Cambio climático, Ondas de calor, eventos de frío
- Vulnerabilidad de estadios tempranos del desarrollo de centolla a factores de Cambio Climático

Objetivos:

- Analizar el Efecto de factores ambientales de Cambio Climático o Cambio Global sobre centolla y su relación con Vulnerabilidad de la especie.
- Analizar el Efecto de Cambio Global en torno a la Sustentabilidad de la Producción de centolla con potencial desarrollo de su cultivo con fines de repoblamiento o a ciclo cerrado.

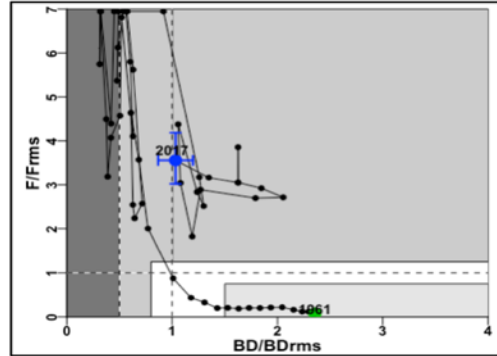


Figura 45. Diagrama de fase centolla Región de Los Ríos a Región de Magallanes y Antártica Chilena, año 2019. IFOP.

Estado de la pesquería



Subexplotado

Plena Explotación

Sobreexplotado

Agotado

Marco biológico de referencia

En la actualidad, de acuerdo al concepto de plena explotación establecido en la Ley General de Pesca y Acuicultura, se requiere definir que la pesquería se encuentra en torno al Rendimiento Máximo Sostenido para ser categorizada en estado de plena explotación, a través de puntos biológicos de referencia.)

No se ha establecido aún el marco biológico de referencia específico para centolla, pero a fin de diagnóstico se emplean los puntos biológicos de referencia correspondientes a crustáceos demersales.

Estado del recurso

En la evaluación de centolla con el modelo estructurado en tallas permiten concluir que el recurso se encuentra en un nivel del 41% de la biomasa desovante virginal encontrándose en recursos "Plena Explotación" pero con un alto nivel de sobrepesca (Fig. 45).

A lo anterior se suma el comportamiento de algunos indicadores que pueden dar señales respecto del estado de conservación del recurso. El primero de ellos dice relación con los desembarques, los cuales en las regiones más importantes (Magallanes y Los Lagos) dan cuenta de una disminución en los últimos años. Respecto de los rendimientos, no obstante que en Magallanes no se han observado cambios importantes en los rendimientos promedios, estos son calificados como bajos. Por su parte en las Regiones de Los Lagos y Aysén la tendencia de los rendimientos ha sido descendente, esto a pesar del aumento en el esfuerzo de pesca



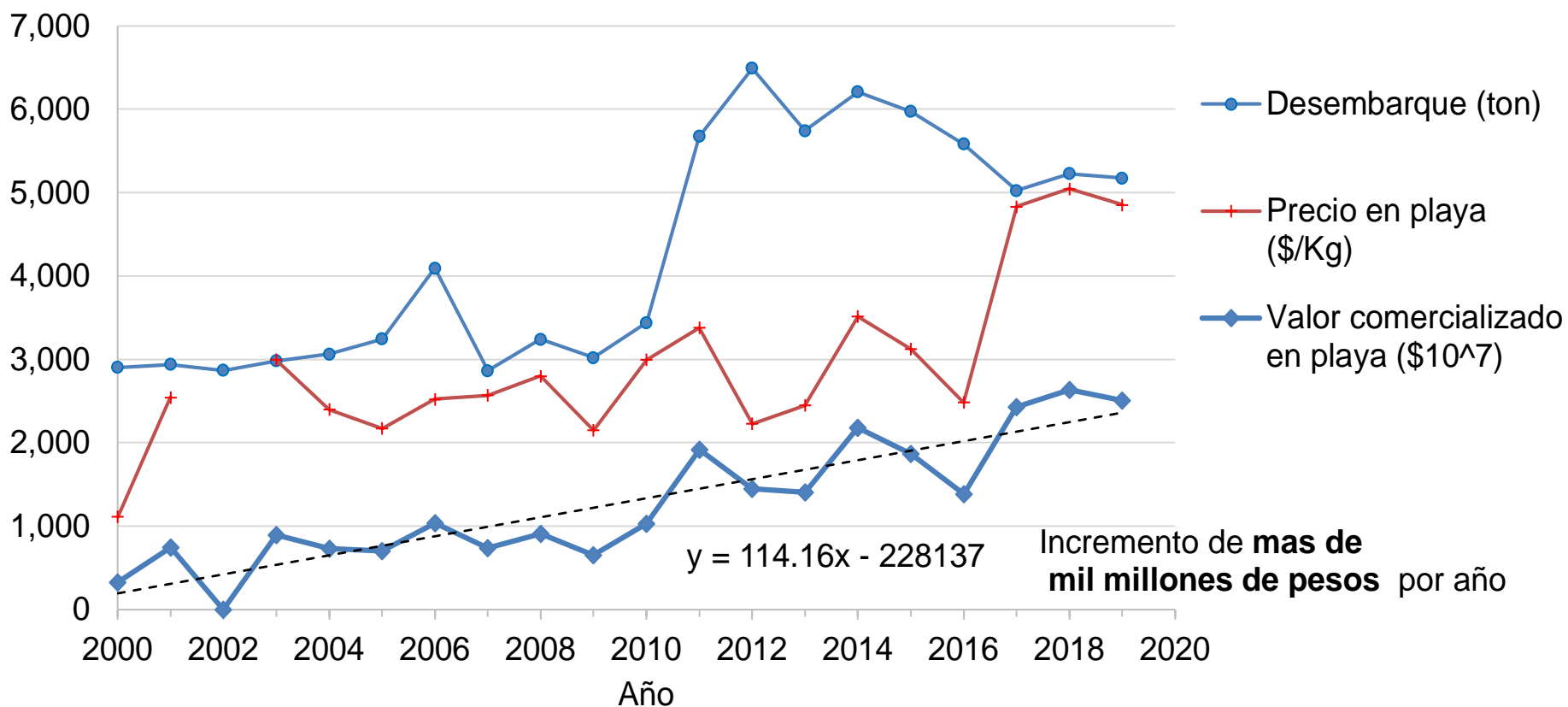


Desembarque de centolla, precio en playa y valor comercializado en playa



Producción de centolla escenarios preocupantes

Centolla, Nacional

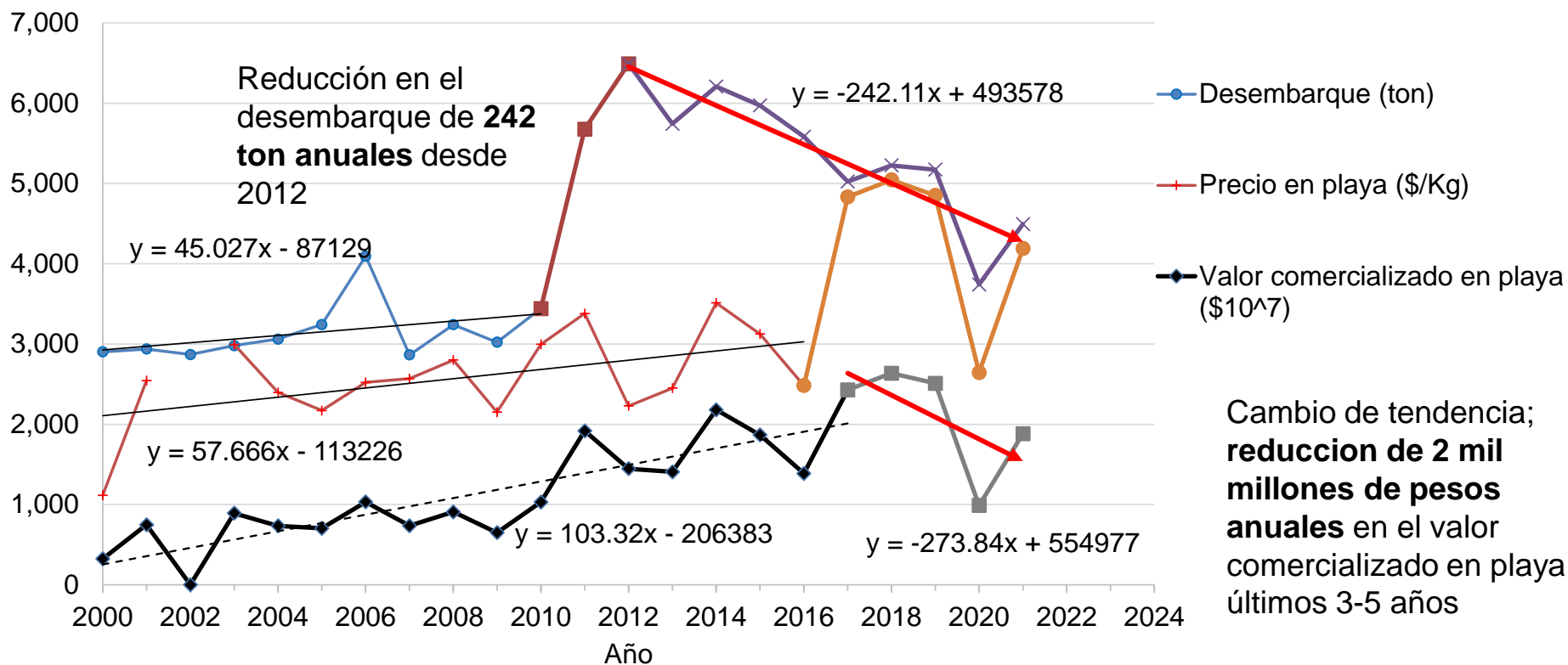




Desembarque de centolla, precio en playa y valor comercializado en playa



Centolla, Nacional




























La gestión de la pesca se ha desarrollado utilizando diferentes modelos:

- En el modelo de gestión extractiva EMM, el objetivo es la explotación de la pesca que considera al océano como un depósito inagotable de recursos y que no hay resiliencia en los océanos (insostenible modelo y causa de la degradación de los ecosistemas marinos);
- Manejo de una sola especie (SSM)
- Enfoque ecosistémico para el Manejo Pesquero (EAFM),
- Manejo Pesquero Basado en Ecosistemas (EBFM)
- Manejo Pesquero como sistema socio-ecológico.



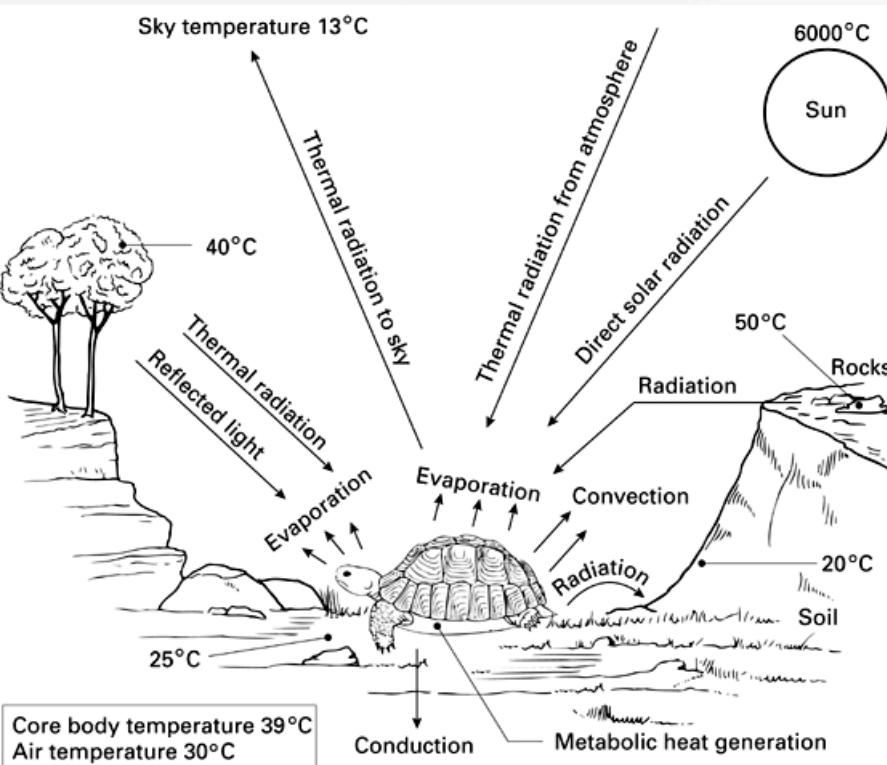
A nivel nacional, si bien la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) en su artículo 1B establece que se debe utilizar un enfoque ecosistémico en la regulación pesquera y la salvaguarda de los ecosistemas marinos en los que existan estos recursos, en la práctica no hay suficiente información sobre muchos

| Levels | Scientific Advice | Management Framework |
|---|---|---|
| EBM Ecosystem Based Management |  Fisheries  Development  Energy  Eco Tourism  Oil & Gas  Conservation  Marine  Sanctuaries  Aquaculture  Etc |  |
| EBFM Ecosystem Based Fisheries Management |   Climate  Habitat  Predator |  |
| EAFM Ecosystem Approach to Fisheries Management |   Climate  Habitat  Predator |  |
| SS Single Species |  |  |

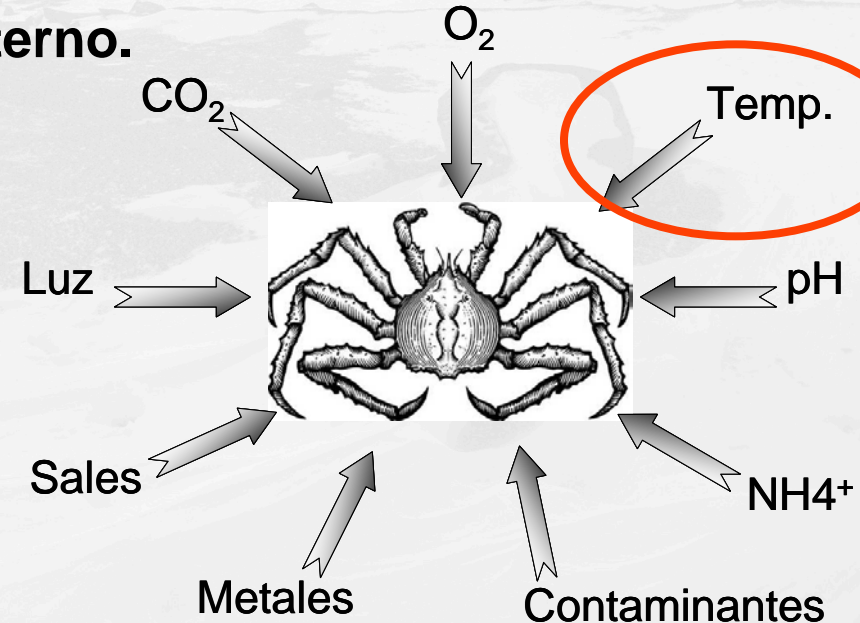
aspectos de los recursos pesqueros para poder implementar esta metodología de gestión. La información necesaria para estimar la sensibilidad o resistencia a perturbaciones o factores de estrés es escasa para la mayoría de las especies capturadas

Metabolismo aproximación al funcionamiento de un organismo = fisiología.
Respiración, consumo de oxígeno y metabolismo

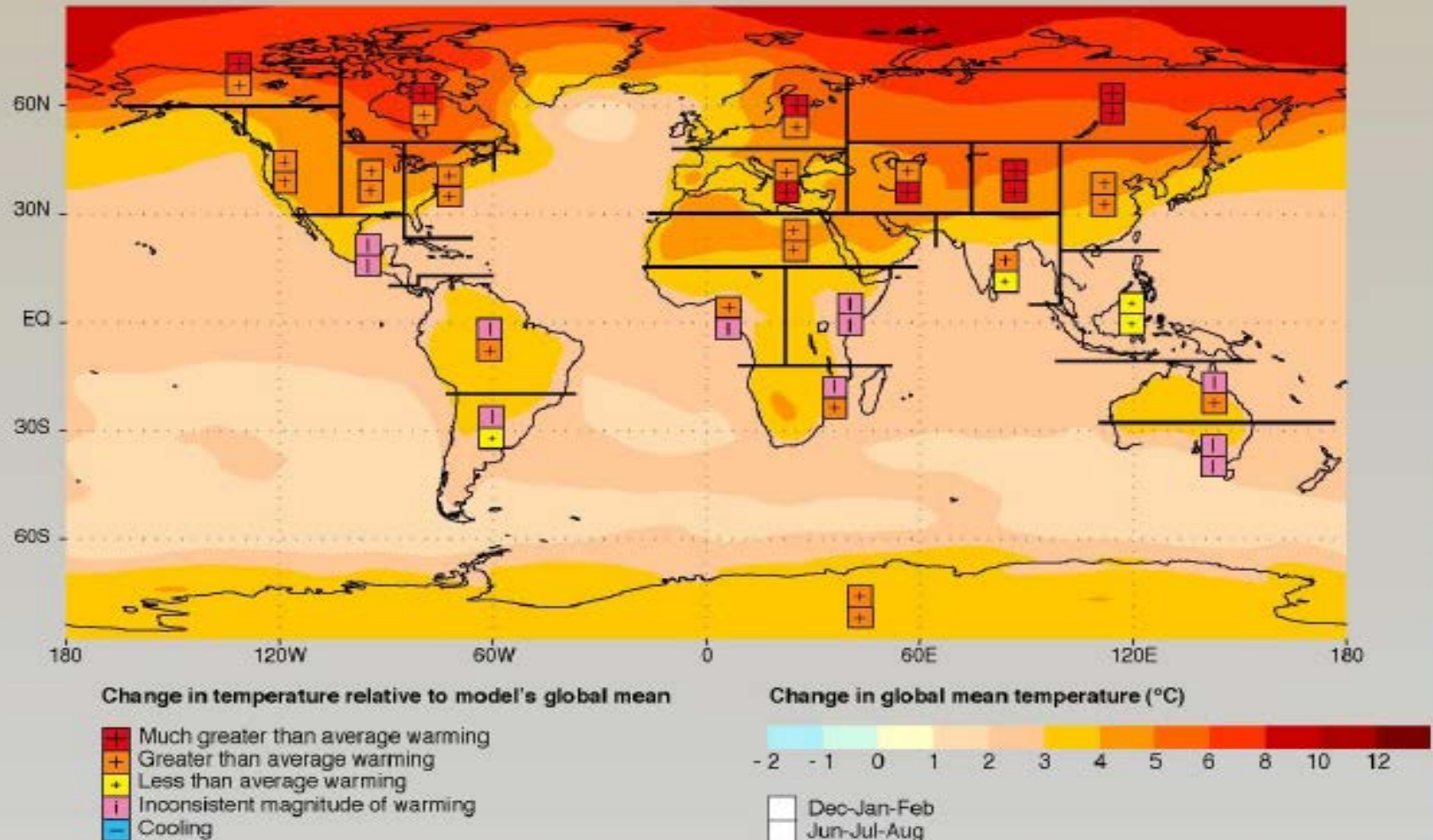
Organismos enfrentados a múltiples factores



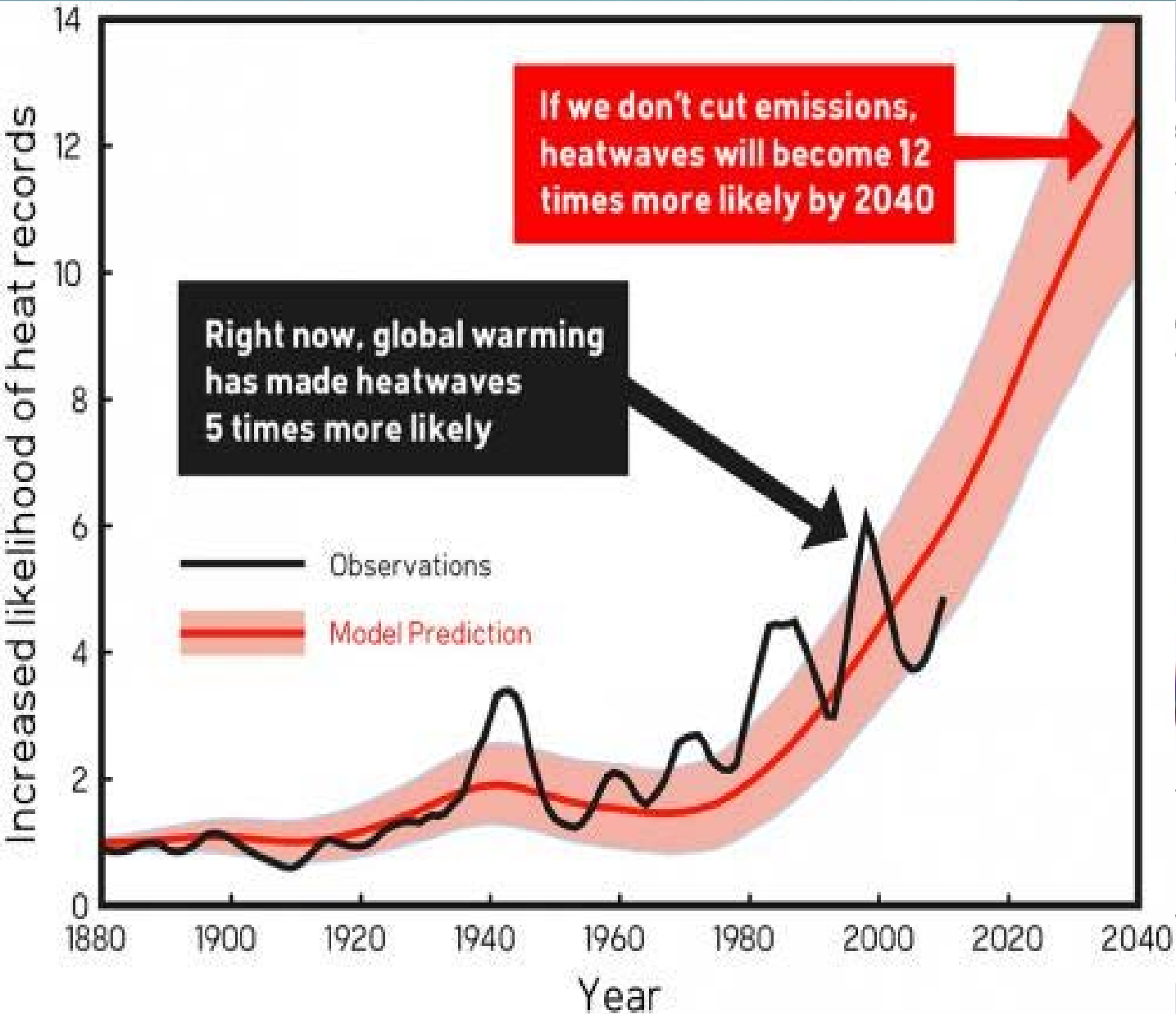
Dado que, en general, los factores del medio externo varían bastante, para crecer y reproducirse en estos ambientes, los animales han desarrollado adaptaciones funcionales a variaciones del medio externo.



Change in temperature for scenario A2

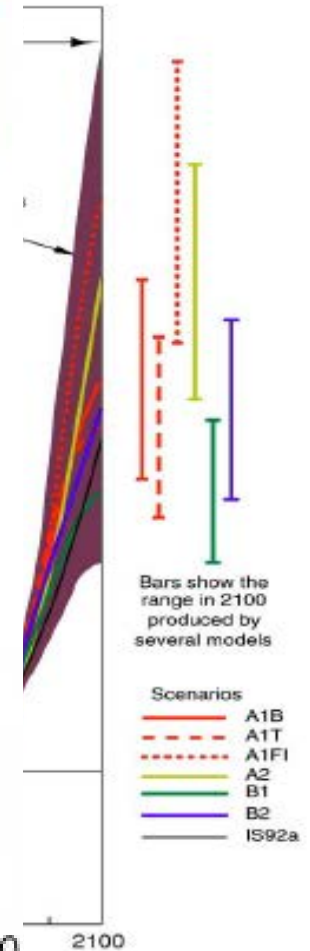


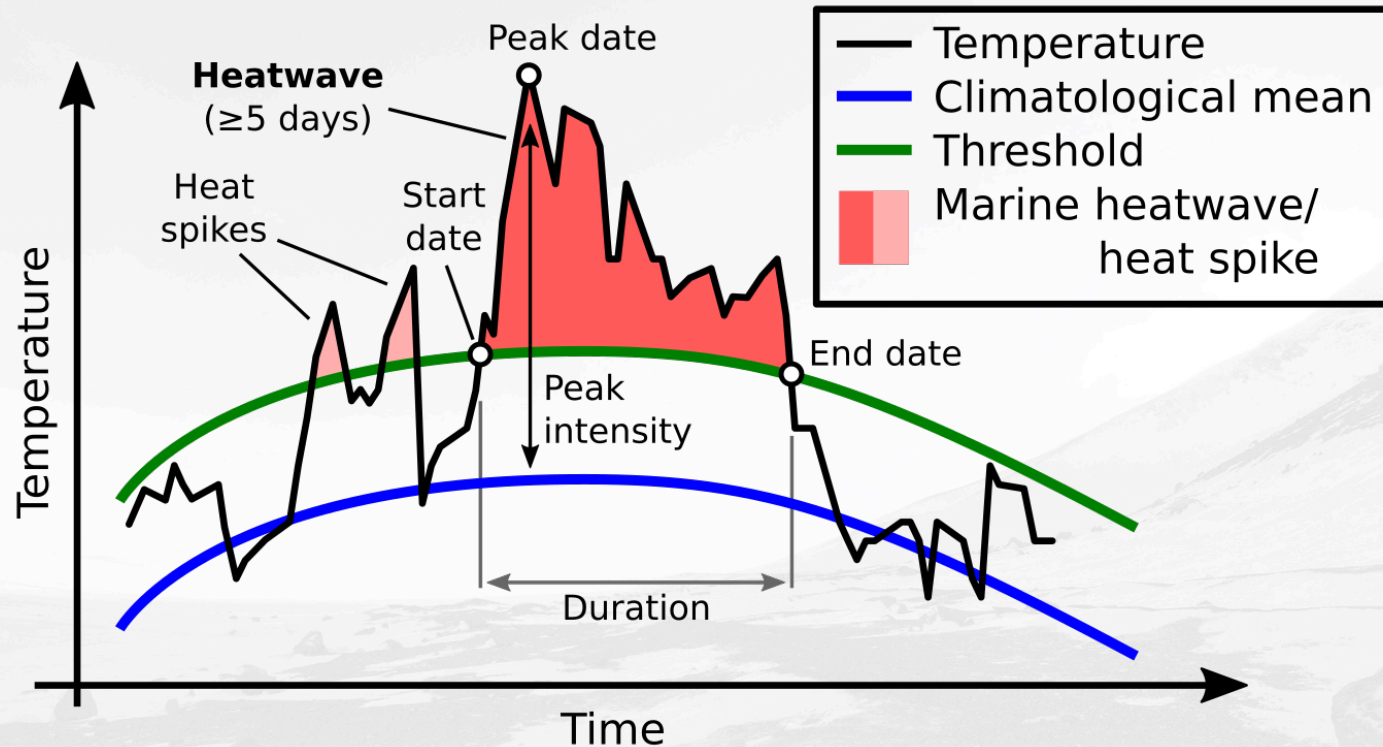
Calentamiento Global debido a incremento de eventos extremos



y clima

SRES projections





Una ola de calor marina se define cuando las temperaturas del agua de mar superan un umbral que varía según la estación (generalmente el percentil 90) durante al menos 5 días consecutivos.

Las olas de calor sucesivas con intervalos de 2 días o menos se consideran parte del mismo evento

Marine Heatwaves occur everywhere in the ocean

2003: Mediterranean Sea

4°C warmer than average for 30 days
Largest event on record

2013-2015: "The Blob"

2½°C warmer than average for 226 days
Longest event on record
Caused unseasonably warm weather in
Pacific Northwest of USA and Canada

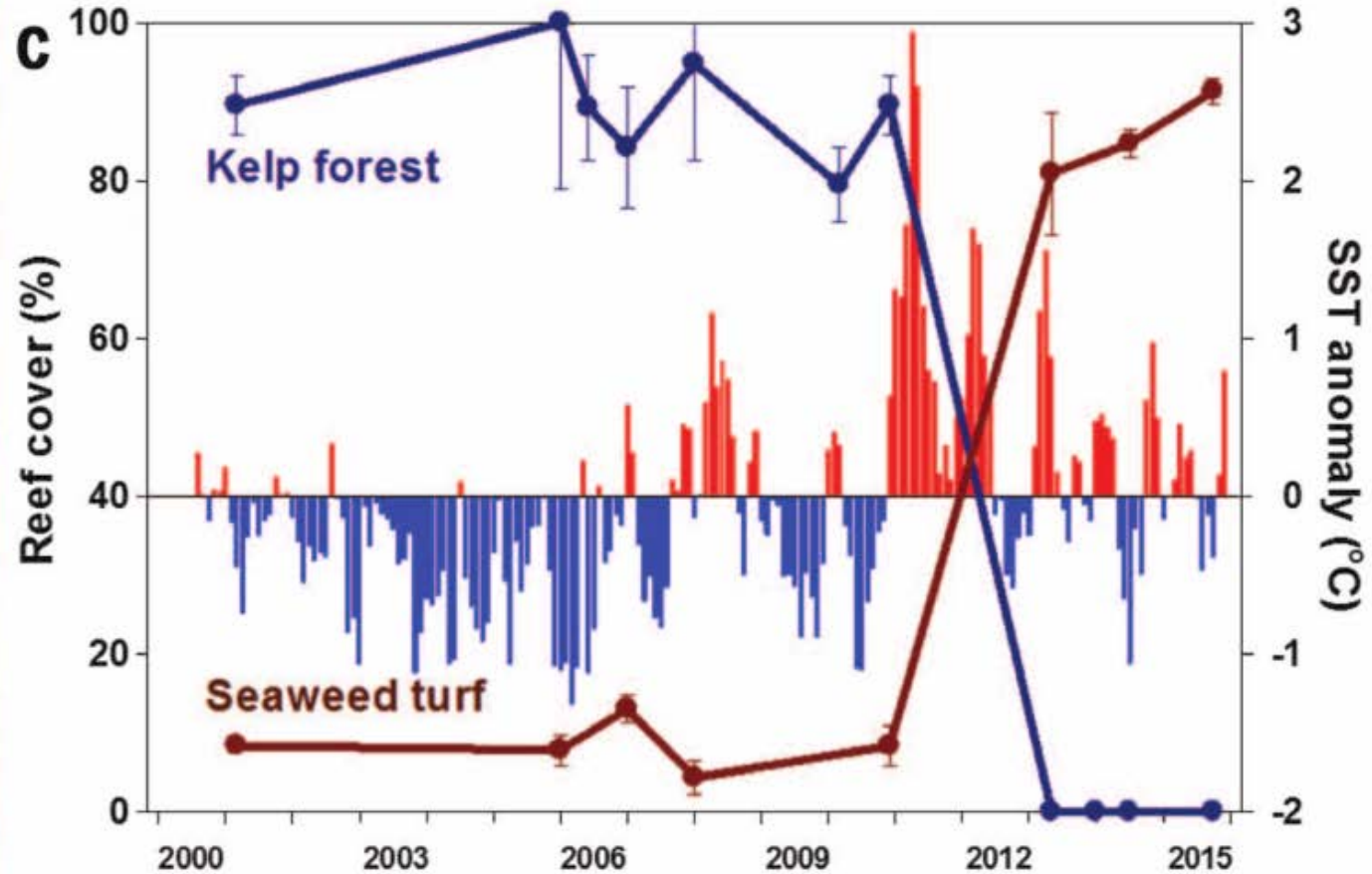
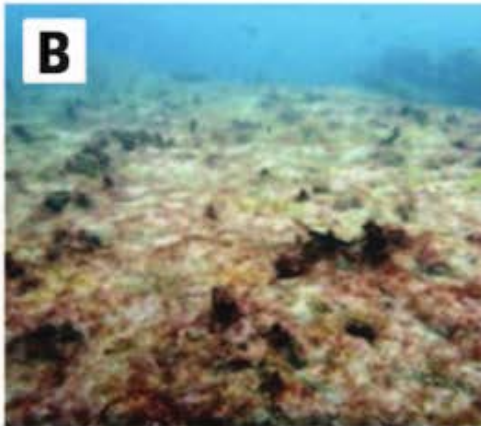
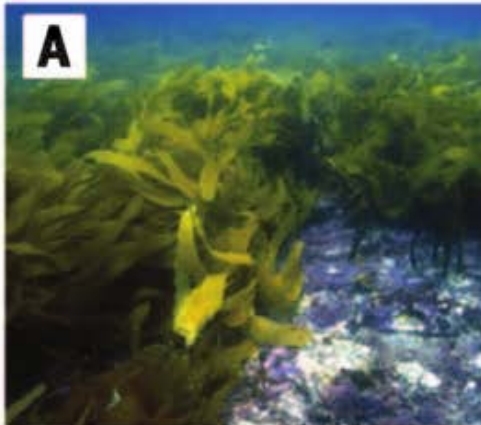


Fig. 2. Regime shift from kelp forests to seaweed turfs after the 2011 marine heat wave. Kelp

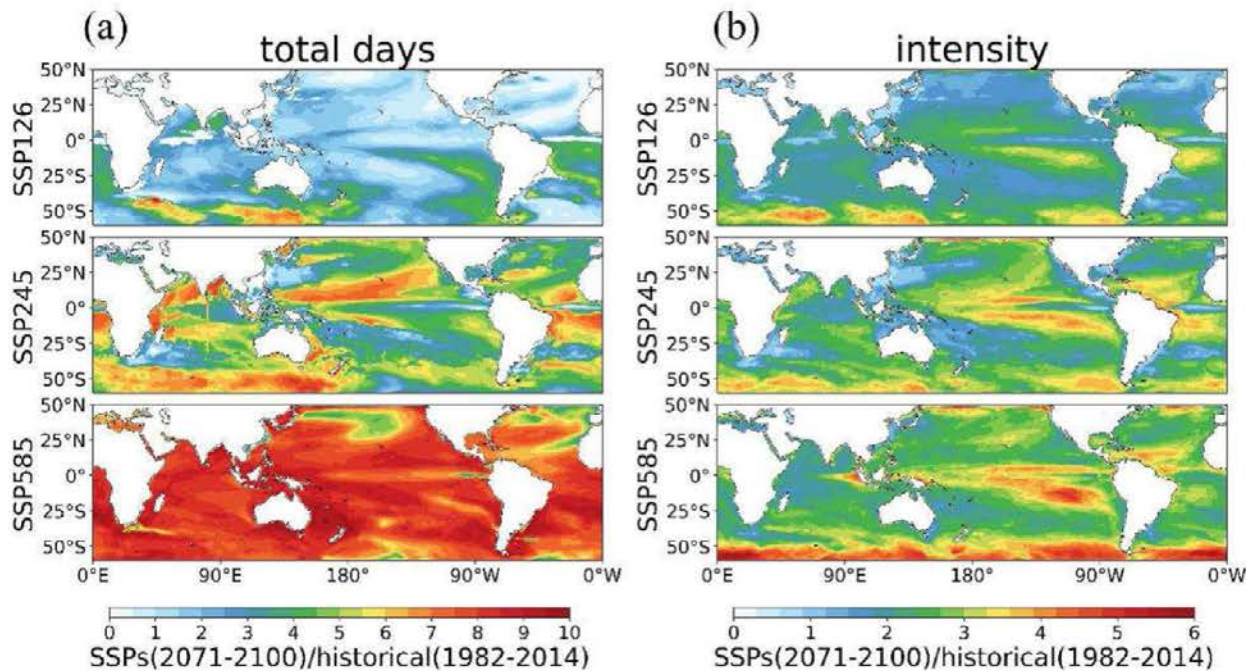


Fig. 5. Spatial distributions of the increased rate (fold) of MHWs at the end of the 21st century (2071–2100) relative to the historical period; (a) total number of days and (b) intensity.

- Las olas de calor marinas, combinadas con el calentamiento global, pueden tener impactos sustanciales en los ecosistemas marinos.
- La frecuencia de las olas de calor marinas ha aumentado significativamente durante el siglo pasado, con un aumento del 54 % en los días anuales de olas de calor marinas a nivel mundial desde 1925 hasta 2016 (Oliver et al., 2018).



“Snow Crab and Red King Crab Declines in 2022

October 17, 2022

Science behind snow crab and Bristol Bay red king crab stock declines in Alaska in 2022.”

“Our best available science indicates that the **crash of the Bering Sea snow crab stock leading to the fishery closure was related to the 2019 heat wave** in the North Pacific. That heat wave as well as earlier heat waves have been attributed to climate change.”

“Following consecutive years of record warm temperatures, scientists in 2021 saw the **lowest abundance of adult snow crabs and immature female crabs ever observed in the nearly 50 years** of NOAA Fisheries’ annual bottom trawl survey of the eastern Bering Sea.”

“The results are not surprising given what scientists observed last year. It often takes several years to see population and ecosystem shifts after significant environmental events like what occurred during the **heatwave events of 2016, 2018, and 2019 in the Bering Sea.**”

September 02, 2022

Olas de calor marinas. No solo SST.....también efectos en profundidad...

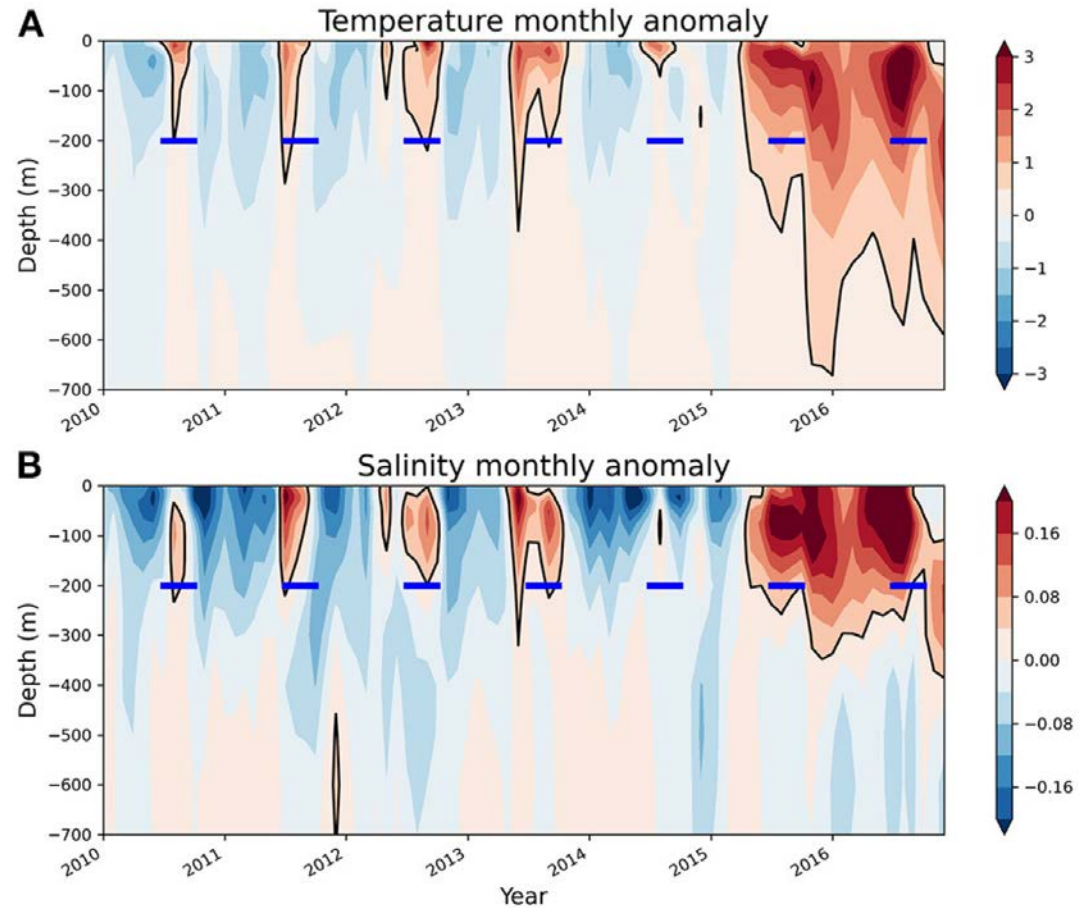
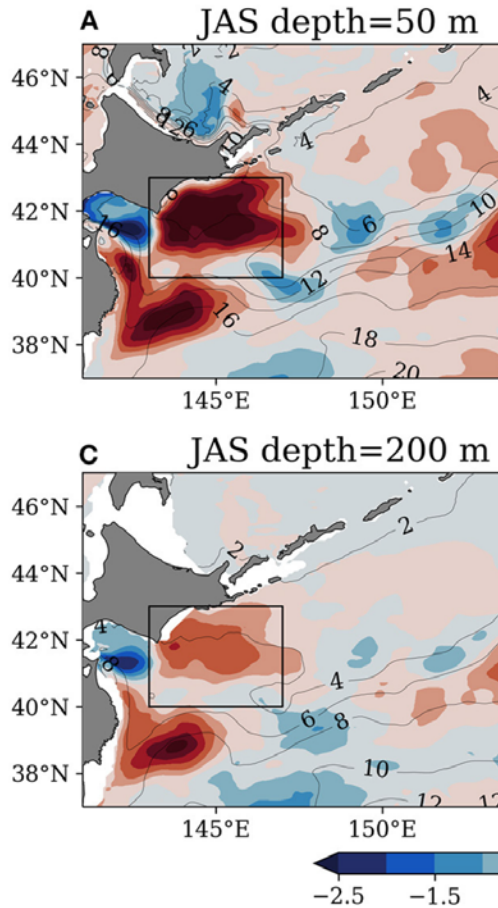


FIGURE 8 | Deviation of the 2010–2016 average temperature at each depth (contour, °C) of the FRA-JCOPE2 reanalysis. **(A)** At 50 m. **(B)** At 200 m.

FIGURE 10 | Monthly time-depth diagram from 2010 to 2016 of **(A)** temperature and **(B)** salinity anomaly (°C and salinity unit, respectively; colors and contours) horizontally averaged in the box in **Figures 8, 9**. The horizontal blue lines at 200 m depth denote JAS period each year.

Olas de calor marinas. Proyecciones

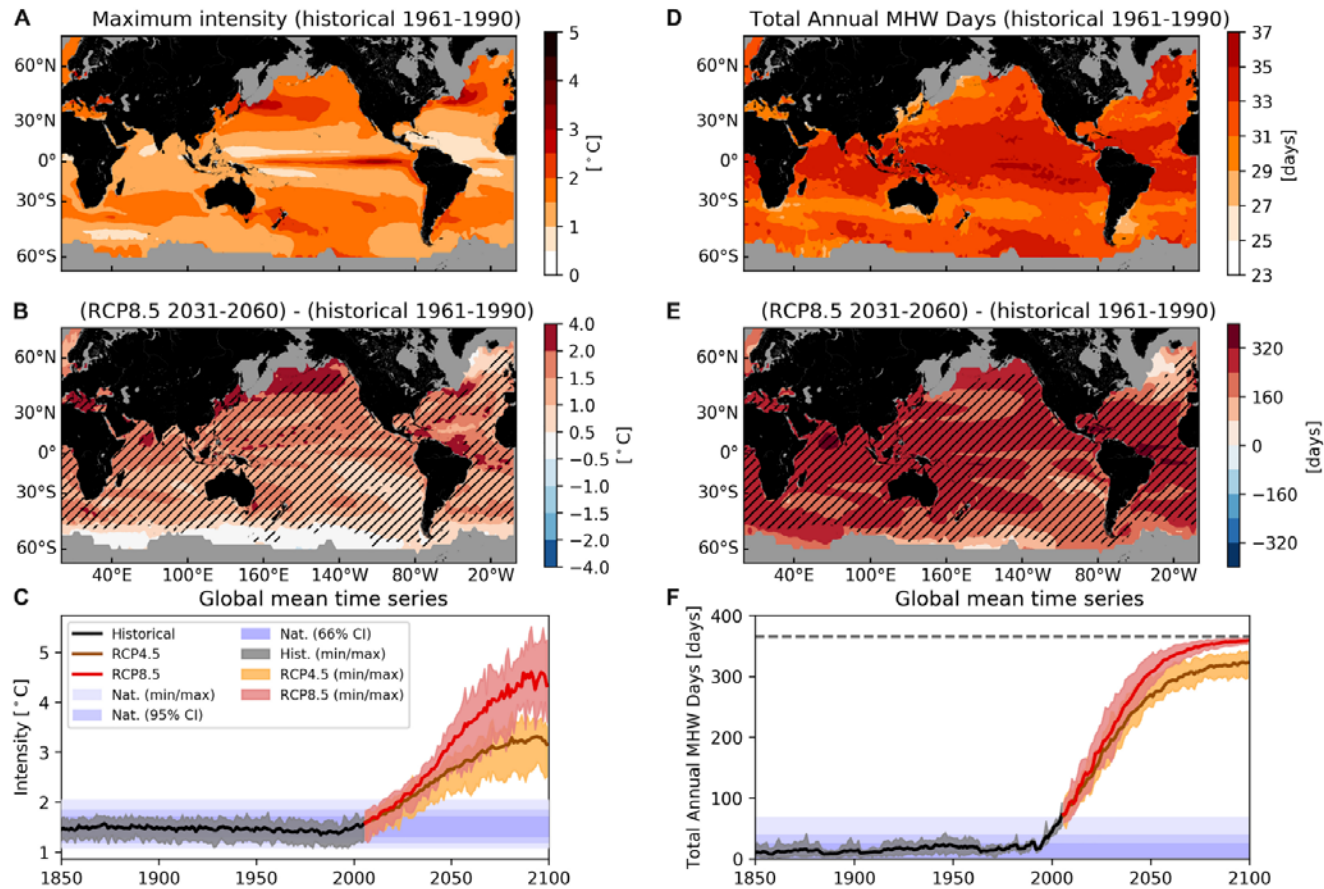


FIGURE 1 | Projected changes to marine heatwaves (MHWs). **(A,D)** Multi-model mean MHW properties from the historical runs over 1961–1990. **(B,E)** Change between RCP8.5 run (averaged over 2031–2060) and historical run (averaged over 1961–1990). Hatching indicates that all models agree on the sign of change (corresponding to a 1% significance level based on binomial distribution). **(C,D)** Annual time series for historical (black), RCP4.5 (brown), and RCP8.5 (red) runs. The gray, red and brown shaded regions show the maximum range between individual model runs. The blue shaded areas show the expected range of natural variability based on a 66% confidence interval (darkest blue), 95% confidence interval (medium blue), and full min-to-max range (lightest blue) of the historical Nat runs (1850–2005). Results for intensity are shown on the left **(A,B,C)** and for total MHW days on the right **(D,E,F)**. Equivalent figures for each individual model can be found in **Supplementary Figures 2–7**.

Olas de calor marinas

Fecha de “permanente ola de calor marina...”

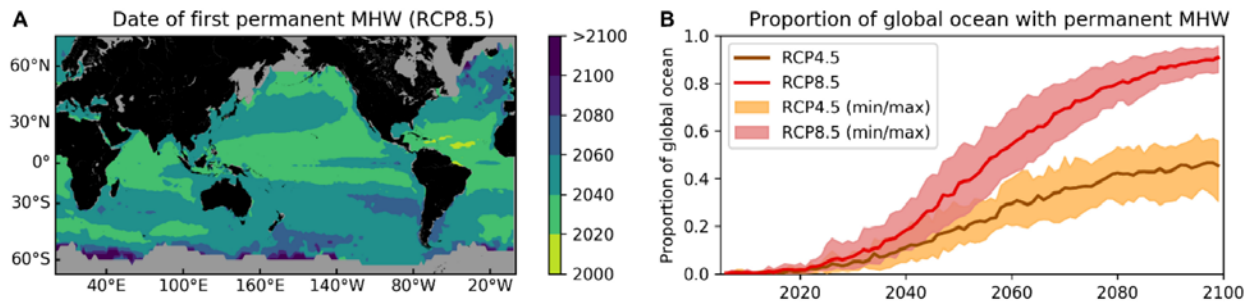


FIGURE 4 | First year of occurrence of permanent MHW states. **(A)** The year of the first permanent MHW state, i.e., a full year of MHW days, from the RCP8.5 experiment. **(B)** The proportion of the global ocean grid cells experiencing a permanent MHW state over the 21st century according to the RCP4.5 (brown line) and RCP8.5 (red line) emissions scenarios. The shaded regions indicate the minimum and maximum values based on individual ensemble members.

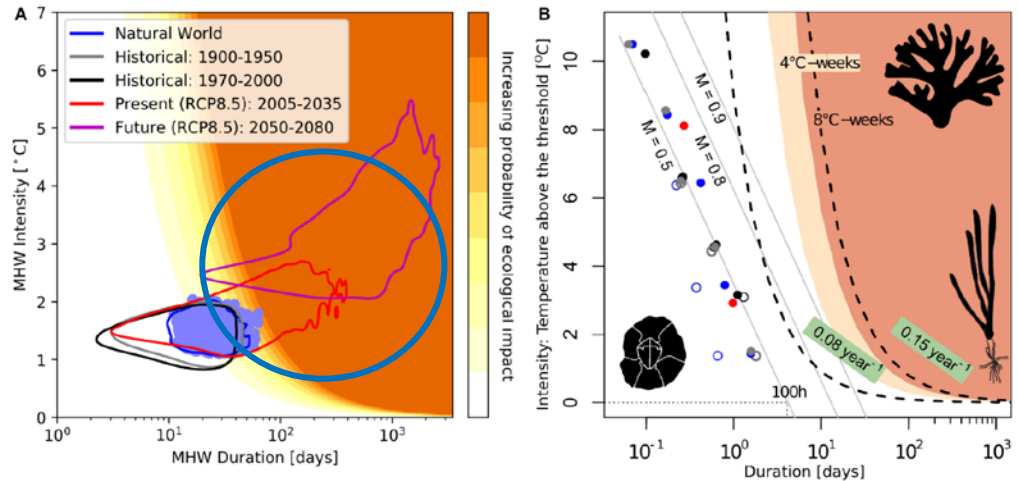
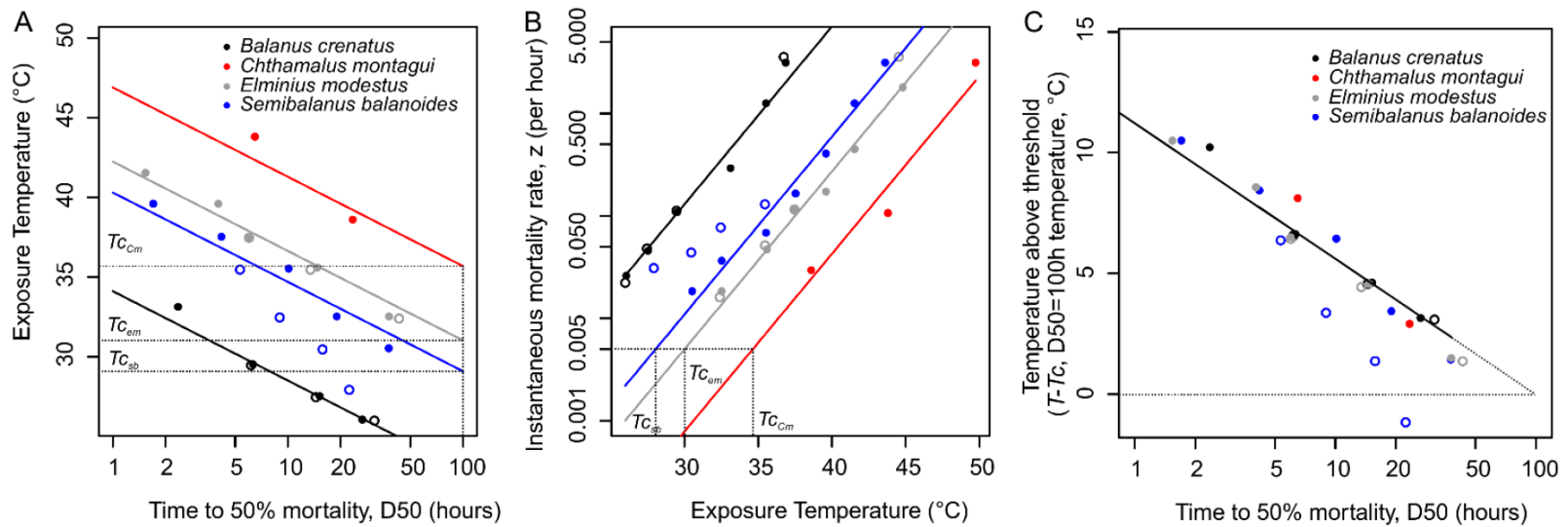


FIGURE 5 | Marine heatwave duration-intensity (x-y) phase space. **(A)** Solid lines indicate the probability distributions (95% confidence contours) of global annual mean MHW properties from the (blue) historicalNat simulation for 1850–2005, (gray) historical simulation for 1900–1950, (black) historical simulation for 1970–2000, (red) RCP8.5 simulation for 2005–2035 runs and (purple) the RCP8.5 simulation for 2050–2080. Blue overlapping dots indicate annual mean MHW properties from all historicalNat simulations. Orange shading indicates increasing probability of ecological impact (being contours of constant degree-heating-days, i.e., the product of MHW intensity and duration, every 2°C days over the range 4 – 20°C days). **(B)** Examples of ecological impacts of an organism's exposure to extreme temperatures as a function of intensity and duration. For a short-term response, filled circles show time to 50% mortality ($M = 0.5$, where M is the mortality rate) for intertidal barnacles exposed to temperatures above a threshold defined as that giving 50% mortality after 100 h exposure, with additional fitted lines giving times to expected 80% and 90% mortality ($M = 0.8$ and $M = 0.9$, respectively) (Foster, 1969) (see **Supplementary Figure 8** for details of symbols and underlying data). For a medium-duration response, filled areas show threshold degree heating weeks for coral bleaching ($>4^{\circ}\text{C}$ -weeks) and mortality ($>8^{\circ}\text{C}$ -weeks) (Liu et al., 2006; Kayanne, 2017). For the effect of MHWs on annual scales, dashed lines show total annual degree days (above 1988–1999 mean maximum temperatures) associated with low and high annual mortality rates of seagrasses (Marba and Duarte, 2010).



Supplementary Figure 8. (A) Survival times of intertidal barnacles exposed to extreme water temperatures (T), expressed as time to 50% mortality ($D50$). Closed symbols show summer-acclimated and open symbols show winter-acclimated populations. Greater tolerance for high temperatures can be seen in summer-acclimated *Semibalanus balanoides*. (B) Barnacles were shown to have an exponential mortality (Foster 1969), and so equivalent instantaneous mortality rate, z , was derived as $\log(0.5)/D50$ and shown here plotted against the absolute temperature of exposure. (C) Temperature anomalies for each species were identified relative to a threshold (i.e. a zero anomaly; defined as the temperature giving 50% mortality after 100 hours of exposure) shown here plotted against time to 50% mortality ($D50$). It is the data as presented in (C), along with theoretical lines for instantaneous mortality rates of $z = 0.5$, 0.8 and 0.9 , which are plotted in the MHW intensity-duration phase space of Figure 5B of the main text. Lines in A and B show regressions fitted to summer-acclimated barnacles. A: $T = 34.12 (\pm 0.33) - 2.43 (\pm 0.10) \log(D50) + (C. montagui 12.77 (\pm 0.54); Elminius modestus 8.12 (\pm 0.44); Semibalanus balanoides 6.18 (\pm 0.43))$, $R^2 = 0.98$. B: $\log(z) = -14.05 (\pm 0.33) + 0.40 (\pm 0.02) T^{\circ}C + (C. montagui -5.11 (\pm 0.54); Elminius modestus 3.26 (\pm 0.21); Semibalanus balanoides -2.47 (\pm 0.20))$, $R^2 = 0.97$. Line in C shows regression fitted to all species together. Data were digitized from plots in Foster (1969).

Olas de calor En Chile ??

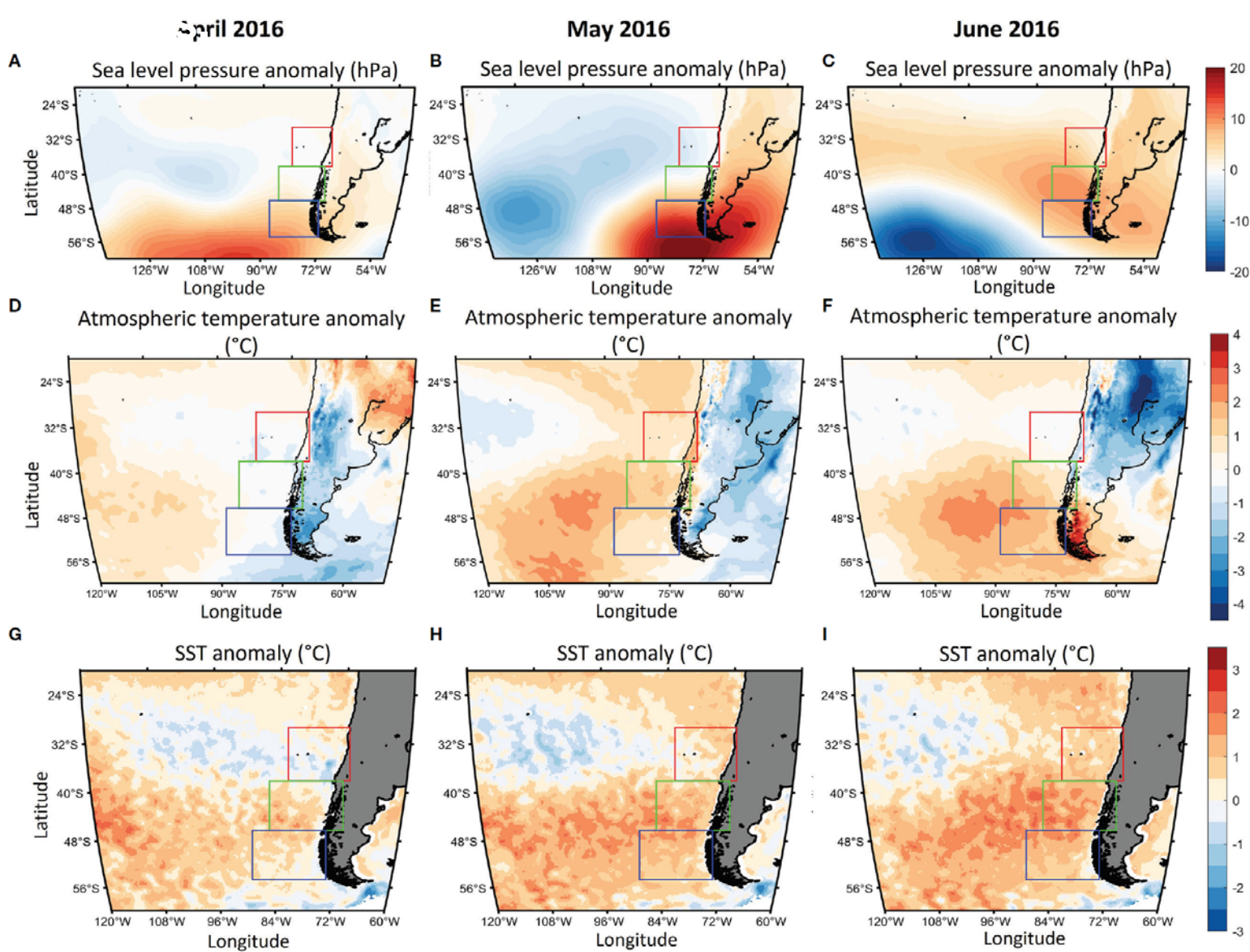
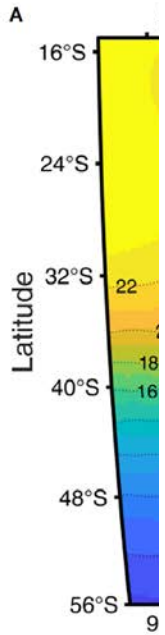


FIGURE 6 | Monthly average sea level atmospheric pressure anomalies (A–C), atmospheric temperature anomalies (D–F) and sea surface temperature (SST) anomalies (G–I), expressed respectively in hPa, °C and °C, for the months of April 2016 (left column), May 2016 (central column) and June 2016 (right column). Colour scale is indicated on the right side of each line. Areas concerned are all located between 20°S and 50°S, and between 50°W and 140°W for pressure anomaly, between 60°W and 120°W for air temperature anomalies and between 60°W and 120°W for SST anomalies.



Efecto de factores ambientales sobre centolla y su relación con Vulnerabilidad de la especie, con potencial desarrollo de su cultivo con fines de repoblamiento o a ciclo cerrado



Estimación de Vulnerabilidad

..... escenarios preocupantes

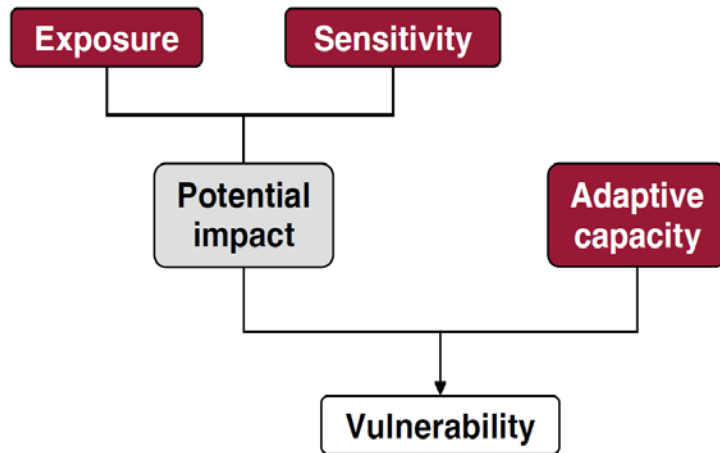


Figure 1 Framework for assessing vulnerability to climate change adopted by the IPCC. Exposure relates to the influences or stimuli that impact on a species or system, and represents the background climate conditions, and any changes in those conditions. Sensitivity reflects the responsiveness of a species or system to climatic influences, and the degree to which changes in climate affect current form. Together these determine the potential impacts a species or system experiences, which will be tempered by its adaptive capacity. That is, the ability to adapt to increase the capacity of a species or system to cope with (or avoid) the consequences of climate change (adapted from Schroter and the ATEAM Consortium, 2004).

| | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | HIGH | Exposure of fish stocks | Sensitivity of fish stocks | Adaptive capacity of fishery |
| LOW | | | | |
| Exposure of fish stocks | | | Orange | Green |
| Sensitivity of fish stocks | | Orange | | Green |
| Adaptive capacity of fishery | | Red | Red | |

Fisheries vulnerability
 Green = low
 Orange = moderate
 Red = high

Figure 2 Factors that combine to determine the level of vulnerability of fisheries to climate change.

$$V_a = E * \frac{1}{3} + S * \frac{1}{3} + (1 - AC) * \frac{1}{3}$$

Exposure (E)
 Sensitivity (S)
 Adaptation Capacity (AC)

Johnson J. & Welch D. (2009): Marine Fisheries Management in a Changing Climate: A Review of Vulnerability and Future Options, Reviews in Fisheries Science, 18:1, 106-124 <http://dx.doi.org/10.1080/10641260903434557>

Soto D., Jorge Leon-Muñoz, Jorge Dresdner, Carol Luengo, Fabian J. Tapia and Rene Garreaud. 2019. Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical, socioeconomic and governance links. Reviews in Aquaculture, 1–21. doi: 10.1111/raq.12336

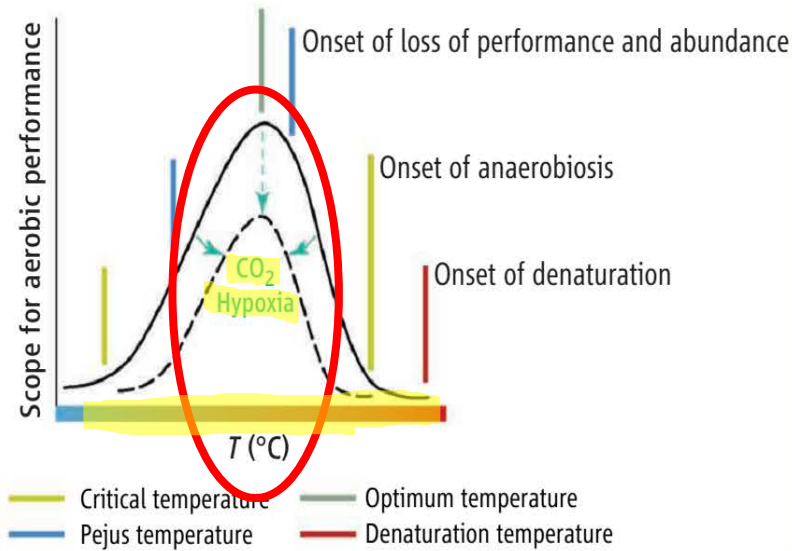


Efecto de factores ambientales sobre centolla y su relación con Vulnerabilidad de la especie, con potencial desarrollo de su cultivo con fines de repoblamiento o a ciclo cerrado

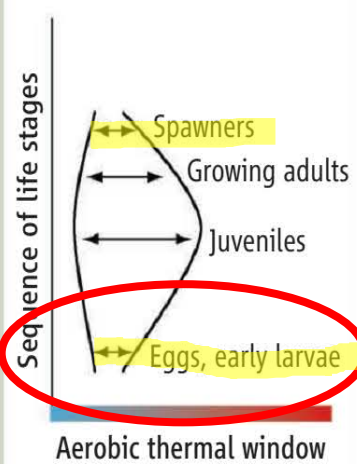


CLIMATE CHANGE PRESSURES

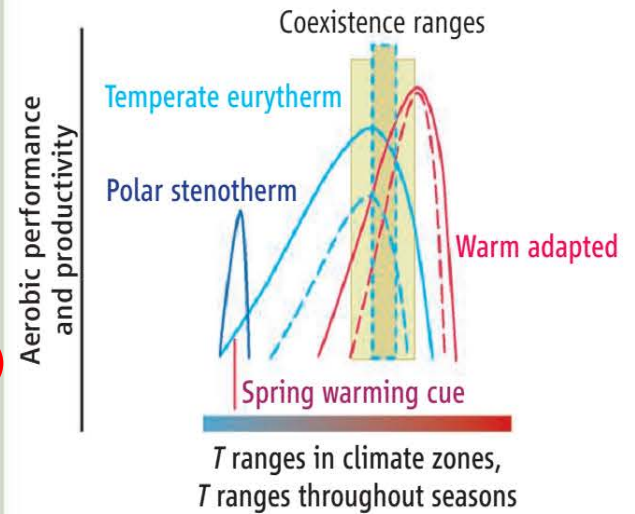
Thermal windows for animals (may include time dependent shifts through acclimatization)



Thermal window widths across life stages (fishes)



Competition, food web interactions, phenologies



IMPACTS on SPECIES

Changes in population, distribution and genetic characteristics cause **altered vulnerability to extinction**

Pörtner, H.O. and Farrell, A.P. (2008) Ecology Physiology and Climate Change. Science, 322, 690-692.

<http://dx.doi.org/10.1126/science.1163156>

FIGURE 3 Potential climate change impacts on species include the species-level population and range changes that underpin extinction risk. These changes are driven by changes at individual and subpopulation levels

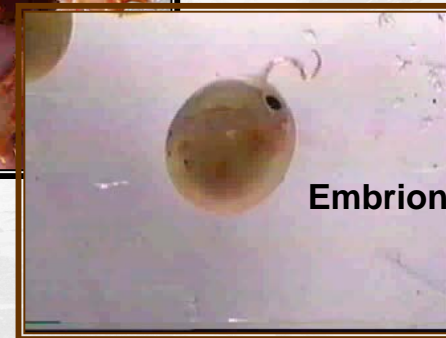
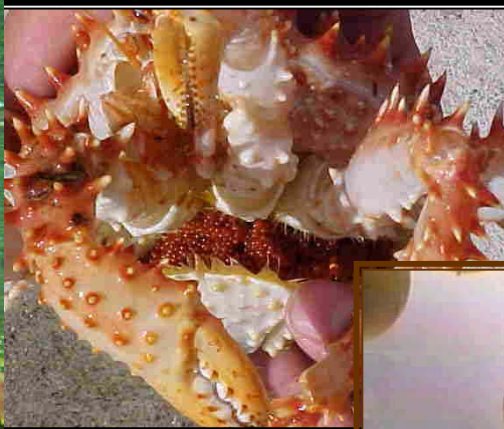




Efecto de factores ambientales sobre centolla y su relación con Vulnerabilidad de la especie, con potencial desarrollo de su cultivo con fines de repoblamiento o a ciclo cerrado



Efecto de factores ambientales sobre centolla



CICLO DE VIDA



Juvenil



Megalopa

Zoea I



Zoea II

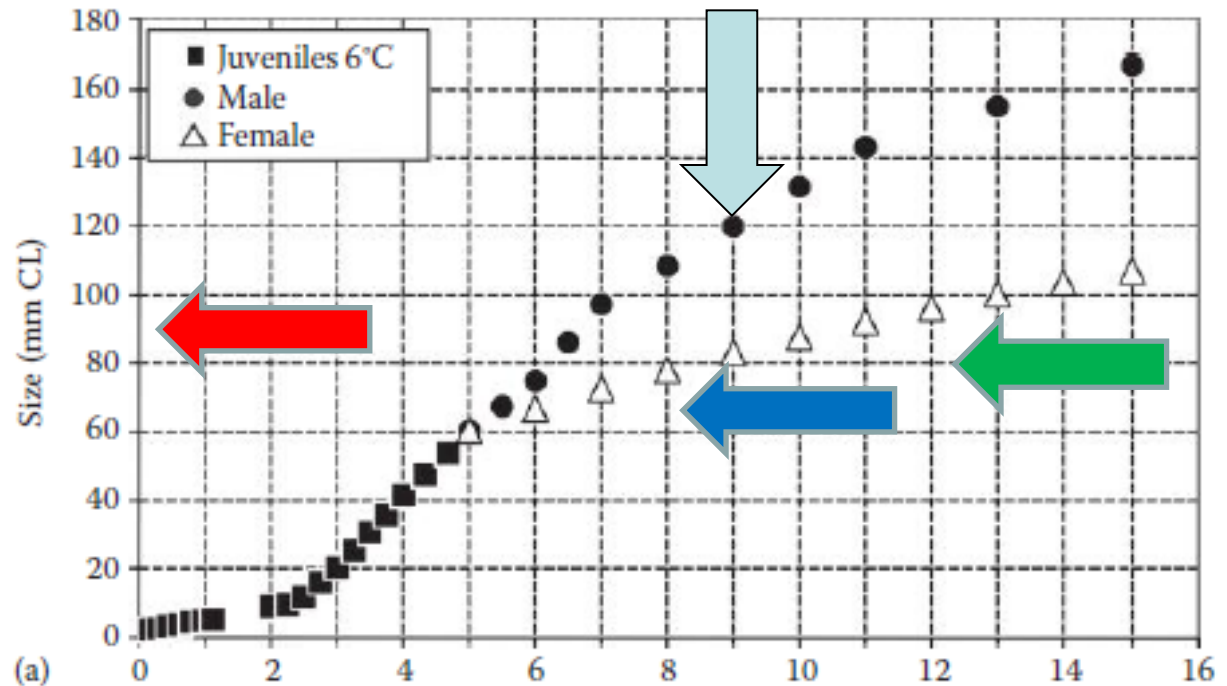


Zoea III



Sizes of Gonadal Maturity for Males and Females, and Sizes of Morphometric and Behavioral Maturity for Males of Lithodid Species That Have Commercial Interest in the SW Atlantic

| Species | Location | Gonadal Maturity | | Morphometric Maturity | Functional Maturity | Legal Size (mm CL) |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|
| | | Females | Males | Males | Males | |
| <i>Lithodes santolla</i> | Beagle Channel | 70.0 (65–75) ⁽¹⁾ | 70.0 ⁽¹⁾ | 92.6 ⁽²⁾ | 90 ⁽³⁾ | 112 ⁽¹¹⁾ |
| | | 71.1 (1981) ⁽⁵⁾ | | 75.4 ⁽³⁾ | | |
| | | 73.9 (1989) ⁽¹⁰⁾ | | 73 ^a | | |
| | | 102.6 (1994) ⁽¹⁰⁾ | | | | |
| <i>L. confundens</i> | Golfo San Jorge | 68.5 ⁽⁴⁾ | 58.0 ⁽⁴⁾ | 70.2 ⁽⁴⁾ | | 110 |
| | N of Straits of Magellan | 68.3 ⁽⁵⁾ | | 87.3–89.8 ⁽⁵⁾ | 85 ⁽⁵⁾ | 100 ⁽⁵⁾ |



Desarrollo embrionario



Inicio mancha ocular (ca 50% desarrollo)

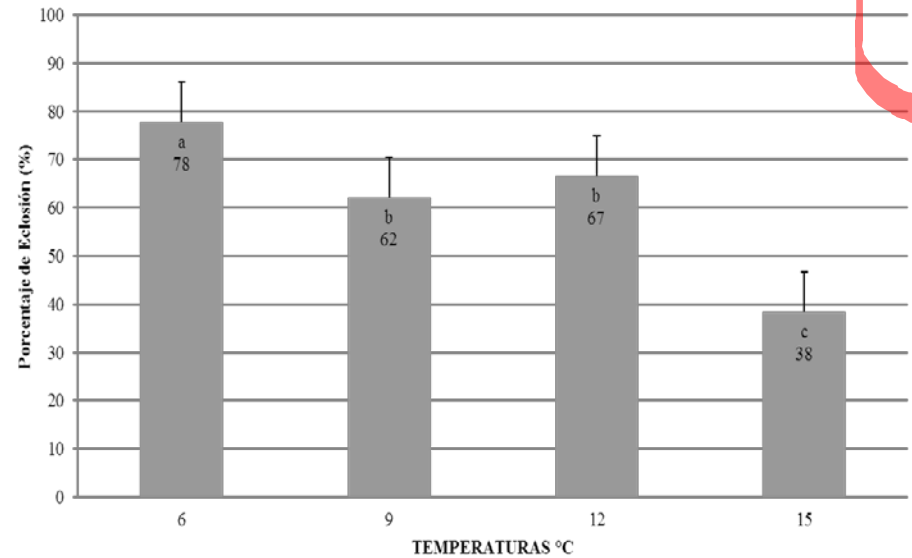
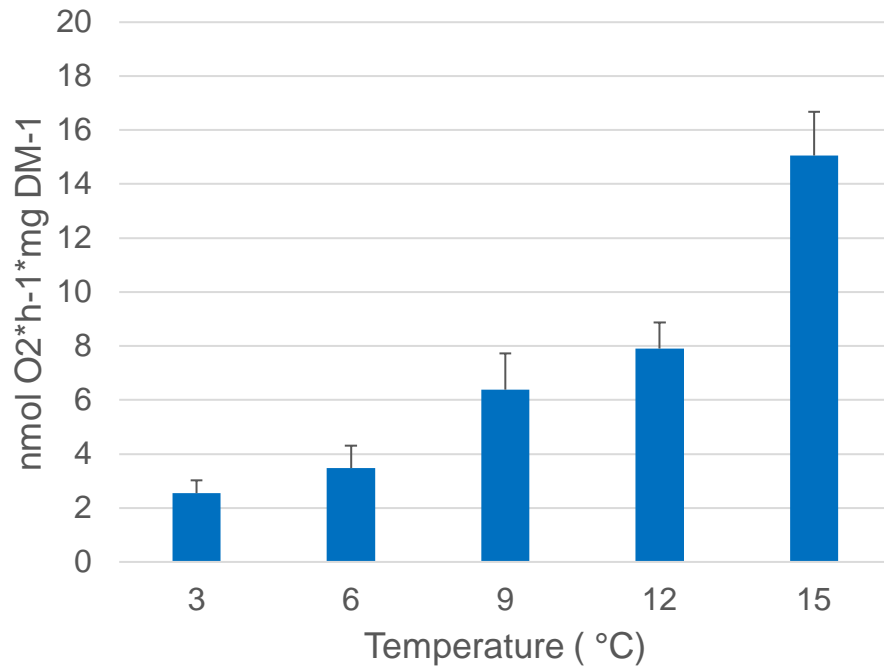
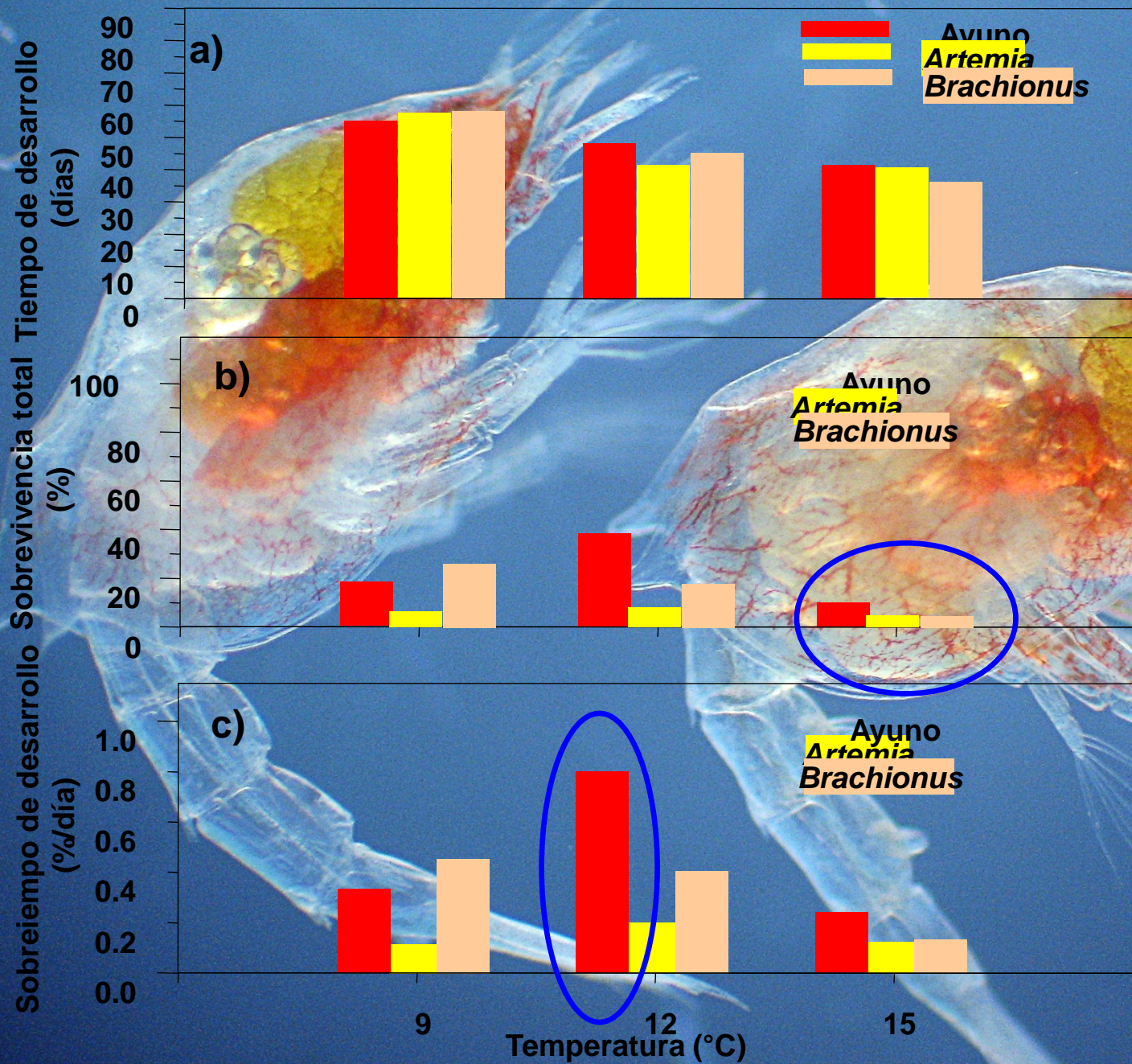


Figura 7. Porcentaje de eclosión de embriones (promedios + desviación estándar, n=5 réplicas por tratamiento) de *L. santolla*, incubados a diferentes temperaturas. Números en barras indican porcentaje de eclosión.



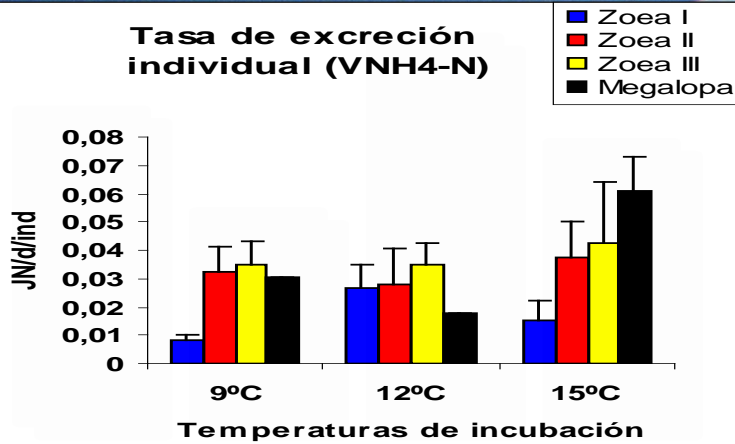
60 larvas cultivo individual / tratamiento

Recambio diario de agua de mar (1 µm filtrada, UV, 30 PSU)

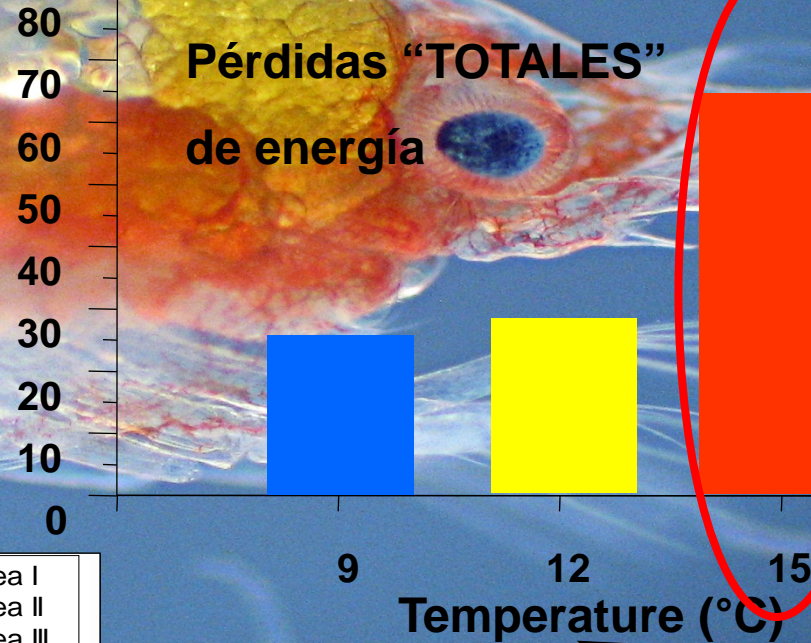


Sin alimentación

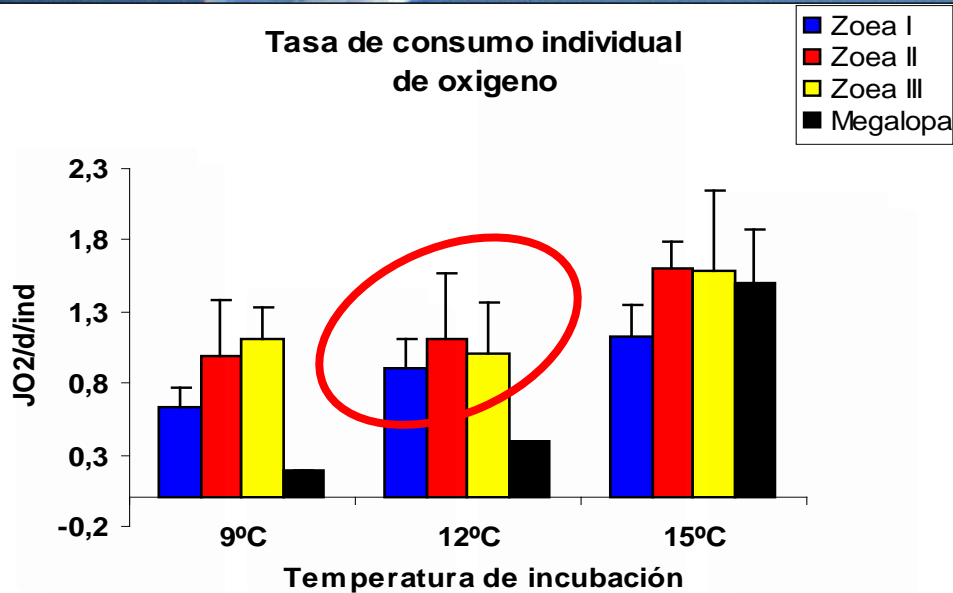
Tasa de excreción individual (VNH4-N)



Energía (J*ind⁻¹)



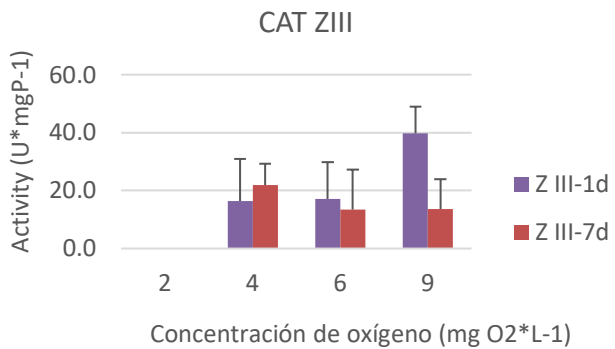
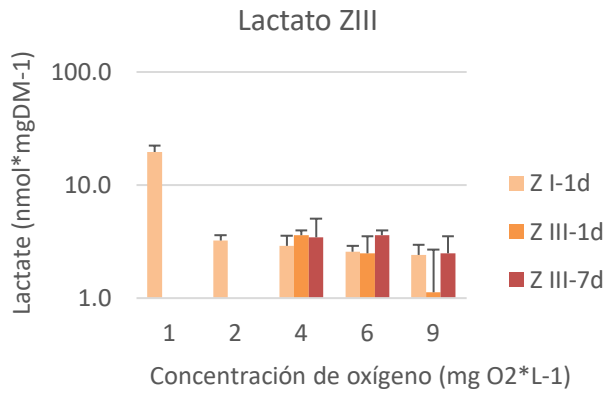
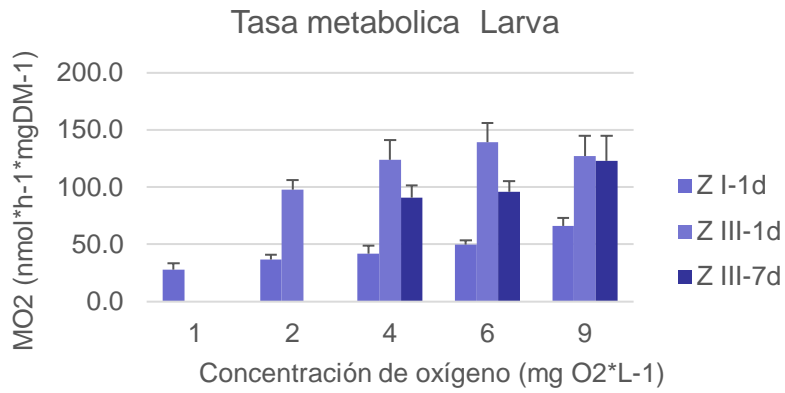
Tasa de consumo individual de oxígeno



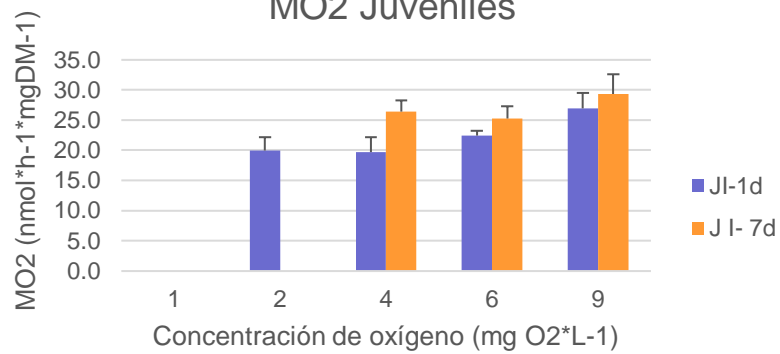
- Tiempo de desarrollo

• más del doble de pérdidas acumuladas a 15°C que a 12 o 9°C

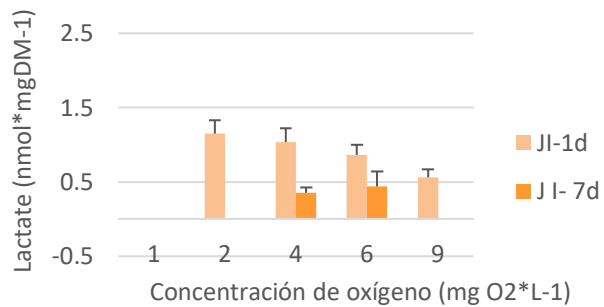
• Aumento en consumo de oxígeno confirma Lecitotrofia



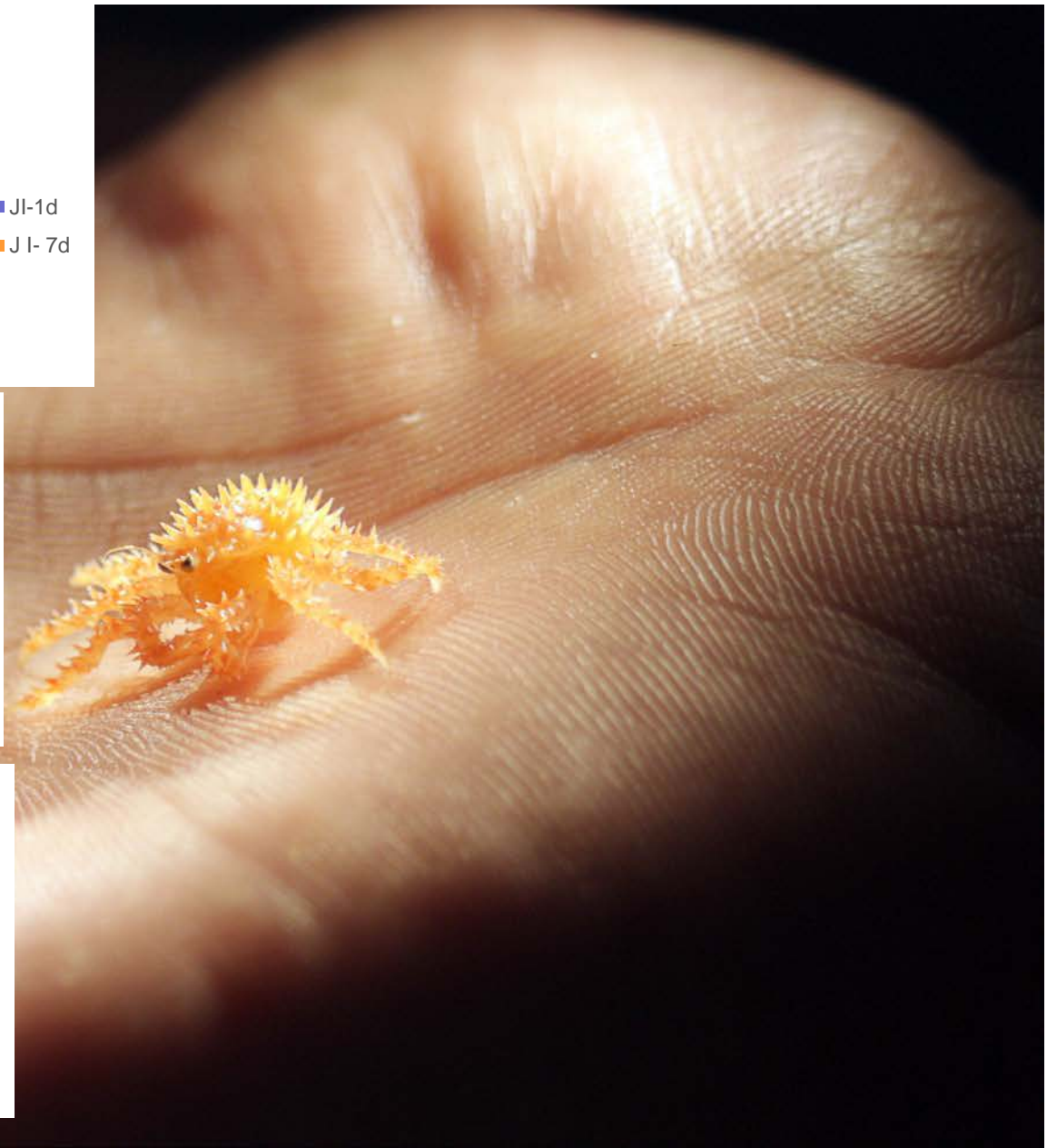
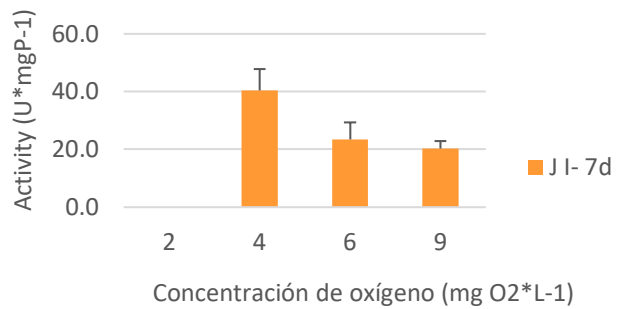
MO2 Juveniles



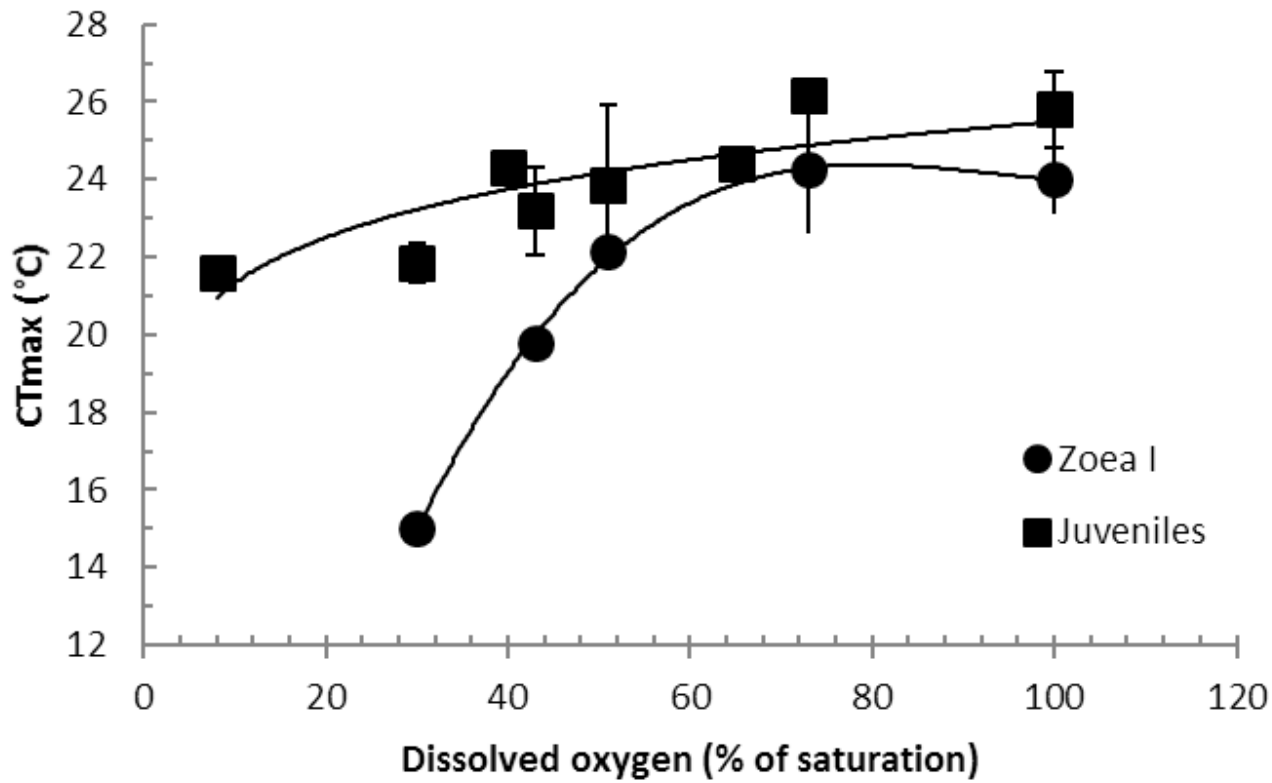
Lactato Juveniles



CAT Juveniles





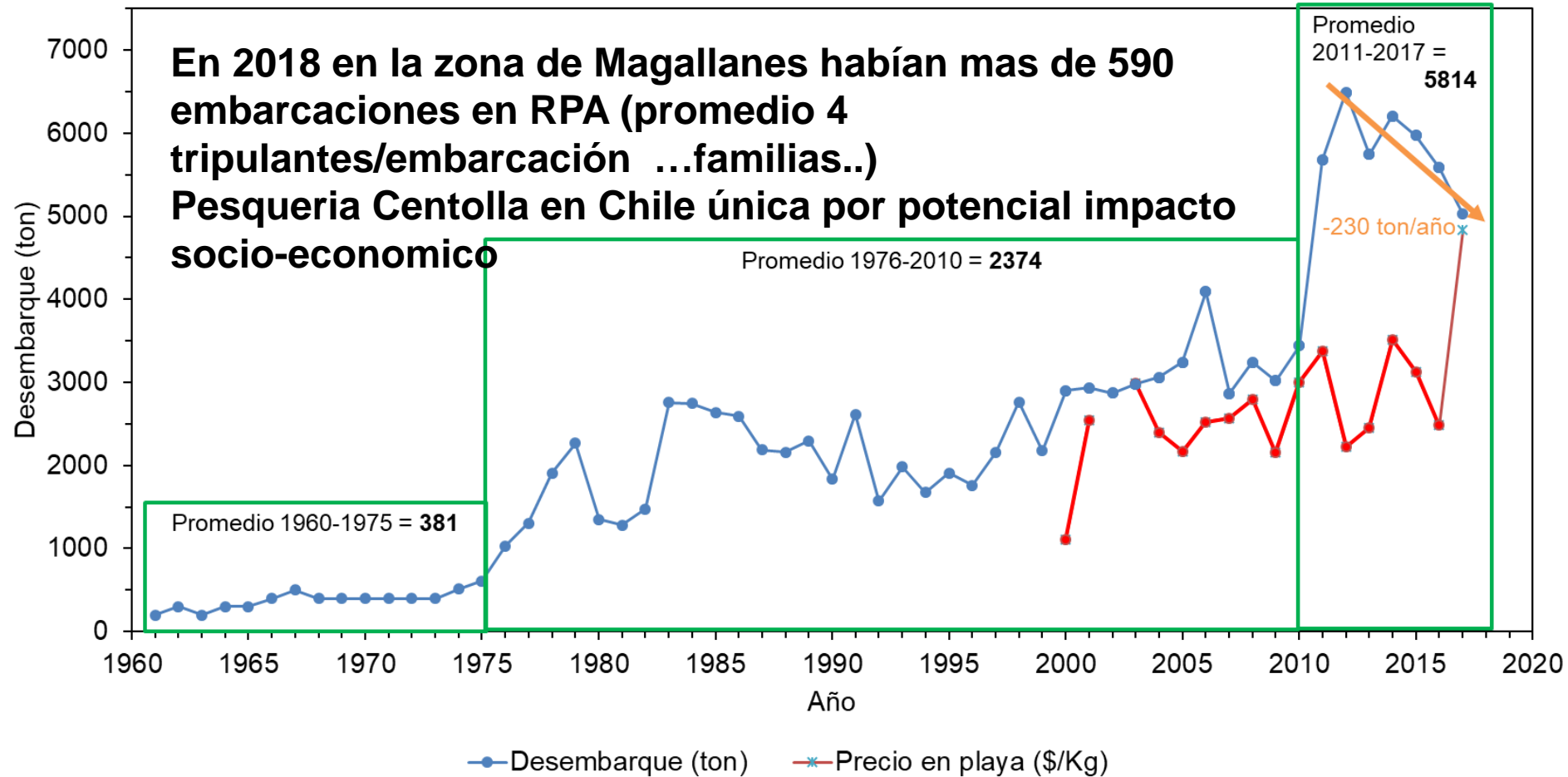


- *Lithodes santolla*. Oxígeno disuelto afecta tolerancia térmica en forma diferencial durante ontogenia



Repoblamiento?

Desembarque Centolla Chile



Estrategia Repoblamiento

Demanda de animales para repoblar

(“n” animales de “X” talla con una periodicidad “Y” durante “Z” meses al año)

Origen de animales para repoblar (Hatchery – “repoblamiento natural” por facilitación (Pueden satisfacer las demandas? O deben complementarse? (otras interrogantes: Oferta de Larvas en el ambiente, hembras ovígeras en ambiente)

PREGUNTAS CLAVE

1. DONDE repoblar
 1. Área de reclutamiento (protegable?)

Actores:

Pescadores,

Industriales,

Gobierno,

Universidad ?

Financiamiento /

Gobernanza

(acuerdos/ mec.

de control?)

Propiedad de

animal?

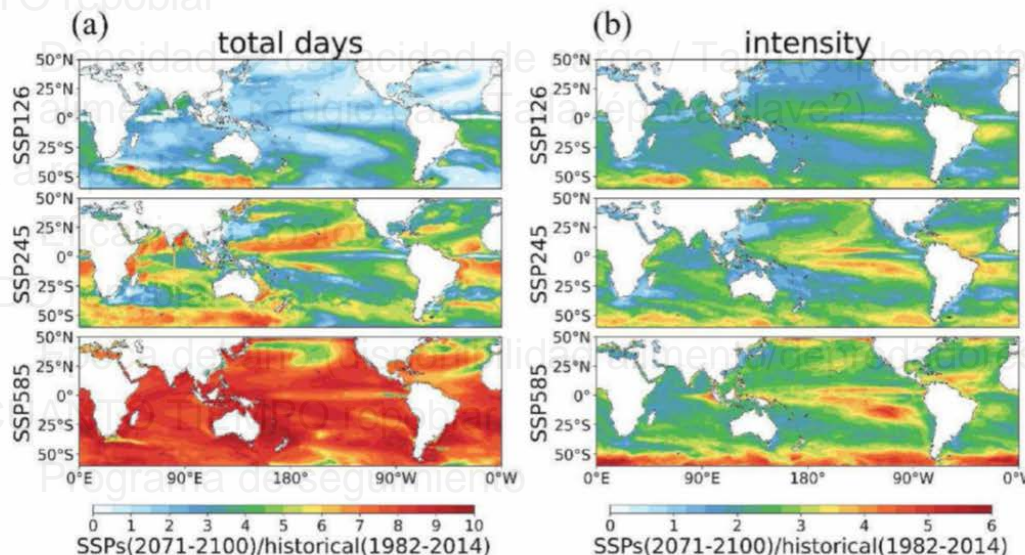
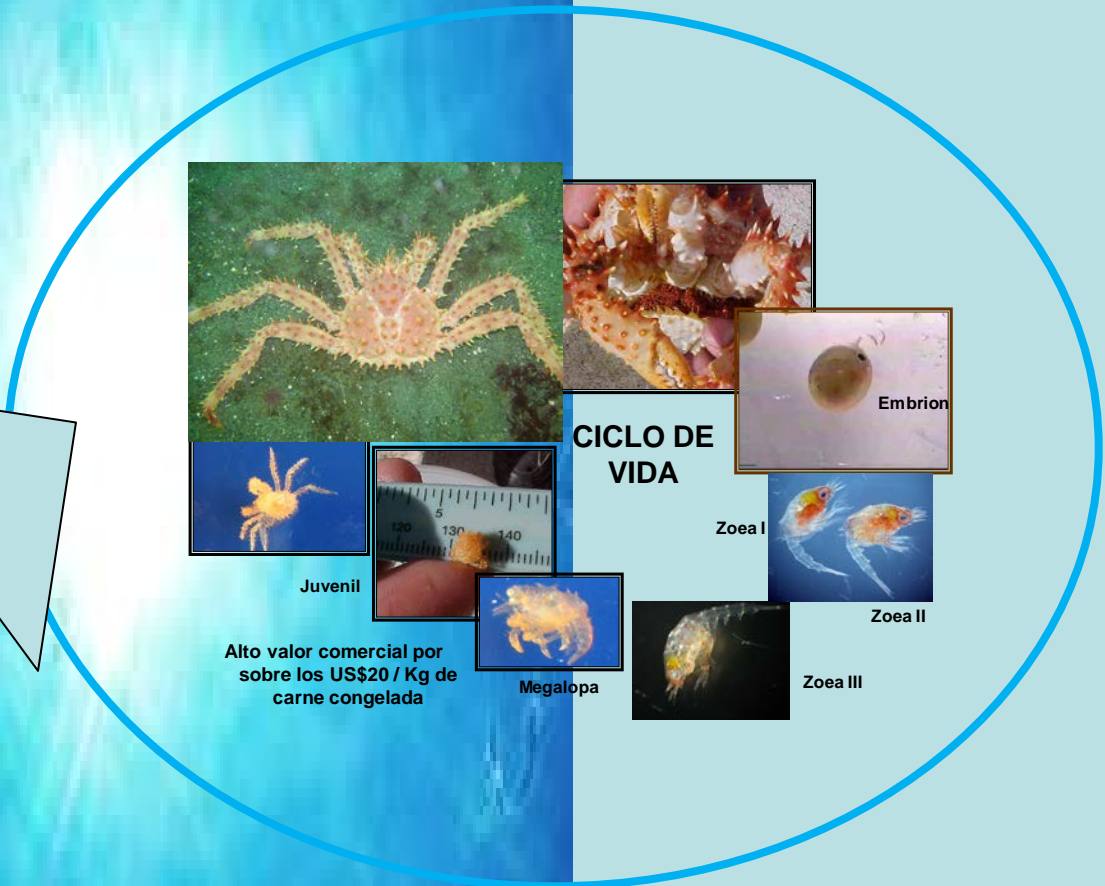


Fig. 5. Spatial distributions of the increased rate (fold) of MHWs at the end of the 21st century (2071–2100) relative to the historical period; (a) total number of days and (b) intensity.



AMBIENTE (MARINO)

CULTIVO CONTROLADO



VARIABILIDAD

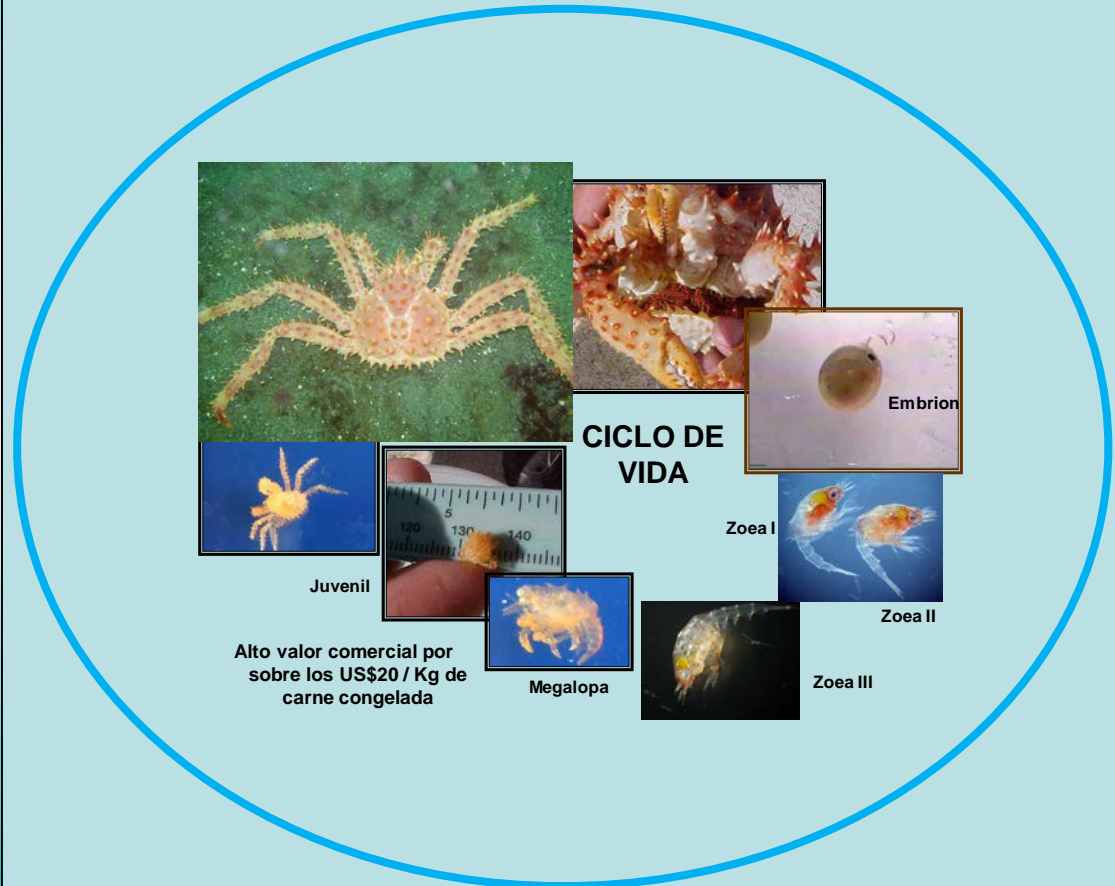
**EFECTO DEL AMBIENTE
(SUBSIDIO Y
VULNERABILIDAD)**

**COSTOS DE PRODUCCION
COMPLEJIDAD
SUSTENTABILIDAD**

MODELO DE CULTIVO



CULTIVO CONTROLADO



Alto valor comercial por sobre los US\$20 / Kg de carne congelada

COSTOS DE PRODUCCION
COMPLEJIDAD
SUSTENTABILIDAD

MODELO DE CULTIVO



- El Estado de la Pesquería de centolla es preocupante. No es evidente un incremento en la producción bajo los actuales escenarios de manejo y tecnología utilizada.
- Al aproximarse a un enfoque ecosistémico de manejo, al menos incluyendo factores ambientales abióticos, tampoco es alentador el escenario.
- Esto especialmente, al considerar que estadios tempranos del desarrollo como embriones, larvas y juveniles, son sensibles a cambios de temperatura, de oxígeno disuelto y especialmente a la combinación de estos factores.
- Estimaciones de Vulnerabilidad de la especie frente al Cambio climático, permitirían aproximarse de mejor forma a una estimación de Vulnerabilidad de la Pesquería. Esta herramienta contribuiría a mejorar la toma de medidas y planificación de su manejo.
- Iniciativas como el Repoblamiento o el Cultivo a Ciclo Cerrado presentan diferentes niveles de desarrollo y requerimientos de información para viabilizar los esfuerzos.
- Sin embargo, el aceleramiento de los cambios ambientales y el incremento de olas de calor y eventos de frío producto del Cambio Climático, incorporan un elemento que debe considerarse en el análisis
- Para el desarrollo del Cultivo a ciclo cerrado, los principales problemas están asociados a reducción de costos en infraestructura y de operación (optimización a mayor escala productiva), así como aspectos de la normativa.
-y las iniciativas mencionadas, llegarán a tiempo.....? De no ser así, una lamentable pérdida de mercado e impactos socio-económicos importantes se vislumbran.

Efecto del Cambio climático en larvas marinas: caso de estudio en crustáceo decápodo

Centolla austral,
Lithodes santolla

Muchas Gracias

Dr. Kurt Paschke

- ¹ Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. kpaschke@uach.cl
- ² Centro FONDAP de Investigación en Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)
- ³ Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Subantárticos (BASE)



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza



IDEAL
Centro de Investigación
Dinámica de Ecosistemas Marinos
de Altas Latitudes