

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Informe de Tesis EVALUACIÓN DE EL CONSUMO Y PUNTOS CRÍTICOS DE OXIGENO EN MITÍLID OS Semimytilus_(AUTOR LUCERO ACHAYA CARHUACHIN).docx (D87798846)

Submitted: 12/4/2020 2:07:00 AM

Submitted By: investigacion.fipa@unac.pe

Significance: 1 %

Sources included in the report:

Tesis Alejandro Flores.docx (D30383969)
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018

Instances where selected sources appear:

3

INTRODUCCIÓN

Los moluscos mitílidos comúnmente llamados choros o mejillones, son los bivalvos más importantes en el consumo humano interno del Perú, en comparación con la concha de abanico, ya que es el único bivalvo que posee un volumen representativo de desembarque ingreso (boletín estadístico pesquero 2016).

Aunque los límites de distribución superior e inferior para los mitílidos y la mayoría de bivalvos, se rigen por factores físicos y la distribución de sus depredadores respectivamente (Gosling, 2008). Se podrían mencionar 2 regiones más específicas de distribución: intermareales y submareales, de las cuales fueron tomadas las muestras de este experimento.

Existen reportes de *Semimytilus algosus* al finalizar el evento del niño 1982 -1983 que lo ubican a nivel intermareal y posteriormente en el evento del niño en 1985 -1986 se encontraron en el nivel submareal (Tarazona et al., 1988). Con respecto al

0: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018
81%

bivalvo *Perumytilus purpuratus* forma mantos en la zona intermareal, ocupando gran parte del gradiente vertical, con prolongados periodos de exposición aérea durante las mareas bajas, los cuales varían según la altura del intermareal en que se encuentre el organismo(

Montecinos et al., 2009).

En el Perú, el habitat de estos mitílidos tienen frecuentes problemas de deficiencia de oxígeno ya que nuestras costas presentan muchas áreas anóxicas e hipóxicas. Además, debido a la explotación, este recurso se ve amenazado progresivamente. En Moquegua se registró la disminución e incluso escases en algunas zonas debido a la baja renovación de la población a causa de la actividad extractiva pesquera y eventos de estrés ambiental tales como la hipoxia. Así mismo Tejada y Baldarrago mencionan que los desembarques presentan cada año individuos menores a la talla mínima de captura, a pesar de esto los

volúmenes de desembarque se mantiene constante en 1500 t/ anuales (Tejada & Baldarrago, 2016).

A pesar de esto no es tomado como un recurso de importancia en el Perú, y no se cuenta con la tecnología de cultivo, ni se tienen registros de los parámetros básicos, es por lo que uno de los factores que considero más importante es el oxígeno. Estudios en diferentes especies marinas mencionan que los parámetros fisiológicos son dependientes de la talla del individuo. Por ello considero que es necesario tener una fuente validada que confirme si los parámetros fisiológicos tales como consumo y punto crítico de oxígeno varían de acuerdo a la talla.

Habiendo mostrado este contexto, en la presente tesis se fijó como objetivo principal evaluar el consumo y puntos críticos de oxígeno en mitílidos determinándolos mediante una hipoxia

progresiva, mediante la cual se reducirá el oxígeno en el medio acuático del 100% al 5% de saturación de oxígeno.

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Descripción de la realidad problemática

El choro, comúnmente llamado a las especies de la familia mitilidae, es el segundo de mayor volumen de desembarque de moluscos bivalvos, así como el de mayor aceptación en la población de clase baja y media. En el mercado interno compite ventajosamente con otros recursos pesqueros (PRODUCE, 2015), sobrepasando por mucho a la concha de abanico debido a su buen sabor, bajo costo y un gran mercado para la exportación.

Es por ello que muchos países han desarrollado tecnología para el cultivo de mitílicos para satisfacer las exigencias del mercado. La producción mundial es liderada por China seguida de España, y tiene en Latinoamérica como principales representantes a Chile y Brasil. (MINAGRI, 2016) Perú es uno de los pocos países de Latinoamérica que no ha iniciado en el cultivo de mitílicos, a pesar que los datos muestran que la constante depredación de *Aulacomya ater* debido a la demanda, están afectando los bancos naturales (Tejada & Baldarrago, 2016).

Es necesario enfocarnos en datos que puedan sustentar un futuro cultivo además de analizar nuevas especies, ya que los mitílicos se encuentran en hábitats costeros de diferentes profundidades, por ello es de suponer que soportan mayores rangos de variación de parámetros. Estudios con otras especies tales como la concha de abanico, han demostrado respuestas contrastadas superiores de la tasa de consumo de oxígeno y adaptación a la hipoxia las cuales presentaban dependencia con el hábitat de cada especie (Artigaud et al., 2014).

En tal sentido es importante hacer estudios básicos de consumo de oxígeno como parámetro indicador del metabolismo ya que la baja disponibilidad de oxígeno ha demostrado ser el factor que causa mayor estrés fisiológico en mitílicos (Newell, 1979). Estrés que tiende a incrementar el consumo de oxígeno dependiendo de la talla (Taylor & Brand, 1975; Villegas et al., 2015).

En las masas de aguas presentes en el Perú, tan variantes y cada vez con menos contenido de oxígeno, los mitílicos podrían ser una solución en el futuro. Aun no se han realizado investigaciones específicamente en esta familia con especies endémicas de la costa peruana. Por esta razón es necesario tener un punto de partida, por lo que proponemos en este proyecto, evaluar mitílicos de diferentes tallas sobre su adaptación a condiciones de oxígeno limitado. Teniendo como indicadores el consumo y punto crítico de oxígeno con el fin de demostrar si esta especie es adecuada y resistente. De esta manera estaremos beneficiando al futuro de la acuicultura y brindando de alguna forma la base para un futuro cultivo de mitílicos en el Perú.

Formulación del problema

Problema general

¿Cómo influye la talla en el consumo de oxígeno y puntos críticos de oxígeno en mitílicos (Semimitylus algosus y Perumitylus purpuratus)?

Objetivos

Objetivo general

Determinar cómo influye la talla (mm) sobre las tasas de consumo de oxígeno y el puntos críticos de los mitílicos Semimitylus algosus y Perumitylus purpuratus en una disminución progresiva de oxígeno ambiental (del 100% al 5% de saturación de oxígeno).

Objetivo específico

- Determinar los consumos de oxígeno en mitílicos Semimitylus algosus y Perumitylus purpuratus de talla 10 mm y 30 mm (del 100% al 5% de saturación de oxígeno).
- Determinar los puntos críticos de oxígeno en mitílicos Semimitylus algosus y Perumitylus purpuratus de talla 10 mm y 30 mm (del 100% al 5% de saturación de oxígeno).

Limitantes de la investigación

Teórico

Como limitaciones teóricas se establece la falta de estudios previos suficientes tales como la situación actual de la pesquería de choros, los bancos de semilla, las bahías de pesca, etc; de estos temas solo se cuentan con algunos reportes. Por otro lado también se presenta la falta de información de sobre los parámetros importantes para el cultivo y mantenimiento de estas especies (P.purpuratus y S. algosus), tales como el consumo de oxígeno.

Temporal

En cuanto a las limitaciones temporales que se presentaron durante el desarrollo de la tesis, fue en primer lugar conseguir los individuos experimentales en las fechas programadas para que tengan el suficiente tiempo de aclimatación según el protocolo experimental, como segundo punto, cabe mencionar que cada prueba experimental duro 22 horas, debido a esto solo se realizó 3 pruebas cada semana.

Espacial

Ya que el uso del área experimental estaba dentro de las actividades programadas, no hubo inconvenientes de espacio. El experimento se trabajó en el Laboratorio de Ecofisiología Acuática del área funcional de investigaciones en acuicultura- AFIA del Instituto del Mar del Peru - IMARPE.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Antecedentes

Antecedentes nacionales

- Aguirre-Velarde, A., Jean, F., Thouzeau, G., & Flye-Sainte- Marie, J. (2016). Effects of progressive hypoxia on oxygen uptake in juveniles of the Peruvian scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture*, 451, 385-389.

El experimento presenta como objetivo conocer el comportamiento de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* en condiciones periodicas de hipoxia a diferentes temperaturas. Para ello, se midió la absorción de oxígeno (V_{O_2}) de los juveniles de *A. purpuratus* frente a una disminución progresiva de la saturación de oxígeno ambiental (del 100% al 5%) se midió a dos temperaturas contrastantes ("condición normal" = 16 ° C y "condición cálida" = 25 ° C). Los resultados muestran que *A. purpuratus* puede regular su frecuencia respiratoria de manera similar y eficiente tanto a 16 como en 25 ° C. Lo que muestra la capacidad de adaptación de esta especie a la variación ambiental a lo largo de las costas peruano- chilenas. Sin embargo, los resultados de este estudio indican que, al menos durante algunos períodos, *A. purpuratus* pasa más del 70% de su tiempo expuesto a condiciones hipóxicas por debajo de la P_{cO_2} estimada . Tales condiciones podrían tener consecuencias negativas sobre el metabolismo de la especie y perjudicar el rendimiento del cultivo de *A. purpuratus*.

- Alvarez, G., Medina, G., & Sánchez, G. (1999). Efecto del detergente biodegradable (Aquil sulfonato de sodio) en el consumo de oxígeno y tasa de filtración del bivalvo *Semimytilus algosus*. *Revista Peruana de Biología*, 6(1), 068-074.

Esta investigación tiene por objetivo estudiar el efecto de los detergentes biodegradables en el consumo de oxígeno y la filtración de *S. algosus*, para ello se usaron respirómetros cerrados estáticos (300 ml aprox.) en presencia de 3 concentraciones de detergente ($CO = 0,00$; $C1 = 0,02$; $C2 = 0,04$; y $C3 = 0,06$ mg I-1 de detergente). Para detectar el oxígeno disuelto se usó el método de Winkler. La tasa de Filtración individual (TFI) fue calculada en ausencia de detergente por consumo de la diatomea *Chaetoceros gracilis* con los mismos individuos expuestos al detergente durante los experimentos de respiración. Los resultados observados indican que el detergente aún siendo biodegradable, a tiempos cortos de exposición altera la tasa respiratoria e incrementa el consumo de oxígeno y velocidad de la tasa de filtración a medida que la concentración de detergente se incrementa.

Antecedentes internacionales

- Artigaud, S., Lacroix, C., Pichereau, V. y Flye-Sainte-Marie, J. (2014). Respuesta respiratoria al calor combinado y la hipoxia en los bivalvos marinos *Pecten maximus* y *Mytilus* spp. *Bioquímica y fisiología comparadas Parte A: Fisiología molecular e integrativa* , 175 , 135-140.

El estudio comparo el comportamientos de dos especies de bivalvos *Pecten maximus* y *Mytilus* spp. Los objetivos de este trabajo fueron describir y comparar las respuestas respiratorias al calor combinado y la hipoxia en dos especies de bivalvos (*P. maximus* y *Mytilus* spp.) que viven en dos hábitats costeros contrastados (submareal e intermareal, respectivamente). Los resultados fueron consistentes con la zonificación vertical de ambas

especies. *Mytilus* spp. parecía adaptarse mejor a un aumento de temperatura que *P. maximus*, que se encontró fuera de su ventana térmica óptima a 25 ° C. En cuanto a las respuestas respiratorias a la hipoxia a una temperatura determinada *P. maximus* mostró una mayor capacidad de oxirregulación que se mantuvo en un rango mayor de O₂ niveles, en comparación con *Mytilus* spp. Cuando las temperaturas de aclimatación aumentaron, ambas especies mostraron una disminución en sus capacidades de oxirregulación junto con una reducción en el rendimiento aeróbico, especialmente en *P. maximus*.

• Vladimirova, IG, Kleimenov, SY y Radzinskaya, LI (2003). La relación del metabolismo energético y el peso corporal en bivalvos (Mollusca: Bivalvia). Boletín de biología de la Academia de Ciencias de Rusia , 30 (4), 392-399

El objetivo de esta investigación fue determinar la relación del metabolismo energético y el peso corporal en bivalvos. Para esto se tomo como fuente de información datos experimentales y publicados, se calculó la dependencia interespecífica e intraespecífica (ontogenética) del metabolismo energético del peso corporal en los bivalvos.

Se analizaron los cambios en los parámetros de dependencia alométrica intraespecífica bajo el efecto de factores ambientales. Se demostró que la tasa de metabolismo estándar comparable (coeficiente a en $k = 0,76$) varía en diferentes grupos taxonómicos y zoogeográficos de bivalvos.

Bases teóricas

Situación actual sobre el cultivo de bivalvos en el Perú

La acuicultura de moluscos bivalvos en el Perú está sustentada en el cultivo de la concha de abanico (*A. purpuratus*), representado alrededor del 30% de el cultivo de origen marino, solo detrás del langostino (69.8%) según el último Anuario estadístico Pesquero y acuícola 2017. El otro 0.1% del cultivo de origen marino se encuentra representado por la ostra del pacifico (*Crassostrea gigas*) y diversas especies entre ellas el choro (Ministerio de la Producción, 2018). En un reporte de la FAO se menciona una lista de problema y fallas de la situación de la acuicultura en el Perú, algunos de los mas resaltantes eran la escasa disponibilidad de semilla y la falta de la diversificación de especies de la actividad (Cavero & Rodríguez, 2008).

Tal como se ve en los datos expuestos del último anuario estadístico 2017 ((Ministerio de la Producción, 2018), la diversificación de especies en la acuicultura es ínfima, la producción acuícola se ha centrado en la concha

de abanico a pesar de haber registrado problemas importantes en la última década. La extracción de la concha de abanico en los bancos naturales ha experimentando fluctuaciones anuales en función a los cambios ambientales producidos. Además debemos tener en cuenta que con respecto al consumo humano interno, el choro presenta el volumen de desembarque más representativo en mariscos, superando a la concha de abanico (boletín estadístico pesquero 2016).

Desde los reportes del siglo XX se sabe que el cultivo de choros ha sobre-explotado los bancos naturales (Winter, J. E., & Chaparro, O. R. 1987). En la actualidad, debido a la explotación, este recurso se ve amenazado progresivamente. En Moquegua se registró la disminución e incluso escases en algunas zonas debido a la baja renovación de la población a causa de la actividad extractiva pesquera y eventos de estrés ambiental tales como la hipoxia. Así mismo Tejada y Baldarrago mencionan que los desembarques presentan cada año individuos menores a la talla mínima de captura, a pesar de esto se viene manteniendo constantes los volúmenes de desembarque (Tejada & Baldarrago, 2016).

Es por ello que el interés de Universidades y Centros de Investigación ha estado dirigido hacia la repoblación de bancos naturales sobre-explotados como una manera de evitar una posible extinción de la especie, según Winter & Chaparro 1987, existe números problemas de falta de información biológicos tales como, el desconocimiento básico de la biología de larvas, juveniles y adulto y la

carencia de técnicas de cultivo que tomen en realmente cuenta los conocimientos básicos (ej. Tasas de respiración) (Winter & Chaparro, 1987). Es decir, el cultivo de moluscos bivalvos se ha frenado por falta de conocimiento básico de las especies.

Situación del problema de la caída de oxígeno en los océanos y en las costas peruanas

El oxígeno es crítico para la salud del océano, ya que estructura los ecosistemas acuáticos, impacta el ciclo biogeoquímico del carbono, el nitrógeno y otros elementos clave, y es un requisito fundamental para la vida marina desde la zona intermareal hasta las mayores profundidades del océano. Una reducción en el oxígeno ambiental por debajo de los niveles requeridos causa estrés fisiológico, cambios de comportamiento y finalmente la muerte de especies marinas clave (Breitburg & Grégoire, 2018).

El aumento de la temperatura eleva la demanda de oxígeno de las especies marinas al tiempo que reduce el suministro de oxígeno. Expandiendo así el área de zonas con hipoxia y anoxia en los océanos y en las aguas costeras donde el oxígeno es insuficiente (Deutsch et al., 2014). Los modelos proyectan que el calentamiento combinado con una disminución de oxígeno aunque infimas ($>10 \mu\text{mol kg}^{-1}$) puede causar disminuciones en especies pesqueras importantes que son sensibles a bajos niveles de oxígeno, también se predice que la limitación fisiológica de oxígeno en aguas cálidas reducirá los tamaños máximos de muchas especies.

El aumento de la respiración que causa la desoxigenación también amplifica el problema de la acidificación de los océanos porque el subproducto de la respiración aeróbica es el CO_2 . En el océano abierto, el cambio climático está disminuyendo las concentraciones de oxígeno, mientras que en las regiones altamente productivas de estuarios, zonas costeras y afloramientos, las concentraciones de oxígeno y el pH pueden exhibir fluctuaciones extremas episódicamente y en ciclos diarios, de mareas, lunares y estacionales (Gobler et al., 2014).

Los efectos combinados del cambio climático y el exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo de fuentes como la escorrentía agrícola y los desechos humanos) están conduciendo a la pérdida

de oxígeno en los sistemas marinos costeros y los mares semicerrados que están fuertemente influenciados por su cuenca. Los modelos globales y regionales predicen que el contenido de oxígeno de las aguas marinas continuará disminuyendo a medida que aumenten las temperaturas atmosféricas y oceánicas y aumente el tamaño de la población humana (Breitburg et al., 2018).

Para visualizar la pérdida de oxígeno en la columna de agua, se evalúa el perfil vertical de oxígeno disuelto en la costa peruana, se observa concentraciones mínimas de 0,07 mL.L-1 a 50 m de profundidad lo que refleja el inicio de la Zona mínima de oxígeno (ZMO). La ZMO se distribuye a unas profundidades entre 50 a 800 m y se caracteriza por presentar condiciones de muy bajo oxígeno e incluso

anóxicas, a nivel mundial tenemos 3 ZMO, y en el Perú se encuentra una de ella. Frente a Perú, la ZMO se identifica por presentar concentraciones de oxígeno disuelto, entre 0,0 a 0,5 mL.L-1 en la columna de agua (Graco et al., 2007) .

Potencial de las adaptaciones de los mitílidos a problemas hipoxicos

El oxígeno influye en los procesos biológicos y biogeoquímicos en su nivel más fundamental. A medida que se realizan investigaciones en más hábitats y se utilizan nuevas herramientas y enfoques, el rango de efectos de la desoxigenación que se han identificado, y la comprensión de los mecanismos detrás de esos efectos, ha aumentado sustancialmente.

Los organismos tienen tolerancias de oxígeno muy variables, incluso en sistemas costeros poco profundos. Además, debido a que la temperatura afecta no solo el suministro de oxígeno (a través de su efecto sobre la solubilidad y la difusión) sino también la demanda respiratoria de los organismos, la limitación de oxígeno para los organismos se expresa mejor como una presión parcial de oxígeno crítica por debajo de la cual los organismos específicos exhiben funciones metabólicas reducidas que en términos de concentración de oxígeno (Deutsch et al., 2015).

Durante la hipoxia severa y la anoxia, muchos invertebrados obtienen energía de anaerobiosis, que también se denomina "anaerobiosis ambiental" esto debido a un suministro limitado de oxígeno dentro del medio

ambiente, la transición de hipoxia moderada a severa es ciertamente una situación crítica porque la ganancia de energía de las vías metabólicas anaeróbicas es drásticamente reducido en comparación con el suministro de energía dependiente de oxígeno (Grieshaber et al., 1994). Cuando los animales están expuestos a la hipoxia dentro de su hábitat, se presentan diversas reacciones y mecanismos para hacer frente a la disponibilidad reducida de oxígeno. Una de estas reacciones son movimientos respiratorios aumentados para aumentar la absorción de oxígeno, los cambios circulatorios, la modulación del oxígeno, capacidades de carga de los pigmentos respiratorios, una reducción del consumo de oxígeno acompañado de una notable disminución del gasto total de energía muy por debajo de la tasa metabólica estándar, y finalmente distintas vías fermentativas para la síntesis de ATP a nivel de sustrato (Grieshaber et al., 1994).

Conceptual

Generalidades de la especie

Los bivalvos que serán objeto del presente estudio, corresponden a dos especies características del intermareal rocoso: *Semimytilus algosus* y *Perumytilus purpuratus* (Zagal et al., 2001)

El bivalvo *P. purpuratus* posee valvas gruesas, es gonocórico y se encuentra en la zona intermareal rocosa media, mientras que *S. algosus* tiene valvas delgadas, es un hermafrodita simultáneo, que también presenta una pequeña

proporción de individuos gonocóricos y vive en el intermareal rocoso por debajo del límite de *P. purpuratus*, donde ambos bivalvos forman bancos extensos que quedan expuestos durante las mareas bajas (Tokeshi & Romero, 1995; Zagal et al., 2001). En un estudio desarrollado por Paredes & Tarazona 1980 utilizando el método del índice biológico, se determinó la existencia de dos comunidades de mitílidos que habitan la orilla rocosa de la costa peruana (Paredes & Tarazona, 1980): • Comunidad de *Perumytilus purpuratus* (Lamarck, 1819), en el horizonte medio de la zona mediolitoral. • Comunidad de *Semimytilus algosus* (Gould, 1850), en el horizonte inferior de la zona mediolitoral.

De acuerdo con las observaciones de campo de este trabajo, las comunidades de *P. purpuratus* y *S. algosus* se presentaron en todas las localidades estudiadas a lo largo de la costa de Lima, variando su fisonomía de acuerdo con los factores abióticos predominantes en cada lugar, de acuerdo con sus adaptaciones al mayor o menor grado de exposición al aire como consecuencia de la oscilación de las mareas.

En las orillas de poca pendiente expuestas a la acción de las olas, la comunidad de *P. purpuratus* desarrolla en extensos y gruesos tapices que cubren casi totalmente el sustrato. En estos ambientes las algas son escasas., mientras que si la orilla es de gran pendiente y está muy expuesta al oleaje, la flora casi desaparece, y se forma un

grueso estrato de *P. purpuratus*, el que puede alcanzar más de 10 cm de espesor. Por otro lado, en orillas protegidas o de oleaje suave, tanto de escasa pendiente como de gran pendiente, la comunidad de *P. purpuratus* se presenta como un delgado tapiz, existiendo, en algunos casos, una variada epiflora que se fija sobre los bivalvos.

La comunidad de *S. algosus* conforma un cinturón o un tapiz más estrecho y delgado, tanto en las orillas expuestas como en las protegidas. En algunos casos forma manchas aisladas sobre las prominencias rocosas del mediolitoral inferior La comunidad de *P. purpuratus* tiene una flora con predominio de algas rojas y verdes, mientras que *S. algosus* tiene flora muy variada aunque *Grateloupia doryphora* es siempre constantes en estas comunidades (Paredes & Tarazona, 1980).

Taxonomía

- Phylum: Mollusca

- Clase: Bivalvia
- Orden: Mytiloidea
- Familia: Mytilidae (Rafinesque, 1815)
- Género: Semimytilus (Soot-Ryen, 1955)
- Nombre científico: Semimytilus algosus (Gould, 1850)
- Phylum: Mollusca
- Clase: Bivalvia
- Orden: Mytiloidea
- Familia: Mytilidae (Rafinesque, 1815)
- Género: Perumytilus
- Nombre científico: Perumytilus purpuratus (Lamarck, 1819)

Morfología interna y externa

P. purpuratus, presenta una concha bivalva, gruesa mitiliforme, angulosa en su porción anterior. Los umbos son redondeados y frecuentemente erosionados, la superficie externa tiene estrías radiales muy marcadas en el extremo dorsoventral y estrías concéntricas de crecimiento. La charnela posee dientes pequeños y de igual tamaño, que se ubican hacia el lado ventral. El periostraco es grueso, de color violáceo, negro o negro púrpuro. Internamente es de color blanco, con una marcada línea paleal y un pequeño músculo aductor. Fuera de esta línea el color es de tonos plateados, púrpura brillante. El margen anterior es crenulado. De tamaño generalmente pequeño, la talla máxima controlada es de 31 mm (Osorio, 2002).

S. algosus, presenta una concha mitiliforme alargada, delgada y está comprimida lateralmente, generando en cada valva un levantamiento central angulado. Sus umbos son poco prominentes. El borde anterior de la concha termina en punta roma. Externamente se observan líneas concéntricas muy marcadas y finísimas estrías radiales, más notorias en el extremo posterior. Posee un periostraco café oscuro y brillante. El borde ventral es casi recto, en su parte anterior forma un pequeño ángulo y en el lado posterior es redondeado. La charnela no presenta dientes, su color interno es blanco nacarado, con tonos púrpura en el extremo posterior. La impresión muscular del aductor se ubica en el extremo dorso-posterior (Tarazona et al., 1988).

Definición de términos básicos

Hipoxia

En su definición original, la hipoxia representa un estado de oxígeno disponible reducido, cuando la presión parcial de oxígeno ambiental (P_{O_2}) ha disminuido por debajo de los valores normales de presión de oxígeno (normoxicos) (Pörtner & Grieshaber, 1993). Aunque 2 mg litro^{-1} ($61 \mu\text{mol kg}^{-1}$) es un umbral útil para definir la hipoxia cuando el objetivo es cuantificar el número de sistemas o la extensión espacial de las aguas sin oxígeno, un enfoque más apropiado cuando se consideran los efectos biológicos y ecológicos es simplemente definir la hipoxia como niveles de oxígeno lo suficientemente bajos como para afectar procesos clave o sensibles. (Deutsch et al., 2015)

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los gases más importantes en para la supervivencia y actividad de los sistemas acuáticos (Roldán-Pérez, 1992), es necesario para la supervivencia de la gran mayoría de animales marinos y niveles muy bajos pueden ser indicativos de altas concentraciones bacterianas, y reducciones en la diversidad de especies. Su solubilidad aumenta cuando disminuye la temperatura y la salinidad, lo que afecta el porcentaje de saturación óptimo de oxígeno en un cuerpo de agua (Alvarado & Aguilar, 2009).

Oxirreguladores

Los oxígeno-reguladores son capaces, dentro de ciertos límites, de mantener un consumo de oxígeno independiente de la presión de oxígeno ambiental (p_{O_2}), esto puede ocurrir en crustáceos (*Uca*, *Astacus*), en moluscos (*Mya*, *Mytilus*), en insectos (*Chironomus*, *Termopsis*) y en la gran mayoría de los vertebrados (Rosenmann, 1978).

Oxiconformes

Los oxígeno-conformadores disminuyen su consumo de oxígeno, a medida que el presión parcial de oxígeno del ambiente (p_{O_2}) ambiental baja y lo aumentan cuando este sube. Tal es el caso de ciertas especies de celenterados (*Cassiopea*), de anélidos (*Nereis*), moluscos y crustáceos (*Limax*, *Limulus*, *Homarus*) y aun de vertebrados (*Triturus*, *Fundulus*) (Rosenmann, 1978).

Punto crítico de oxígeno (P_{cO_2})

Se define como la tensión de oxígeno por debajo de la cual un animal oxirregulador ya no es capaz de mantener su tasa de consumo de oxígeno independiente de la tensión de oxígeno ambiental, pero exhibe una tasa decreciente de absorción de oxígeno. El punto crítico de oxígeno (P_{cO_2}) se define como la p_{O_2} por debajo de la cual un animal

independiente del oxígeno ya no puede mantener una tasa regulada y constante de consumo de oxígeno, esto también puede implicar un aumento en lugar de una disminución en el consumo de oxígeno. (Pörtner & Grieshaber, 1993).

3. CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis

H: La talla influye directamente en el consumo y punto crítico de oxígeno en los moluscos bivalvos (*Semimylus algosus* y *Perumylus purpuratus*)

Definición conceptual de variables

Variable Independiente

a. Talla

1. Definición conceptual

La distancia máxima entre los márgenes anterior y posterior de la valva (Gosling, 2008)

2. Definición de operación

Se tomó un calibrador vernier de la marca Mitutoyo y se midió la distancia desde la línea de la bisagra al margen de la carcasa en milímetros tomando en consideración las fracciones de milímetros.

Variable Dependiente

a. Punto crítico de oxígeno

1. Definición conceptual

Es la presión del oxígeno en la que la tasa de consumo de oxígeno del metabolismo aerobio, ya no puede mantenerse independiente de la presión del

oxígeno, e inicia el metabolismo anaerobio. Es decir, el límite inferior de la capacidad de un organismo para realizar ajustes fisiológicos que regulan la tasa de consumo de oxígeno a un nivel cuasi constante independiente de la presión parcial del oxígeno ambiental (Seibel, 2011).

2. Definición de la operación

Se graficó la tasa de respiración vs la saturación de oxígeno, mediante una regresión lineal segmentada se estimó el punto de ruptura lineal, el cual indica el punto crítico de oxígeno de la curva generada.

b. Tasa de consumo de oxígeno

1. Definición conceptual

El volumen de oxígeno que un individuo consume, que se relaciona al metabolismo en determinadas condiciones fisiológicas por unidad de tiempo.

2. Definición de la operación

Se graficó la cantidad de oxígeno en mg/L vs tiempo y se calcula la pendiente de la regresión en cada punto y multiplicándolo finalmente por el volumen de la cámara respirométrica, obteniendo la tasa de consumo de oxígeno en mg/L-h.

Tasa de consumo de oxígeno = $\Delta[\text{O}_2]/\Delta t * \text{VH}_2\text{O}$

$\Delta[\text{O}_2]$ = Variación de la cantidad de oxígeno en mg/L

Δt = Variación del tiempo

VH_2O = Volumen de agua que contiene la cámara respirométrica

Operacionalización de variables

Tabla 3.1. Variables e indicadores

VARIABLE DIMENSIÓN INDICADORES ESCALA

I Talla y peso de la especie Longitud y peso del individuo Milímetros gramos 1 a 35 mm a 8 mg

Tasa de Tasa de consumo Gramosde

D consumo de oxígeno de oxígeno

Porcentaje de oxígeno/individuos/ hora 0 a 8 gr/ind/hr

Punto crítico saturación de Adimensional en 1 a 100%

de oxígeno oxígeno en el valor porcentual

agua

4. CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es:

La investigación es aplicada, descriptiva y correlacionada. Aplicada, porque el propósito fue resolver un problema de naturaleza práctica en la que la información encontrada podrá dar las respuestas necesarias para la industria pesquera y acuícola de los choros.

Diseño de la investigación

El diseño experimental a utilizarse es, "diseño con grupos de asignación aleatoria y pos prueba únicamente" y sin un control (Hernandez Sampietri, 2007). En este caso, se desarrollaron 4 grupos como se esquematiza a continuación.

R: Asignación al azar o aleatoria. Es decir los sujetos han sido asignados a un grupo de manera aleatoria. G: Grupo de sujetos (G1, grupo 1; G2, grupo 2; etc.).

X: Tratamiento, estímulo o condición experimental (presencia de algún nivel o modalidad de la variable independiente). 0: Una medición de los sujetos de un grupo.

El diseño experimental, como se explica anteriormente, estuvo constituido por 4 grupos G1, G2, G3, G4, que a partir de ahora pasarán a nombrarse de la siguiente manera P1, P2, S1, S2 respectivamente cada uno con 12 repeticiones (Tabla 4.1). Las cuales se desarrollaron dentro de una unidad experimental (Fig. 4.1) que contenía 4 repeticiones y un blanco (unidad de control del sistema respirométrico sin ningún organismo vivo), es decir para cada grupo de datos se usó 3 veces la unidad experimental para obtener las 12 repeticiones por grupo.

Tabla 4.1. Formula experimental

P. purpuratus S. algosus r P1 P2 S1 S2

1 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

2 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

3 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

4 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

5 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

6 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

7 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

8 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

9 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

10 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

11 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

12 n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm n=30,

t=10mm n=5,

t=30mm

P1= individuos de la especie *P. purpuratus* de 10 mm P2= individuos de la especie *P. purpuratus* de 30 mm S1= individuos de la especie *S. algosus* de 10 mm S2 = individuos de la especie *S. algosus* de 30 mm r = repeticiones (12 repeticiones) n = número de individuos por repetición t =talla

Método de investigación

El método es experimental, porque se usó un diseño al azar con 12 repeticiones por 4 grupos; donde cada grupo presento una especie-talla diferente, además el experimento manipula las variables el peso y talla para obtener medidas de tasa de consumo y punto crítico de oxígeno.

Población y muestra

Población

El estudio se llevó a cabo con ejemplares de *Semimytilus algosus* y *Perumitylus purpuratus* recolectados en 3 estaciones, dos estaciones en la playa de Arenilla - Bahía del Callao (12° 04'28"S 77°09'46"W, 12°03'58"S

77°09'30"W) y una en la Playa Pescadores - Miraflores (12°09'52"S 77°01'48"W).

Figura 4.1. Ubicación de las estaciones de muestreo.

Fuente: propia.

Muestra

La muestra de estudio comprende 420 ejemplares de *Semimytilus algosus* y 420 ejemplares de *Perumitylus purpuratus*, de la cual se tomo 4 grupos. La muestra se calculara de acuerdo a la siguiente formula (Santiago Valderrama,2006):

$$n = \frac{S^2}{V^2} \cdot N$$

$$V^2$$

$$n = n!$$

$$1 + n!$$

$$N$$

N = Tamaño de la población S = Error estándar $0.5 V^2$ = Varianza de la población

$n!$ = tamaño provisional de la muestra S^2 = Varianza de la muestra \bar{x} = valor promedio de una variable n = cantidad exacta de la muestra

Lugar de estudio y periodo de desarrollo

El estudio se realizó en el laboratorio de ecofisiología acuática del área funcional de investigaciones en acuicultura- AFIA del instituto del mar del Perú – IMARPE. En la sede Callao ubicado en la Esquina Gamarra y General Valle S/N Chucuito. La instalación y las pruebas pre-experimentales se realizaron durante el año 2017, mientras que la recolección de datos durante el año 2018.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Flujo-grama de procedimiento experimental

Figura 4.2. Flujograma de procedimiento.

- EXTRACCIÓN DE LA POBLACIÓN MEDIANTE BUCEO: La población la constituye *Semimytilus algosus* y *Perumitylus purpuratus* obtenidos del puerto del callao y la caleta de chorrillos.
- RECEPCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS LABORATORIOS DEL IMARPE: La población de mitílicos una vez extraídos, serán llevados al laboratorio de ecofisiología ubicado en las instalaciones

del IMARPE. • **ACLIMATACIÓN PARA EL EXPERIMENTO:** La aclimatación en el laboratorio fue en un tanque, separados por especies, de flujo continuo a 16°C. El tanque fue monitorizados continuamente (temperatura, pH, salinidad, O₂ y la mortalidad). • **LIMPIEZA DE INCRUSTACIONES EN LA VALVA DE LA CONCHA:** Los animales fueron extraídos de los tanques de aclimatación, se limpiaron eliminando las incrustaciones. • **BIOMETRÍA:** se realizó la biometría mediante la talla y peso de los individuos. • **INGRESO A LAS CÁMARAS DE RESPIRACIÓN:** en cada cámara de respiración serán colocados 30 individuos si la talla es aproximado a los 10 mm y 5 individuos si la talla es aproximadamente 30 mm. • **INICIO DEL EXPERIMENTO:** Se inicia el experimento en un nivel de oxígeno decreciente (100, 80, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5% de saturación de oxígeno disuelto en el agua) manteniendo cada nivel por 2 hr . • **MEDICIONES DE LA TASA DE CONSUMO DE OXIGENO:** Las mediciones se harán en cada nivel de oxígeno. Todas las mediciones se repetirán 3 veces, llevando un total de 12 réplicas para cada nivel de oxígeno.

Monitoreo de parámetros

La concentración de oxígeno dentro y fuera de cada cámara se midió con una sonda de oxígeno y se controló mediante la inyección de nitrógeno gaseoso.

a. Materiales, equipos e instrumentos

1. Materiales

- Tanque de nitrógeno
- Válvula de regulación para nitrógeno
- Bombas sumergibles
- Cámaras respiro métricas
- Tanque de 200 L
- Mangueras
- Tuberías y uniones
- Cajas de paso eléctricas
- Prensaestopas
- Taladro y brocas

2. Equipos

- Multiparametro
- Sensor de oxígeno

- Raspberry Pi
- Relay
- Monitor o pantalla

3. Instrumentos

- Vernier
- Balanza
- Probeta

Aclimatación de individuos

La recepción de la población *S. algosus* y *P. purpuratus* fue en un tanque de flujo continuo y se monitorizó temperatura, pH, salinidad, niveles de O₂ y mortalidad durante 3 semanas. El cual tenía como parámetros 16°C, salinidad 34‰, al 100% de saturación de oxígeno entre 7.5 y 8 mg/l de oxígeno aproximadamente

Desarrollo del sistema de control de oxígeno

El experimento se realizó en un tanque de volumen de 200L de fibra de vidrio donde se controló la saturación de oxígeno mediante la inyección de gas nitrógeno. El sistema que controló la inyección de nitrógeno estaba compuesto por un sistema de válvulas, un ordenador Raspberry Pi que mediante un programa controlaba la regulación de las válvulas, un monitor, para visualizar la interfaz del programa, un mouse, teclado, un multiparametro WTW, y un sensor de oxígeno.

Dentro del tanque se encontraban 5 cámaras respirométricas (4 de repetición y una de control o blanco) de 640 ml aprox. cerradas herméticamente, equipadas con dos bombas, una de homogenización y la otra de renovación, y una sonda de oxígeno dentro de cada cámara, las cuales mandaban datos a dos multiparametros para medir la saturación de oxígeno en cada cámara en mg/l (Fig 4.3).

Figura 4.3. Esquema de la Unidad Experimental. Las flechas negras indican el flujo de nitrógeno, las flechas celestes muestran el flujo de agua en el ciclo de homogenización y las flechas rojas, el flujo de agua en el ciclo de renovación.

Fase experimental

Individuos de dos especies de mitílidos, *Perumytilus purpuratus* y *Semimytilus algosus* de dos grupos de tallas

- *P. purpuratus*: juveniles, 14.53±0.79mm (P1) y adultos, 33.47±0.68 mm (P2)
- *S. algosus*: juveniles, 14.22±0.76 mm (S1) y adultos, 33.39±0.79 mm (S2)

Presentan dos grupos de diferentes tallas para cada especie, en un total de 4 grupos. Los animales se extrajeron

de los tanques de aclimatación, se limpiaron las incrustaciones en la valva de la concha luego se realizó la biometría. Posteriormente se colocaron en las cámaras respirométricas y se inició el experimento en una hipoxia progresiva de 9 niveles (100, 80, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5% de saturación de oxígeno disuelto en el agua)

Las mediciones de la tasa de oxígeno en cada nivel de saturación se realizó por 15 min dentro de cada cámara (ciclo de homogenización), dejando 5 min para la renovación del agua usando un flujo de agua fresca, de fuera de las cámaras, para regresar a la saturación inicial del nivel que se estaba midiendo (ciclo de renovación) (Fig 4.3).

Al iniciar el experimento se mantuvo el 100% de saturación de oxígeno durante 6 hr para evitar que el estrés de los individuos afectara la respuesta. Posteriormente se mantuvo el cada nivel de saturación durante 2 hr, es decir cada unidad experimental trabajo durante 22 hr. Consecutivas. Este proceso se repitió 3 veces, llevando un total de 12 réplicas para cada nivel de saturación oxígeno. Al terminar el experimento se obtuvo el peso húmedo y seco de cada individuo para una posterior estandarización.

Análisis y procesamiento de recolección de datos

Estimación de las tasas de consumo de oxígeno de *P. purpuratus* y *S. algosus*

El análisis de datos se inició exportando los datos de concentración de oxígeno (mg/l) registrado en los 2

multiparametros por los sensores de cada cámara respirométrica. Estos datos se unieron en una sola base de datos mediante un algoritmo a través del uso de Python.

Posteriormente se uso la herramienta R.Studio para desarrollar un algoritmo para hallar la tasa de consumo de oxígeno. El algoritmo consistió en determinar las pendientes del consumo de oxígeno generada en los ciclos de homogenización (incubaciones). Las pendientes se multiplicaron por el volumen de agua de la cámara obteniendo la tasa total de consumo de oxígeno respirado en la cámara.

Para hallar la tasa de consumo de oxígeno solo de los mitílicos, teniendo las tasas de consumo de oxígeno total de todas las cámaras a lo largo de la hipoxia progresiva en cada unidad experimental (4 cámaras y un control). Se procedió a quitar el consumo de oxígeno respirado por los microorganismos presentes en la cámara (para esto se uso la tasa de consumo de oxígeno hallado para la cámara de control o blanco).

La tasa de consumo de oxígeno respirada por los mitílicos en una cámara se dividió entre la cantidad de individuos por cámara. Hallando finalmente la tasa de consumo de oxígeno por individuo (mg O₂ / h / indiv) para cada incubación (puntos negros de la Fig 4.2)

Estimación de los P_{cO2}

Mediante el algoritmo desarrollado en R.Studio se obtuvo los datos necesarios para modelar el consumo de oxígeno en función de la saturación, posteriormente se realizó una regresión lineal segmentada con los datos. Por último, se estimó el punto de ruptura entre los segmentos lineales mediante la librería *segmented* en R permitiendo hallar los puntos críticos de oxígeno (P_{cO_2}) para cada grupo (Fig.4.4).

Figura 4.4. Gráfico de la estimación del punto crítico de oxígeno. Los datos (puntos negros) son las tasas de consumo de oxígeno por individuo ($\text{mg O}_2 / \text{h} / \text{indiv}$) para cada incubación. El eje x muestra el nivel saturación de oxígeno y en el eje y la tasa de consumo de oxígeno de los datos de una de las repeticiones del grupo P1.

Estimación del porcentaje de la tasa de respiración al 100% de saturación de oxígeno y estandarización

Para poder comparar las tasas de consumo de los diferentes grupos fue necesario hacer una estandarización. Para esto

se realizó un ajuste a la tasa predicha al 100% de saturación de las regresiones halladas en la estimación del P_{cO_2} para cada una de las repeticiones de los grupos.

Esta tasa de consumo de oxígeno predicha, fue tomado como valor máximo considerándola 1 (100%) a partir de esta transformación se volvió a graficar la regresión lineal de cada una de las repeticiones (Fig 4.5). Finalmente, se promedió todas las repeticiones estandarizadas y ajustadas a 1. Para tener una única regresión lineal y un punto crítico para cada grupo.

Figura 4.5. Regresiones lineales estandarizadas ajustadas a la tasa predicha al 100% de saturación. Expresando la tasa de consumo de oxígeno en su forma estandarizada con respecto al máximo valor (1=máximo valor) en función a la saturación de oxígeno para cada repetición del grupo P1. Los puntos críticos promedios están anotados al lado derecho y la barra inferior representa su intervalo de confianza.

Análisis estadístico

Para todas las comparaciones se usó el test estadístico Kruskal-Wallis para datos no paramétricos, para obtener las diferencias significativas ($p > 0.05$). Las comparaciones se realizaron entre especies (P1 vs S1 y P2 vs S2) y entre tallas (P1 vs P2 y S1 vs S2). Los datos comparados fueron biometría (talla y peso), punto crítico, tasa de consumo de oxígeno al 100% y las pendientes de la regresión lineal.

5. CAPITULO V: RESULTADOS

Resultados descriptivos

Datos biométricos

En la Figura 5.1 y Tabla 5.1, se observa los datos biométricos de los grupos de datos, en las tallas menores en ambas especies no tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$), del mismo modo con las tallas mayores no hubo diferencias significativas con respecto a la talla.

Con respecto al peso seco en una misma talla, sí existieron diferencias significativas para una misma especie.

Tabla 5.1. Valores del peso y talla en cada tratamiento.

Fuente: propia.

TRATAMIENTO Mínimo (g) Máximo (g) Promedio (g)

P1

0: Tesis Alejandro Flores.docx

58%

T=13

P= 0.0093 T=15.95 P=0.0778 T=14.53

P= 0.030309

P2 T= 32.2

P= 0.1321 T= 34.7

P= 0.4262 T= 33.47364

P= 0.25856

S1 T=12.85

P= 0.0026 T=15.9

P= 0.0396

T=14.22

P= 0.014042

S2 T= 32

P= 0.0633 T= 34.8

P= 0.1128 T=33.39083

P= 0.086753

Figura 5.1. Boxplot de los promedios de talla y peso. En cada repetición fueron tomados los datos de talla y peso por cada tratamiento (perumitylus10, perumitylus30, semimytilus10 y semimytilus30). Fuente: propia.

Puntos críticos de oxígeno

En la figura 5.2, para el tratamiento P1 la repetición con menor punto crítico es 11.74% (IC al 95%: 9.013, 14.468). Mientras que la repetición con mayor punto crítico es 23.8% (intervalo de confianza al 95%: 20.313, 26.943) y la mediana es 13.42.

Para el tratamiento P2 (figura 5.2. P2) la repetición con menor punto crítico es 15.9% (IC al 95%: 13,34, 18.45), Mientras que la repetición con mayor punto crítico es 55.3% (intervalo de confianza al 95%: 50.541, 60.063) y la mediana es 25.

Para el tratamiento S1 (figura 5.2. S1) la repetición con menor punto crítico es 10.39% (IC al 95%: 9.6189, 12.144), la repetición con mayor punto crítico es 32.09% (intervalo de confianza al 95%: 27.15, 37.367), y la mediana es 13.7.

Para el tratamiento S2 (figura 5.2. S2) la repetición con menor punto crítico es 12.936 (IC al 95%: 9.324, 16.549), la repetición con mayor punto crítico es 73.53 (intervalo de confianza al 95%:62.942, 84.13), y la mediana es 13.35.

Tabla 5.2. Valores del punto crítico en cada tratamiento

Fuente: propia.

TRATAMIENTO Mínimo Máximo Promedio (%)

P1 11.7% 23.2% 15.02% (I.C 95%: 14.06, 15.97)

P2 15.9% 55.3% 26.52% (I.C 95%: 25.15, 27.9)

S1 10.4% 32.1% 14.88% (I.C 95%: 13.26, 16.51)

S2 13% 73.6% 46.88% (I.C 95%: 9.013, 14.468)

Figura 5.2. Regresiones lineales para cada repetición. Regresiones lineales de los tratamientos ajustada a la tasa predicha al 100% de saturación, expresando el porcentaje de la tasa de consumo de oxígeno en su forma decimal con respecto al máximo valor (1=100%) en función a la saturación de oxígeno. Los puntos críticos promedios están anotados al lado derecho.

Fuente: propia.

En resumen (Ver tabla 5.2), en la figura 5.3 se presentan todos los datos en cada tratamiento ubicando el PCO₂ promedio. Los PCO₂ promedios en las tallas mayores fueron significativamente ($p > 0.05$) más altos en las tallas manores. Para P. purpuratus y S. algosus fueron 26.52% (I.C 95%: 25.15, 27.9) y 46.88% (I.C 95%: 9.013, 14.468)respectivamente en la tallas mayores ; mientras que 15.02% (I.C 95%: 14.06, 15.97) y 14.88% (I.C 95%: 13.26, 16.51) respectivamente en la tallas menores.

Figura 5.3. Tasas de respiración promedio de todas las repeticiones estandarizadas y ajustadas a 1 (1=tasa máxima obtenida al 100% de saturación). La línea azul representa la regresión lineal modelada y la barra inferior representa el intervalo de confianza. Fuente: propia.

Efecto de la talla en las tasas de consumo de oxígeno

Los cuatro tratamientos fueron expuestos a una disminución progresiva de la saturación de oxígeno ambiental. En la figura 5.4 se muestran los valores hallados de la tasa de consumo de oxígeno a diferentes porcentajes de saturación de oxígeno en el agua. Se puede apreciar que para todos los niveles de saturación de oxígeno evaluados (de 100 al 5%), las tallas mayores (P2 y S2) presentan mayor tasa de consumo de oxígeno para ambas especies (*P. purpuratus*, y *S. algosus*) que las tallas menores (P1 y S1).

Adicionalmente también se observa en las tallas menores que P1 y S1 a pesar de parecer semejante, al hacer el test estadístico Kruskal Wallis muestra que existen diferencias significativas entre los grupos de datos ($p > 0.05$). De la misma manera en las tallas mayores P2 y S2 muestran mayor diferencia significativa. Por último, se puede apreciar que la tasa de consumo de oxígeno de *Perumytilus purpuratus* (P1 y P2) es mayor que *Semimitulus algosus* (S1 y S2) a una misma talla.

Figura 5.4. Tasas de respiración (en g/L-h) de *Perumytilus purpuratus* y *Semimylus algosus* de diferentes tallas (azul y rojo: 14.36 ± 0.79 mm, amarillo y verde: 33.43 ± 0.74 mm). En la parte inferior barras representando el intervalo de confianza del punto crítico hallado a través de la regresión lineal. Fuente: propia.

La tasa promedio de consumo de oxígeno para condiciones óptimas de cultivo (normoxia, Tabla 5.2), fueron $0.205 \text{ O}_2/\text{h}/\text{indiv}$ para *P. purpuratus* y $0.186 \text{ O}_2/\text{h}/\text{indiv}$ para

S. algosus para una talla promedio de 33.43 ± 0.74 mm.

Mientras que $0.025 \text{ O}_2/\text{h}/\text{indiv}$ para *P. purpuratus* y

$0.018 \text{ O}_2/\text{h}/\text{indiv}$ para *S. algosus* para una talla promedio de 14.36 ± 0.79 mm.

Tabla 5.3. Tasa de consumo de oxígeno promedio en normoxia e hipoxia para cada tratamiento. Fuente: propia.

TRATAMIENTO En normoxia (<80% de saturación de oxígeno en el agua) ($\text{O}_2/\text{h}/\text{indiv}$) En hipoxia (>10% de saturación de oxígeno en el agua) ($\text{O}_2/\text{h}/\text{indiv}$)

P1 0.023 0.005

P2 0.205 0.051

S1 0.018 0.004

S2 0.186 0.048

Resultados inferenciales

En la figura 5.2, se puede inferir que las tallas menores (S1 y P1) presentan una baja variabilidad en los puntos críticos. Mientras que las tallas mayores (S2 y P2), muestran una alta variabilidad en los puntos críticos.

Con respecto a los datos de la figura 5.1 se puede inferir que en el caso que se hubiera tomado muestra de una talla dentro del intervalo de las muestras usadas en el experimento la nueva tasa de consumo de oxígeno también se había encontrado entre el intervalo de la tasa de consumo de oxígeno de estas.

Al obtener datos biométricos sin variación significativa en tallas menores y mayores podemos inferir que este parámetros no influencio la comparación de los datos de diferentes especies tanto en las tallas mayores como en la menores. En cuanto al peso,

debido a que existió diferencias significativas entre el peso seco a la misma talla, se puede inferir que a una misma talla la variación del peso será de acuerdo a la especie.

6. CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Contrastación y demostración de hipótesis

Diferencia entre especies

Comparando el grupo de tallas grandes, las tasas de consumo de oxígeno presentaron diferencias entre especies, siendo *P. purpuratus* la especie que presentó la mayor tasa de consumo de oxígeno; así pues, tasa de consumo de oxígeno promedio en condiciones de normoxia para individuos adultos fue de 0.205 gO₂h⁻¹ind⁻¹ para *P. purpuratus* y 0.186 gO₂h⁻¹ind⁻¹ para *S. algosus* (Fig. N°4).

Vladimirova (2003), propone la existencia de dos tipos de dependencia del metabolismo energético con el peso corporal, intra e interespecífico. La dependencia intraespecifica determina la dependencia del metabolismo ontogénico con el peso corporal para moluscos. La dependencia interespecífica, para la clase Bivalvia en su conjunto, la cual analiza el metabolismo en animales adultos de diferentes especies. En su trabajo, Vladimirova (2003), usando la tasa de consumo de oxígeno como punto de partida, afirma que el nivel de metabolismo estándar comparable, varía en diferentes grupos taxonómicos y zoogeográficos de bivalvos (Vladimirova et al., 2003).

La autora sostiene que hay razones para creer que los taxones más antiguos tienen un nivel metabólico relativamente más bajo. Esto quiere decir que los taxones más antiguos no pueden ser eficientes metabólicamente por

lo que tendrían una baja tasa de consumo de oxígeno, ya que no estarían capacitados para aprovechar todo el oxígeno disuelto del medio ambiente. Al respecto, los resultados de esta tesis fueron que *S. algosus* presentó un consumo de oxígeno 10% más bajo que *P. purpuratus*, según Vladimirova estos resultados indicarían que *S. algosus* pertenece a un taxón más antiguo que *P. purpuratus*, esta hipótesis podrían validar trabajos de filogenia tales como la tesis de Barahona (2017) el cual desarrollo un árbol filogenético de especies de

bivalvos que habitan la costa norte del Perú, y sostiene que la especie *S. algius* pertenece a un taxón más antiguo que *P. purpuratus* (Barahona, 2017).

En cuanto al punto crítico, para adultos (alrededor de 30 mm), el presente estudio encontró una diferencia en la capacidad de regulación de oxígeno entre especies de mitílicos, siendo *Perumytilus purpuratus* la especie con mayor capacidad regulatoria con P. crit de 26.3%, mientras *Semimyltilus algius* tuvo un p. crítico de 46%. Este patrón en la capacidad de regulación del oxígeno basado en sus respuestas respiratorias se ha clasificado como oxiconformes y oxirreguladoras (Newell, 1979).

Es así que según este autor *P. purpuratus* se clasificaría como una especie oxirreguladora, ya que logra mantener su capacidad oxirreguladora en un mayor rango de saturaciones de oxígeno (de 26.3% a 100%). O si prefieren, mantiene una tasa de respiración casi constante en un amplio rango de saturaciones. Por otro lado *S. algius* sería una especie oxiconforme ya que solo puede mantener

su capacidad oxirreguladora en un rango corto de saturaciones de oxígeno (de 46% a 100%). Aunque este tipo de clasificación ha sido rebatida ya que existen respuestas intermedias (Mangum & Winkle, 1973), según Portner, (2010) explica la existencia de un grupo que muestran un consumo variable de oxígeno en un rango más amplio de saturaciones los cuales serían "falsos oxiconformes" (Pörtner, 2010). Si consideramos los resultados hallados en la tabla N°5.2, podríamos decir que *S. algius* (S2) realmente se clasificaría como un "falso oxiconforme" ya que se obtuvo resultados muy variables. Aunque *P. purpuratus* (P2) también tuvo resultados variables, su desviación estándar no fue tan alta como *S. algius* (Tabla N° 5.2).

Las diferencias en la capacidades de regulación de oxígeno de esta especie puede deberse a modificaciones bioquímicas tales como diferentes vías metabólicas de respiración anaeróbica (Simpfendörfer et al., 1995, Simpfendörfer et al., 1997). Estas modificaciones bioquímicas podrían estar relacionadas con el hábitat, Hummel et al. 1988 y Simpfendörfer et al. 1995 afirman

0: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018
100%

que moluscos bivalvos que habitan en niveles intermareales más altos presentan una mayor afinidad terrestre en comparación con individuos del nivel intermareal bajo, que presentarían mayor afinidad marina.

Con afinidad terrestre estos autores se refieren a la existencia de existiría una afinidad por el metabolismo anaerobio en especies del intermareal más alto debido a la falta de oxígeno disuelto en el medio ambiente.

Del mismo modo Montecinos (2009) afirma que existe un efecto en la capacidad de tolerar la exposición aérea, o en otras palabras la escases de saturación de oxígeno disuelto, de organismos que habitan diferentes zonas del intermareal incluso siendo estos de la misma

especie (Montecinos et al., 2009) . Y que esta capacidad de tolerancia es a causa de una diferente respuesta fisiológica en el equilibrio acido-base en la especie en la especie *P. purpuratus*. Por último en un trabajo más reciente. Artigaud, 2014, contrasta la especie submareales como *Pecten maximus* con el mitilido *Mytilus spp* (Artigaud et al., 2014).

Y sugiere que las especies submareales, como *P. maximus*, podría ser más vulnerable a la hipoxia, que las especies intermareales, como *Mytilus spp*. Para este trabajo las muestras de *S. algosus* fueron encontrados en un submareal e intermareal bajo mientras *P. purpuratus* en un intermareal mucho alto. Esto indicaría según los autores anteriormente citados una respuesta fisiológica con un metabolismo anaerobio mucho más predominante en *P. purpuratus* que en *S. algosus*. Y del mismo modo una tolerancia mayor a la hipoxia en *P. purpuratus*.

Lo cual fue corroborado con los resultados obtenidos (punto crítico 26% para *P. purpuratus* y 46% para *S. Algosus*). Nuestros resultados muestran que existe una influencia que el punto crítico y la tasa de consumo de oxígeno no solo guardan relación con la talla si no también con el hábitat de los organismos, ya que a pesar de ser *P. purpuratus* y *S. algosus* sean ambos bivalvos mitílidos hay

características del hábitat que podrían ser un indicador de mayor regulación, tal y como se ha descrito con anterioridad.

Diferencia entre tallas

Los P_{CO_2} encontrados en la literatura varían entre el 20 al 40% de saturación de oxígeno, teniendo una relación aparente con la talla del individuo a pesar de ser de diferente especie. Esto también se observa en los resultados de nuestro experimento ya que, para los juveniles (alrededor de 10 mm) teniendo un P_{CO_2} de 13.8% para *P. purpuratus* y 15.3% mm para *S. algosus* junto a lo hallado por Alexander, 2003 que obtuvo para el mitilido *Dreissena polymorpha* un P_{CO_2} menor a 20% en tallas de 9 a 18 mm, nos hace suponer que en juveniles el P_{CO_2} de las especies de mitílidos no presentaría una diferencia muy marcada a pesar de ser de diferentes especies de organismos.

Mientras que en los adultos (alrededor de 30 mm) teniendo un p. crit de 26.3% para *P. purpuratus* y 46.2%. mm para *S. algosus*, junto a los valores hallados por Artigaud, 2015, para la especie *Pecten maximus*(para una talla promedio de 32), el cual fue un P_{CO_2} de 23%, nos hacen suponer que el P_{CO_2} en los adultos es mucho más variable que en los juveniles, pudiendo tomar valores desde 20% hasta más del 40%.

Es decir, que para los juveniles (tallas entre 9 a 18 mm) el P_{CO_2} es más estable, ya que se encuentra entre 14 y 20% , mientras que en los adultos (tallas entre 30 y 36 mm) el P_{CO_2} puede ser muy variable entre 20% y más de

40%. Lo que indicaría que a mayor sea la talla de organismo, habrían más factores que influyen en la regulación del consumo de oxígeno, algunos de ellos podrían ser la especie, el índice de condición, el hábitat, etc.

Contrastación y demostración de la hipótesis con otros resultados

Implicancia en la acuicultura y las pesquerías

A pesar de que la especie no se usa para el cultivo se podría incluir en el cultivo intermedio para alimentar especies carnívoras, como pulpos. Al respecto existen estudios en acuicultura para la fase de engorde del pulpo que han demostrado que es un buen candidato con condiciones óptimas para su engorde de pulpos, mostrando elevada tasa de crecimiento, fácil adaptación al cultivo y a la alimentación y un estimable valor en el mercado.

La producción de alimento de engorda de pulpo esta asociado frecuentemente el engorde de especies no deseadas o de bajo valor comercial (Socorro et al., 2005), en este caso podríamos considerar los mitílidos mostrados en este estudio, ya que no son aprovechados como consumo final por su tamaño reducido. Además algunos autores encontraron un predominio de bivalvos en la dieta de pulpo (Smale & Buchan, 1981; Ambrose & Nelson, 1983), mientras que otros autores sugirieron que los crustáceos son los mayoritarios, representando el 65-80% de la dieta natural de pulpos (Guerra, 1978; Quetglas et al., 1998; Smith, 2003; Estefanell, 2012).

Según Pinilla, G. (1998) en general todo organismo es indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales, es considerado indicador. Sin embargo, en términos más estrictos, un indicador biológico acuático se ha considerado como el que cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita. En este caso la especie *P. purpuratus* podría ser un indicador de ambientes eutroficados, ya que tiene un PcO_2 alto en comparación con *S. algosus*.

En cuanto a la extrapolación de estos resultados, es posible que el "choro" *Aulacomia ater*, que actualmente no se cultiva, pero es importante en el mercado interno, el cual ha venido teniendo problemas en la última década, podría presentar un punto crítico muy alto debido a su hábitat ecológico, con ello tendría un consumo ineficiente del oxígeno, por lo que sería necesario su cultivo, y este trabajo se puede tomar como referencia para saber la cantidad de consumo de oxígeno usado en un futuro cultivo.

Responsabilidad ética

Este proyecto es original y tiene como compromiso asegurar que la tesis ha sido realizada siguiendo las normas nacionales e internacionales relacionadas con el cumplimiento de la responsabilidad ética y de la protección de la integridad científica de parte del autor y de todas las personas que participaron durante

la investigación (Investigadores Principales de proyectos y otros investigadores de los mismos, profesionales de todos los ámbitos, y profesionales en general).

CONCLUSIONES

El consumo de oxígeno para mitílicos pequeños (en promedio 14 mm) fue 0.023 O₂/h/indiv para *P. purpuratus* y 0.018 O₂/h/indiv para *S. algosus*, mientras para individuos grandes (en promedio 33.4 mm) fue 0.205 O₂/h/indiv para *P. purpuratus* y 0.186 O₂/h/indiv para *S. algosus*.

En cuanto, al punto crítico de oxígeno para mitílicos pequeños fue 15.02% para *P. purpuratus* y 14.88% para *S. algosus* en promedio, mientras para individuos grandes fue 55.3% para *P. purpuratus* y 73.6% para *S. algosus* en promedio.

Con los resultados obtenidos, se determinó que el consumo de oxígeno y el punto crítico de oxígeno fueron significativamente mayor para los individuos de grandes que para los individuos pequeños en ambos grupos de especies (*P. purpuratus* y *S. algosus*).

En cuanto el análisis para una misma talla en distintas especies (*P. purpuratus* y *S. algosus*), las tasas de consumo de oxígeno en diferentes saturaciones presentan diferencias significativas entre especies. Aunque hay que tomar en cuenta que a tallas más pequeñas la diferencia significativa del consumo de oxígeno entre especies también es menor.

En conclusión, existe evidencia de que la talla influye directamente en el consumo y punto crítico de oxígeno en los moluscos bivalvos (*S. algosus* y *P. purpuratus*). Además si la talla se mantiene constante a diferentes especies, las tasas de consumo de oxígeno son diferentes en diferentes especies. Por ende se puede inferir que si evaluamos diferentes especies de bivalvos, existiran otras variables relacionadas tales como especie o habitat que también afectarían la tasa de consumo de oxígeno.

RECOMENDACIONES

Hay que considerar que los datos biométricos si encontraron variación de peso para una misma talla en las especies, siendo *P. purpuratus* mas pesada que *S. algosus*, por lo que deberíamos hacer estudios posteriores que evalúen si el índice de condición también influyen en la tasa de consumo de oxígeno. Esta tesis debe tomarse en cuenta como un estudio preliminar para poder estudiar más especies tales como *Aulacomia ater*.

50

9

49

60

Hit and source - focused comparison, Side by Side:

Left side: As student entered the text in the submitted document.

Right side: As the text appears in the source.

Instances from: Tesis Alejandro Flores.docx

2	2: Tesis Alejandro Flores.docx
T=13	T1
P= 0.0093 T=15.95 P=0.0778 T=14.53	AIRLIFT
P= 0.030309	T1P1 (J1)
P2 T= 32.2	500
P= 0.1321 T= 34.7	500
P= 0.4262 T= 33.47364	500
P= 0.25856	T1P1 (J3)
S1 T=12.85	500
P= 0.0026 T=15.9	500
P= 0.0396	500

T1P1 (J5)

500

500

500

T2 TRADICIONAL

T2P2 (J2)

500

500

500

T2P2 (J4)

500

500

500

T2P2 (

Instances from: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018

1 81%

bivalvo *Perumytilus purpuratus* forma mantos en la zona intermareal, ocupando gran parte del gradiente vertical, con prolongados periodos de exposición aérea durante las mareas bajas, los cuales varían según la altura del intermareal en que se encuentre el organismo(

1: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018 81%

bivalvo *Perumytilus purpuratus* (Lamarck, 1819) es un mitílido que forma mantos en la zona intermareal de las costas de Chile, ocupando gran parte del gradiente vertical (Alvarado & Castilla 1996), con prolongados periodos de exposición aérea durante las mareas bajas (Guzmán et al. 1998), los cuales varían según la altura del intermareal en que se encuentre el organismo.

3 100%

que moluscos bivalvos que habitan en niveles intermareales más altos presentan una mayor afinidad terrestre en comparación con individuos del nivel intermareal bajo, que presentarían mayor afinidad marina.

3: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572009000100018 100%

que moluscos bivalvos que habitan en niveles intermareales más altos presentan una mayor afinidad terrestre en comparación con individuos del nivel intermareal bajo, que presentarían mayor afinidad marina (