



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Biológicas
Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas

**Efecto de la temperatura de aclimatación en las respuestas
térmicas de juveniles de *Anisotremus scapularis* “chita”
(Tschudi, 1846)**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Bióloga con mención en
Hidrobiología y Pesquería

AUTOR

Candy Lizbeth LEÓN PALOMINO

ASESORES

Guillermo Odilón ÁLVAREZ BÉJAR
Jorge Alfredo FLORES MEGO (Coasesor)

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

León, C. (2016). *Efecto de la temperatura de aclimatación en las respuestas térmicas de juveniles de Anisotremus scapularis "chita" (Tschudi, 1846)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

1401



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGA CON MENCIÓN EN HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA
(MODALIDAD: SUSTENTACIÓN DE TESIS)

12 (o.m.)

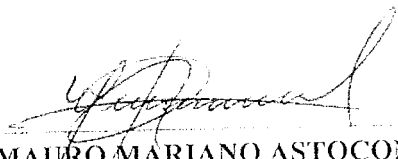
62

Siendo las 11:11 horas del 05 de diciembre de 2016, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Biológicas y en presencia del jurado formado por los profesores que suscriben, se dio inicio a la sesión para optar al Título Profesional de Bióloga con mención en **Hidrobiología y Pesquería** de **CANDY LIZBETH LEÓN PALOMINO**.


Luego de dar lectura y conformidad al expediente N° 023-EAPCB-2016, la titulando expuso su tesis: "EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ACLIMATACIÓN EN LAS RESPUESTAS TÉRMICAS DE JUVENILES DE *Anisotremus scapularis* "chita" (Tschudi, 1846)", y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota 1.9, calificativo: sobresaliente

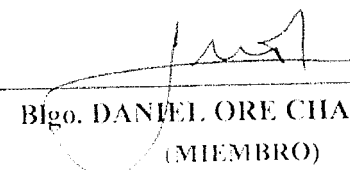
Finalmente, el expediente será enviado a la Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas y al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el Título Profesional de Bióloga con mención en Hidrobiología y Pesquería a **CANDY LIZBETH LEÓN PALOMINO** y se eleve lo actuado al Rectorado para conferir el respectivo título, conforme a ley.
Siendo las 12 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 05 de diciembre de 2016.


Dr. MAURO MARIANO ASTOCONDOR
(PRESIDENTE)


Mg. GUILLERMO ALVAREZ BEJAR
(ASESOR)


Blga. SILVIA AGUILAR LUNA
(MIEMBRO)


Blgo. DANIEL ORE CHAVEZ
(MIEMBRO)

A mi familia.

A ti.

*Nunca dejes de hacer algo por miedo a perder, recuerda que en la felicidad también hay
tristeza y que no es que sea un precio que nos toque pagar, sino que es algo que
tenemos que compensar.*

AGRADECIMIENTOS

Mi cordial agradecimiento al Laboratorio de Ecofisiología Acuática del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y al AIRD por darme la oportunidad de realizar la tesis y haber contribuido a la realización de esta misma.

Al biólogo Mg. Guillermo Álvarez Béjar por su tiempo, asesoramiento y aporte a la tesis. Al Biólogo Jorge Alfredo Flores Mego por su confianza depositada en mi persona, asesoramiento y comprensión durante el desarrollo de la tesis.

Al Mg. Arturo Aguirre Velarde por su comprensión, aporte y ayuda durante todo el proceso del experimento. A los integrantes del Laboratorio de Ecofisiología Acuática (Jhon Dionicio y Maryandrea Rosado) y del Laboratorio de Cultivo de Peces (Melissa, Joel) por el apoyo brindado en el desarrollo experimental de la tesis. A Kathy Córdova, por su apoyo en los experimentos y amistad. Al Sr. Luther y al Sr. Juancito, del IMARPE, por el apoyo técnico con los equipos.

Un especial agradecimiento a mi tío, el biólogo Mg. Jorge León Quispe, por su valioso apoyo durante mis años de estudio y después de estos con sus palabras, consejos y aprendizaje mutuo. Así mismo, un especial agradecimiento al jurado revisor de la tesis por su tiempo brindado, sus aportes y sus correcciones.

A mis profesores de la UNMSM, en especial al Dr. Juan Tarazona y Dra. Noemí Ochoa, quienes con su conocimiento y experiencia contribuyeron a mi formación académica.

A mis amigos de Ciencias Biológicas de la promoción 2008 por acompañarme durante mis años de estudios y hacer de esta etapa una bonita experiencia.

Un especial agradecimiento a mi Familia por brindarme su confianza y a Ti por mucho.

ABREVIATURAS

TPA: Temperatura Preferida Aguda

TPF: Temperatura Preferida Final

TCM_{máx}: Temperatura Crítica Máxima

TCM_{mín}: Temperatura Crítica Mínima

L: Litros

g: gramos

cm: centímetros

ÍNDICE GENERAL

	Página.
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 La temperatura en los ectotermos acuáticos	4
2.2 Comportamiento termoregulatorio y preferencia térmica en ectotermos acuáticos... ..	7
2.3 Tolerancia térmica en ectotermos acuáticos.....	9
2.4 Aclimatación térmica en ectotermos acuáticos.	11
2.5 Preferencia y tolerancia térmica en Perciformes.....	16
2.6 El ecosistema marino peruano y el Cambio Climático.	18
2.7 Recurso Chita: <i>A. scapularis</i> (Tschudi, 1846).....	19
3 OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	22
3.1 Objetivo general:	22
3.2 Objetivos específicos:.....	22
3.3 Hipótesis y variables de la investigación:.....	22
4 MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1 Material biológico.....	23

4.2	Aclimatación a diferentes temperaturas experimentales	23
4.3	Determinación de la Temperatura Preferida Aguda (TPA).....	26
4.4	Determinación de la Temperatura Crítica Máxima (tcmax).	29
4.5	Análisis estadístico	33
5	RESULTADOS.....	34
5.1	Distribución de temperaturas seleccionadas para cada temperatura de aclimatación (TA).....	34
5.2	Temperatura Preferida Aguda (TPA)	36
5.3	Temperatura Crítica Máxima (TCMáx):.....	38
6	DISCUSIÓN	41
7	CONCLUSIONES	47
8	RECOMENDACIONES	48
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
10	ANEXO.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Diseño experimental para la aclimatación a diferentes temperaturas	25
Tabla 2. Dieta balanceada del alimento comercial Otohime.....	25
Tabla 3. Media de los valores de la temperatura de preferencia de los juveniles de <i>Anisotremus scapularis</i> en las diferentes temperaturas de aclimatación.	38
Tabla 4. Tolerancia térmica (TCMáx) de los juveniles de <i>Anisotremus scapularis</i> en las diferentes temperaturas de aclimatación (TA).	40
Tabla 5. Dunn-Test, comparación múltiple de los valores de TCMáx entre las temperaturas de aclimatación.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Página.

Figura 1. Dependencia térmica de la tasa metabólica estándar (standard metabolic rate, SMR) y la tasa metabólica máxima (maximum metabolic rate, MMR) y el alcance aeróbico (aerobic scope).	6
Figura 2. Respuestas térmicas de un organismo ectotérmico (bluegill <i>Lepomis macrochirus</i>) a diferentes temperaturas de aclimatación.....	13
Figura 3. Temperatura preferida aguda de tres especies de peces en función de la temperatura de aclimatación.	15
Figura 4. (a) Juvenil de <i>Anisotremus scapularis</i> “chita” (Tschudi, 1846) y (b) distribución geográfica de <i>Anisotremus scapularis</i>	20
Figura 5. Sistema para la determinación de la temperatura de preferencia.	27
Figura 6. Prueba de Temperatura Crítica Máxima (TCMáx)..	31
Figura 7. Flujograma de la metodología para la determinación de la preferencia y tolerancia térmica de juveniles de <i>Anisotremus scapularis</i>	32
Figura 8. Histogramas de frecuencias absolutas de temperaturas seleccionadas para cada temperatura de aclimatación.....	35
Figura 9. Temperatura de preferencia de juveniles de <i>Anisotremus scapularis</i> a diferentes temperaturas de aclimatación.	37
Figura 10. Temperatura Critica Máxima (TCMáx) de juveniles de <i>Anisotremus scapularis</i> bajo diferentes temperaturas de aclimatación..	39

RESUMEN

En los ectotermos acuáticos, la aclimatación a una nueva temperatura puede afectar las respuestas térmicas de estos organismos, ejerciendo así un rol importante frente al incremento de la temperatura. Por tanto es de interés conocer el efecto de la temperatura aclimatación sobre las respuestas térmicas de estos organismos, en especial de aquellas con importancia comercial, [en un contexto de cambio climático](#). Chita *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846) es una especie comercial que ha despertado interés para la acuicultura en la costa peruana. Sin embargo, las respuestas térmicas de esta especie y el efecto de la temperatura aclimatación sobre estas no ha sido calculada, información que es importante para [definir las la condiciones y optimización de su cultivo](#), así como para el entendimiento de la vulnerabilidad de esta especie frente al Cambio Climático. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura de aclimatación sobre las respuestas térmicas de juveniles de *A. scapularis*. Para ello se desarrollaron sistemas en donde se aclimató a juveniles de *A. scapularis* a tres diferentes temperaturas (14, 17 y 22 °C). La preferencia fue estudiada usando el método de la temperatura preferida aguda (TPA). La tolerancia fue estimada por la temperatura crítica máxima (TCMáx). Los resultados mostraron que para las temperaturas de 14, 17 y 22 °C fueron determinados valores de TPA de 15,7, 17,9 y 20,2 °C y de TCMáx de 29,4, 32,6 y 32,2 °C respectivamente. En base a los resultados se concluye que la temperatura de aclimatación afectó positivamente a las respuestas térmicas de juveniles de *A. scapularis*. El rango térmico óptimo para los procesos fisiológicos en juveniles de *A. scapularis* es de 18.7 ± 2 °C. [La temperatura de máxima tolerancia para esta especie](#), aclimatada en un intervalo de 14 [a](#) 22°C, [es de](#) 32,6°C.

Palabras clave: *Anisotremus scapularis*, Preferencia térmica, Tolerancia térmica, Aclimatación, Acuicultura.

ABSTRAC

In the aquatic ectotherms the acclimation to a new temperature can affect the thermal responses of these organisms, thus exerting an important role in coping to the increase of temperature. Therefore is of interest to know the effect of temperature acclimation on the thermal responses of these organisms, especially those with commercial importance [in a context of Climate Change](#). Chita (*Anisotremus scapularis*, Tschudi, 1846) is a commercial species that has aroused interest for the aquaculture in the Peruvian coast. However, the thermal responses of this species [and](#) the effect of temperature acclimation on these [still](#) have not been [calculated](#), information that is important to define the conditions and optimization of its cultivation, as well as for understanding the vulnerability of this species front to Climate Change. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of the temperature acclimation on the thermal responses of *A. scapularis* juveniles. To this, culture systems were [developed](#); inside these systems were acclimated *A. scapularis* juveniles at three different temperatures (14; 17 y 22 °C). The thermal preference was studied using the method of the acute preferred temperature (APT). The tolerance was estimated by the critical thermal maximum (CTMax). For the temperatures of 14, 17 and 22 °C were determined APT values of 15,7; 17,9 and 20,2 °C and CTMax values of 29,4; 32,6 and 32,2 °C respectively. Based on the results is concluded that the temperature acclimation affected positively both APT as CTMax. The optimal temperature range for the physiological processes in *A. scapularis* juveniles is of $18,7 \pm 2$ °C. The [temperature of maximum tolerance](#) in this species, acclimated between 14 and 22 °C, is 32,6 °C.

Key words: *Anisotremus scapularis*, Thermal preference, Thermal tolerance, Acclimation, Aquaculture.

1 INTRODUCCIÓN

La temperatura del agua es uno de los factores ambientales de mayor importancia en los ectotermos acuáticos (Brett, 1971, Reyes *et al.*, 2011). Esta afecta directamente a todos los procesos metabólicos-fisiológicos de estos organismos influyendo en consecuencia sobre su crecimiento y sobrevivencia (Ficke *et al.*, 2007) así como su abundancia y distribución geográfica (Cussac *et al.*, 2009, Terblanche *et al.*, 2011). [Por tanto, los peces así como otros organismos poiquilotermos-ectotérmicos son los más afectados ante el incremento o disminución de temperatura.](#)

En un ambiente térmico [variable](#) como el marino, los peces emplean un comportamiento termorregulador, el cual consiste en evitar temperaturas letales prefiriendo [un rango estrecho de](#) temperaturas óptimas para los procesos fisiológicos (Reynolds y Casterlin, 1979). Sin embargo, por la interacción de otros factores (bióticos como abióticos) o cuando las condiciones están alteradas los peces se ven expuestos a temperaturas fuera de su rango de preferencia o incluso fuera de su rango de tolerancia en donde las funciones biológicas del organismo se retardan e inhiben respectivamente.

Los peces también pueden alterar los efectos de las variaciones de la temperatura por el proceso de aclimatación termal, esto implica que los procesos fisiológicos en un organismo se ajusten a un cambio de temperatura, pudiendo afectar a las respuestas térmicas de preferencia y tolerancia de estos organismos (Angilletta *et al.*, 2002; Lagerspetz, 2006), esto dependerá de la especie y del hábitat natural de donde provenga (Johnson y Kelsch, 1998).

La determinación experimental de las temperaturas de preferencia y tolerancia para cada temperatura de aclimatación en ectotermos acuáticos se puede realizar mediante las pruebas de Temperatura Preferida Aguda (TPA) y Temperatura Crítica Máxima (TCM_{áx}) respectivamente. La prueba de TPA se basa en el comportamiento termorregulatorio de los peces, [el cual permite](#) obtener un rango térmico óptimo [que](#) está estrechamente relacionado [o](#) al intervalo de temperaturas óptimas para los procesos fisiológicos (Jobling, 1981). Por otro lado la TCM_{áx} es buen indicador de tolerancia térmica, permitiéndonos determinar para cada [temperatura de aclimatación](#) el límite térmico superior del organismo (Velasco, 2014). Así estas respuestas de los ectotermos a la temperatura [de aclimatación](#) pueden ser usadas para inferir su [rango térmico óptimo y sus](#) límites térmicos de tolerancia, [información importante](#) para el adecuado desarrollo de todo organismo.

El cambio climático tendrá un impacto en los ecosistemas marinos, teniendo efectos adversos y diversos alrededor del mundo (Doney *et al.*, 2012). En el Sistema de la Corriente de Humboldt frente a la costa del Perú (SCHP) se espera que el cambio climático incremente la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos tales como El Niño (Gutiérrez *et al.*, 2016), implicando un incremento de la temperatura superficial del mar que podría afectar el desempeño fisiológico de muchas especies propias de este ecosistema. Ante esta situación y siendo la temperatura del agua un factor determinante en el buen desempeño fisiológico de los peces, [se debe prestar especial atención en conocer los](#) [rangos térmicos óptimos y los límites térmicos superiores de tolerancia](#) en peces de la costa peruana, [en especial de aquellos que tienen importancia comercial e interés para la acuicultura](#) [como el lenguado \(*Paralichthys adspersus*\), atún de aleta amarilla \(*Thunnus albacares*\), el barrilete](#)

[\(Katsuwonus pelamis\)](#), la corvina ([Cilus gilberti](#)), cabrilla ([Paralabrax humeralis](#)) y chita ([Anisotremus scapularis](#)) (Mendoza, 2013).

En la costa peruana [Anisotremus scapularis](#) “chita”, cuya distribución es desde Manta (Ecuador) hasta Antofagasta (Chile) (Chirichigno y Vélez, 1998), [es una especie que tiene importancia comercial](#) alcanzando desembarques anuales de hasta 262 TM ([PRODUCE, 2015](#)). [Debido a su demanda en el mercado nacional y a su tolerancia a amplios rangos de temperatura y salinidad en cautiverio esta especie es considerada con potencial](#) para la acuicultura ([PRODUCE, 2009](#); [IMARPE, 2015b](#)). Sin embargo, lo que se conoce de esta es aún limitado a estudios de parasitología (Iannacone y Alvaríño, 2012), [reproducción \(IMARPE, 2015b\) y pesquería \(PRODUCE, 2016\)](#) siendo en la actualidad de gran importancia conocer las respuestas térmicas de juveniles de *A. scapularis* en el contexto de la acuicultura y del cambio climático.

Por tanto, en este trabajo se hizo un estudio del efecto de la temperatura de aclimatación en las respuestas térmicas de juveniles de *A. scapularis*, absolviendo la siguiente pregunta: ¿La temperatura de aclimatación afecta a la preferencia y tolerancia térmica de juveniles de *A. scapularis*? Resolver esta pregunta nos permitirá conocer la estrategia térmica que tiene *A. scapularis* frente a diferentes escenarios térmicos. En adición a esto, este estudio permitirá aproximar el rango térmico óptimo y el límite térmico superior de la especie; información [que](#) contribuirá a definir las condiciones y optimización de su cultivo, permitiendo identificar las zonas de cultivo para mayor rendimiento así como temperaturas de manejo [en laboratorio](#), y que brindará una visión considerable de la vulnerabilidad de esta especie ante un incremento de la temperatura.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 La temperatura en los ectotermos acuáticos

La mayoría de los animales acuáticos son ectotermos, razón por la cual obtienen la mayor parte de su calor del ambiente exterior (Hill, 2007), así la temperatura del agua afecta directamente a todos los procesos metabólicos-fisiológicos de estos organismos influyendo en su crecimiento, reproducción y sobrevivencia (Cussac *et al.*, 2009; Pörtner y Peck, 2010; Reyes *et al.*, 2011) y determinando su abundancia y sus patrones de distribución geográfica (Terblanche *et al.*, 2011).

En los peces y otros ectotermos, el incremento de la temperatura aumenta el metabolismo del organismo generando así una mayor demanda de oxígeno por parte de este (Kumari y Kumar, 2016). Este incremento del metabolismo se evidencia tanto en la tasa metabólica estándar (*Standar metabolic rate*, SMR), medida como el consumo de oxígeno de los animales en reposo, como en la tasa metabólica máxima (*Maximum metabolic rate*, MMR), medida como el consumo de oxígeno en los animales activos. Sin embargo, la tasa metabólica máxima no siempre aumenta con la temperatura y puede estabilizarse o incluso disminuir a altas temperaturas (Verberk *et al.*, 2016), como se muestra en la Figura 1A. La diferencia entre ambas tasas metabólicas (SMR y MMR) es definida como el alcance aeróbico (*Aerobic scope*), y representa la capacidad excedente que tiene un organismo para realizar el metabolismo aeróbico y así la generación de energía que satisfaga las demandas energéticas asociadas con la actividad, alimentación, crecimiento y reproducción, etc. (Verberk *et al.*, 2016) (Figura 1A).

El alcance aeróbico de un organismo ectotérmico es usado como un indicador de su rendimiento (*Performance*) (Figura 1B), el cual se define sobre un rango de temperaturas que describen a la ventana térmica del organismo (Verberk *et al.*, 2016; Pörtner y Peck, 2010). En esta ventana térmica (Figura 1B) se pueden distinguir tres principales componentes: (1) la temperatura óptima (*Topt*), caracterizada por ser la temperatura en donde se obtiene un máximo rendimiento del organismo debido al máximo alcance aeróbico que esta presenta, (2) el rango térmico óptimo, limitado por las temperaturas “*pejus*” (*Tpejus*) que permiten un rendimiento óptimo del organismo sostenible en el tiempo, y al (3) rango de tolerancia térmica, definido por los límites termales críticos (*Tcrit*), los cuales permiten la supervivencia del organismo bajo un tiempo limitado (Pörtner y Peck, 2010; Verberk *et al.* 2016).

Al respecto, temperaturas por arriba o debajo de las *Tpejus* disminuyen el rendimiento del organismo debido a que el alcance aeróbico en estas empieza a declinar como respuesta a la incapacidad de los sistemas de transporte de oxígeno para hacer frente a la mayor demanda de este (Frederich y Pörtner, 2000; Pörtner, 2010). Esto genera que la tolerancia del organismo a estas temperaturas sea limitada en el tiempo por mecanismos bioquímicos de resistencia, como la expresión de proteínas del shock al calor y la expresión de factores de inducción a la hipoxia (Pörtner, 2012). Conforme las temperaturas se acercan a los límites críticos (*Tcrit*) el alcance aeróbico va disminuyendo hasta hacerse mínimo, esto genera la transición de un metabolismo aeróbico a uno anaeróbico en el organismo, lo cual permite una supervivencia limitada por el tiempo a estas temperaturas críticas, desencadenando así en la muerte inmediata del organismo a temperaturas por arriba o debajo de estas, debido al daño a nivel celular y a la desnaturalización de muchas proteínas (Pörtner, 2012).

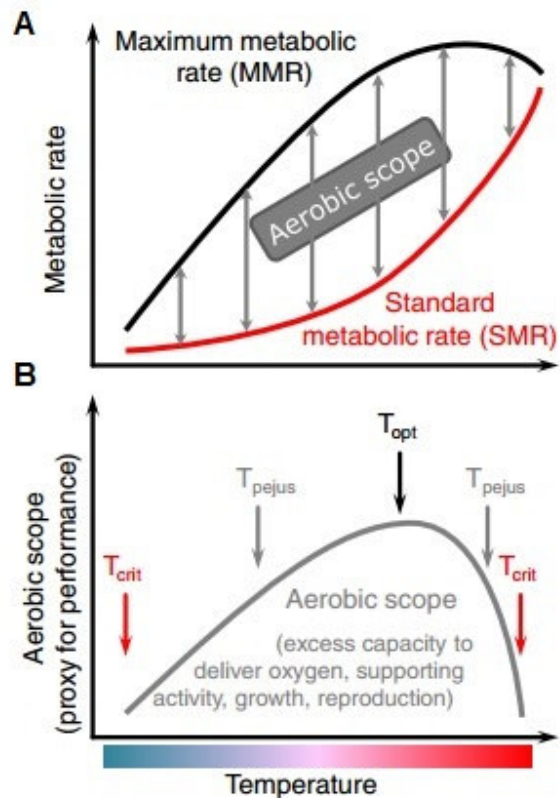


Figura 1. Dependencia térmica de la tasa metabólica estándar (standar metabolic rate, SMR) y la tasa metabólica máxima (maximum metabolic rate, MMR) y el alcance aeróbico (aerobic scope). (A) El alcance aeróbico es maximizado a temperaturas “intermedias” (T_{opt}) debido a la diferente dependencia térmica de SMR y MMR. (B) El alcance aeróbico es usado como un indicador (*proxy*) del rendimiento del organismo (*performance*) ya que este administra la disponibilidad de la energía aeróbica para la actividad, alimentación, crecimiento y reproducción. El alcance aeróbico declina a temperaturas por arriba o debajo de las temperaturas *pejus* (T_{pejus}) y no puede ser mantenido a temperaturas más allá de las críticas (T_{crit}). Fuente: tomada de Verberk *et al.*, 2016

Las características de la ventana térmica de un organismo proporcionan nociones acerca de la ecología de los ectotermos y han sido usadas para cuantificar el nicho térmico de varias especies marinas y de agua dulce (Bennett y Beitinger, 1997; Eme y Bennet, 2009), variando entre las especies y el estado ontogenético de estas (Pörtner y Peck, 2010).

2.2 Comportamiento termorregulatorio y preferencia térmica en ectotermos acuáticos.

Las temperaturas que experimentan los ectotermos acuáticos en un ambiente térmico [variable](#), como el marino, pueden ser óptimas, subóptimas o inadecuadas, teniendo consecuencias directas sobre el desempeño fisiológico y el estado de condición física del organismo (Tracey y Christian, 1986). Para hacer frente a estas variaciones térmicas, los peces, así como otros organismos ectotermos, presentan un comportamiento termorregulatorio, el cual les permite modular activamente la temperatura corporal, evitando temperaturas letales y seleccionando temperaturas óptimas para sus procesos fisiológicos (rango térmico óptimo), minimizando así los efectos adversos de la temperatura (Reiser *et al.*, 2014).

Los estudios del comportamiento termorregulatorio proporcionan información sobre la interacción del ambiente térmico con la respuesta fisiológica del organismo (Anguilleta *et al.*, 2002; Wallman y Bennett, 2006). Estos estudios son realizados a nivel de laboratorio y nos permiten determinar la temperatura óptima para el rendimiento máximo del organismo, también llamada temperatura preferida final (Jobling, 1981). Fry (1947) definió a esta última en dos formas; como (1) “una temperatura alrededor de la cual todos los individuos se congregarán a la larga, sin importar su historial térmico” y como (2) “una temperatura a la cual la temperatura preferida es igual a la

temperatura de aclimatación”. A partir de esta definición bipartita se han desarrollado dos métodos experimentales para su determinación: siendo el método gravitacional (Temperatura Preferida Gravitacional) y el agudo (Temperatura Preferida Aguda) usados para la primera y segunda definición respectivamente.

En el método gravitacional, los peces son expuestos a un gradiente térmico por un periodo de tiempo extendido de 48h comúnmente, seleccionando así su temperatura óptima (Reynolds y Casterlin, 1979). En cambio en el método alternativo los grupos de peces, aclimatados a diferentes temperaturas, son expuestos al gradiente térmico por un periodo de tiempo corto de 2 a 3h aproximadamente, con el objetivo de determinar la preferencia térmica para cada temperatura de aclimatación (Jobling *et al.*, 1981; Reyes *et al.*, 2011), tal y como se observa en la Figura 2. Así en este último método una relación puede ser encontrada entre la temperatura de aclimatación y la preferencia térmica, que al ser intersecada por una línea de igualdad (45°) nos permitirá conocer gráficamente la temperatura óptima de la especie (Figura 2). Al respecto, Jobling (1981) propone que la temperatura preferida final (temperatura óptima) de los peces se representa mejor como una zona (rango térmico óptimo) (Figura 2), ya que los peces se desplazan seleccionando temperaturas dentro de un rango en lugar de un valor específico.

Hasta el momento, ambas metodologías se han usado para investigar la preferencia térmica de moluscos, crustáceos y peces (Diaz *et al.*, 2000; Lewis y Ayers, 2014; Rodríguez *et al.*, 2014), siendo esta considerada un criterio de selección para los sitios de cultivos de especies potenciales en acuicultura (McCauley y Casselman, 1981). Al respecto, la selección o preferencia térmica es una respuesta característica de cada especie, del mismo modo está asociado a aspectos tales como la edad, la

disponibilidad de alimento, la estacionalidad, la competencia inter o intraespecífica, la calidad del agua y la intensidad luminosa (Giattina y Garton, 1982; Díaz *et al.*, 2007).

2.3 Tolerancia térmica en ectotermos acuáticos.

Temperaturas superiores a los límites óptimos de un organismo ectotermo incrementan la tasa metabólica y como consecuencia su tasa de consumo de oxígeno, si las necesidades energéticas y de oxígeno no son cubiertas por el organismo esto puede influir negativamente en sus procesos fisiológicos causando una gran variedad de trastornos fisiopatológicos, que pueden conducir a la muerte del organismo si la temperatura a la que se expone está fuera de su rango de tolerancia térmica (Gordon, 2005; Dalvi *et al.*, 2009). En base a esto, se define a la tolerancia térmica como la temperatura corporal máxima o mínima que un animal puede mantener para sobrevivir (Willmer *et al.*, 2000), ya sea una tolerancia a largo o corto plazo (Pörtner y Peck, 2010), permitiéndole hacer frente a las variaciones espaciales y temporales de este factor en su ambiente (Fry *et al.*, 1946).

La determinación experimental de los límites de tolerancia térmica, de un ectotermo acuático, es una práctica común en el campo de la termobiología. Esto es motivado no solo por nuestro interés en el entendimiento de la fisiología, sino también por la necesidad actual de manejar los efectos biológicos de diferentes fenómenos térmicos, tales como el Cambio Climático, El Niño, La Niña, etc. (Mora y Maya, 2006). En este sentido el estudio de la tolerancia térmica es el primer paso para el entendimiento de la vulnerabilidad de estas especies frente al cambio climático, dependiendo principalmente de su límite térmico superior, el cual es desconocido para muchos ectotermos acuáticos (Vinagre *et al.*, 2013).

La tolerancia térmica de un ectotermo acuático es comúnmente cuantificada a través de dos métodos experimentales diferentes, el método estático y el método dinámico (Mora y Maya, 2006). El primero determina la temperatura letal incipiente superior (TLIS) e inferior (TLII) como la temperatura que causa el 50% de la mortalidad, debido a una exposición sostenida de temperatura constante; mientras que el segundo, a través de un incremento dinámico de la temperatura a una tasa constante, determina la temperatura crítica máxima (TCM_{máx}) y mínima (TCM_{mín}) como la temperatura promedio a la cual los individuos alcanzan su punto crítico, siendo los espasmos musculares y la pérdida de equilibrio sus indicadores mayormente empleados en peces (Lutterschmidt y Hutchison, 1997), puntos cercanos a la muerte del organismo. Richard *et al.* (2012) también considera como método dinámico a aquellas pruebas en donde también se realiza una disminución o incremento de la temperatura pero hasta que el 50% de los individuos en el experimento hayan muerto (TL₅₀).

El método dinámico, a través de la TCM_{máx}, ha sido en los últimos veinte años ampliamente usado en peces, ya que es de fácil uso, requiere pocos animales experimentales y proporciona datos rápidos (Lutterschmidt y Hutchison, 1997). El problema de usar este método es la tasa con la cual la temperatura va cambiando en el experimento (Mora y Maya, 2006). Así previos estudios han sugerido tasas de calentamiento desde 0,3 °C/min (Becker y Genoway, 1979) a 1 °C/min (Lutterschmidt y Hutchison, 1997), argumentando que son lo suficientemente rápidas para evitar los efectos de la aclimatación y lo suficientemente lentas para evitar un retraso entre la temperatura corporal del pez y la temperatura del agua. Sin embargo, esta tasa también dependerá del tamaño corporal de la especie, por ello la tasa de 1 °C/min es sugerida en individuos con un peso menor o igual a 165 g.

Al respecto, la TCM_{máx} ha sido considerada como el parámetro más útil para llevar a cabo estudios comparativos en ectotermos acuáticos (Lutterschmidt y Hutchison, 1997; Bilyk y DeVries, 2011), siendo la más adecuada para identificar la sensibilidad de diferentes especies ante incrementos de la temperatura (Huey *et al.*, 2009; Somero 2010).

2.4 Aclimatación térmica en ectotermos acuáticos.

La aclimatación hace referencia al cambio de un estado fisiológico estable a otro estado diferente fisiológico estable en respuesta a cambios de las variables ambientales bajo condiciones controladas, este término suele confundirse con la aclimatización, el cual es equivalente pero se da en respuesta a periodos de cambios de larga duración y generalmente en el ambiente natural (Peck *et al.*, 2014). En este contexto, la aclimatación térmica en especies ectotérmicas influye en la variación de rasgos morfológicos, procesos bioquímicos, procesos fisiológicos y respuestas conductuales como la tolerancia térmica, preferencia térmica y el desempeño locomotor de manera reversible (Angilletta *et al.*, 2002; Lagerspetz, 2006).

En un ambiente cambiante, como el acuático, la capacidad de los ectotermos para aclimatarse a la temperatura les confiere la ventaja de sobrevivir en un ambiente donde la temperatura de la columna de agua fluctúa a lo largo del día y durante la época del año (Hutchison, 1976). Crawshaw (1977), Reynolds y Casterlin (1979), refieren que la aclimatación en condiciones controladas, para organismos acuáticos, puede lograrse al exponer a un organismo a una temperatura constante, usualmente durante un periodo de dos semanas para la aclimatación a temperaturas altas y más de 20 días para la aclimatación a temperaturas bajas.

Para conocer las respuestas térmicas de preferencia y tolerancia a través de la termosensibilidad de los ectotermos acuáticos se realizaron estudios que se enfocaban en un principio en la valoración de estas respuestas individualmente, sin considerar una aclimatación previa. Tan pronto como la importancia de la aclimatación entró en auge, las investigaciones comenzaron a estudiar estas respuestas térmicas bajo múltiples temperaturas de aclimatación. Así Fry (1947) y sus colegas utilizaron estas respuestas a la aclimatación para crear polígonos térmicos.

De esto, y con el objetivo de evidenciar las respuestas térmicas, el polígono térmico es una representación gráfica del nicho térmico de un organismo, y ha sido utilizado para identificar las estrategias de supervivencia relacionadas con la temperatura, cuantificar el nicho térmico de especies en peligro y determinar los óptimos térmicos para su cultivo. De esta forma las respuestas térmicas en peces con relación a una temperatura de aclimatación, están divididas en resistencia, tolerancia y preferencia como se ilustra en la Figura 2 (Reynolds y Casterlin, 1979).

En peces, la influencia de la aclimatación suele tener un efecto positivo en la tolerancia térmica (Rajaguru y Ramachandran, 2001; Lagerspetz y Vainio, 2006). Esta influencia nos permite determinar los límites térmicos de una especie, definiendo así una zona de tolerancia (Eme y Bennett, 2009), que coincide con el polígono térmico de la especie (Figura 2), brindando información importante en la fisiología y ecología de ectotermos acuáticos. Por ejemplo, especies euritérmicas muestran un área mayor del polígono, mientras especies estenotermas presentan un área menor (Beitinger y Bennett, 2000; Beitinger *et al.*, 2000).

Al respecto los primeros trabajos (Fry, 1947) determinaban los límites térmicos en base al método estático, restringiendo al método dinámico para la determinación de la

resistencia térmica. Sin embargo el método estático es demandante por lo que a partir de los 1950s ya no ha sido usado ampliamente, siendo remplazado por el método dinámico. Así Bennett y Beitinger (1997) usaron los límites térmicos basados en el método dinámico para construir el primer polígono limitado por las temperaturas críticas máximas y mínimas, siendo usado hasta la actualidad.

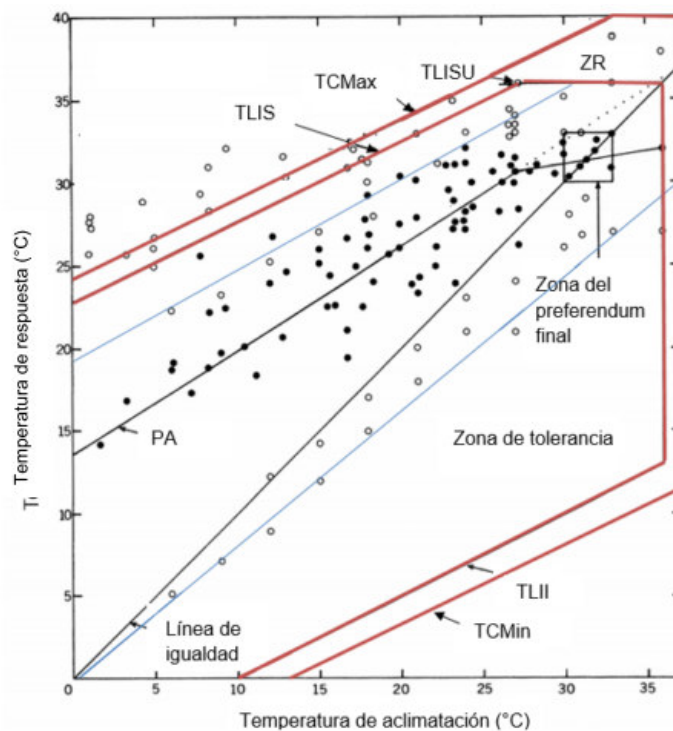


Figura 2. Respuestas térmicas de un organismo ectotérmico (bluegill *Lepomis macrochirus*) a diferentes temperaturas de aclimatación. Temperatura Crítica: Máxima (TCMáx) y Mínima (TCMín); Temperatura Letal Incipiente: Superior (TLIS); Inferior (TLII); Temperatura Letal Incipiente Superior Última (TLISU); Temperatura Preferida Aguda (●); Temperatura de Evitación (○); relación de la Temperatura Preferida Aguda y la temperatura de aclimatación (descrita por PA); línea de igualdad (45°, LI); zona de resistencia (ZR). Fuente: tomado de Reynolds y Casterlin, 1979

Con respecto a la preferencia termal, los peces se caracterizan por presentar una variedad de relaciones entre la temperatura de preferencia y la de aclimatación, estas pueden ser categorizadas en tres en base a si son funciones positivas, independientes o negativas de la aclimatación. Así Chery *et al.* (1975) demostraron que varios peces de un río de Virginia (Estados unidos), entre ellos el bluegill *Lepomis macrochirus*, exhiben temperaturas preferidas que incrementan en función de la temperatura de aclimatación (Figura3); describiendo así una relación claramente adaptativa a la exposición a nuevas temperaturas. A su vez relaciones no adaptativas existen para el chum salmon *Oncorhynchus keta* (Brett, 1952) y el guppy *Poecilia reticulata* (Zahn, 1962). Chum salmon y algunos otros salmones del pacífico prefieren aproximadamente una sola temperatura (Figura 3), mientras que los guppies prefieren temperaturas que disminuyen en función de la temperatura de aclimatación (Figura 3). Así, los salmones parecen no tener ajustes de preferencia de temperatura, y los guppies aparentan tener un ajuste inverso.

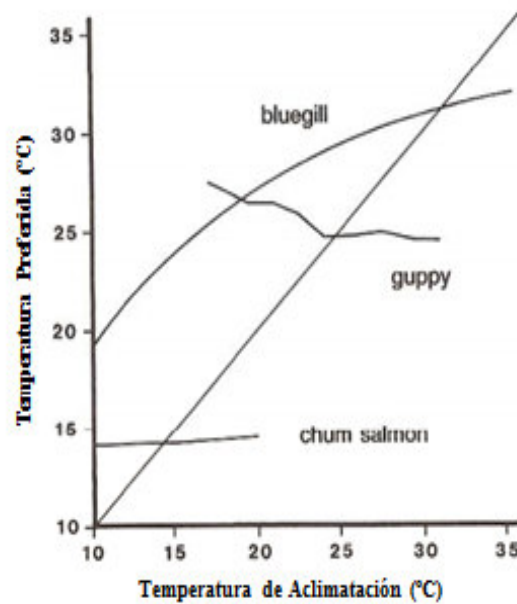


Figura 3. Temperatura preferida aguda de tres especies de peces en función de la temperatura de aclimatación. Datos: bluegill, Cherry *et al.* (1975); guppy, Zahn (1962); chum salmon, Brett (1952). Fuente: tomado de Kelsch y Neill, 1990

En general se ha considerado que especies que experimentan ciclos térmicos largos y de alta amplitud anual, típico de climas templados, exhibirían un efecto positivo de la temperatura de aclimatación sobre la preferencia térmica, mientras que aquellas especies que experimenten fluctuaciones térmicas cortas y de baja amplitud anual, típico de climas tropicales, exhibirían un efecto nulo (o en algunos casos negativo) (Johnson y Kelsch, 1998; Lagerspetz y Vainio, 2006). Kelsch y Neill (1990) mencionan que esta relación no adaptativa, función inversa a la aclimatación, es el resultado primario de ajustes metabólicos cuantitativos a la temperatura y podría haber evolucionado coincidentemente con la selección para mecanismos de adaptación a esta. Por ende estas posibles relaciones de preferencia y tolerancia dependerán de la especie y del hábitat del que provengan.

2.5 Preferencia y tolerancia térmica en Perciformes.

Las pruebas de preferencia y termotolerancia nacen de la problemática de conocer el efecto de las descargas de agua de las plantas termoeléctricas sobre la resistencia térmica y la fisiología de organismos acuáticos (Gift, 1977; McCauley, 1977; Tsuchida, 1995; Rajaguru, 2002). En la actualidad, en el ámbito de la acuicultura y del cambio climático se han incrementado los trabajos en relación a estas respuestas térmicas en varias especies de peces del orden Perciformes, en especial aquellas de importancia comercial (Rajaguru y Ramachandran, 2001; Sánchez, 2006; Eme y Bennett, 2009; Eme et. al., 2011; Larios, 2014; Rodríguez, 2014).

Preferencia térmica

Así Larios (2014) evaluó la preferencia térmica en juveniles de *Lutjanus guttatus*, en Baja California (México), a diferentes temperaturas de aclimatación (20, 23, 26, 29, 32 y 35°C), los resultados indicaron que el comportamiento termorregulador de esta especie es característico de especies tropicales, donde se observó una independencia entre la temperatura preferida aguda y la temperatura de aclimatación, estableciéndose un rango de preferencia térmica de 26,8°C hasta los 30°C, siendo 29 ± 1 °C su temperatura óptima para los procesos fisiológicos de juveniles de esta especie. A través de estos procesos de orientación térmica en estos juveniles Larios (2014) señala que fue posible hacer una distinción entre la temperatura preferida aguda y la temperatura de aclimatación, determinando así que las necesidades fisiológicas y metabólicas del organismo ocasionaron en la preferencia el incremento o disminución de la condición térmica a la que habían sido aclimatados.

Así mismo, Sánchez (2006) estudió la termorregulación en juveniles de lobina *Micropterus salmoides* en Baja California (México), donde los juveniles fueron

expuestos a diferentes temperaturas de aclimatación (20, 23, 26, 29 y 32 °C), determinando que la influencia de esta no fue significativa sobre la temperatura preferida aguda en los juveniles de la lobina ($P > 0,05$), obteniéndose valores desde 27,2 a 30,2 °C, con una temperatura óptima de $29 \pm 0,80$ °C. La misma tendencia ha sido reportada por Rodríguez (2014) en los juveniles del jurel cola amarilla *Seriola lalandi* en Baja California (México) aclimatados a 22, 25 y 28 °C, obteniéndose un rango de preferencia térmica entre 24 y 26,2°C, con una temperatura óptima de 26 °C.

Tolerancia térmica

Con respecto a la tolerancia termal, Eme y Bennett (2009), Eme *et al.* (2011), Larios (2014) y Rodríguez (2014) estudiaron la tolerancia al calentamiento a través de la temperatura crítica máxima (TCM_{max}). Al respecto Larios (2014) evaluó la temperatura crítica máxima a una tasa de 1°C/min en juveniles de *Lutjanus guttatus* (Baja California, México) a diferentes temperaturas de aclimatación (20, 23, 26, 29, 32 y 35°C), obteniéndose valores desde 35,94 a 40,98 °C, determinándose que estos valores están fuertemente influenciados por la temperatura de aclimatación y el historial térmico de la especie ($P < 0,001$). Similares respuestas fueron obtenidas en *Bathygobius sp.*, *Bathygobius fuscus*, *Dascylus aruanus* y *Apogon novemfasciatus* por Eme y Bennett (2009), obteniéndose con una tasa de calentamiento de 0,3 °C min⁻¹, para las 2 primeras especies, temperaturas críticas máximas de 39 a 43 °C y de 35 a 41 °C para las dos siguientes. A su vez Rodríguez (2014) determinó con una tasa de calentamiento de 0,85 °C.min⁻¹, un aumento en la TCM_{max} con respecto al incremento en la temperatura de aclimatación de 22 a 25 °C, observándose una clara ganancia de 1,1 °C en la tolerancia térmica (de 35,8 a 36,9 °C) de los jureles cola amarilla *Seriola lalandi* (Baja California, México).

2.6 El ecosistema marino peruano y el Cambio Climático.

El mar peruano es heterogéneo por la confluencia de dos corrientes marinas de características distintas: la Corriente Peruana o de Humboldt, de aguas frías y que se desplaza de sur a norte; lo cual establece que la costa sea de clima templado y no tropical, y la Corriente de El Niño, de aguas cálidas y que ejerce su influencia permanentemente en la costa norte del país y temporalmente más hacia el sur. Así estas corrientes determinan cuatro zonas marinas frente a la costa: El mar frío o templado de la Corriente Peruana, El mar tropical, La zona oceánica y La zona de transición, entre el mar frío y el mar tropical frente a las costas de Piura y Lambayeque (SENAMHI, 2009). Estas características hacen que el mar peruano sea uno de los ecosistemas más biodiversos y productivos del mundo, con 750 especies de peces, identificadas hasta el momento, aproximadamente (Hidalgo, 2002).

Frente a las preocupaciones actuales sobre los escenarios de cambio climático en los ecosistemas marinos, el conocimiento de la tolerancia térmica en la fauna marina es el primer paso para la comprensión de cuán vulnerables son las especies. Sin embargo, no sólo hay una gran diversidad de respuestas sino también el calentamiento tiende a variar regionalmente (Rivadeneira y Fernández, 2005), por lo que hay una necesidad de hacer estudios regionales y poblacionales (McFarlane *et al.*, 2000). La mayoría de los estudios realizados se han centrado en las regiones tropicales quizá no sólo porque los modelos sugieren que los impactos serán severos en los trópicos (Tewksbury *et al.*, 2008), sino también porque las predicciones para las regiones templadas son las más difíciles de hacer debido a la diversidad de patrones de historia de vida, la complejidad de las relaciones tróficas, variabilidad del hábitat y la sobrepesca (IPCC, 1997; Roessig *et al.*, 2004).

En el Sistema de la Corriente de Humboldt frente a la costa del Perú (Corriente Peruana) se espera que el cambio climático incremente la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos tales como El Niño (Gutiérrez *et al.*, 2016), implicando un incremento de la temperatura superficial del mar el cual podría afectar la supervivencia de muchas especies propias de este ecosistema (Richard *et al.* 2012). Ante esta situación y siendo la temperatura del agua un factor determinante en el buen desempeño fisiológico de los peces se debe prestar especial atención en conocer los límites térmicos superiores de tolerancia e intervalos óptimos de temperatura en peces de la costa peruana, en especial de aquellos que tienen importancia comercial e interés para la acuicultura. Sin embargo, hasta la actualidad no se conoce ningún trabajo relacionado al tema, siendo necesaria esta información para la comprensión de los efectos biológicos de la temperatura sobre el desempeño fisiológico de estas especies.

2.7 Recurso chita: *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846).

La chita o sargo *A. scapularis* (Haemulidae), perteneciente al orden Perciforme, es una de las seis especies del género registrada para el Perú (Chirichigno y Cornejo, 2001) y se encuentra ampliamente distribuida desde Manta (Ecuador) hasta Antofagasta (Chile), incluyendo Islas Coco y Galápagos (Chirichigno y Vélez, 1998) (Figura 4), siendo así representativa del pacífico sur (Edgar *et al.*, 2004). Esta especie habita en zonas rocosas entre los 3-30 metros de profundidad, pero con mayor ocurrencia entre los 3-12 metros (Humann y Deloach, 1993), presentan un cuerpo robusto, comprimido y con un perfil pronunciado y se alimentan de invertebrados y de materia orgánica flotante (Grove y Lavenberg, 1997).

Los ejemplares juveniles generalmente se encuentran en las pozas intermareales formando cardúmenes, mientras que los adultos son solitarios y bento-pelágicos de

fondos arenosos (Kong y Castro, 2002), alcanzando tallas de hasta 40 cm en machos (Allen y Robertson, 1994) y 896 g de peso (Medina *et al.*, 2004).

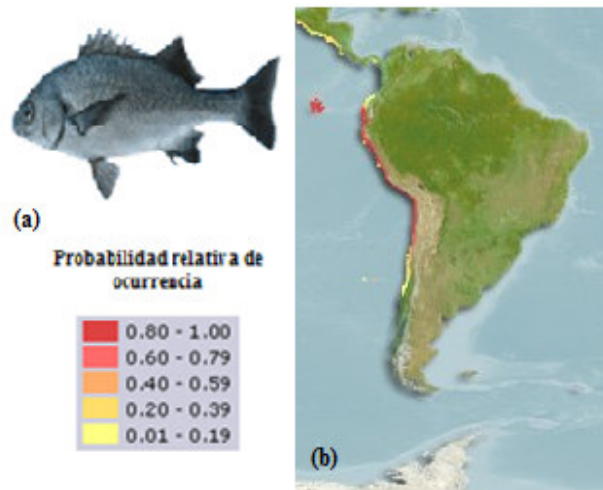


Figura 4. (a) Juvenil de *Anisotremus scapularis* “chita” (Tschudi, 1846) y (b) distribución geográfica de *Anisotremus scapularis*. Fuente: tomado de Fishbase, 2015.

Así mismo, *A. scapularis* se caracteriza por ser una especie de importancia comercial para la pesquería artesanal del Perú, con una talla mínima de captura de 24 cm (PRODUCE, 2016) y alcanzando desembarques anuales de hasta 262 TM (PRODUCE, 2015). Debido a su demanda (con altos precios) en el mercado nacional, chita ha sido considerada como una especie prioritaria dentro del Plan Nacional de Desarrollo Acuícola (PRODUCE, 2009; IMARPE, 2015b), lo cual ha generado la investigación e innovación de técnicas para su cultivo. Así en el 2013, el Laboratorio de Cultivo de Peces del Centro de Investigaciones Acuícolas Alexander Von Humboldt del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) dio inicio a las investigaciones de esta especie con la captura de ejemplares silvestres para su acondicionamiento al cautiverio, como resultado de esto en el 2014 se obtuvieron los primeros desoves naturales de chita en

laboratorio, esto permitió seguir realizando investigaciones con respecto al desarrollo ontogenético de la especie (IMARPE, 2015b). Otros estudios en chita se han centrado en conocer su distribución y taxonomía (Chirichigno y Vélez, 1998), la descripción de algunas de sus especies parasitarias (Iannacone y Alvariño, 2012), información de sus desembarques pesqueros (PRODUCE, 2015) e información de la talla mínima de captura (PRODUCE, 2016).

Los puntos de gran importancia para la producción de una especie, con interés para la acuicultura, son el mayor crecimiento de la especie en su fase juvenil y una mayor supervivencia de esta. Para ello es necesario conocer la temperatura óptima de rendimiento de la especie y los límites térmicos críticos de esta, respuestas térmicas que adquieren también especial importancia en un escenario de cambio climático. En lo que respecta a las respuestas térmicas para la familia Haemulidae, solo se conoce el trabajo realizado por Deacon y Hecht (1996), donde determinaron un valor de 24,5°C como la temperatura óptima para juveniles de *Pomadasys commersonnii* en África del sur. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con estudios en relación a estos puntos (temperatura óptima y límites térmicos críticos) para *A. scapularis*, siendo necesario en primera instancia realizar investigaciones de la fisiología térmica en individuos juveniles de esta especie, ya que es en esta etapa donde la mayoría de los procesos fisiológicos están orientados al crecimiento.

Al respecto, conocer el efecto de la temperatura de aclimatación en las repuestas térmicas de preferencia y tolerancia de juveniles de *A. scapularis* nos permitirá determinar su temperatura óptima (temperatura preferida final) y su límite térmico superior (TC_{máx}), lo cual contribuirá al desarrollo de su cultivo en la costa peruana, así como a conocer cuán vulnerable es esta al incremento de la temperatura.

3 OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de la temperatura de aclimatación en las respuestas térmicas de juveniles de *Anisotremus scapularis* "chita".

3.2 Objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la temperatura de aclimatación (14, 17 y 22°C) sobre la preferencia térmica de los juveniles de *A. scapularis* "chita".
- Determinar el efecto de la temperatura de aclimatación (14, 17 y 22°C) en la tolerancia térmica de los juveniles de *A. scapularis* "chita".

3.3 Hipótesis y variables de la investigación:

Hipótesis nula:

- La temperatura de aclimatación no afecta las respuestas térmicas de los juveniles [de](#) *A. scapularis* "chita".

Hipótesis alternativa:

- La temperatura de aclimatación afecta las respuestas térmicas de los juveniles [de](#) *A. scapularis* "chita".

Variables independientes: Temperatura de aclimatación (14, 17 y 22°C).

Variables dependientes: Temperatura Preferida Aguda (bajo un tiempo de aclimatación de 3 meses) y Temperatura Crítica Máxima (TCM_{ax}) (bajo un tiempo de aclimatación de 7 meses).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material biológico

Ejemplares juveniles de *A. scapularis* “chita” (99 individuos), obtenidos bajo condiciones controladas (como se explica en la sección 4.1.1), del Laboratorio de Cultivos Marinos de IMARPE, Lima.

Origen de “chita” *Anisotremus scapularis*.

Juveniles de *A. scapularis* (99 individuos) con un peso promedio de 2.69 ± 0.12 g y una longitud total promedio de 5.60 ± 0.09 cm (prom. \pm ds) provenientes de un desove natural en cautiverio realizado en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) fueron trasladados al Laboratorio de Ecofisiología Acuática (IMARPE) para la aclimatación a diferentes temperaturas y la posterior realización de las pruebas de preferencia y tolerancia térmica.

4.2 Aclimatación a diferentes temperaturas experimentales

a) Diseño experimental:

Una vez en las instalaciones del Laboratorio de Ecofisiología Acuática, los peces fueron distribuidos equitativamente en tres tanques de 2000 L cada uno (33 individuos - población experimental para cada tanque). Partiendo de una temperatura de 17°C en todos los tanques, se disminuyó, mantuvo y aumentó (según sea conveniente) la temperatura con una bomba de calor a una tasa de $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{día}^{-1}$ hasta llegar a las temperaturas de aclimatación de 14, 17 y 22 °C (tres tratamientos) respectivamente (Tabla 1), las cuales fueron mantenidas

por 90 días previo a la determinación de la preferencia y por 210 días previo a la determinación de la tolerancia térmica.

b) Condiciones experimentales:

Durante la aclimatación los peces fueron mantenidos con aireación y temperatura de agua de mar constante (según la temperatura de aclimatación para cada tanque). La concentración de oxígeno y la temperatura del agua se registraron con un multiparámetro (Hatch), manteniendo una concentración de oxígeno disuelto en todos los tanques superior al 80% de saturación. El fotoperiodo fue de 10 h luz – 14 h oscuridad. La alimentación fue realizada dos veces al día (8h y 14h) *ad libitum* con alimento comercial balanceado de marca Otohime: pellets extruídos del tamaño de 2 mm y 48% de proteína (ver composición de la dieta Tabla 2). El alimento residual y heces fueron removidos diariamente mediante sifoneo. Así mismo, se realizó un recambio diario de agua del 30% en cada tanque. La calidad del agua en los tanques fue mantenida por filtros mecánicos y biológicos asociados al sistema de recirculación de cada tanque. Previo a las pruebas, los peces estuvieron en ayuno por 24 h para evitar la interferencia debido al efecto termogénico postprandial es decir la acción dinámica específica asociada al consumo de alimento (Reyes *et al.* 2011, Rodríguez 2014). La temperatura elegida para cada tratamiento fue en base a la distribución geográfica de *A. scapularis* en la costa peruana.

Tabla 1. Diseño experimental para la aclimatación a diferentes temperaturas por 90 días para la preferencia y 210 días para tolerancia térmica.

Temp. (°C)	Densidad (peces)	Volumen del tanque (L).	Fotoperiodo (h) Luz/Osc.	Alimento	Tratamiento
14	33	2000	12:12	Otohime	1
17	33	2000	12:12	Otohime	2
22	33	2000	12:12	Otohime	3

- El diseño experimental corresponde a un diseño factorial de 3x1x1x1x1

Tabla 2. Dieta balanceada del alimento comercial Otohime.

Composición	Porcentaje (%)
Proteína (%Mín)	48
Lípidos (%Mín)	14,5
Fibra (%Máx)	2
Ceniza (%Máx)	14
Calcio (%Mín)	2,2
Fósforo (%Mín)	1,7
Humedad (%Máx)	6,5

4.3 Determinación de la Temperatura Preferida Aguda (TPA).

a) Diseño experimental.

La unidad experimental estuvo conformada por un sistema de gradiente térmico horizontal con un grupo de cuatro peces provenientes de cada temperatura de aclimatación de 14, 17 y 22 °C, con 5 réplicas para cada temperatura (Figura 5). Se utilizó 4 peces juveniles en un gradiente térmico horizontal ya que cada celda de este gradiente tiene una longitud de 20 cm y la variación de temperatura entre celda y celda fue de 1,5 °C aproximadamente, razón por la cual si se usa un mayor número de individuos la variación de preferencia térmica sería mayor, no por la respuesta de su preferencia, sino por el espacio necesario para el desplazamiento de la especie.

b) Condiciones experimentales.

Un grupo de 4 peces, de similar tamaño, extraído de cada temperatura de aclimatación fue anestesiado en un balde con 10 litros de agua de mar con triclaína MS-222 (0,108 g·l⁻¹) para disminuir el estrés y facilitar el manejo de la especie. Una vez que los organismos perdieron el equilibrio, inmediatamente fueron colocados en el gradiente térmico en la celda que tuvo la misma temperatura de aclimatación del tanque del que provienen. El experimento tuvo una duración de 3 horas (luego de 1 hora de acondicionamiento previa en el gradiente), tiempo durante el cual cada 10 minutos se registró la posición de los peces, así como la temperatura de cada celda. La posición de los peces fue registrada mediante toma fotográfica con la ayuda de una cámara digital HD (HALION) de 12 mpx conectada

a una computadora, la cual fue ubicada junto al observador detrás de una cortina azul (Figura 5), con el objetivo de evitar que los organismos se estresen. El peso y la talla de los peces utilizados para la prueba fueron registrados con una balanza digital y un ictiómetro después de cada experimento.

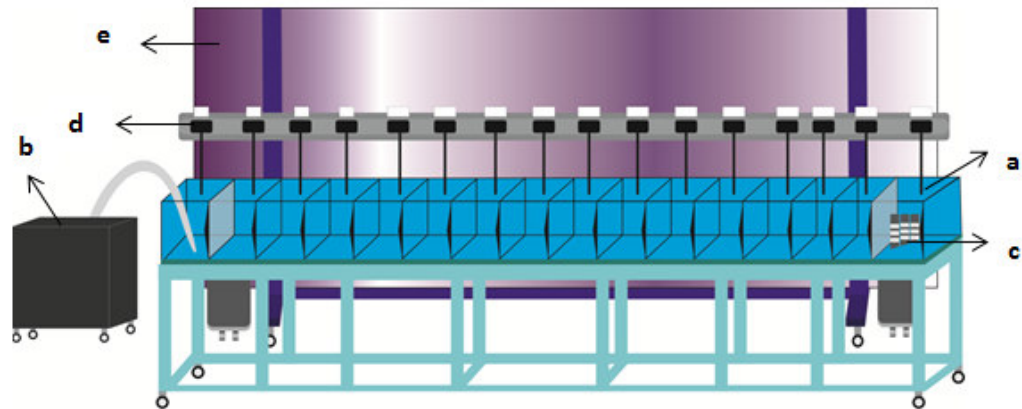


Figura 5. Sistema para la determinación de la temperatura de preferencia. La figura representa un gradiente horizontal de temperaturas. Canal horizontal de acrílico (a), equipo enfriador (b), calentadores de titanio (c), termómetros digitales (d) y cortina (e).

c) Formación del gradiente horizontal de temperatura.

Para los estudios de preferencia térmica, se usó un sistema diseñado y construido para simular gradientes de temperatura (Bückle et al., 2003), el cual consta de un canal de acrílico horizontal de 3.58 m de largo, 0.27 m de altura y 0.29 m de ancho. Para formar el gradiente térmico horizontal (Figura 5), en un extremo se colocó tres calentadores de titanio de 800 watts cada uno y en el extremo opuesto un enfriador de fabricación nacional de 1/3HP de potencia, con un sistema de enfriamiento de condensador mediante ventilador centrífuga y

evaporador con serpentín de cobre (3/8). En el fondo se colocó una manguera de aireación instalada horizontalmente a lo largo de todo el canal para suministrar el aire y evitar la formación de estratos térmicos. El canal fue dividido en 14 celdas, en el centro de cada celda, de 20 cm de longitud, se colocó un sensor de temperatura conectado a un termómetro digital, el cual registró los valores de temperatura de cada celda. Para fijar el intervalo térmico del gradiente se tomó en cuenta las temperaturas del intervalo de distribución de la especie, pero ampliando el gradiente desde los 9 °C hasta los 29 °C, con el objetivo de darle libertad a los peces de explorar temperaturas más bajas y altas.

d) Determinación de la Temperatura Preferida Agua (TPA) y la Temperatura Preferida Final (TPF).

La preferencia termal para cada temperatura de aclimatación es definida como una medida de tendencia central (moda, mediana o media aritmética) dentro de las dos primeras horas que los animales han sido introducidos al gradiente térmico (Reynolds and Casterlin, 1979). Sin embargo, investigaciones como la de Diaz et al. (2002) y la de Rodríguez (2014) han usado un tiempo de prueba de dos horas y media y tres horas respectivamente. Para el caso de *A. scapularis*, la TPA fue calculada como la mediana de las temperaturas seleccionadas por los 4 peces dentro de las tres primeras horas en las que fueron introducidos al gradiente, este cálculo fue realizado para cada réplica de la temperatura de aclimatación. Por otra parte la TPF fue calculada al intersecar la relación de la TPA y la temperatura de aclimatación con la línea de igualdad (Fry, 1947, Jobling, 1981).

4.4 Determinación de la Temperatura Crítica Máxima (TCM_{áx}).

Transcurrido un período de 210 días de aclimatación se procedió a estudiar la tolerancia térmica de los juveniles de *A. scapularis* por el método de incremento dinámico de la temperatura (Temperatura Crítica Máxima).

a) Diseño experimental.

Mi unidad experimental fue un individuo juvenil de *A. scapularis*, aclimatado a una temperatura de 14, 17 y 22°C (tratamientos) en un acuario de 54 litros, con 11 réplicas para cada tratamiento.

b) Condiciones experimentales.

Para determinar la TCM_{áx} se usó un sistema de incremento dinámico de la temperatura (Figura 6), el cual consta de un acuario (30cm x 70cm x 30cm) con 50 litros de agua de mar y cinco calentadores (dos de titanio de 800 watts y tres de 150 watts) sujetos a una piedra difusora para asegurar un calentamiento homogéneo y un suministro continuo de oxígeno. El experimento se realizó con un organismo a la vez, el cual fue previamente anestesiado con triclaína (para evitar el estrés por manejo) y una vez que la pérdida de equilibrio fue alcanzada este fue colocado dentro del acuario a la misma temperatura a la que fue aclimatado, en este acuario se instaló una tapa de acrílico para evitar cualquier intento de escape por parte de los peces.

c) Determinación de la TCM_{máx}.

Una vez puesto el organismo en el acuario (Figura 6) se le brindó 15 minutos para su acondicionamiento al sistema, luego de este tiempo se realizó el seguimiento de la respuesta del individuo a las diferentes exposiciones de temperatura, la cual fue medida hacienda haciendo uso de un multiparámetro (Hach). Así la TCM_{máx} fue determinada por el incremento gradual de la temperatura, a una tasa de calentamiento constante de $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, hasta que un punto final fue alcanzado. Lutterschmidt y Hutchison, 1997 señalan al punto final como la temperatura crítica en donde se observa la pérdida de equilibrio o a la aparición de los espasmos musculares de un organismo. En pruebas previas realizadas al experimento se observó la respuesta de cada individuo a la misma tasa de calentamiento y se concluyó que la pérdida de equilibrio es posterior a los espasmos musculares para esta especie, considerándose así como TCM_{máx} a la temperatura a la cual pierden el equilibrio. Esta se caracterizó por la pérdida de la coordinación de la natación recta y empezar a moverse en una posición inclinada. Luego de alcanzada esta temperatura se procedió a evaluar la supervivencia de los organismos durante 24h en un sistema de recuperación suspendido dentro del tanque de aclimatación.

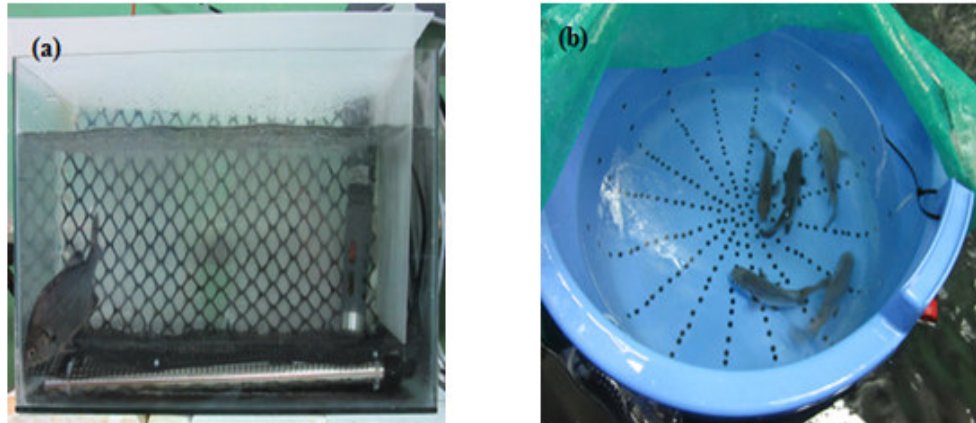


Figura 6. Prueba de Temperatura Crítica Máxima (TCMáx). Sistema de incremento dinámico de la temperatura (a). Sistema de recuperación para evaluar la supervivencia de los juveniles de *Anisotremus scapularis* durante 24h (b).

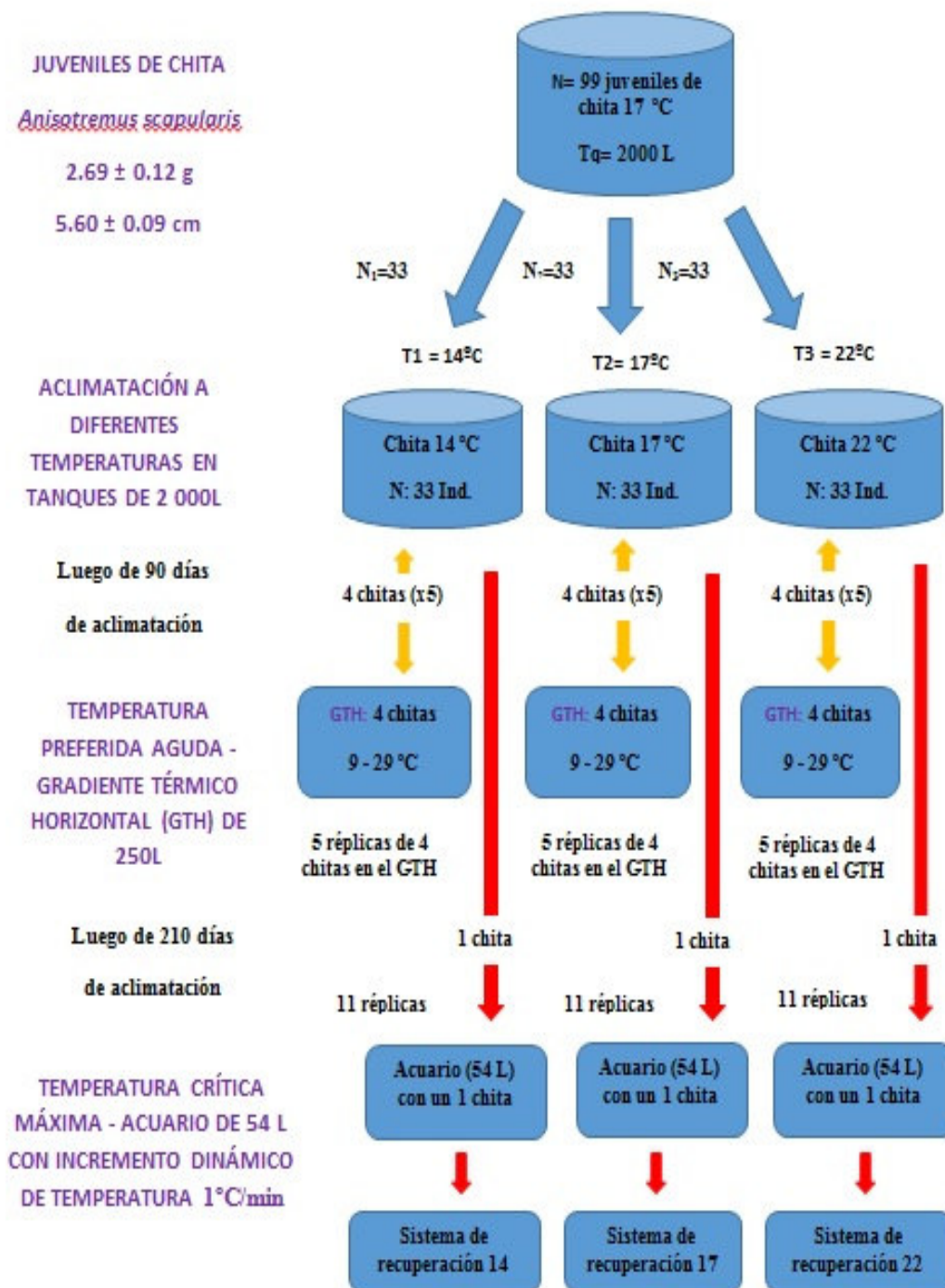


Figura 7. Flujo de la metodología para la determinación de la preferencia y tolerancia térmica de juveniles de *Anisotremus scapularis*

4.5 Análisis estadístico

Con los registros obtenidos de selección térmica en las pruebas de Temperatura Preferida Aguda (TPA) se calculó la temperatura de preferencia como la mediana de la distribución de los datos de cada réplica. Una vez conocido los valores de temperatura de preferencia, estos fueron graficados para cada temperatura de aclimatación y representados como Media \pm DS (distribución estándar). Finalmente, a estos valores se les realizó un análisis de regresión lineal y no lineal con el objetivo de determinar el mejor modelo que explique la relación entre ambas variables, permitiéndonos conocer si la temperatura de aclimatación afectó a la temperatura de preferencia y determinar el intervalo térmico donde se encuentra la temperatura preferida final o temperatura óptima de rendimiento de la especie.

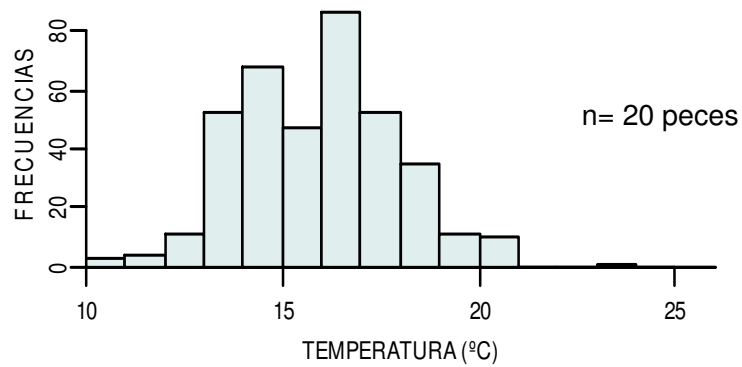
Para el caso de la tolerancia térmica, los valores de Temperatura Crítica Máxima (TCM_{máx}) para cada temperatura de aclimatación fueron representados en cajas de paralelo (Box plot). Para conocer si la temperatura de aclimatación afectó a la TCM_{máx} de juveniles de *A. scapularis* "chita" se realizó un análisis de Kruskal-Wallis, debido a que los tratamientos no presentaron homogeneidad de varianzas (medida a través del *test* de Barlett) aunque si distribución normal (medida a través del *test* de Shaphiro-wilk). Finalmente para evidenciar los grupos con diferencias significativas se realizó una prueba post-hoc de comparación múltiple (Dunn-Test). Los datos fueron procesados con el programa estadístico R (versión 3.2.1) y a un nivel de significancia del 95% ($\alpha = 0.05$).

5 RESULTADOS

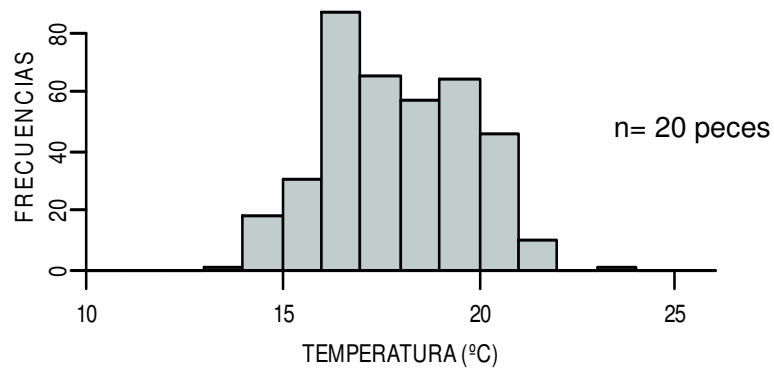
5.1 Distribución de temperaturas seleccionadas para cada temperatura de aclimatación (TA).

Los valores de temperaturas seleccionadas para las 5 réplicas en cada temperatura de aclimatación son mostrados en la Figura 8. En la distribución de temperaturas seleccionadas por los peces se puede evidenciar que temperaturas entre 13-18 °C, 16-20 °C y 19-22 °C son las más frecuentes para los organismos aclimatados a 14, 17 y 22 °C respectivamente, siendo la distribución de temperaturas seleccionadas por los organismos aclimatados a 17 °C la más estable (Figura 8).

TEMPERATURA DE ACLIMATACIÓN 14°C



TEMPERATURA DE ACLIMATACIÓN 17°C



TEMPERATURA DE ACLIMATACIÓN 22°C

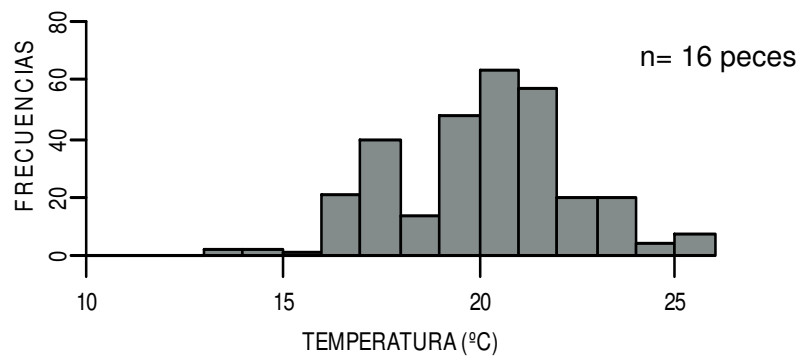


Figura 8. Histogramas de frecuencias absolutas de temperaturas seleccionadas para cada temperatura de aclimatación.

5.2 Temperatura Preferida Aguda (TPA)

Dentro del gradiente térmico se evidenció en los peces un notable comportamiento termorregulador. Durante el periodo de acondicionamiento (1h) los organismos nadaron en ambos extremos del gradiente. Sin embargo, después de este y hasta el final del ensayo los organismos se mantuvieron dentro de un intervalo térmico, el cual nos permitió determinar la temperatura de preferencia para cada grupo de juveniles de *A. scapularis* aclimatados a una temperatura respectiva. Con estos valores se pudo determinar que el modelo lineal, de la forma $y = 0,5612 x + 8,0449$, es el mejor modelo que explica la relación entre ambas variables con un $P < 0,01$ y un $r^2 = 0,7201$ (Figura 9). Esto indica que la temperatura de aclimatación si afectó a la temperatura de preferencia, explicando el 72,01% de los datos de preferencia.

Los valores promedio de las temperaturas preferidas para cada temperatura de aclimatación son mostrados en la Tabla 3. En esta tabla se puede observar que los peces aclimatados a la temperatura de 14 °C mostraron una preferencia térmica mayor a la temperatura a la que se aclimató, con una diferencia de 1,90 °C, este incremento se evidenció solo en tres de sus réplicas siendo en dos de ellas igual a la temperatura de aclimatación (Figura 9). A su vez los peces aclimatados a 17 °C mostraron una preferencia térmica ligeramente mayor a su temperatura a la que fueron aclimatados, con una diferencia de 0,59 °C, este incremento se evidenció solo en tres de sus réplicas siendo en dos de ellas igual a su temperatura de aclimatación (Figura 9). Por el contrario en los organismos aclimatados a 22 °C se mostró una preferencia térmica menor a la temperatura a la que se aclimató, con una diferencia de 1,61 °C (Figura 9).

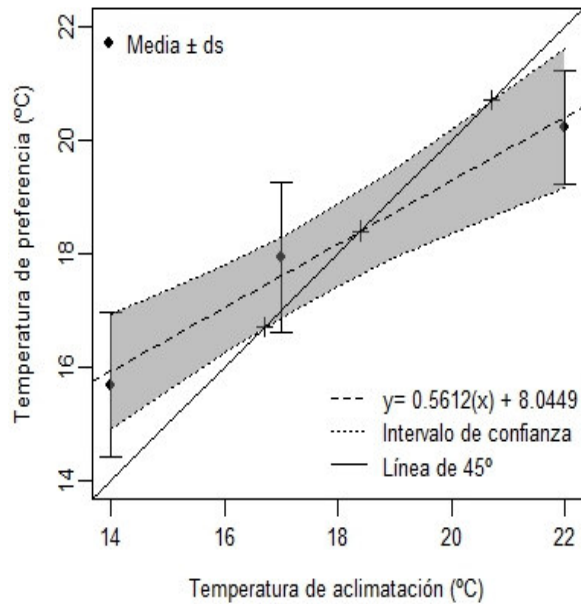


Figura 9. Temperatura de preferencia de juveniles de *Anisotremus scapularis* a diferentes temperaturas de aclimatación. Los puntos negros representan la media de la preferencia térmica y las líneas verticales representan la desviación estándar (DS). Las cruces (+) representan la temperatura a la cual la temperatura de preferencia y la temperatura de aclimatación son la misma. La línea discontinua (- - -) representa la regresión lineal entre ambas variables, el intervalo de confianza de la regresión lineal está representado por las líneas punteadas (....). La línea de igualdad (45 °) está representada por la línea continua negra

Para la determinación del rango térmico óptimo de los juveniles de *A. scapularis* se tuvo que intersecar la línea de igualdad (45°) con la línea de tendencia, entre la temperatura de preferencia y la temperatura de aclimatación (Figura 9), obteniendo así un resultado de $18,7 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (delimitado por el intervalo de confianza de la regresión lineal).

Tabla 3. Media de los valores de la temperatura de preferencia de los juveniles de *Anisotremus scapularis* en las diferentes temperaturas de aclimatación. Longitud total (Long.), Peso (g) y n= muestra de los peces usados en las pruebas de preferencia térmica.

Temp. de Aclimatación (TA)	n	Réplicas	TPA	Long. (cm)	Peso (g)
			Media ± DS (°C)	Media ± DS	Media ± DS
14 °C	4	5	15,68 ± 1.27	10,83 ± 0.59	24,76 ± 5.65
17 °C	4	5	17,94 ± 1.33	14,93 ± 0.65	72,67 ± 11.62
22 °C	4	4	20,23 ± 0.99	15,03 ± 0.97	79,59 ± 20.92

DS: Desviación estándar

5.3 Temperatura Crítica Máxima (TCM_{max}):

Con los datos obtenidos de TCM_{max} se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para corroborar la normalidad del conjunto de datos, donde se determinó que estos tienden a la normalidad ($P > 0,05$). Sin embargo la prueba de homogeneidad de varianzas (Barlett-test) resultó negativa ($P < 0,05$), bajo este criterio un análisis de Kruskal-Wallis indicó que la temperatura de aclimatación tuvo un efecto significativo ($P < 0,001$) en la TCM_{max} de juveniles de *A. scapularis* (Figura 10), incrementando esta última conforme aumenta la temperatura de aclimatación en el intervalo de 14 a 17 °C. Sin embargo en el intervalo térmico de 17 a 22 °C no se registró un aumento o disminución significativa de esta (Figura 10). Los valores promedio de TCM_{max} y el porcentaje de supervivencia para cada temperatura de aclimatación se observan en la Tabla 4.

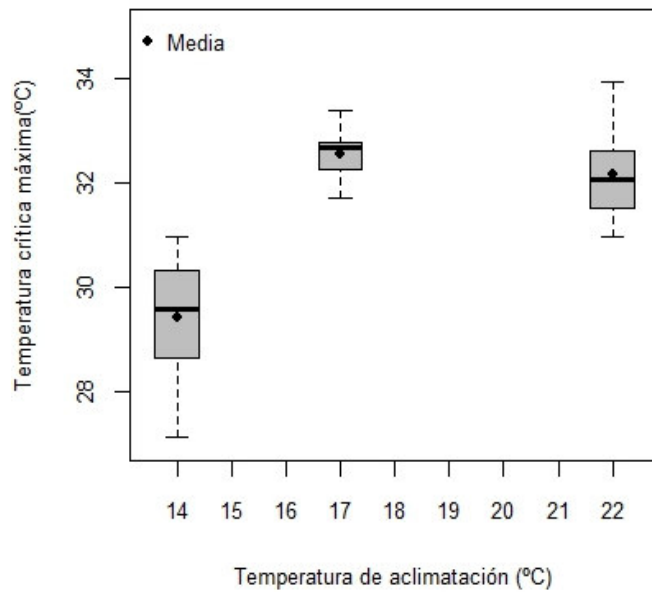


Figura 10. Temperatura Crítica Máxima (TCMáx) de juveniles de *Anisotremus scapularis* bajo diferentes temperaturas de aclimatación. Los puntos (•) representan la media de la TCMáx.

Posteriormente se realizó una prueba de comparación múltiple entre los diferentes grupos de aclimatación a través del Dunn-test, donde se determinó que existe una diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los valores de TCMáx correspondientes a las temperaturas de aclimatación de 14-17 °C y 14-22 °C respectivamente (Tabla 5).

Tabla 4. Tolerancia térmica (TCM_{áx}) de los juveniles de *Anisotremus scapularis* en las diferentes temperaturas de aclimatación (TA). n= número de muestra y Rep.=número de réplicas.

TA	n	Rep.	TCM _{áx} Media ± DS (°C)	Long. Total (cm) Media ± DS	Peso (g) Media ± DS	Supervivencia (24h)
14 °C	1	11	29,41± 1,21	12,52 ± 0,73	38,19 ± 7,24	81,8%
17 °C	1	11	32,55 ± 0.48	17,51 ± 1,30	125,69 ± 30,0	81,8%
22 °C	1	11	32,17 ± 0,89	16,63 ± 0,71	115,42 ± 14,10	81,8%

*Media ± DS (desviación estándar).

Tabla 5. Dunn-Test, comparación múltiple de los valores de TCM_{áx} entre las temperaturas de aclimatación.

Comparación	Z	P. unadj	P. adj
14 – 17 °C	-4,531385	5,859821e-06	1,757946e-05*
14 – 22 °C	-3,472959	5,147533e-04	1,029507e-03*
17 – 22 °C	1,058426	2,898614e-01	2,898614e-01

* grupos con diferencia significativa.

6 DISCUSIÓN

Temperatura de preferencia

La Temperatura Preferida Aguda (TPA) se determinó como la mediana de la distribución de la selección térmica para cada réplica, ya que en muchas de ellas no se observó una preferencia por una sola temperatura (moda) sino más bien por un rango de ellas, siendo así la mediana la medida que mejor representa la tendencia de preferencia de los juveniles de chita *Anisotremus scapularis*. En esta prueba se tomó en cuenta todas aquellas réplicas en donde se observó una preferencia térmica. Sin embargo en la réplica tres de la temperatura de aclimatación de 22 °C no se observó preferencia alguna, razón por la cual no fue considerada para los análisis, esto puede ser debido a que durante la prueba los individuos fueron estresados por alguna perturbación dentro del laboratorio, lo que motivo que presentaran durante toda la prueba un comportamiento exploratorio a través del gradiente.

Los peces presentan una variedad de relaciones preferencia-temperatura, estas pueden ser categorizadas en tres clases en base a si son funciones positivas, independientes o negativas frente a la temperatura de aclimatación (Johnson y Kelsch, 1998). La función positiva encontrada en juveniles de chita (*A. scapularis*) concuerda con la tendencia observada en peces de climas templados obtenidos por Chery et al. (1975) en el bluegill (*Lepomis macrochirus*) y por Tsuchida (1995) en *Trachurus japonicus*, *Seriola quinqueradiata*, *Parapristipoma trilineatum*, *Acantopagnus schlegeli* y *Pagrus major*. En estas especies se observó que la temperatura de preferencia fue más alta conforme aumentó la temperatura de aclimatación. Johnson y Kelsch (1998) señalan que especies que experimenten ciclos térmicos de una amplitud alta y duración relativamente larga (típico de climas templados) mostrarán este tipo de

relación. Esto se debe a que esta tendencia es una respuesta primaria de ajustes fisiológicos compensatorios, los cuales permiten incrementar la eficiencia metabólica del organismo a una nueva temperatura (Kelsch y Neill, 1990). Sin embargo, en esta tendencia se llega a un punto en que las temperaturas de aclimatación pueden ocasionar estrés en los peces, por lo que al exponerlos a un gradiente térmico experimentan una condición más confortable seleccionando temperaturas más bajas a las que fueron aclimatadas (Rodríguez, 2014).

Los peces tienden a preferir temperaturas que maximicen su alcance metabólico aeróbico (AMA), siendo estas consecuentes con la temperatura óptima para el desempeño de alguna actividad, no relacionada al mantenimiento (Fry, 1947; Kelsch, 1996). Una expansión del AMA implica un incremento en la capacidad del organismo para producir ATP aeróbicamente (Kelsch y Neill, 1990; Khan *et al.*, 2014). Esta expansión con un adecuado suministro de energía, permitirá que una gran cantidad de esta sea invertida en procesos tales como el crecimiento y reproducción (Blier *et al.*, 1997; Clark *et al.*, 2013). La relación entre el mayor AMA y el mayor crecimiento ha sido demostrada para peces de importancia económica como el salmón rojo *Oncorhynchus nerka* (Brett, 1976), el bacalao del atlántico *Gadus morhua* (Claireaux *et al.*, 2000) y en juveniles de hapuku *Polyprion oxygeneios* (Khan *et al.*, 2014). En base a este contexto metabólico, la temperatura preferida final puede ser usada como una medición para determinar la temperatura óptima para los procesos fisiológicos (Kelsch y Neill, 1990) y como un índice de temperatura seleccionada a la cual las especies están adaptadas (Johnson y Kelsch, 1998).

El rango térmico óptimo de juveniles de *A. scapularis* ($18,7 \pm 2$ °C) es respaldado por el mayor crecimiento en talla y peso que obtuvo Dionicio *et al.* (2016) en juveniles de esta especie, donde concluye que las temperaturas para un buen crecimiento de esta se

encontraría a temperaturas mayores a 17°C pero no superiores a 22°C. Los registros de captura de recursos pesqueros son indicadores que nos permiten conocer en qué lugar de la costa peruana se concentra más un recurso, lo cual nos proporciona una idea de los requerimientos ambientales a los cuales la especie está adaptada. En este contexto, un estudio de los desembarques de *A. scapularis* en litoral peruano del año 2004 al 2013 mostró que hay una mayor captura de este recurso en el norte centro del Perú (Lambayeque), siendo los puertos pesqueros de Eten, Pimentel, San José, Santa Rosa (Lambayeque) y Salaverry (La Libertad) los que mayores desembarques obtuvieron, con un total acumulado durante este tiempo (en cada puerto) mayor de 30 y menor a 60 TM (comunicación personal con la Oficina de Pesca Artesanal de IMARPE, Anexo). En esta zona, entre Pimentel y Salaverry, el promedio mensual de la temperatura superficial del mar, a lo largo del año, varía de 17 a 22 °C (IMARPE, 2015a), lo que respalda al rango térmico óptimo obtenido en este estudio.

Tolerancia térmica

Exposiciones de un organismo ectotérmico frente a temperaturas altas implican un incremento del metabolismo (Hochachka y Somero, 1973). Sin embargo, este incremento tiene un límite térmico o también llamado Temperatura Crítica Máxima (TCM_{áx}). La Temperatura Crítica Máxima (TCM_{áx}) es determinada por el fracaso del sistema cardiorrespiratorio en el organismo, es decir el fracaso de procesos tales como la ventilación y la circulación implicados en el suministro y transporte de O₂ (Frederich y Pörtner, 2000; Pörtner y Peck, 2010). Este fracaso ocasiona que el alcance aeróbico (*aerobic scope*, capacidad que tiene un organismo para producir energía en presencia de oxígeno) para su rendimiento del organismo sea nulo, conduciendo así al organismo a una ruta anaeróbica para la obtención de la energía necesaria (Frederich y Pörtner, 2000). Sin embargo, esta forma de obtención de energía (ruta anaeróbica) es limitada

por el tiempo dando como resultado la muerte inmediata del organismo por temperaturas mayores a la TCM_{ax} (Pörtner y Peck, 2010).

En este contexto, la diferencia de la Temperatura Crítica Máxima (TCM_{ax}) de los juveniles de *A. scapularis* aclimatados en 17 °C (32,6 °C) o en 22 °C (32,2 °C) con respecto a los aclimatados a 14 °C (29,4 °C) es fundamentada por los ajustes fisiológicos compensatorios del organismo (a nivel de enzimas y de proteínas) propios de la temperatura a la que fueron aclimatados (Kelsch y Neill, 1990), los cuales permiten modular procesos fisiológicos que hacen que el fracaso del sistema circulatorio se origine a temperaturas diferentes (Pörtner y Peck, 2010).

Por otro lado, la limitación de la TCM_{ax} de los peces aclimatados a 22 °C (32,2 °C) con respecto a los aclimatados a 17 °C (32,6 °C) se debe a que los individuos aclimatados a temperaturas fuera del rango térmico óptimo del organismo ($18,7 \pm 2$ °C, obtenido en este estudio), como la temperatura de aclimatación de 22 °C, no tienen las condiciones fisiológicas óptimas para tolerar mayores temperaturas que las obtenidas dentro de su rango térmico óptimo (Jobling, 1981; Pörtner, 2010). Así el mayor valor de la TCM_{ax} (32,6 °C) en juveniles de *A. scapularis* es explicado porque su temperatura de aclimatación a la que fue determinado (17 °C) está dentro de su rango térmico óptimo, en donde los individuos se encontrarían en mejores condiciones fisiológicas que implican una mayor capacidad para tolerar temperaturas altas (Jobling 1981; Kelsch 1996). Sugiriendo así a la temperatura de $32,6 \pm 0,48$ °C como el límite térmico superior que puede tolerar como máximo esta especie.

Para afianzar esta respuesta, y teniendo en cuenta que una tasa de calentamiento más lenta podría variar la respuesta de la TCM_{ax} (Paladino et al., 1980), se realizó una prueba piloto de tolerancia (con 1 sola réplica de 10 juveniles de *A. scapularis*)

siguiendo el método dinámico considerado por Richard *et al.* (2012) con una tasa de calentamiento de 1 °C/día pero en individuos aclimatados a 16 °C, promedio de la temperatura superficial del mar del ecosistema de afloramiento peruano entre Verano e Invierno (Richard *et al.*, 2012). En esta prueba se registró una temperatura de 31,7 °C como la desencadenante de la muerte del 50 % de los individuos. Este último valor es ligeramente menor al valor de la TCM_{máx} determinada para la aclimatación a 17 °C (32,6 °C), teniendo una diferencia de 0,83 °C, dado que la diferencia es pequeña se puede inferir que el uso de una tasa de calentamiento de 1 °C/día determina resultados de tolerancia consecuentes a los obtenidos con una tasa de 1 °C/min, respaldando a nuestros valores obtenidos de TCM_{máx}.

El límite térmico superior máximo de juveniles de *A. scapularis* (32,6 °C) puede explicar el hecho por el cual el evento de El Niño del 97-98 (durante y después) no impactó negativamente en las capturas de chita en la bahía de San Bartolo y en el puerto pesquero de Salaverry (Tresierra *et al.*, 1999; Garate y Pacheco, 2004). Los valores de TCM_{máx} que presentaron los juveniles *A. scapularis* bajo las diferentes temperaturas de aclimatación son congruentes a los valores de TCM_{máx} para peces de climas templados reportados por Vinagre *et al.* (2016) para *Coryphoblennius galerita*, *Gobius paganellus*, *Pomatoschistus microps*, *Gobius cobitis*, *Lipophrys polis*, *Paralipophrys trigloides* y *Lepadogaster lepadogaster*, esto se explica debido a que los individuos juveniles de *A. scapularis*, usados en este estudio, provienen de individuos silvestres adaptados al mar del Callao, ambiente de clima templado.

Al respecto Johnson y Kelsch (1998) mencionan que especies (como *A. scapularis*) que evolucionaron experimentando cambios de temperatura graduales y de larga duración, típico de climas templados, pueden tener el tiempo necesario para hacer cambios metabólicos que resultan en cambios sustanciales tanto en temperaturas de

tolerancia como de preferencia. Sin embargo, las especies tropicales y subtropicales que experimentan extremos térmicos sobre un corto periodo de tiempo deberán tener un rango amplio de tolerancia para sobrevivir a cambios relativamente rápidos de temperatura sin el tiempo necesario para ajustar tolerancia térmica.

Hasta la actualidad no se tiene antecedente alguno en relación a las respuestas térmicas de preferencia y tolerancia de *Anisotremus scapularis* que nos permita comparar estos valores obtenidos con otros estudios en relación al tema, siendo este el primer estudio de la termobiología de un pez en la costa peruana y también el primero en estudiar la biología básica de esta especie.

7 CONCLUSIONES

- La temperatura de aclimatación en el intervalo térmico de 14 a 22°C ejerce un efecto sobre las respuestas térmicas de juveniles de *Anisotremus scapularis* “chita”.
- La temperatura aclimatación, en el intervalo térmico de 14 a 22 °C, afectó significativamente y de manera positiva a la preferencia térmica de juveniles de *A. scapularis*.
- El rango térmico óptimo para los procesos fisiológicos de juveniles de *A. scapularis*, es de $18,7 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura de aclimatación, en el intervalo térmico de 14 a 22 °C, afectó significativamente a la tolerancia térmica de juveniles de *A. scapularis*.
- La temperatura de máxima tolerancia [para](#) juveniles de *A. scapularis* se encuentra alrededor de los [32,6](#) °C.
- Los procesos de aclimatación para juveniles de *A. scapularis* a temperaturas inferiores a 17 °C pero superiores e iguales a 14 °C disminuyen su máxima tolerancia térmica por hasta 3 °C debajo de esta. Sin embargo, los procesos de aclimatación a temperaturas superiores a 17 °C pero inferiores e iguales a 22 °C limitan su máxima tolerancia térmica.

8 RECOMENDACIONES

- En futuras pruebas de preferencia térmica etiquetar a cada juvenil de *Anisotremus scapularis*, analizando así la selección de temperaturas por cada individuo. Esto permitirá un mayor número de réplicas para el análisis.
- Orientar investigaciones que permitan el análisis de las respuestas térmicas de juveniles de *A. scapularis* a 6 diferentes temperaturas de aclimatación, entre 13 a 23 °C, con el objetivo de tener una tendencia más clara y una data más robusta.
- Usar diferentes tasas de calentamiento para la determinación de la tolerancia térmica de juveniles de *A. scapularis*, permitiendo comparar la respuesta térmica entre ellas.
- Realizar estudios enfocados en determinar el grado de letalidad en juveniles de *A. scapularis* dentro del rango de tolerancia térmica de 29,4 a 32,6 °C.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen G. and Robertson D. Fishes of the tropical eastern Pacific. University of Hawaii Press, Honolulu. 1994, 332p.
- Angilletta MJ, Niewiarowski PH, Navas CA. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*. 2002, 27:249–268.
- Becker, CD, Genoway, RG. Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of freshwater fish. *Environmental Biology of Fishes*. 1979, 4: 245-256.
- Beitinger, T.L., Bennett, W.A. and McCauley, R.W. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes*. 2000, 58: 237-275.
- Beitinger, T.L., Bennett, W.A. Quantification of the role of acclimation temperature in temperature tolerance of fishes. *Environmental Biology of Fishes*. 2000, 58: 277–288.
- Bennett, W. A. and Beitinger, T. L. Temperature tolerance of sheepshead minnow, *Cyprinodon variegatus*. *Copeia*. 1997, 1, 77-87.
- Bilyk K.T., DeVries A.L. Heat tolerance and its plasticity in Antarctic fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 158. 2011, 382–390.
- Blier, P.U., Pelletier, D., Dutil, J.D. Does aerobic capacity set a limit on fish growth rate? *Reviews in Fisheries Science*. 1997, 5: 323–340.

- Brett J.R. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *American zoologist*. 1971, 11:99-113.
- Brett, J.R. Scope for metabolism and growth of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, and some related energetics. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1976, 33: 307–313.
- Brett, J.R. Temperature tolerance in young Pacific salmon, genus *Oncorhynchus*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1952, 9: 265-323.
- Bücker, L. F., Barón, B., Hernández, M., Ledo, A., Solís, R., Pérez, B., and Hernández, A. System for temperature, oxygen and salinity research in ecophysiology. *Hidrobiológica*. 2003, 13(4): 277-287.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Lagardère, J.-P., Kerr, S.R. Influence of water temperature and oxygenation on the aerobic metabolic scope of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Journal of Sea Research*. 2000, 44: 257-265.
- Clark, T.D., Sandblom, E., Jutfelt, F. Aerobic scope measurements of fishes in an era of climate change: respirometry, relevance and recommendations. *Journal of Experimental Biology*. 2013, 216: 2771-2782.
- Crawshaw, L. I. Physiological and behavioral reactions of fishes to temperature change. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 1977, 34(5): 730-734.
- Cussac, VE, Fernández, DA, Gómez, SE, López, HL. Fishes of southern South America: a story driven by temperature. *Fish Physiology Biochemistry*. 2009, 35:29–42.

- Cherry, D.S., Dickson, K.L. and Cairns, J. Temperatures selected and avoided by fish at various acclimation temperatures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1975, 32(4): 485-491.
- Chirichigno, N. y Cornejo, URM. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú. Publicación Especial. Abril 2001. Callao, Perú. Instituto del Mar del Perú. 2001, 314p.
- Chirichigno, N.y Velez, M. Clave para identificar los peces marinos del Perú. Publicación Especial del Instituto del Mar del Perú. 2 da Ed. Callao, Instituto del Mar del Perú. 1998, 500 p.
- Dalvi, R.S., Pal, A.K., Tiwari, L.R., Das, T., Baruah, K. Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures. *Aquaculture*. 2009, 295:116–119.
- Deacon N. and Hecht T. The effect of temperature and photoperiod on the growth of juvenile spotted grunter *Pomadasys commersonnii* (Pisces: Haemulidae). *South African Journal of Marine Science*. 1996, 17(1):55-60.
- Diaz, F., Del Rio-Portilla, A., Sierra, E., Aguilar, M., Re-Araujo, A.D. Preferred temperature and critical thermal maxima of red abalone *Haliotis rufescens*. *Journal of Thermal Biology*. 2000, 25:257–261.
- Díaz, F., Re, D., González, R. A, Sánchez, L. N., Leyva, G. y Valenzuela, F. Temperature preference and oxygen consumption of the largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepède) acclimated to different temperatures. *Aquaculture Research*. 2007, 38(13):1387–1394.

- Díaz, F., Sierra, E., Re, A., Rodríguez, L. Behavioural thermoregulation and critical thermal limits of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman). *Journal of Thermal Biology*. 2002, 27:423–428.
- Dionisio J., Galecio R., Fernando S., Aguirre A. Modelamiento del efecto de la temperatura sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de juveniles de *Anisotremus scapularis* en laboratorio [Resumen]. Libro de Resúmenes del Ciclo de Conferencias de Ecología Marina Cuantitativa. 2016, pp: 17.
- Doney R., Duffy B., Chan E., Galindo G., Hollowed K., Polovina R., Sydeman T. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*. 2012, 4:11-37.
- Edgar, GL, Banks, S, Fariña, JM, Calvopiña, M. and Martínez, C. Regional biogeography of shallow reef fish and macroinvertebrates communities in the Galapagos archipelago. *Journal of Biogeography*. 2004, 31: 1107-1124.
- Eme J. and Bennett W. Critical thermal tolerance polygons of tropical marine fishes from Sulawesi, Indonesia. *Journal of Thermal Biology*. 2009, 34: 220–225.
- Eme J., Dabruzzi T., Bennett W. Thermal responses of juvenile squaretail mullet (*Liza vaigiensis*) and juvenile crescent terapon (*Terapon jarbua*) acclimated at near-lethal temperatures, and the implications for climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2011, 399: 35-38.
- Ficke, A.D., Myrick, C.A., Hansen, L.J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2007, 17, 581-613.

- Frederich, M. and Pörtner, HO. Oxygen limitation of thermal tolerance defined by cardiac and ventilatory performance in the spider crab *Maja squinado*. *American Journal Physiology*. 2000, 279: R1531-R1538.
- Fry, F.E.J. Effects of the environment in animal activity. *Publications of the Ontario Fisheries Research Laboratory*. 1947, 68, 1-62.
- Fry, F.E.J.; Hart, J.S. and Walker, K.F. Lethal temperature relations for a sample of young speckled trout (*Salvelinus fontinalis*). *University of Toronto Studies, Biological Series*. 1946, 54, 1-35.
- Gárate A. y Pacheco A. Cambios en la distribución y abundancia de la ictiofauna de aguas someras en San Bartolo (Lima, Perú) después del ENSO 1997-98. *Ecología aplicada*. 2004, 3(1-2): 148–153.
- Giattina, JD. and Garton R.R. Graphical model of thermoregulatory behaviour by fishes with a new measure of eurythermality. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science*. 1982, 39:524-528p.
- Gift, J. J. Application of temperature preference studies to environmental impact assessment. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 1977, 34(5):746-749.
- Gordon, C.J. *Temperature and Toxicology: And Integrative, Comparative, and Environmental Approach*. CRC Press, Boca Raton, USA. 2005, 338 pp.
- Grove JS. and Lavenberg RJ. *The fishes of the Galápagos Islands*. Stanford University Press, Stanford. 1997, 863p.

- Gutiérrez D., Akester M. and Naranjo L. Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under Climate Change. *Environmental Development*. 2016, 17, 126-144.
- Hidalgo J. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Cuotas individuales de pesca: Propuesta de política para la eficiencia pesquera y la conservación de los recursos hidrobiológicos. Primera edición. Lima, Perú. 2002. 147pp.
- Hill RW. Fisiología animal comparada, Reverté. 2007, 920p.
- Huey RB, Deutsch CA, Tewksbury JJ, Vitt, LJ, Hertz PE, Álvarez HJ, Garland Jr., T. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009, 276: 1939–1948.
- Humann P. and Deloach N. Reef fish identification. Galápagos. New World Publications, Inc., Florida. 1993, 267p.
- Hutchison, V.H. Factors influencing thermal tolerances of individual organisms. ERDA (Energy Res. Dev. Adm.) Symp. Ser. CONF750425. 1976. pp. 10-26.
- Hochachka, P.W. and Somero, G.N. Strategies and biochemical adaptation. Saunders Company Publishers, Philadelphia. 1973.
- Iannacone, J. and Alvaríño, L. 2012. Microecology of the monogenean *Mexicana* sp. on the gills of *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846) (Osteichthyes, Haemulidae) of the marine coast of Lima, Peru. *Neotropical Helminthology*. 2012, 6 (2), 277-285.
- IMARPE. Área funcional de Sensoramiento Remoto [base de datos en Internet]. Perú: Instituto del Mar de Perú, 2015a - [fecha de acceso 04 de Mayo del 2016]. Disponible en: http://satelite.imarpe.gob.pe/uprsig/sst_prov.html.

- IMARPE. Ciclo de vida de la Chita: *Anisotremus scapularis*. Serie de Divulgación Científica: Año 1, Vol. 1, N°1. 2015b.
- IPCC. The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. Cambridge University Press, UK. 1997.
- Jobling, M. Temperature tolerance and the final preferendum - rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *Journal of Fish Biology*. 1981, 19:439-455.
- Johnson JA, Kelsch SW. Effects of evolutionary thermal environment on temperature-preference relationships in fishes. *Environmental Biology of Fishes*. 1998, 53:447–458.
- Kelsch, S.W. Temperature selection and performance by bluegills: evidence for selection in response to available power. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1996, 112: 424-430.
- Kelsch, S.W., Neill, W.H. Temperature preference versus acclimation in fishes: selection for changing metabolic optima. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1990, 119: 601–610.
- Khan J.R., Pether S., Bruce M., Walker S.P., Herbert N.A. Optimum temperatures for growth and feed conversion in cultured hapuku (*Polyprion oxygeneios*) - Is there a link to aerobic metabolic scope and final temperature preference?. *Aquaculture*. 2014, 430: 107–113.
- Kong I., Castro H. Guía de biodiversidad N° 3. Vol. 1. Macrofauna y algas marinas. Peces. Zúñiga O., editor. Centro Regional de Estudios de Educación Ambiental (CREA). Proyecto Mecesus Ant0003 "Incorporación de Valores de Desarrollo Sustentable

- en los Profesionales que forma la Universidad de Antofagasta", Antofagasta. 2002, 43 pp.
- Kumari S. and Kumar P. A Study on Fish Reproduction with Reference to Temperature Anomalies in Kosi Region of Bihar. *International Journal of Science and Research*. 2016, 5(7): 1527-1533.
- Lagerspetz K.Y.H., Vainio L.A. Thermal behaviour of crustaceans. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 2006, 81: 237-258.
- Lagerspetz K.Y.H. What is thermal acclimation? *Journal of Thermal Biology*. 2006, 31, 332–336.
- Larios Soriano, E. Temperatura preferida, temperaturas críticas y respuestas metabólicas de *Lutjanus guttatus* (Steindechner, 1869) ante diferentes temperaturas de aclimatación. Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencias de la Vida con orientación en Biotecnología Marina. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Baja California. 2014.
- Lewis, L. and Ayers, J. Temperature preference and acclimation in the Jonah Crab, *Cancer borealis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2014, 455:7-13.
- Lutterschmidt, W.I. and Hutchison, V.H. The critical thermal maximum: History and critique. *Canadian Journal of Zoology*. 1997, 75: 1561-1574. DOI: 10.1139/z97-783.
- McCauley, R.W. Laboratory methods for determining temperature preference. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 1977, 34(5): 749-752.

- McCauley, R.W. and Casselman, J.M. The final preferendum as an index for optimum growth in fish. *Proceedings of the World Symposium of Aquaculture in Heated Effluents and Recirculations Systems*. 1981, 11:81-93p.
- McFarlane, G.A., King, J.R., Beamish, R.J. Have there been recent changes in climate? Ask the fish. *Progress in Oceanography*. 2000, 47 (2-4): 147–169.
- Medina M, Araya M, Vega C. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile. *Invest Mar*. 2004, 32(1): 33-47. doi: 10.4067/S0717-71782004000100004.
- Mendoza, D. Informe: Situación del Extensionismo Acuícola en el Perú, Dirección de Extracción y Producción Pesquera para Consumo Humano Directo, Dirección de Acuicultura, Ministerio de la Producción. Lima, Perú. 2013. 14p
- Mora C. and Maya M. Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes. *Journal of Thermal Biology*. 2006, 31:337-341.
- Paladino F.V., Spotila, J.R., Schubauer, J.P. and Kowalski K.T. The critical thermal maximum: a technique used to elucidate physiological stress and adaptation in fishes. *Reviews of Canadian Biology*. 1980, 39 (2):115-122.
- Peck, LL. S., Morley, S. A., Richard, R. and Clark, M. S. Acclimation and thermal tolerance in Antarctic marine ectotherms. *Journal of Experimental Biology*. 2014, 217: 16-22. DOI:10.1242/jeb.089946.
- Pörtner H.O. Integrating climate-related stressor effects on marine organisms: unifying principles linking molecule to ecosystem-level changes. *Marine Ecology Progress Series*. 2012, 470: 273–290.

- Pörtner, H.O. Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *Journal of Experimental Biology*. 2010, 213, 881-893.
- Pörtner H.O., Peck M.A. Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *Journal of Fish Biology*. 2010, 77: 1745–1779.
- PRODUCE (Ministerio de la Producción). Anuario estadístico pesquero y acuícola 2014 [Internet]. Perú: Produce, 2015-[acceso 04 de Mayo del 2016]. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-pesca-2014.pdf>.
- PRODUCE (Ministerio de la Producción). Plan Nacional de Desarrollo Acuícola. 2009.
- PRODUCE (Ministerio de la Producción). Resolución Ministerial N° 156-2016-PRODUCE, Establecimiento de la Talla Mínima de Captura (TMC) del recurso de chita *Anisotresmus scapularis*, El Peruano, 27 de abril de 2016.
- Rajaguru, S. and Ramachandran, S. Temperature tolerance of some estuarine fishes. *Journal of Thermal Biology*. 2001, 26: 41-45.
- Rajaguru, S. Critical thermal maximum of seven estuarine fishes. *Journal of Thermal Biology*. 2002, 27(2):125-128.
- Reiser, S., Herrmann, J.P. and Temming, A. Thermal preference of the common brown shrimp (*Crangon crangon*) determined by the acute and gravitational method. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2014, 461, 250–256.
- Reyes, I., Díaz, F., Re, A. and Pérez, J. Behavioral thermoregulation, temperature tolerance and oxygen consumption in the Mexican bullseye pufferfish, *Sphoeroides*

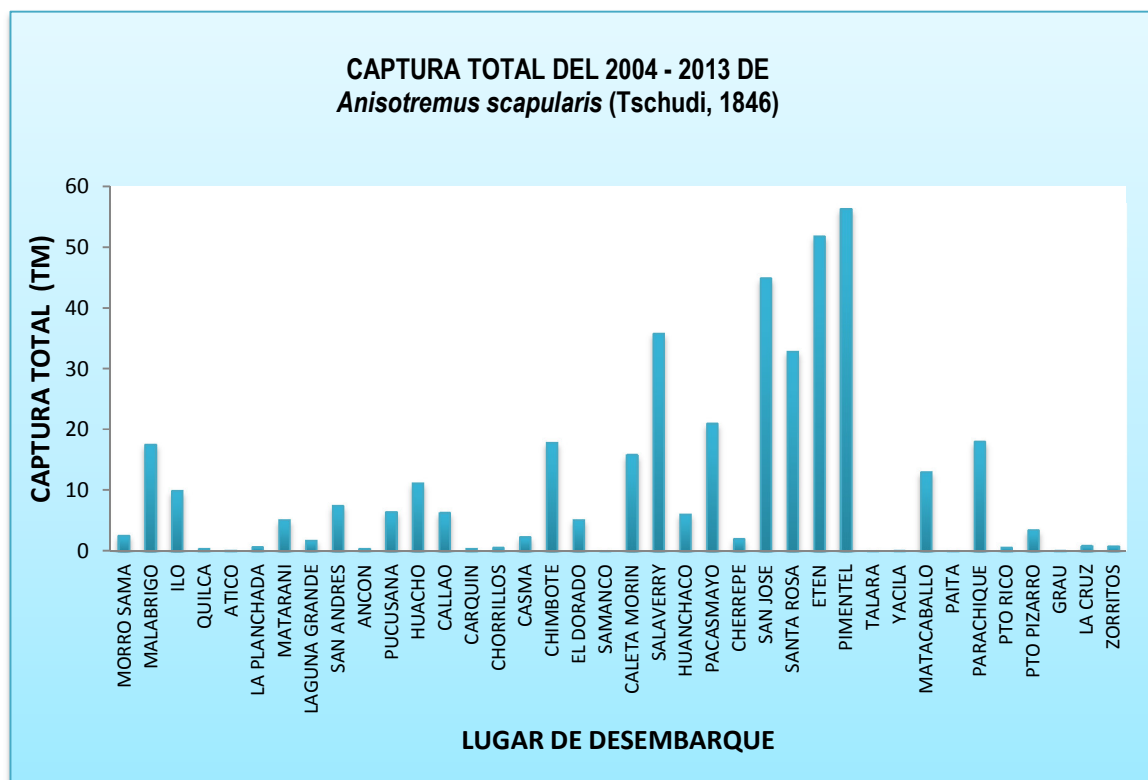
- annulatus* Jenyns (1842), acclimated to different temperatures. *Journal of Thermal Biology*. 2011, 36: 200-205.
- Reynolds, W. and Casterlin, M. Behavioral thermoregulation and the final preferendum paradigm. *American Zoologist*. 1979, 19, 211-224.
- Richard, J., Morley, S. A., Thorne, M. A. and Peck, L. S. Estimating longterm survival temperatures at the assemblage level in the marine environment: towards macrophysiology. *PLoS ONE*7, e34655. 2012.
- Rivadeneira, M.M., Fernández, M. Shifts in southern endpoints of distribution in rocky intertidal species along the south-eastern Pacific coast. *Journal of Biogeography*. 2005, 32: 203–209.
- Rodríguez, M. Efecto de la temperatura de aclimatación sobre el comportamiento térmico y de alimentación de los juveniles de jurel cola amarilla *Seriola lalandi*. Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Acuicultura. Programa de Posgrado en Ciencias en Acuicultura. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Baja California. 2014.
- Roessig, J.M., Woodley, C.M., Cech, J.J., Hansen, L.J. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2004, 14: 251–275.
- Sánchez, L. Termorregulación y consumo de oxígeno de juveniles de lobina *Micropterus salmoides* expuestos a diferentes temperaturas de aclimatación. Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias con orientación en Biotecnología Marina. Programa de Posgrado en

- Ciencias con orientación en Biotecnología Marina. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Baja California. 2006.
- SENAMHI. Resumen Técnico: Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Lima, Perú. 2009.
- Somero, G.N. The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine 'winners' and 'losers'. *Journal of Experimental Biology*. 2010, 213: 912–920.
- Terblanche, J., Hoffman, A., Mitchell, K., Rako, L., le Roux, P. y Chown, L. Ecologically relevant measures of tolerance to potentially lethal temperatures. *Journal of Experimental Biology*. 2011, 214, 3713-3725.
- Tewksbury, J.J., Huey, R.B., Deutsch, C.A. Putting the heat on tropical animals. *Science*. 2008, 320 (5881): 1296–1297.
- Tracy, C.R. and Christian, K.A. Ecological relations among space, time, and thermal niche axes. *Ecology*. 1986, 67, 609-615.
- Tresierra-Aguilar, Alvaro; Culquichicón, Zoila; Veneros-Urbina, Bilmia. Efecto del fenómeno "El Niño 1997-98" en el desembarque de los recursos pesqueros artesanales de puerto Salaverry (Trujillo). *Revista Peruana de Biología*. 1999, 6(3): 160-163.
- Tsuchida, S. The relationship between upper temperature tolerance and final preferendum of Japanese marine fish. *Journal of Thermal Biology*. 1995, 20(1): 35-41.
- Velasco E., H. Marco ambiental y capacidad de recuperación ante estrés térmico del abulón azul (*Haliotis fulgens*, Philippi 1845) provenientes de la zona de Bahía

- Tortugas, B.C.S. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. 2014.
- Verberka W., Overgaard J., Ern R., Bayley M., Wang T., Boardman L., Terblanche J. Does oxygen limit thermal tolerance in arthropods? A critical review of current evidence. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 2016, 192: 64-78.
- Vinagre C., Días, M., Roma, J., Silva, A., Madeira, D., Diniz, M. Critical thermal maxima of common rocky intertidal fish and shrimps – a preliminary assessment. *Journal of Sea Research*. 2013, 81:10–12.
- Vinagre C., Leal I., Mendonça V., Madeira D., Narciso L., Diniz M., Flores, A. Vulnerability to climate warming and acclimation capacity of tropical and temperate coastal organisms. *Ecological Indicators*. 2016, 62:317-327.
- Wallman, H. L., and Bennett, W. A. Effects of parturition and feeding on thermal preference of Atlantic stingray, *Dasyatis sabina* (Lesueur). *Environmental Biology of Fishes*. 2006, 75(3), 259-267.
- Willmer, P., Stone, G., Johnston, I. *Environmental Physiology of Animals*. John Wiley y Sons. Blackwell Publishing, Second edition. 2000, pp: 198.
- Zahn, M. Die Vorzugstemperaturen zweier Cypriniden and eines Cyprinodonten und die Adaptationstypen der Vorzugstemperatur bei Fischen. *Zoologische Beiträge*. 1962, 7: 15-25.

10 ANEXO

CAPTURA TOTAL (2004 - 2013) de *Anisotremus scapularis* EN TODOS LOS PUERTOS PESQUEROS DE LA COSTA PERUANA.



Fuente: Datos brindados por la Oficina de Pesca Artesanal del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).