

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
DE LA VIDA**

**Depredación por patos marinos *Melanitta* spp. a mejillón
Mytilus galloprovincialis cultivado en la Bahía de Todos
Santos**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Ana Daniela Durazo Carmona

Ensenada, Baja California, México
2014

Tesis defendida por

Ana Daniela Durazo Carmona

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Director del Comité

Dr. Jaime Luévano Esparza
Miembro del Comité

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez
Miembro del Comité

Dr. Ernesto García Mendoza
Miembro del Comité

Dra. Rufina Hernández Martínez
Coordinador del Posgrado en Ciencias
de la Vida

Dr. Jesús Favela Vara
Director de Estudios de Posgrado

Diciembre, 2014

Resumen de la tesis de **Ana Daniela Durazo Carmona**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en Ciencias de la Vida

Depredación por patos marinos *Melanitta* spp. a mejillón *Mytilus galloprovincialis* cultivado en la bahía de todos Santos

Resumen elaborado por:

Ana Daniela Durazo Carmona

Estudiamos los impactos de *Melanitta perspicillata* durante la temporada invernal 2013-2014 sobre el cultivo de mejillón del mediterráneo, *Mytilus galloprovincialis* en la Bahía de Todos Santos. Se presume que la producción de mejillón ha disminuido por la depredación por *Melanitta perspicillata*, conduciendo a pérdidas económicas.

La abundancia promedio de la población invernal de *M. perspicillata* es de 1,000 individuos, mínimo observado de 252 y máximo de 2,365 individuos.

Con un modelo bioenergético se estimó un requerimiento energético individual diario para *M. perspicillata* de 706 – 851 kJ equivalente a 811 – 977 g de mejillón peso húmedo. Extrapolado a la población invernal arrojó un consumo de 125,128 kg de mejillón consumidos durante la temporada, de los cuales el 38% corresponde al consumo en la zona de calcetines de engorda, representando el 19% de la cosecha esperada anual. Se propone que la depredación de mejillón por *M. perspicillata* en la zona de cultivos en Rincón de Ballenas de la Bahía de Todos Santos es una causa importante de la disminución de la producción anual de mejillón. Sin embargo, existe un 23% de pérdida adicional cuyas causas pudieran ser diversos factores ambientales que no han sido evaluados. La presencia de zonas colectores en los cultivos puede tener un efecto amortiguador en la producción, evitando el declive de la rentabilidad del cultivo.

Las observaciones de campo de *Melanitta perspicillata* y el modelo bioenergético, ilustran aspectos conductuales que pueden ayudar a implementar estrategias de manejo que disminuyan el impacto de *M. perspicillata* sobre el cultivo.

Palabras clave: **Pato malacófago, modelo bioenergético, requerimiento energético diario, medidas de disuasión, temporada invernal.**

Abstract of the thesis presented by **Ana Daniela Durazo Carmona** as partial requirement to obtain the Master degree in Life Sciences

Predation by sea ducks *Melanitta* spp. on cultivated mussels *Mytilus galloprovincialis* in the Bahía de Todos Santos

Abstract by:

Ana Daniela Durazo Carmona

We studied the *Melanitta perspicillata*, Surf Scoter, impacts on a mediterranean mussel culture, *Mytilus galloprovincialis* in the Bay of Todos Santos during the wintering season 2013-2014. It is assumed that mussel production has decreased as a result of predation by *Melanitta perspicillata*, generating economic losses to the industry.

Melanitta perspicillata's average abundance during winter season was 1000 individuals, with an observed minimum of 252 individuals and a maximum of 2,365.

Our bioenergetic model estimated that *M. perspicillata* requires 706 – 851kJ per day, equivalent to 811 – 977 g of mussel wet weight. This requirement was extrapolated to the estimated winter population, with a consumption of 125,128 kg of mussels during the winter season, of which 38% corresponds to the consumption in the production socks, 19% of the expected annual harvest. It is proposed that the predation of mussels by Surf Scoters in Rincon de Ballenas in the Bahía de Todos Santos is an important cause of the decline in the annual mussel production. However, there is a 23% additional loss whose causes could be environmental factors that have not been assessed. The presence of artificial collectors mussel farm areas can have a buffering effect on production, preventing the decline in profitability of the crop.

Field observations of *Melanitta perspicillata* and the bioenergetic model showed behavioral aspects to that can help to implement management strategies to reduce the *M. perspicillata* impact on the crop.

Key words: **Sea ducks, bioenergetics model, daily energy requirement, deterrent measures, winter season.**

Tabla de contenido

Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Lista de figuras.....	vi
Lista de tablas.....	viii
Dedicatoria.....	ix
Agradecimientos	x
Capítulo 1. Introducción	13
1.1 Antecedentes	13
1.1.1. Consumo de mejillón cultivado, por patos malacófagos	13
1.1.2. Cultivo de mejillón en Bahía de Todos Santos	16
1.1.3. Biología de <i>Melanitta</i> spp.	20
1.1.4. Requerimiento energético diario y alometría	21
1.2 Problemática.....	24
Capítulo 2. Justificación	25
Capítulo 3. Hipótesis.....	26
Capítulo 4. Objetivos	27
4.1 Objetivo general.....	27
4.1.1. Objetivos particulares.....	27
Capítulo 5. Materiales y métodos.....	28
5.1 Área de estudio.....	28
5.2 Estimación de abundancia de <i>Melanitta</i> spp.	31
5.3 Estimación de tiempo de alimentación	32
5.4 Estimación de consumo de mejillón por <i>Melanitta perspicillata</i>	32
5.5.1. Terminología y supuestos	32
5.5.2. Construcción del modelo bioenergético.....	34
5.5 Estimación del rendimiento de producción en las empresas estudiadas	36
Capítulo 6. Resultados	38
6.1 Estimación de abundancia de <i>Melanitta</i> spp.	38
6.2 Estimación de tiempo de alimentación	41
6.3 Estimación de consumo de mejillón por <i>Melanitta perspicillata</i>	42
6.4 Estimación del rendimiento de producción de las empresas estudiadas	45
Capítulo 7. Discusión.....	49
7.1 Estimación de abundancia de <i>Melanitta</i> spp.	49
7.2 Estimación de tiempo de alimentación	49

7.3 Estimación de consumo por <i>Melanitta perspicillata</i>	50
7.4 Estimación del rendimiento de producción de las empresas estudiadas	51
Capítulo 8. Conclusiones	54
9. Recomendaciones	55
Lista de referencias	57

Lista de figuras

Figura 1. Representación esquemática del sistema de cultivo “long-line”	18
Figura 2. Imágenes que muestran sistema de cultivo long-line con las cuerdas de colectores artificiales de mejillón suspendidas de la línea madre.....	19
Figura 3. Imágenes que muestran los calcetines de engorda.....	19
Figura 4. Buzo removiendo mejillón de las cuerdas de cultivo.....	20
Figura 5. Ubicación del área de estudio en la zona de Rincón de Ballenas de la bahía de Todos Santos,.....	28
Figura 6. Esquema de organización de las líneas de cultivo de la empresa Aqualap.	29
Figura 7. Esquema de ubicación de las líneas de cultivo de la Acuicultura Oceánica.	30
Figura 8. Diagrama de modelo bioenergético (modificado de Furness, 1978).....	36
Figura 9. Número de <i>Melanitta perspicillata</i> observado.....	40
Figura 10. Porcentaje de incidencia de <i>M. perspicillata</i> en la zonas de calcetines de engorda, colectores artificiales y fuera del cultivo.	41
Figura 11. Tiempo total de inmersión por bloque de observación.	41
Figura 12. Pérdida potencial diaria de mejillón por <i>M. perspicillata</i>	44
Figura 13. Consumo acumulado de mejillón por <i>Melanitta perspicillata</i> durante la temporada invernal 2013-2014.....	44
Figura 14. Consumo de mejillón por <i>Melanitta perspicillata</i> en zonas de calcetines de engorda y colectores artificiales.....	45
Figura 15. Promedios anuales de cosecha esperada vs. cosecha real de las empresas Aqualap y Acuicultura Oceánica.....	46
Figura 16. Cosecha real de mejillón comparada con la cantidad estimada de mejillón en los cultivos de Aqualap y Acuicultura Oceánica considerando zonas de calcetines y colectores.....	47

Lista de figuras (continuación)

- Figura 17.** Comparación de consumo estimado por *Melanitta perspicillata* en relación a la cantidad de mejillón estimada en stock en los cultivos de las empresas Aqualap y Acuacultura Oceánica..... 48
- Figura 18.** Comparación de la cosecha total real y consumo estimado por *Melanitta perspicillata* en calcetines de engorda en relación a la cosecha total esperada.....48

Lista de tablas

Tabla 1. Medidas de disuasión empleadas en granjas de mejillón y su efectividad percibida (Ross, 2000).	15
Tabla 2. Diferencias entre los sistemas de cultivo para las empresas Aqualap y Acuicultura Oceánica.	31
Tabla 3. Parámetros utilizados para la construcción del modelo bioenergético de <i>Melanitta perspicillata</i>	35
Tabla 4. Abundancia de especies de patos marinos malacófagos identificadas.....	39
Tabla 5. Costo energético por hora de las actividades diarias realizadas por <i>M. perspicillata</i> de acuerdo al modelo energético utilizado en este estudio.....	42
Tabla 6. Costo energético diario para cada grupo de actividades combinadas para sumar 24 horas.	42
Tabla 7. Cantidad estimada de mejillón en stock.....	47
Tabla 8. Medidas de disuasión recomendadas.....	56

Dedicatoria

A mis luces guía

Papá, Mamá, Alex

*“Una de las mejores cosas de la naturaleza humana es la capacidad de aprender cosas nuevas
continuamente sin dejar de sorprendernos”*

Agradecimientos

A Dios por cada día y cada aprendizaje.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada por darme la oportunidad de estudiar y realizar mi proyecto de maestría con el apoyo del personal académico de esta institución.

Al posgrado de Ciencias de la Vida y al departamento de Biología de Conservación por admitirme en el programa y por el apoyo brindado para cumplir esta meta.

Al CONACYT por la beca otorgada durante el proceso de realización de este proyecto.

A mi director de tesis el Dr. Horacio de la Cueva por aceptarme como su alumna, por su confianza, amistad, consejos, apoyo y oportunidades brindadas a lo largo de estos dos años y medio.

A los miembros del comité, el Dr. Ernesto García, Dr. Jaime Luévano por sus acertadas recomendaciones y valiosos aportes para el desarrollo de este proyecto y de manera muy especial, al Dr. Cáceres por su guía, sugerencias y apoyo constante en este proceso que me ayudó a crecer profesional y personalmente.

A las empresas Aqualap y Acuacultura Oceánica, particularmente Juan Lapuente, Sergio Guevara, Gaby y Roger, por las facilidades brindadas durante todo mi trabajo y de manera muy especial a Pedro, Armando, Arturo, Iván, Rodo, Adolfo, Jorge y todas las personas que me acompañaron, llevaron y trajeron durante las salidas al campo, sin su apoyo no habría logrado cumplir esta meta.

A mi padres, mi ejemplo de lucha y fortaleza, que no escatiman amor ni esfuerzo alguno para apoyarme sin cuestionar cada meta que se me ocurre. A ti papá que no descansas, no te enfermas y jamás das señas de debilidad. A ti mamá, que me levantas y no dejas rendir, por decirme una y otra vez que lo puedo todo. A ti Alex, tu nunca me dejas sola y sin necesidad sacrificaste tus vacaciones por acompañarme a pasear en lancha alrededor de la bahía a escasas horas del amanecer a mitad del invierno. A ustedes a quienes una vida entera no me alcanza para pagar todo sus sacrificios, gracias por las alas, su confianza y amor incondicional.

A mi tío Chava, mi segundo papá, por todo el cariño y apoyo de siempre. Te quiero tío.

A Adriana y Melinda, mis compañeras, amigas y hermanas. Adri, mi cómplice de aventuras, que te lanzas al vacío conmigo sin preguntar, contigo me he encontrado en túneles oscuros continuamente pero es contigo también que he encontrado la luz al final cada uno. Ni todos los idiomas del mundo lograrían expresar el infinito agradecimiento que te tengo y lo único que se me ocurre decir es que espero continuar compartiendo etapas y enfrentando retos contigo de mi lado. A ti Meli, que nos empujaste dentro de tu mente analítica y perfeccionista obligándonos a esforzarnos el triple para ponernos a tu nivel sin hacer de ello una competencia.

A Eulogio, por el apoyo logístico, tus consejos, por tus ánimos, tu valiosa ayuda en mis experimentos aunque fallidos y por acompañarme durante gran parte de mi trabajo de campo.

A Arturo y Sergio Basulto, por esos días que también los hice madrugar para que me acompañaran a mis conteos.

A mis amigos de maestría, Guimel y Abi por acompañarme también durante mis muestreos, Guimel, perdón por engañarte y hacerte trabajar horas exhaustivas. A Joliann, Dany, Vane, Roberto, Yesenia, Edgar y Luis por los ratos de estudio, las charlas, las risas, las salidas pero sobre todo, por brindarme su amistad y permitirme compartir esta etapa con ustedes.

A mis amigos Alondra, Miriam, Laura, Lili y Yan por estar siempre al pendiente de mí y disculparme todas las veces que yo no he podido estarlo de ustedes. A Ibes, Vere Francis, Lupe, Grecia, Pablo, David, Eliasib y Orlando por las porras y palabras de ánimo cada momento, Orla, contigo estoy en deuda eterna.

A Ivonne Best, Adriana Mejía y Eva Robles por su asesoría y apoyo en los asuntos administrativos.

Al Dr. Ruedi, por abrirme las puertas y recibirme en su grupo de trabajo durante mi estancia en el IBAHCM de la Universidad de Glasgow, por orientarme pacientemente y por sus valiosos consejos, su apoyo fue vital para el desarrollo de éste proyecto.

A todas las personas que conocí en Glasgow, de manera muy especial a Richard por todo su apoyo antes y durante mi estadía, aún siento que estoy en deuda con usted. A mis amigos Sarah, Jessica, Jaime y Malik, por las compras locas, el frío, el sol, los paseos, la música, el ceilidh, la tortilla, el tiramisú, la cerveza, la sidra, las tardes y cenas en familia! pero sobre todo, la amistad, gracias por dejarme tan gratos recuerdos de mi travesía por Escocia, sepan que siempre están presente en mis pensamientos y aunque es difícil volver a coincidir en el mismo tiempo y espacio, no es imposible, estoy segura y anhelo que algún día volvamos a cruzar caminos.

Capítulo 1. Introducción

La acuicultura es una actividad económica mundial que ha crecido rápidamente en las últimas décadas debido al incremento en la demanda de productos comerciales de origen marino y la disminución de poblaciones en vida libre de estos productos (FAO, 2012). La acuicultura de moluscos, particularmente bivalvos ha tenido un incremento significativo, ocupando el tercer lugar en la producción mundial del sector (FAO, 2012).

El cultivo de mejillón es el más importante entre los moluscos bivalvos debido a su importancia económica, su alto valor nutritivo y su volumen de producción. Este cultivo se realiza en sitios cercanos a la costa donde ocurre una gran diversidad de aves marinas residentes o migratorias. Muchas utilizan las costas como sitios de reproducción, descanso o invernada. Esta residencia, temporal o permanente, lleva al consumo de los moluscos bivalvos en cultivo, lo que ocasiona pérdidas en la producción de ésta industria (Žydelis *et al.* 2009).

1.1 Antecedentes

1.1.1. Consumo de mejillón cultivado, por patos malacófagos

Existe poca documentación sobre el efecto que tiene el consumo por parte de los patos en los cultivos de moluscos bivalvos. Los estudios realizados señalan que la disponibilidad de alimento que representa una instalación de cultivo de moluscos bivalvos tienen como respuesta un aumento en la abundancia de patos malacófagos en dicha zona (*v.g.* Roycroft *et al.* 2004; Connolly y Colwell, 2005).

Los patos marinos malacófagos, pertenecientes a la familia Anátidae del orden de los Anseriformes, son aves que se alimentan principalmente de moluscos. Los moluscos pertenecientes a la clase Bivalvia son un componente importante en éstas dietas, razón por la cual pudieran entrar en conflicto con los productores de la industria acuícola de moluscos. Los patos malacófagos se encuentran estrechamente ligados a la zona intermareal y submareal en donde habitan moluscos bivalvos. En esta zona,

puede encontrarse una alta productividad y protección contra el viento y oleaje por lo que, estos son los sitios ideales para establecer cultivos de moluscos bivalvos (Žydelis *et al.* 2006; Lewis *et al.* 2007).

Dionne (2004) cuantificó la relación entre dos especies de patos malacófagos, *Aythya marila* y *Clangula hyemalis*, y cultivos de mejillón azul, *Mytilus edulis*, en la Isla del Príncipe Eduardo, Canadá, y encontró que la abundancia de patos buzos durante la migración de otoño aumentó junto con las áreas de cultivo de mejillón, siendo la abundancia de los patos, mayor en sitios donde la intensidad de la industria es alta. También encontró que los patos eran generalmente depredadores selectivos por tamaño de presa, evitando los mejillones de mayor tamaño de los sitios de experimentación.

Žydelis *et al.* (2006) compararon abundancia en *Melanitta fusca* y *M. perspicillata* sitios de cultivo en cajas suspendidas de ostión japonés, *Crassostrea gigas* y almeja manila, *Venerupis philippinarum* vs. sitios con atributos naturales en costas de la Columbia Británica, Canadá, y encontraron que la abundancia estuvo relacionada principalmente a sitios con atributos naturales, particularmente a las zonas intermareales, a la densidad de almejas y al tipo de sedimento. Žydelis *et al.* (2009) determinaron que en sitios de cultivos de ostión japonés (*C. gigas*) las abundancias de *Melanitta perspicillata* y *Bucephala islandica* dependían principalmente de la superficie del cultivo de ostión. Mencionan que dichas especies de aves no se alimentan de ostión, pero sugieren que la presencia de las estructuras de las estructuras de las actividades acuícolas, favorecen el crecimiento de la especie de mejillón nativo (*Mytilus trossulus*), una presa importante para ambas especies.

Ross (2000), examinó el comportamiento de alimentación de una especie depredadora, *Somateria mollissima* y *Somateria spectabilis* en cultivos de mejillón (*Mytilus edulis*) de distintas localidades de Escocia, que utilizan el sistema long-line y cajas suspendidas, y evaluó el impacto económico que ejercen sobre la producción de los mismos. Estimó que la pérdida económica por depredación va del 10 al 30% de la producción. Adicionalmente evaluó medidas de disuasión no letales para mitigar el impacto. Las medidas de disuasión empleadas se dividen en tres tipos principalmente:

visuales, auditivas acústicas y biológicas. Ross (2000) realizó una encuesta de evaluación de algunas de las medidas de disuasión que han sido empleadas en distintas granjas de mejillón para disminuir la depredación (Tabla 1).

Tabla 1. Medidas de disuasión empleadas en granjas de mejillón y su efectividad percibida (Ross, 2000).

Medida de disuasión	No. de cultivos	Muy efectivo	Efecto limitado	Efecto pobre	No indicado
Redes	7	5	1	0	1
Persecución en lancha de motor	12	1	6	2	3
Disparar para matar	4	1	1	1	1
Disparar para asustar	5	0	3	2	0
Maniquí/Espantapájaros	5	0	0	3	2
Cañón de gas	5	0	3	2	0
Pirotécnia	3	0	0	2	1
Ruido de sirenas	3	0	1	2	0
Generador de sonidos subacuáticos	1	0	0	1	0

Las medidas de disuasión mencionadas en la tabla 6 son las más comúnmente usadas, y como se menciona en la tabla, las más efectivas son el uso de redes y la persecución, sin embargo, presentan ciertas desventajas. El uso de redes parece ser la más efectiva, su desventaja es que a medida que el mejillón crece, la red comienza a llenarse de otros pequeños organismos, impidiendo que el agua y los nutrientes fluyan libremente a través de la red (comunicación personal). La persecución tiene un costo económico elevado si consideramos que su efectividad es de escasas dos horas, lo que implica mayor tiempo y esfuerzo para perseguirlas (Ross, 2000). Así mismo, esta práctica podría resultar contraproducente, al obligar a las aves a volar cada vez que son perseguidas y elevar de ésta forma el costo energético de vuelo al aumentar el tiempo que utilizan para dicha actividad y por consiguiente, aumentar su requerimiento energético diario.

Una medida alternativa es el uso de rifles laser, que consisten en disparar rayo un rayo láser con visión telescópica ajustable. Ross (2000) evaluó la efectividad de este método en dos cultivos diferentes, y obtuvo que la luz láser puede reducir el número de aves forrajeando en el cultivo en un 50 - 98%. Sin embargo, menciona que a pesar de su efectividad, el costo económico es sumamente elevado y su efectividad depende de

la luz ambiental. Adicionalmente, el uso de laser requiere el uso de mano de obra intensiva tanto en horas diurnas como nocturnas.

Otra medida alternativa es el uso de depredadores naturales. Algunas especies de halcones pueden ser entrenadas efectivamente para cazar aves de áreas específicas y promover así su dispersión (Harris, 1998; El-Aleem 2014). Éste método es comúnmente usado en aeropuertos y produce con resultados efectivos. Este método puede complementarse con otros métodos visuales como el uso de carcasas de aves muertas y con métodos acústicos como el uso de salvas o pirotecnia (Harris, 1998; El-Aleem 2014). La ventaja de éste método es que no causa habituación a las aves debido a que el peligro es real. Dado que los halcones realizan la cacería de manera autónoma, implica la reducción del tiempo que empresa dedica a la persecución de las aves depredadoras del cultivo, reduciendo así costos de infraestructura y mano de obra,

Tratar de modificar los hábitos alimenticios de un grupo de aves tan numeroso que además ya se ha establecido en un sitio de cultivo, es sumamente difícil. Si consideramos que esta especie vive un promedio de 10 años, podemos intuir que tienen el tiempo suficiente para aprender donde se encuentran los mejores sitios de alimentación y además, familiarizarse con las medidas de disuasión empleadas, aprendiendo cuáles representan o no un amenaza real para su supervivencia (Ross, 2000).

1.1.2 Cultivo de mejillón en Bahía de Todos Santos

En 1985 la compañía Martesano, formada por investigadores del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), que habían participado previamente en cultivos experimentales de mejillón, establecieron el primer cultivo de mejillón en la BTS utilizando balsas flotantes, y en 1987 se constituyó la primer cooperativa llamada “Sociedad Cooperativa Bahía Falsa” para el cultivo de mejillón utilizando el sistema long-line (Cáceres-Martínez, 1997). Tanto la cooperativa y las compañías privadas estuvieron enfocadas inicialmente a la producción de la especie nativa de mejillón, *Mytilus californianus*, y la especie *M. galloprovincialis*, aparentemente introducida de manera accidental desde Europa al Sur de California (Mc Donald y Kohen, 1988), sin

embargo, la obtención de la semilla de *M. californianus* en los colectores artificiales era limitada debido a que los mejillones no se mantenían unidos a los colectores, además, *M. californianus* no es reconocido y aceptado en el mercado internacional, lo que representó un importante factor limitante en su producción, por lo que los esfuerzos se enfocaron sólo en la producción de *M. galloprovincialis* (Cáceres-Martínez, 1997).

No obstante, la producción de semillas era mínima y en 1988 las actividades cesaron debido a problemas organizacionales de la cooperativa Bahía Falsa y a que las balsas de la compañía privada fueron destruidas por el arribo de la tormenta más fuerte en alrededor de 100 años a la BTS (Rangel, 1990).

En 1991, una nueva compañía privada, Acuicultura Oceánica, reinició el cultivo de *M. galloprovincialis* en la zona de Rincón de Ballenas de la BTS, utilizando el sistema long-line y en años recientes, otra empresa llamada Aqualap, inició también operaciones utilizando el mismo sistema de cultivo (Cáceres-Martínez, 1997).

Este sistema de cultivo long-line consiste en el tendido de líneas madre de polipropileno de 1.57 cm de diámetro y aproximadamente 200 m de largo, suspendidas a partir barriles de plástico con capacidad de 200 lts, los cuales son utilizados como boyas. Los extremos de la línea se anclan al fondo del mar mediante anclas de metal de 0.8 a 1.2 ton. La línea madre se coloca sumergida a 5 m de la superficie y a partir de ella quedan suspendidas las cuerdas de cultivo de 3 - 6 m (Cáceres-Martínez, 1997; Tapia-Vázquez *et al.* 2013).

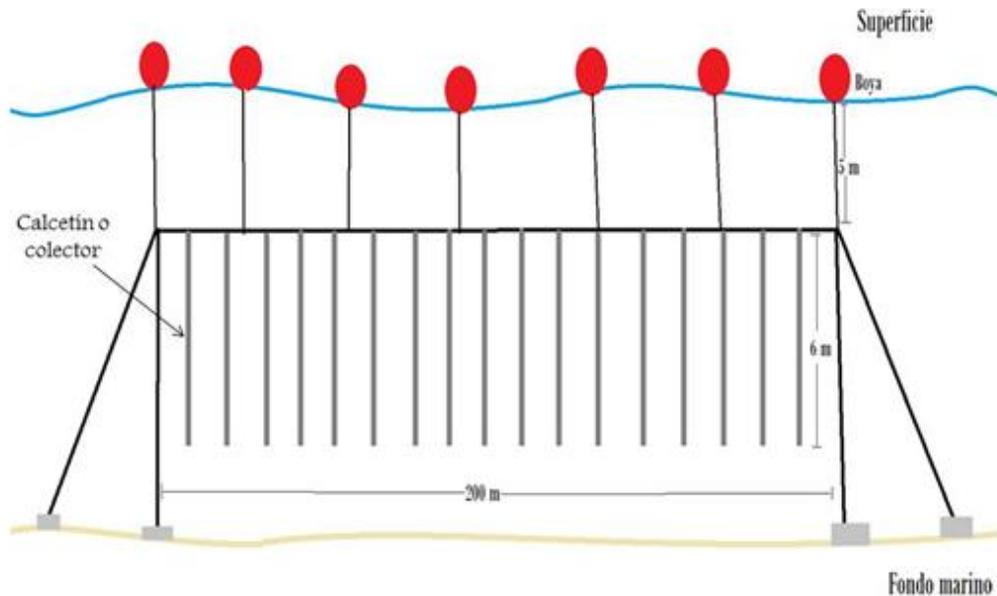


Figura 1. Representación esquemática del sistema de cultivo “long-line”. Los óvalos rojos representan las boyas colocadas en la superficie del agua, las cuales están atadas a la “línea madre” instalada a 5 metros de profundidad y con los extremos anclados al fondo. Los colectores artificiales y calzetines de engorda son también atados a la línea madre y permanecen suspendidos para que el mejillón se fije y/o crezca libremente.

La obtención de mejillón consiste en tres pasos:

1) Obtención de semilla: se utilizan colectores artificiales, que consisten en líneas madre con cabos suspendidos de 1.57 cm de diámetro y 4 a 5 m de longitud, utilizados para la captación de larvas y postlarvas de mejillón durante los periodos de fijación (figura 2).

2) Engorda, que consta de dos pasos: 1) siembra, las semillas de mejillón obtenidas de los colectores artificiales se colocan en redes llamadas “calzetines”, para sembrar organismos de 1-2 cm; 2) desdoble: cuando los mejillones alcanzan la talla de 3 – 4 cm aproximadamente un mes después, son removidos y recolocados en dos o tres nuevos calzetines. La siembra se realiza colocando aproximadamente 10 kg de semillas en una red de algodón con la ayuda de una tolva, y sobre ésta, una red de plástico con una luz de malla suficientemente grande para que el mejillón crezca fuera de ella. (Fig. 3). Después de 8 a 10 días la red de algodón se degrada, mientras los mejillones han comenzado a secretar filamentos llamados “biso” que les permiten adherirse entre sí y a la red de plástico externa para crecer libremente (Cáceres-

Martínez, 1997; Ramírez-Gutierrez, 2000). En algunos cultivos, se coloca un cabo de 1 cm de diámetro en medio de la red de algodón para ayudar al mejillón a fijarse (figura 3).

3) Cosecha: después de tres meses, los mejillones alcanzan la talla de 5 – 7 cm. Un buzo remueve el mejillón de las cuerdas de cultivo para colocarlo en redes de cosecha y éstas son transportadas a puerto (figura 4).

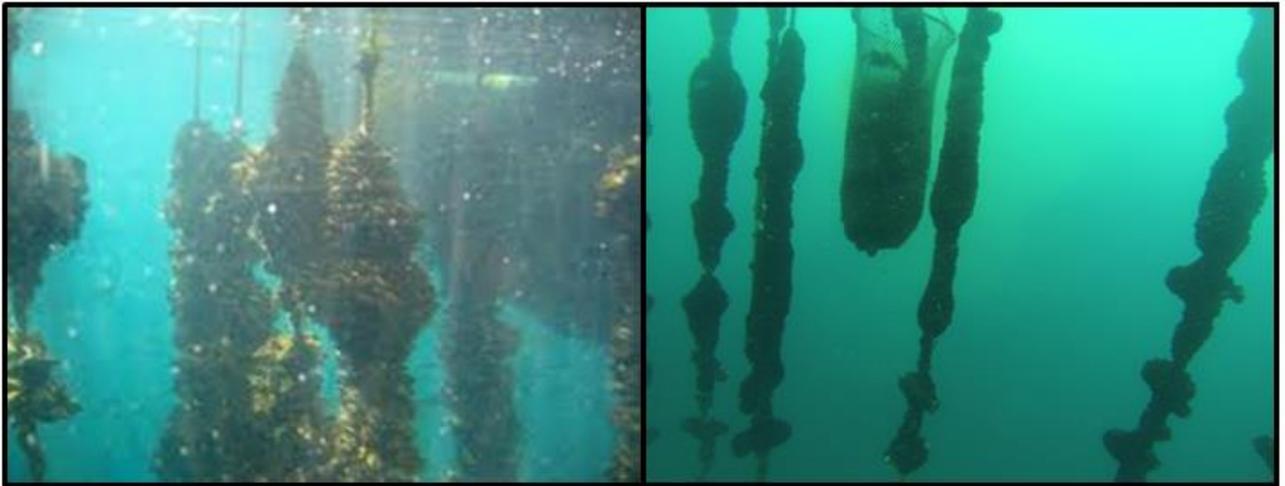


Figura 2. Imágenes que muestran sistema de cultivo long-line con las cuerdas de colectores artificiales de mejillón suspendidas de la línea madre. Fotografías proporcionadas por Aqualap S. A. de C. V.



Figura 3. Imágenes que muestran los calcetines de engorda. La imagen izquierda muestra los calcetines en los que se colocan las semillas de mejillón antes de ser sembrados en la línea madre; la red blanca es la red de algodón que se biodegradará en un periodo de 8 a 10 días y la red azul es la red de plástico que sostiene a los mejillones después de que la red de algodón se ha biodegradado. La imagen derecha muestra los calcetines suspendidos de la línea madre del sistema long-line. Fotografía proporcionada por Aqualap S. A. de C. V.



Figura 4. Buzo removiendo mejillón de las cuerdas de cultivo

La bahía es un sitio importante de invernada para una gran diversidad de aves marinas residentes y migratorias (Escofet *et al.* 1988; Ruíz-Campos *et al.* 2005; Jiménez-Perez *et al.* 2009) y está catalogada por la CONABIO como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Benítez *et al.* 1999).

Entre las especies de aves residentes invernales reportadas en BTS, se hallan tres especies de patos malacófagos del género *Melanitta*: *M. fusca*, *M. perspicillata*, y *M. nigra* (Escofet *et al.* 1988; Ruíz-Campos *et al.* 2005; Jiménez-Perez *et al.* 2009), las cuales se encuentran de principios de noviembre hasta finales de abril, y las cuales han sido reportadas se encuentran asociadas a la zona de cultivos de mejillón en la bahía, sin embargo, dado que no existen estudios previos sobre dichas especies en la zona, no se conoce el tamaño de las poblaciones invernales en la BTS.

1.1.3 Biología de *Melanitta* spp.

Son especies malacófagas buceadoras, el 90% de su dieta invernal son moluscos bivalvos, principalmente almejas y mejillones (Stempniewicz, 1986, Lewis, 2005; Palm *et al.* 2012). Algunos estudios realizados sobre selectividad de talla indican que en general estas especies prefieren ingerir los mejillones de talla pequeña, debido a que el requerimiento energético para digerir la concha es menor que con mejillones grandes (Hamilton *et al.*, 1999; Dionne, 2004) o, debido a que la adhesión del biso del mejillón al sustrato es más débil en tallas pequeña (De Leeuw, 1999). Aunque los individuos de talla grande contienen mayor contenido de carne, el número de individuos

consumidos por unidad de tiempo es mayor con tallas pequeñas que con tallas grandes (Richman y Lovvorn, 2003).

No se conoce la longevidad de estas especies, sin embargo un estudio realizado por Kehoe *et al.* (1989), mencionan que la edad mínima de hembras anidantes de *M. fusca* marcadas durante 1984 fue de 4.9 años, y la hembra de mayor longevidad capturada tenía aproximadamente 18 años. Esta longevidad podría permitir a las aves adquirir experiencia por medio de patrones repetitivos de comportamiento durante las migraciones, para recordar los sitios con mayor abundancia de alimento, los cuales incluyen sitios de cultivo. Asimismo, estas especies tienden a agregarse en grandes números en sitios donde el alimento es abundante, como lo son los sitios de cultivo, causando grandes pérdidas a los productores en una sola temporada, lo cual las vuelve indeseables en la zona (Kaiser *et al.* 2006). Sin embargo, dicho daño no ha sido cuantificado y documentado en todos los sitios donde esta depredación ocurre. Una forma de medir el efecto potencial que causan es conociendo su requerimiento energético diario que se traduce a un estimador del consumo diario y por temporada de las presas.

1.1.4 Requerimiento energético diario y alometría

El requerimiento energético diario (RED) es la cantidad de energía que un organismo necesita para llevar a cabo sus actividades durante un periodo de 24 horas (Reiss, 1991). Las tres técnicas más utilizadas para estimar el RED en animales en vida libre son: a) agua doblemente marcada (adm), b) tasa de ritmo cardiaco (trc) y c) presupuestos de tiempo y energía para actividad (ptea's).

El método de adm consiste en inyectar agua con una conocida concentración de isótopos de oxígeno e hidrógeno ($H_2^{18}O$ y $2H_2^{18}O$ o $3H_2^{18}O$) a un organismo permitiendo su mezcla con la sangre hasta lograr el equilibrio de concentraciones. Después de algunas horas se extrae una muestra de sangre para determinar la diferencia de la concentración de isótopos. Ésta diferencia permite calcular la cantidad de dióxido de carbono producido y con ello conocer el consumo energético (Lifson y McClintock, 1966; Nagy, 1980; Hawkins *et al.* 2000). La *trc* consiste en colocar a un

organismo un dispositivo conocido como “logger”, el cual registra el ritmo cardíaco cada determinado tiempo para posteriormente estimar el consumo de oxígeno. Algunos autores han determinado que existe una relación entre tasa de ritmo cardíaco y la tasa de consumo de oxígeno (Bevan, 1994; Green *et al.* 2007). Finalmente el método de *ptea*'s involucra el tiempo que los organismos pasan realizando sus actividades diarias y el costo energético que éstas implican para automantenerse, entonces se multiplica el tiempo de duración de cada actividad por el costo energético conocido o estimado de cada una (Orians, 1961; Verbeek, 1964; Goldstein, 1988; Hawkins *et al.* 2000). A diferencia de los métodos de *adm* y *trc*, el métodos de *ptea*'s no implica la captura de los organismos, por lo que representa una ventaja de los anteriores y es por ello que lo hemos utilizado en el presente estudio.

Una forma de estimar el costo energético de cada actividad es conocer o estimar la tasa metabólica del organismo. La tasa metabólica es la velocidad a la cual un organismo gasta la energía requerida y dependerá del tipo de actividad, la temperatura ambiental y otros factores que determinen su condición (Randall *et al.*, 2002). La tasa metabólica puede ser medida por métodos directos que incluyen mediciones directas de producción de calor y por métodos indirectos que incluyen mediciones de producción de CO₂ y consumo de O₂ (McNab, 2012), ambos métodos requieren la captura del organismo. Existe una relación entre la tasa metabólica y la masa de un organismo que puede ser explicada en términos alométricos.

La alometría en un sentido amplio, es el estudio de las relaciones de escalas biológicas, siendo éstas para rasgos morfológicos, fisiológicos o ecológicos (Shingleton, 2010). Un análisis de regresión de la relación entre tasa metabólica y masa corporal, permite obtener una ecuación alométrica con la cual es posible predecir con un alto grado de confianza, el requerimiento energético diario de un organismo teniendo previo conocimiento de su masa corporal (Morgado *et al.* 2006). De esta manera, se puede obtener una ecuación alométrica a partir de información de masa corporal y tasas metabólicas de especies ecológicamente similares previamente calculadas, y mientras mayor similitud ecológica haya entre las especies, mayor precisión tendrá la ecuación obtenida (Lasiewski y Dawson, 1967; Bryant y Furness, 1995).

Diversos autores han propuesto ecuaciones alométricas obtenidas a partir de información de tasas metabólicas y masa corporal de un número de aves extenso. Vermer (1981) estimó el consumo diario requerido para *M. perspicillata* utilizando la ecuación alométrica obtenida por Nilson y Nilson (1976): $\log F = -0.293 + 0.850 \times \log W$, donde F es el consumo diario de peces y W es el peso en gramos del ave. De esta forma, con una masa corporal promedio de 1100 g para *M. perspicillata* obtenido a partir de individuos capturados, obtuvo que su requerimiento diario son 196 g/día de tejido blando. Por su parte, Anderson y Lovvorn (2011) emplearon la ecuación obtenida por Nagy (1987): $\log y = 0.904 + 0.704x$, donde y es el requerimiento energético diario, y x es la masa corporal del ave. Con lo anterior, obtuvieron una masa corporal promedio de 1085g para *M. perspicillata* a partir de individuos capturados y obtuvieron un requerimiento energético diario de 1095.85 kJ/día. Sin embargo, la primera ecuación se obtuvo de datos de aves piscívoras no buceadoras y la segunda ecuación, aunque incluye aves marinas buceadoras, no considera ninguna especie malacófaga, por lo que las estimaciones pueden no ser precisas ya que no toman en cuenta los costos de alimentación por el tipo de alimento y comportamiento alimenticio que presentan. En este estudio se construyó un modelo bioenergético que integró los tiempos y costos energéticos de las actividades realizadas por las aves en un día: nado, vuelo, buceo y descanso. Furness (1967) propuso un modelo bioenergético en el que utilizaba estimaciones directas de requerimiento energético de actividad utilizando presupuestos de actividad diaria. Dicho modelo sirvió de base para el presente estudio, sin embargo, dado que algunos parámetros utilizados por Furness no eran aplicables al presente estudio, fue necesario hacer adecuaciones.

Con lo anterior se buscó obtener una estimación más precisa del requerimiento energético diario (*RED*) de las aves y posteriormente convertirlo a la cantidad de mejillón que cubra dicho requerimiento.

1.2 Problemática

En la BTS la producción de mejillón *Mytilus galloprovincialis* se ha visto afectada por la presencia del pato malacófago *Melanitta* spp. durante el invierno. Después de varios ciclos de producción, los productores notaron un incremento en el número de patos asociados a su cultivo, mismo que ha continuado a tal grado que han tenido que implementar medidas de persuasión para evitar la pérdida del producto; tales como, persecución en lancha, disparos al aire y sonidos (comunicación personal). Los costos de dichas medidas son muy altos y poco efectivas. Por otro lado, aunque se ha reportado un declive de las poblaciones en Norteamérica de *Melanitta* spp. (Savard *et al.*, 1998) la información sobre el estatus de las poblaciones es incierta. Sin embargo, cualquier medida de disuasión aplicada a éstas aves debe ser evaluada tomando en cuenta el estatus de conservación de la especie. No existe en la zona ningún estudio científico que estime las pérdidas asociadas a los patos malacófagos ni tampoco sobre aplicación de medidas de disuasión alternativas.

Este estudio evaluará el efecto de *Melanitta* spp. en el cultivo de mejillón en Rincón de Ballenas en BTS y propondrá algunas medidas de manejo para mitigar el daño que las aves ejercen sobre la producción de mejillón.

La pérdida en la producción de mejillón también se puede atribuir a otros factores tales como mareas fuertes, condiciones climáticas adversas o el manejo durante siembra y cosecha.

Capítulo 2. Justificación

La controversia y la poca literatura existente sobre la interacción depredadora del cultivo de mejillón (*M. galloprovincialis*) por *Melanitta* spp. así como la preocupación de la industria local, han motivado a realizar la presente investigación para obtener resultados de manejo aplicables a los cultivos de mejillones de BTS. Además, se describe la respuesta de la interacción entre el cultivo de *Mytilus galloprovincialis* y *Melanita perspicillata* en la BTS para sustentar bases para comprender los efectos de las aves sobre la industria y viceversa. Los resultados obtenidos podrán utilizarse en sitios donde las aves y el tipo de acuicultura involucrados sean similares.

Se ampliarán los conocimientos de la biología de *Melanitta* spp. para ayudar a tomar acciones de manejo para evitar la disminución de sus poblaciones mientras se maximiza la protección de los cultivos de mejillón.

Capítulo 3. Hipótesis

La disminución en la producción de mejillón en la bahía de Todos Santos está asociada principalmente a la depredación por patos marinos malacófagos del género *Melanitta* spp.

Capítulo 4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la depredación por *Melanitta* spp. sobre mejillón del mediterráneo *Mytilus galloprovincialis* cultivado en la bahía de Todos Santos durante la temporada invernal de 2013-2014.

4.1.1. Objetivos particulares

Estimar la abundancia de las especies de *Melanitta*, *M. fusca*, *M. perspicillata* y *M. nigra* reportadas en la bahía de Todos Santos; así como realizar observaciones de tiempo de alimentación, durante la temporada invernal 2013-2014.

Estimar, mediante un modelo bioenergético, el consumo de mejillón *Mytilus galloprovincialis* por *Melanitta perspicillata* en la zona de cultivo de mejillón de la bahía de Todos Santos para conocer el efecto que tiene sobre el cultivo.

Capítulo 5. Materiales y métodos

5.1 Área de estudio

Rincón de Ballenas en la bahía de Todos Santos (BTS), Ensenada, Baja California, está localizada entre los $31^{\circ} 45' - 31^{\circ} 59' N$ y los $116^{\circ} 36' - 116^{\circ} 45' W$. Es un cuerpo de agua semicerrado con una superficie aproximada de 230 km^2 (Miranda-Bojórquez, 2012). Está delimitada al Norte por Punta San Miguel y al Sur por Punta Banda; tiene dos entradas a mar abierto que están separadas por las Islas Todos Santos. La bahía es de aguas profundas, casi el 90% del área del fondo se encuentra entre los 10 y 50 m de profundidad (SEMAR, 1974). La circulación en la región está influenciada por la corriente de California, que es una corriente superficial (0-300 m) que viaja en dirección sureste, paralela a la costa y tiene velocidades típicas de 4 a 12 cm/s y presenta salinidades bajas, 33.5 ups (Carreón T. L. *et al.*, 2001). En esta zona de la BTS se localizan dos empresas que se dedican al cultivo del mejillón *Mytilus galloprovincialis*, Aqualap S. A. y Acuacultura Oceánica S.A.

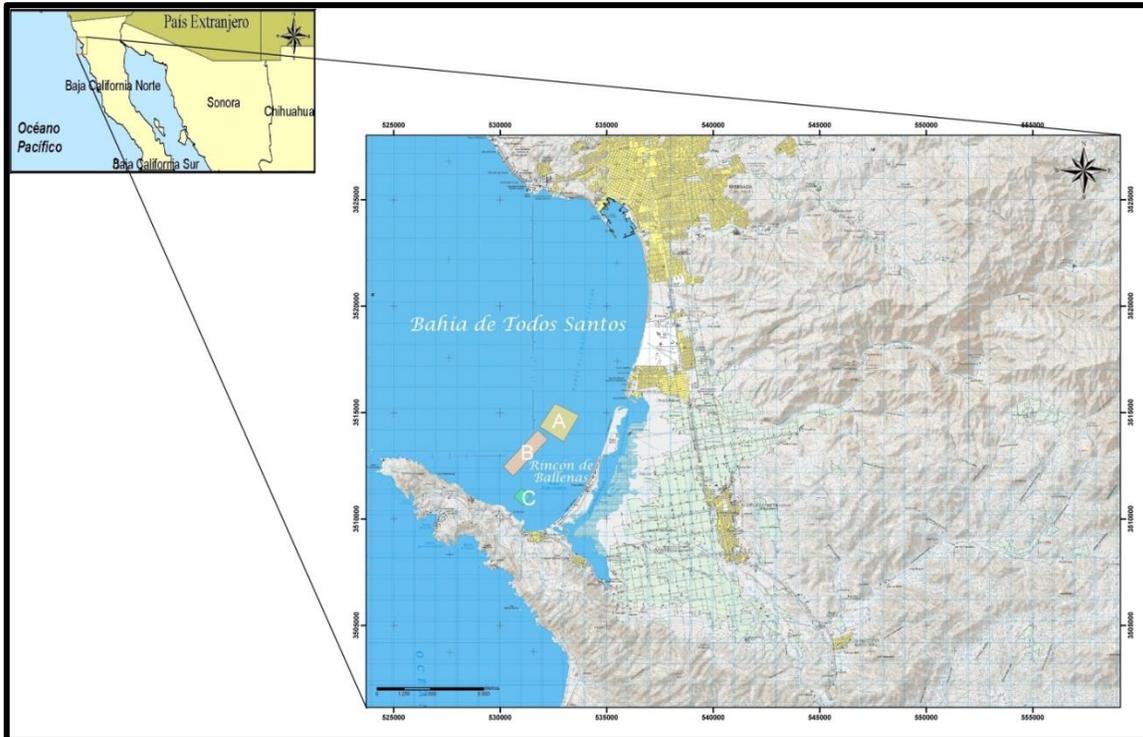


Figura 5. Ubicación del área de estudio en la zona de Rincón de Ballenas de la bahía de Todos Santos, polígono A) Aqualap, B) Acuacultura Oceánica y C) Zona vieja de colectores de Acuacultura Oceánica.

Aqualap cuenta con una superficie de 91 ha de cultivo en la que se distribuyen 53 líneas madre de 200 m de longitud cada una, colocadas de manera paralela en cuatro hileras y con una distancia de 50 m entre líneas. En el cultivo, 26 líneas corresponden a colectores y 18 de calcetines (Figura 6). Los colectores y calcetines miden 4 y 6 m respectivamente y en cada línea madre se colocan 300 calcetines. Los calcetines en este cultivo cuentan con un cabo al interior de la malla de algodón para facilitar la fijación de mejillón y disminuir pérdidas por ruptura de la red.

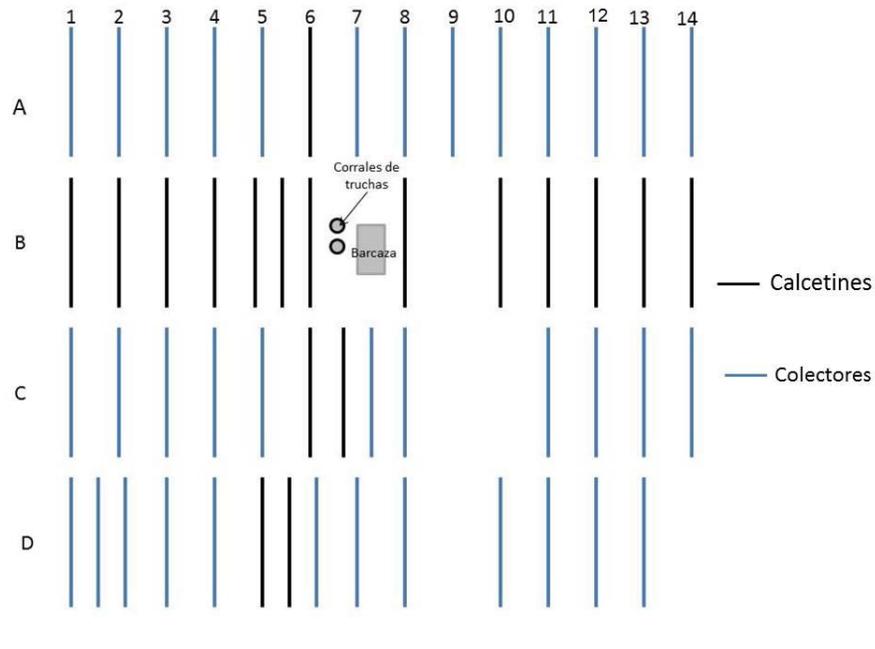


Figura 6. Esquema de organización de las líneas de cultivo de la empresa Aqualap. El cultivo consta de 53 líneas madre (35 de colectores y 18 de calcetines) ordenadas en cuatro filas denominadas con las letras A-D. Cada fila consta de 13 a 14 líneas.

Acuicultura Oceánica cuenta con una superficie de 298 ha de cultivo, en ella están ubicadas 118 líneas de cultivo, 88 colocadas de forma paralela en dos hileras de las cuales 40 líneas son de calcetines y 48 de colectores, y otras 30 líneas de colectores alejadas de las anteriores en una zona conocida como “área vieja”, y cercana a la orilla (Figura 7). Los colectores y calcetines miden 5 y 3 m respectivamente y en cada línea madre se colocan 300 a 350 calcetines. Los calcetines en este cultivo no cuentan con un cabo al interior de la malla de algodón, el biso de los mejillones se adhiere a la superficie de otros mejillones y a la red de plástico.

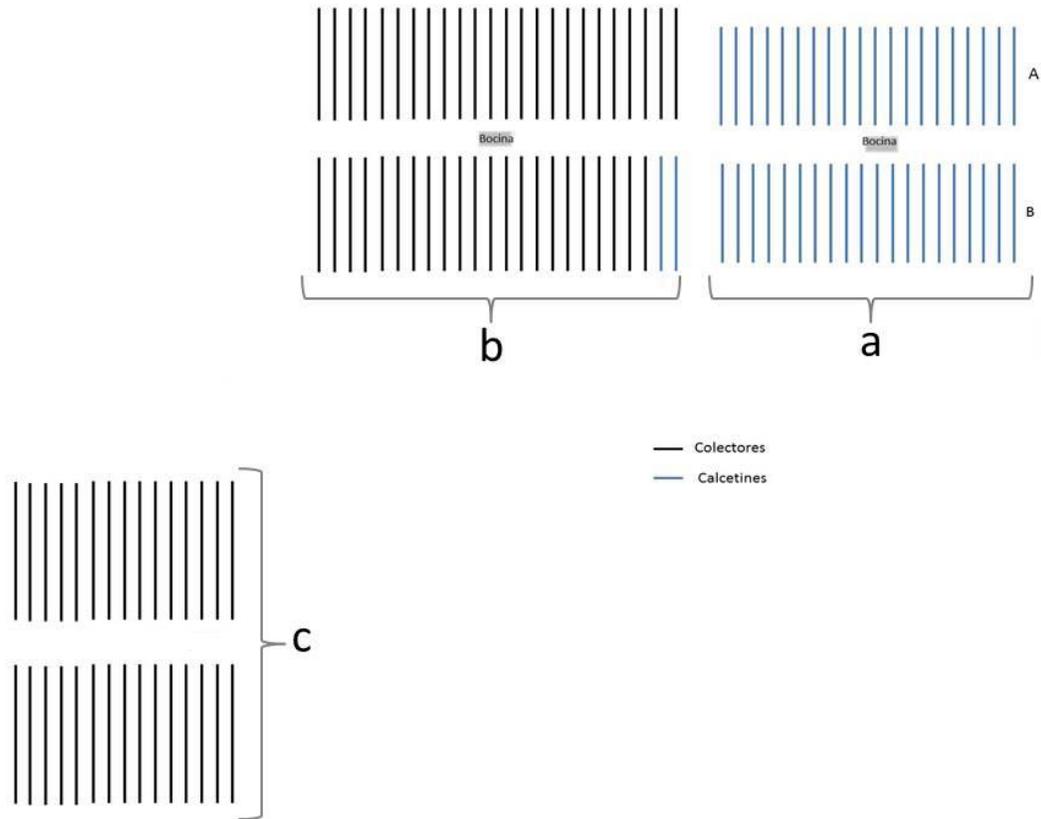


Figura 7. Esquema de ubicación de las líneas de cultivo de la Acuicultura Oceánica. La empresa cuenta con 118 líneas madre ordenadas en tres áreas, a) áreas A y B de calcetines de engorda(40 líneas), b) áreas A y B de colectores artificiales (48 líneas) y c) área vieja de colectores artificiales (30 líneas).

Tabla 2. Comparación de sistemas de cultivo para las empresas Aqualap y Acuicultura Oceánica.

Empresa	Aqualap	Acuicultura Oceánica
Número de líneas	53 (35 de colectores y 18 de calcetines)	118 (40 de calcetines y 78 de colectores)
Longitud de líneas	200 m	280 m colectores, 180 m colectores
Distancia de separación entre líneas	50 m	50 m
Profundidad	5 m	5 m
Longitud de colectores artificiales	4 m	5 m
Longitud de calcetines de engorda	6 m	3 m
Número de calcetines por línea	250-300	300 a 350
Rendimiento promedio por calcetín	19 Kg	15 kg
Siembra en calcetines	Utiliza cabo al interior de la malla de algodón	No utiliza cabo al interior de la malla de algodón.

5.2 Estimación de abundancia de *Melanitta* spp.

Para la estimación de abundancia de patos malacófagos se realizaron observaciones diurnas entre las 8:00 y 10:00 am o vespertinas entre las 2:00 y 4:00 p.m. una vez por semana desde finales de Noviembre de 2013 hasta finales de Abril de 2014. El horario se determinó de esa forma para evitar que la actividad de las lanchas de las compañías de acuicultura interfirieran en los conteos. Los conteos se realizaron a bordo de una lancha de motor fuera de borda, en movimiento a una velocidad constante no mayor a 10 km/h siguiendo un patrón rectilíneo por el medio de cada cultivo (Kidwel 2007) y observando a ambos lados de la embarcación. Para la identificación de las especies se utilizaron binoculares Nikon (Japón) de 10x42 y guía de campo “*Sibley Guide to Birds*” (Sibley, 2000) para identificar a las especies.

Las aves individuales o parvadas observadas fueron georreferenciadas con un posicionador geográfico (GPS Garmin 72H) y se tomó nota de la dirección de vuelo para evitar recuento así como su ubicación: colectores, calcetines o fuera del cultivo.

El estudio se enfocó en la especie de *Melanitta perspicillata* ya que fue la especie predominante en el área de estudio.

5.3 Estimación de tiempo de alimentación

Una característica de *M. perspicillata* es la tendencia a alimentarse en grupos con buceos frecuentemente sincronizados (Beauchamp, 1992), por lo que la tasa de buceo se midió tomando el tiempo de inmersión-emersión para el grupo de *Melanitta* sp. observado en el cultivo durante un periodo de diez días. Los bloques de observación fueron de 1 hora.

5.4 Estimación de consumo de mejillón por *Melanitta perspicillata*

El consumo de mejillón por *M. perspicillata* fue estimado a través de la construcción de un modelo bioenergético que calculó el gasto energético diario para un ave a partir de una tasa metabólica estimada y costos energéticos de sus actividades diarias como múltiplos de la tasa metabólica. Posteriormente se extrapoló para la población contada durante la temporada invernal. El modelo de consumo integró dos componentes: 1) requerimiento energético diario del ave (RED) y 2) contenido energético de mejillón (CEM). Se supuso, por la biología de *M. perspicillata*, que la mayor parte de su dieta está compuesta de mejillón en el sitio de cultivo.

5.5.1. Terminología y supuestos

La tasa de metabolismo estándar (TME) es la energía requerida sobre periodos de tiempo cortos de un individuo en completo descanso y en un estado postabsortivo (Kendeigh, 1970). Dicha definición coincide en gran medida con la proporcionada por Ellis (1984) para tasa metabólica basal (TMB), considerada como la tasa de gasto energético obtenida en un animal adulto en descanso en un estado termorregulatorio y postabsortivo en su zona termoneutral. Si bien, la diferencia entre TME y TMB es que la primera no es necesariamente obtenida cuando el organismo se encuentra en una zona termoneutral, en el caso de organismos endotermos, TME y TMB a menudo son considerados como equivalentes (Ellis y Gabrielsen, 2002). Lasiewski y Dawson (1967) establecieron ecuaciones alométricas para estimar el metabolismo estándar de aves

paseriformes y no paseriformes y obtuvieron que ambos grupos muestran el mismo coeficiente de regresión al relacionar el peso de las aves con la tasa metabólica. Sin embargo las aves paseriformes presentan una tasa metabólica más alta por unidad de peso que las aves no paseriformes de tallas comparables. Para propósitos de este estudio, se utilizó la ecuación para aves no paseriformes ya que *M. perspicillata* pertenece al orden de los anseriformes (ecuación 1) y se obtuvo el valor de la TME el cual fue utilizado como equivalente a la TMB en cálculos posteriores.

$$\log M = \log 78.3 + 0.724 \log W \quad (1)$$

Donde M es el metabolismo estándar en kcal/día y W es el peso en kg del ave. Dado que el metabolismo estándar se obtuvo en kcal/día, se realizó la conversión a kJ/día y posteriormente a kJ/h. Para propósitos de este estudio, se supuso una masa corporal de 1100 g para *M. perspicillata* (Nilson y Nilson, 1976).

Debido a que no fue posible capturar patos vivos y mantenerlos en el laboratorio para las estimaciones de costos energéticos de actividades específicas, éstos se obtuvieron a partir de la literatura. De acuerdo con Baudinette y Schmidt-Nielsen (1974), el metabolismo durante el descanso (MD) incrementa 1.7 veces más el valor de TME predicho por la ecuación alométrica de Lasiewski y Dawson (1967) (ecuación 2). El costo de vuelo (CV) fue tomado como 6.4 veces la MD (Tucker, 1973) (ecuación 3) y Richman y Lovvorn (2008) obtuvieron que los periodos de nado (costo de nado, CN), aumentaban 1.3 veces la MD en *M. fusca* (ecuación 4). El costo de buceo (CB) se tomó como 3.5 veces la TMB (Woakes y Butler, 1983), bajo el supuesto que sólo bucean durante para alimentarse.

Finalmente, los tiempos (t) de actividad se estimaron a partir de las observaciones en campo durante la temporada invernal.

5.5.2. Construcción del modelo bioenergético

Para la construcción del modelo se calcularon los costos energéticos por hora de cada actividad y se propusieron rangos de tiempo para cada actividad. Se utilizaron diferentes combinaciones de tiempos de las actividades para obtener diferentes sumas de tiempo para un periodo de 24 horas y calcular los costos energéticos para cada grupo de combinaciones.

Con estos datos se obtuvieron estimaciones del requerimiento energético máximo y mínimo diario por individuo. Esto fue convertido a la cantidad de mejillón que el ave necesitará consumir para cubrir el costo energético estimado.

Dado que no se encontró información detallada del valor energético de *Mytilus galloprovincialis*, el contenido energético de este mejillón (CEM) fue tomado como 18.85 kJ/g de masa seca libre de concha (MSLC), resultado promedio de contenido energético para bivalvos (Brey *et al.*, 1988).

Asimismo, se supuso una eficiencia de asimilación (EA) de energía de 70% para aves que se alimentan de bivalvos (Richman y Lovvorn, 2003). La EA es la cantidad de energía obtenida durante la alimentación en proporción a la energía utilizada durante el mismo (Enstipp *et al.*, 2006). Con lo anterior se obtuvo la cantidad total de mejillón requerida en gramos de masa seca libre de concha (CMR_{gMSLC}) (ecuación 6).

$$CMR_{gMSLC} = \frac{RED}{CEM \cdot EA} \quad (6)$$

Para convertir biomasa de mejillón de MSLC a peso fresco de mejillón entero (ME), se utilizó el factor de conversión (*fc*) 0.66 (6.6 % representa la cantidad de masa seca libre de concha contenida por gramo de mejillón entero) obtenido por Ricciardi y Bourget (1998) para *Mytilus edulis* (ecuación 7).

$$CMR_{gME} = \frac{CMR_{gMSLC}}{fc} \quad (7)$$

Donde CMR_{gME} es la cantidad total de mejillón entero requerida expresada en gramos.

Finalmente se extrapoló para la población local de *Melanitta perspicillata* utilizando los resultados de los conteos de abundancia del trabajo de campo para obtener el requerimiento de consumo poblacional (RCP). Los parámetros utilizados para la construcción del modelo se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros utilizados para la construcción del modelo bioenergético de *Melanitta perspicillata*.

Abreviatura	Parámetro	Valor
<i>m</i>	masa corporal (g)	1100
<i>TME</i>	Tasa metabólica estándar (kJ/hr)	14.63
<i>FMAE</i>	Factor multiplicando de metabolismo de descanso	1.7
	Factor multiplicando de costo de vuelo	6.4
	Factor multiplicando de costo de nado	1.3
	Factor multiplicando de costo de buceo	6
<i>t</i>	Rango de tiempo de descanso (hr)	14 - 16
	Rango de tiempo de vuelo (hr)	1 - 2
	Rango de tiempo de buceo (hr)	1
	Rango de tiempo de nado (hr)	6 - 8
<i>CEM</i>	Contenido energético de mejillón (kJ/g)	18.85
<i>EA</i>	Eficiencia de asimilación (%)	70
<i>fc</i>	Factor de conversión MSLC-ME (%)	6.6

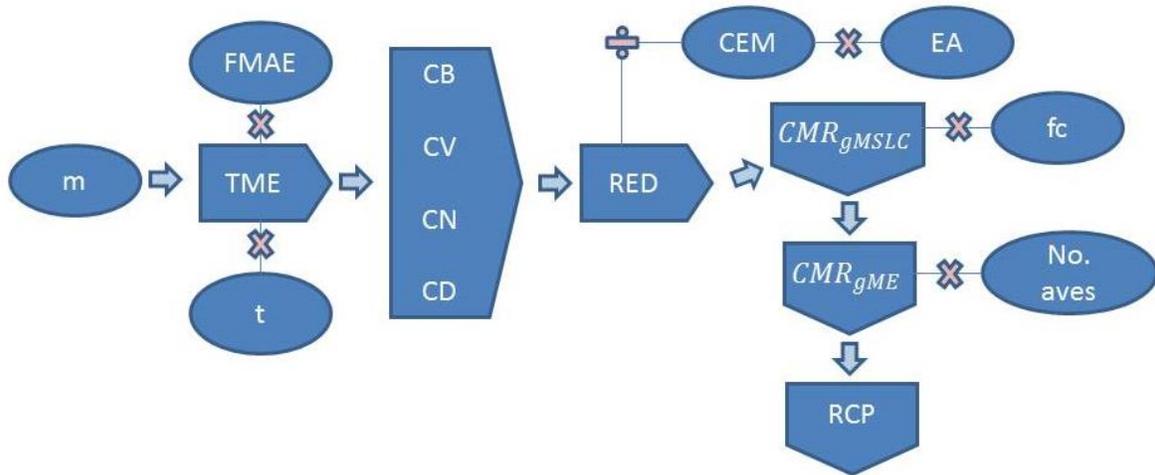


Figura 8. Diagrama de modelo bioenergético (modificado de Furness, 1978). Los óvalos representan los parámetros utilizados. Los pentágonos representan los cálculos energéticos obtenidos. A partir de la masa corporal (g) se obtuvo la TME (kJ/h) calculada con la ecuación alométrica de Lasiewski y Dawson (1967). El valor obtenido se multiplicó por cada factor multiplicando de actividad específica ($FMAE$) y se obtuvo el costo energético (kJ) por hora de cada actividad. El costo energético de cada actividad se multiplicó por el número de horas por día que utiliza el ave para llevarla a cabo y se obtuvo el costo energético de cada actividad por día. Los valores obtenidos fueron sumados y se obtuvo el requerimiento energético diario (RED) (kJ/d). Posteriormente se multiplicó el contenido energético de mejillón (CEM) por el valor de eficiencia de asimilación (EA) para obtener la cantidad de energía mejillón asimilada. El RED se dividió entre dicho valor y se obtuvo la cantidad de mejillón requerida en gramos de masa seca libre de concha (CMR_{gMSLC}). Éste último se multiplicó por el factor de conversión (fc) para obtener la cantidad de mejillón requerido en gramos de mejillón entero (CMR_{gME}). Finalmente, el CMR_{gME} se multiplicó por el número promedio estimado de aves y se obtuvo el requerimiento de consumo poblacional (RCP).

5.5 Estimación del rendimiento de producción en las empresas estudiadas.

Para calcular el rendimiento de la producción de mejillón se estimó la producción esperada y producción obtenida utilizando los informes de siembra y cosecha proporcionados por las empresas Aqualap y Acuacultura Océanica para comparar con la estimación de perdida potencial por *Melanitta perspicillata*.

De acuerdo con los informes anuales de siembra y cosecha proporcionados por las dos empresas, el rendimiento promedio por caletín es de 19 y 15 kg de mejillón, respectivamente. Dado que no se tiene control de la cantidad de mejillón que se fija en la zona de colectores pero sin duda alguna es mayor a la cantidad que se siembra en calchetines y con una diferencia de un metro entre las longitudes de colectores de ambas empresas, se supuso el mismo rendimiento por colector de ambas empresas que para calchetines de la empresa Aqualap.

Con lo anterior se estimó la cantidad total de mejillón presente en ambos cultivos, multiplicando el número de calzetines y colectores por línea por el número de líneas y por el rendimiento por calzetín.

Capítulo 6. Resultados

6.1 Estimación de abundancia de *Melanitta* spp.

La especie dominante fue *Melanitta perspicillata* y solamente se observaron 5 ejemplares de *M. fusca* durante todo el período de estudio. No hubo registro de *M. nigra*, previamente reportada para el área. (Tabla 4).

Los resultados de los conteos realizados muestran fluctuaciones en la abundancia de *M. perspicillata* a lo largo de la temporada, registrándose de 2365 individuos el 27 de Diciembre, el mayor número, y 252, el menor, el 24 de Enero (Figura 9). Para complementar los datos faltantes, se obtuvo la mediana del número de patos observados dos semanas antes y dos semanas después a cada día en que no se realizaron muestreos (Barras rojas en la Fig. 9). Se utilizó la mediana por ser insensible a valores extremos y este tipo de ajustes permite una mejor interpretación de resultados. Para corregir la diferencia de la abundancia registrada entre los muestreos, se estimó una población promedio de 1000 individuos, y una mediana poblacional de 950 individuos, y una *d.e.* ± 512 . debido a al rango de valores extremos.

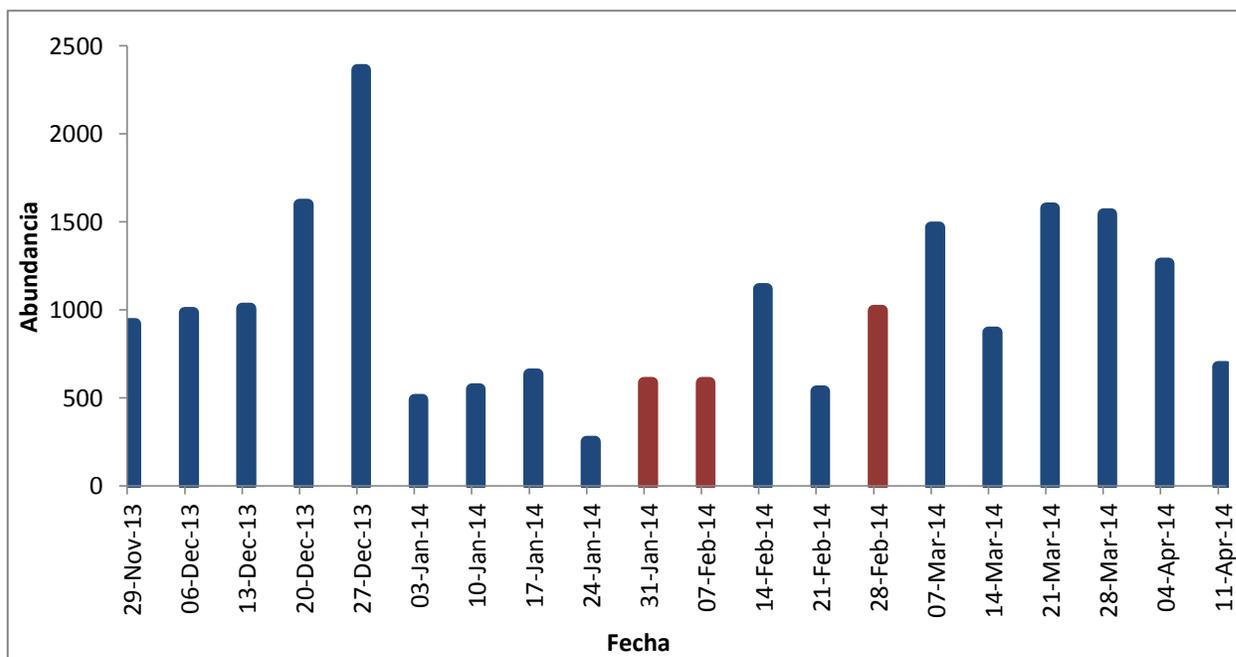


Figura 9. Número de *Melanitta perspicillata* observados (barras azules) y supuestos (barras rojas) de los días que no hubo observaciones durante la temporada invernal 2013-2014. Los supuestos se obtuvieron al calcular la mediana de dos semanas antes y dos semanas después a cada día.

El porcentaje de incidencia de *M. perspicillata* en las diferentes zonas del área de estudio durante la temporada se presenta en la figura 10. El mayor porcentaje de incidencia se observó en la zona de colectores con el 48.48 % y el menor porcentaje corresponde a patos observados fuera de los cultivos (21.63%).

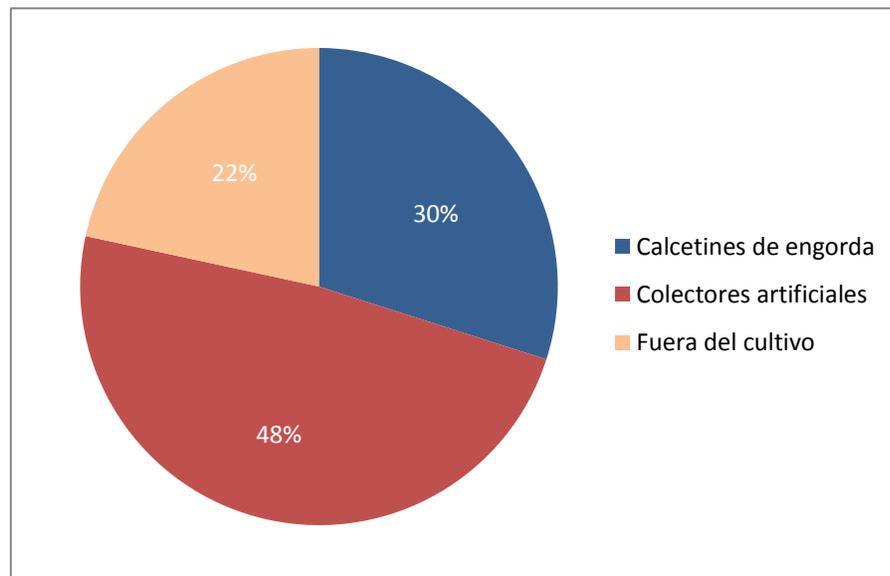


Figura 10. Porcentaje de incidencia de *M. perspicillata* en la zonas de calzetines de engorda, colectores artificiales y fuera del cultivo.

6.2 Estimación de tiempo de alimentación

Los resultados de la estimación de tiempo de alimentación muestran un promedio de 5.40 min/h de inmersión, $\sigma \pm 1.66$. Este valor se extrapoló a las horas de actividad diaria, suponiendo que sólo se mantienen activos durante las horas de luz. Durante la temporada invernal en la Bahía de Todos Santos, los días tienen en promedio 10 horas de luz, por lo que se estimó un promedio de tiempo de alimentación de 54 min/día.

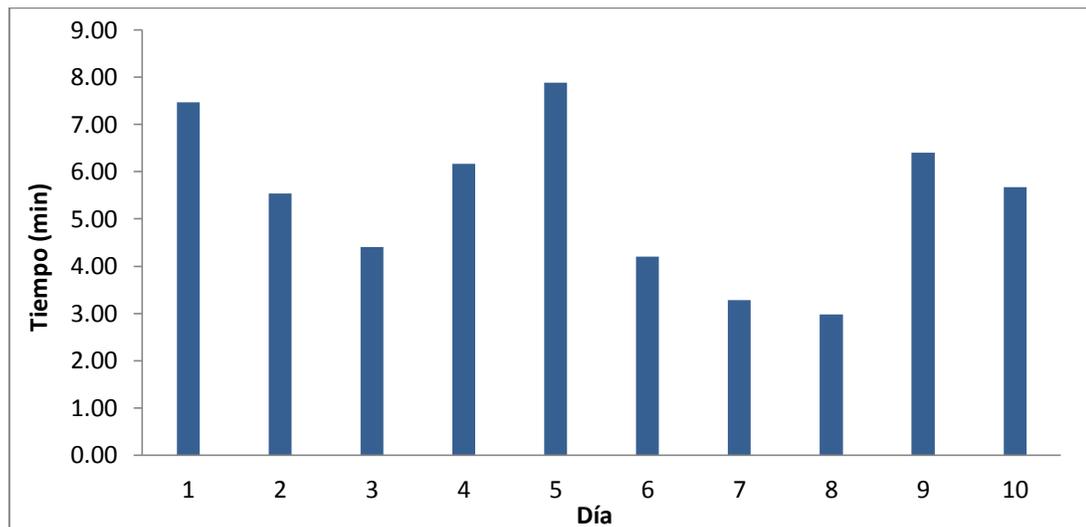


Figura 11. Tiempo total de inmersión por bloque de observación.

6.3 Estimación de consumo de mejillón por *Melanitta perspicillata*

Los costos energéticos por hora calculados para cada actividad se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Costo energético por hora de las actividades diarias realizadas por *M. perspicillata* de acuerdo al modelo energético utilizado en este estudio.

<i>Actividad</i>	<i>Costo energético (kJ/h)</i>
Vuelo	105.3
Buceo	51.2
Nado	32.3
Descanso	24.8

En la tabla 6, se pueden ver las diferentes combinaciones de los tiempos de actividad, con las cuales se calcularon los costos energéticos diarios máximo, mínimo y promedio por individuo. El valor máximo obtenido fue de 945 kJ/d y el valor mínimo fue 784 kJ/d.

Tabla 6. Costo energético diario para cada grupo de actividades combinadas para sumar 24 horas.

Actividad	Horas						Total de horas
Descanso	14	14	14	15	15	16	24
Nado	6	7	8	6	7	6	
Vuelo	3	2	1	2	1	1	
Buceo	1	1	1	1	1	1	
Costo energético (kJ)	945	872	799	865	792	784	

Considerando que los bivalvos constituyen el 90% de la dieta de *Melanitta* spp. (Stempniewicz, 1986), se calculó que los equivalentes al 90% de los valores máximo y mínimo de costo energético obtenidos en la tabla 5, son 851 y 706 kJ respectivamente. Con base en la ecuación 6 presentada en el capítulo IV, se utilizaron dichos valores de requerimiento energético diario (*RED*) para obtener las cantidades máxima y mínima de mejillón que las aves necesitan consumir para cubrir su requerimiento energético diario, suponiendo un 70% de eficiencia de asimilación. Los resultados se muestran a continuación

CMR_{gMSLC} máximo:

$$CMR_{gMSLC} = \frac{851 \text{ kJ}}{18.85 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \cdot 0.7} = 64.5 \text{ gMSLC}$$

CMR_{gMSLC} mínimo:

$$CMR_{gMSLC} = \frac{706 \text{ kJ}}{18.85 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \cdot 0.7} = 53.5 \text{ gMSLC}$$

Dado que los resultados anteriores se presentan en $gMSLC$, fue necesario utilizar el factor de conversión $gMSLC/gME$, para lo cual utilizamos la ecuación 7. Los resultados se muestran a continuación:

CMR_{gME} máximo:

$$CMR_{gME} = \frac{64.5 \text{ gMSLC}}{0.066} = 977 \text{ gME}$$

CMR_{gME} mínimo:

$$CMR_{gME} = \frac{53.42 \text{ gMSLC}}{0.066} = 811 \text{ gME}$$

Al convertir de $gMSLC$ a gME se obtuvo que las aves necesitan consumir 811 - 977 gME con un promedio de 894 gME para cubrir su requerimiento energético diario bajo el modelo utilizado.

Con base en las estimaciones de consumo requerido, podemos calcular la pérdida potencial diaria de mejillón de acuerdo a número de individuos como se muestra en la figura 12.

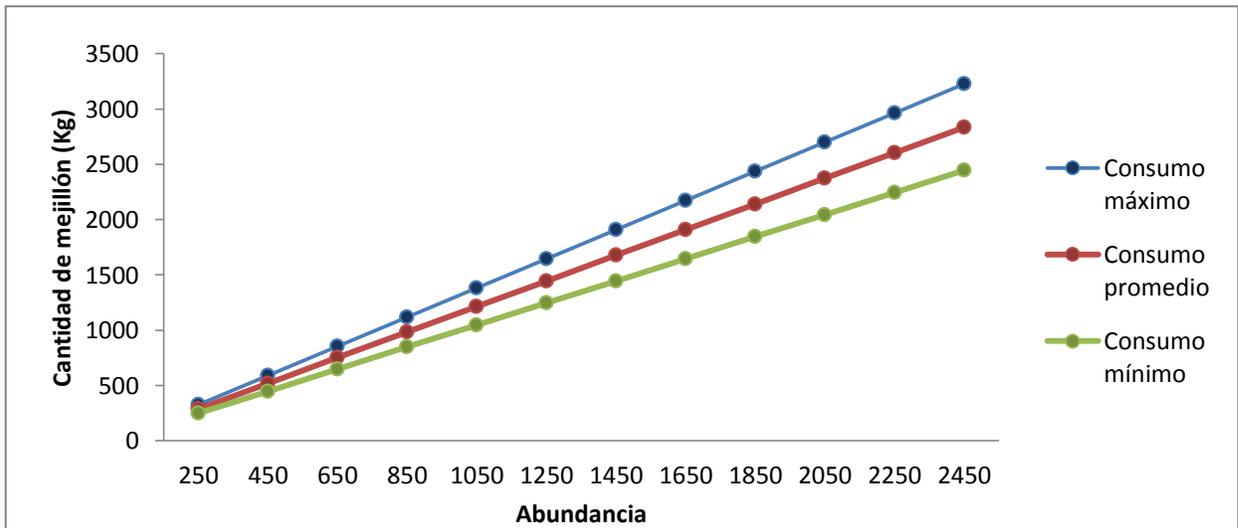


Figura 12. Pérdida potencial diaria de mejillón por *M. perspicillata*

Con una población promedio estimada de 1000 individuos durante la temporada de residencia de las aves en la bahía de Todos Santos, se calculó que el consumo acumulado de mejillón pudo haber alcanzado poco más de los 125,000 kg durante la temporada invernal 2013-2014, lo que representa el % del total del cultivo (figura 13).

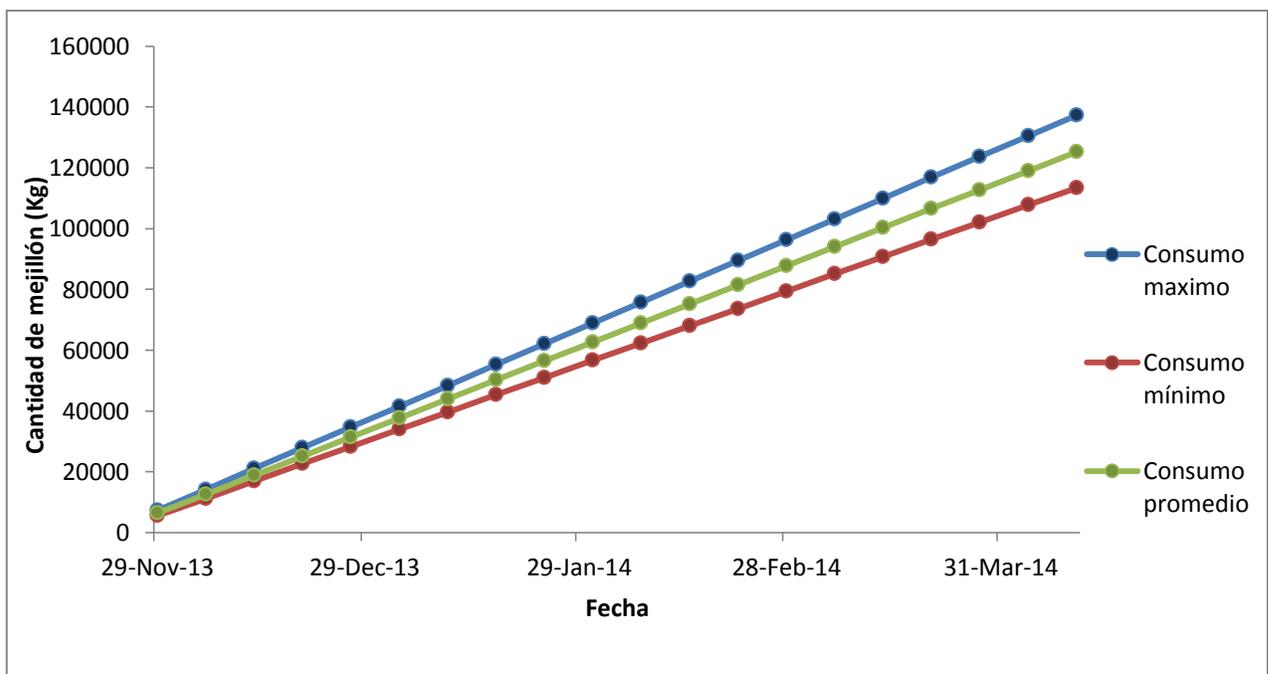


Figura 13. Consumo acumulado de mejillón por *Melanitta perspicillata* durante la temporada invernal 2013-2014.

Las estimaciones de consumo para cada zona del cultivo se realizaron a partir de los porcentajes de incidencia obtenidos (figura 14), considerando los porcentajes de incidencia en calcetines de engorda y colectores artificiales para la población total. Se obtuvo un consumo total de 77,465 kg en la zona de colectores artificiales y 47,680 kg en la zona de calcetines de engorda, correspondientes al 61.9 y 38.1% respectivamente

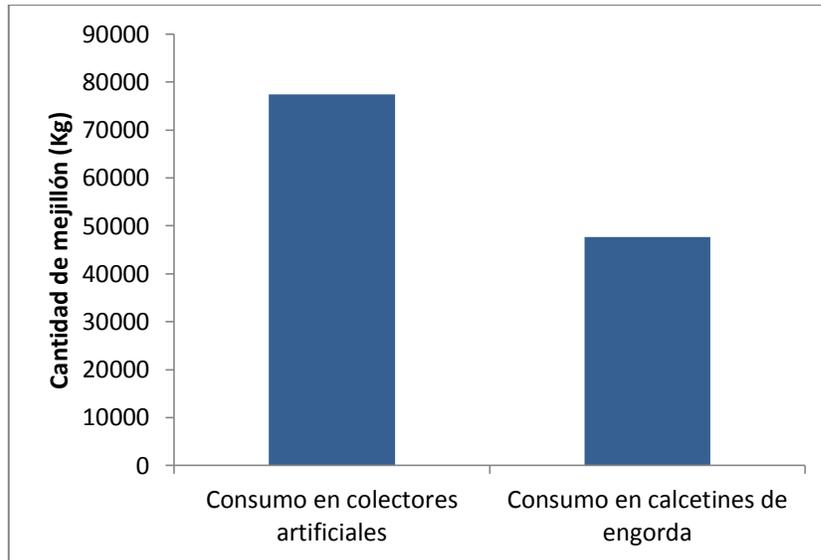


Figura 14. Consumo de mejillón por *Melanitta perspicillata* en zonas de calcetines de engorda y colectores artificiales durante la temporada invernal 2013-2014.

6.4 Estimación del rendimiento de producción de las empresas estudiadas

Con base en los informes de siembra y cosecha de los últimos tres años de las empresas Aqualap y Acuacultura Oceánica, el promedio de cosecha anual esperada es de 96,824 y 158,495 kg de mejillón respectivamente mientras que el promedio de cosecha real es 61,713 kg equivalente al 63% de la cosecha esperada para la empresa Aqualap y 86,398 kg equivalentes al 54% para Acuacultura Oceánica. Con lo anterior tenemos una suma entre ambas empresas de 255,319 kg de cosecha esperada total de mejillón y de 148,110 kg de cosecha total real. La figura 15 muestra las cosechas real y esperada de mejillón por ambas empresas.

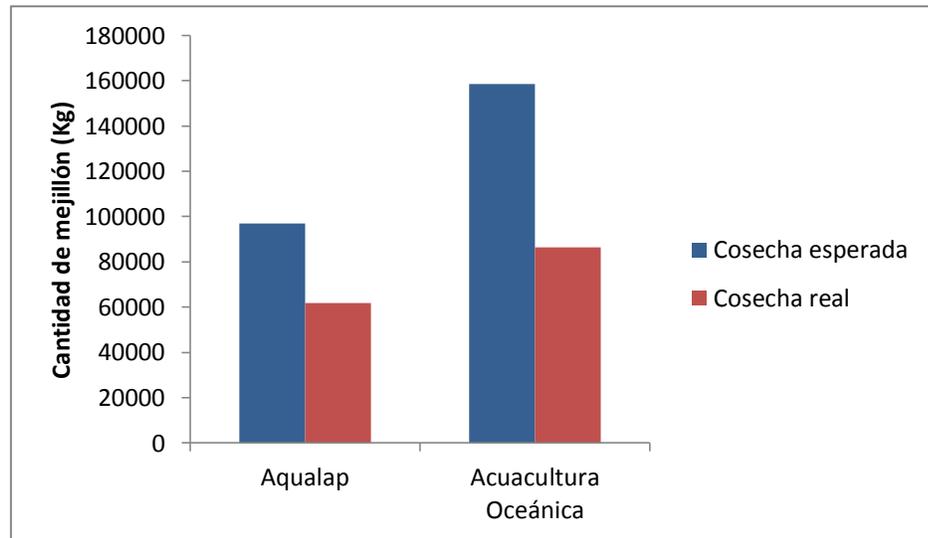


Figura 15. Promedios anuales de cosecha esperada vs. cosecha real de las empresas Aqualap y Acuacultura Oceánica. La cosecha real representa el 54% y 63% respectivamente de la cosecha esperada.

Dada la forma libre de fijación de mejillón en colectores artificiales, estas zonas no son incluidas en los informes anuales de siembra y cosecha. Es necesario recordar que las líneas de colectores representan más del 60% de las líneas del cultivo, y por lo tanto es necesario considerar el porcentaje que ocupa la producción real dentro del stock total del cultivo.

De acuerdo con el número de líneas de calcetines y colectores para cada empresa (tabla 2), se obtienen un total 4,500 calcetines de engorda y 6,500 colectores artificiales para Aqualap, suponiendo que cada línea tiene mínimamente 250 calcetines y/o colectores, así como 12,000 calcetines y 23,400 colectores artificiales para Acuacultura Oceánica, suponiendo que cada línea cuenta con al menos 300 calcetines y/o colectores. Con base en la cosecha de años anteriores, se obtuvo un rendimiento promedio de 19 kg para calcetines de engorda en Aqualap y 15 kg para Acuacultura Oceánica. Para el caso de colectores artificiales de ambas empresas, se supuso el mismo rendimiento que para calcetines de engorda de Aqualap. Los resultados de las estimaciones de cantidad de mejillón en stock se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Cantidad estimada de mejillón en stock para Aqualap y Acuacultura Oceánica.

Empresa	Aqualap	Acuacultura Oceánica
Cantidad de mejillón en calcetines de engorda	85,500 kg	180,000 kg
Cantidad de mejillón en colectores artificiales	123,500 kg	444,600 kg
Cantidad total de mejillón en stock	209,000 kg	624,600 kg

Los resultados anteriores se compararon con la cosecha real como se muestra en la figura 16.

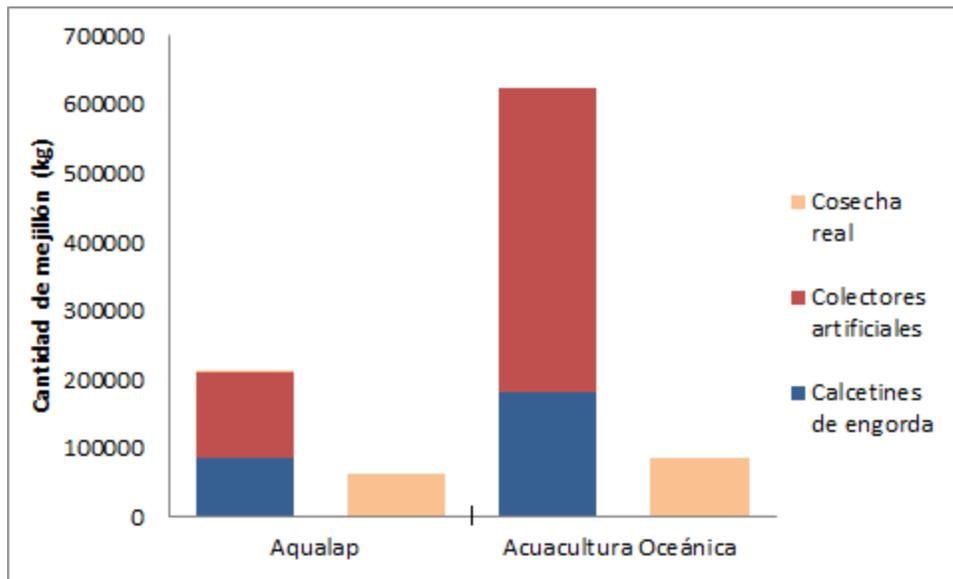


Figura 16. Cosecha real de mejillón comparada con la cantidad estimada de mejillón en los cultivos de Aqualap y Acuacultura Oceánica considerando zonas de calcetines y colectores.

De acuerdo con la estimación de consumo de mejillón por *M. perspicillata* en las diferentes zonas de los cultivos (figura 14), el consumo en calcetines de engorda equivale al 18% y al 14% en colectores artificiales con respecto al stock total durante la temporada invernal (figura 17).

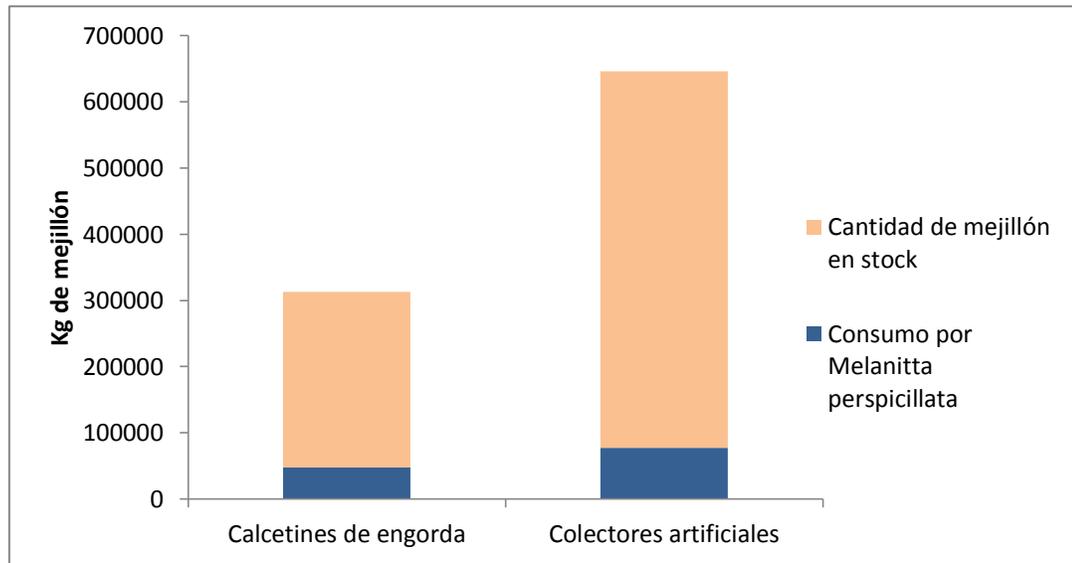


Figura 17. Comparación de consumo estimado por *Melanitta perspicillata* en relación a la cantidad de mejillón estimada en stock en los cultivos de las empresas Aqualap y Acuicultura Oceánica.

Finalmente, dado que la cosecha esperada se obtiene de las siembras en la zona de calcetines de engorda en ambas empresas, se comparó la cosecha esperada con la cosecha real y el consumo por *Melanitta perspicillata* en calcetines de engorda. Se obtuvo que la cosecha real y consumo por *M. perspicillata* corresponde al 58 y 19% de la cosecha esperada respectivamente (figura 18).

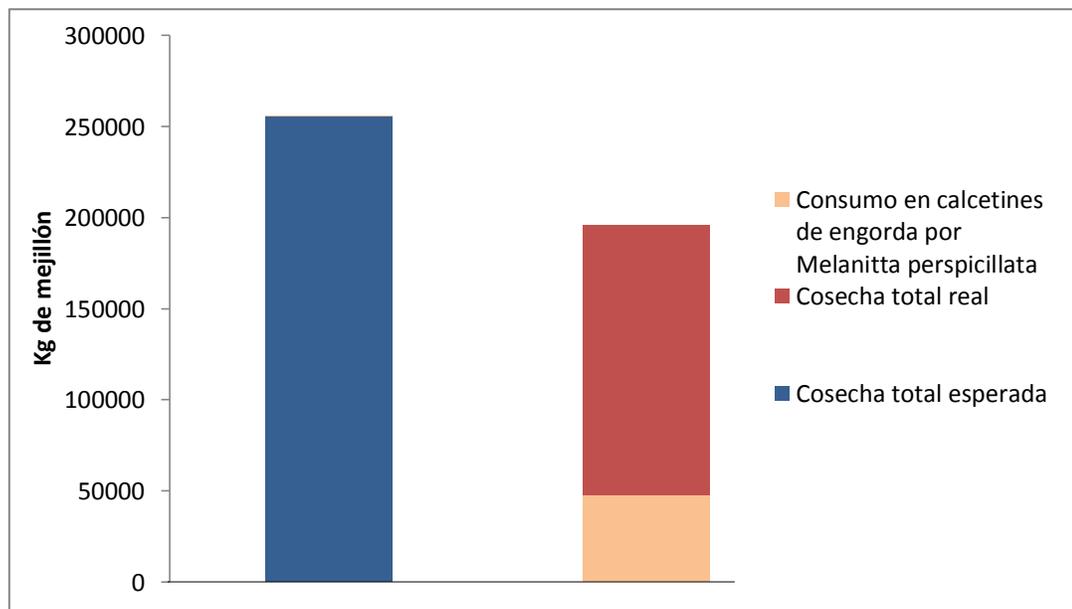


Figura 18. Comparación de la cosecha total real y consumo estimado por *Melanitta perspicillata* en calcetines de engorda en relación a la cosecha total esperada.

Capítulo 7. Discusión

7.1 Estimación de abundancia de *Melanitta* spp.

Los resultados de identificación de especies y estimación de abundancia indicaron la presencia de dos especies de patos marinos malacófagos en la bahía de Todos Santos, *M. perspicillata*, con un pico de abundancia de 2365 individuos en una ocasión y un mínimo de 252 individuos y registrándose a lo largo de toda la temporada invernal y *M. fusca*, detectándose 4 y 1 individuos en dos ocasiones. La presencia de ambas especies ha sido registrada anteriormente en el Estero de Punta Banda (Escofet *et al.*, 1988; Jiménez-Perez *et al.*, 2009), y *M. perspicillata* en San Telmo y El Rosario (Ruíz-Campos *et al.*, 2005). No se detectó la presencia de *M. nigra* reportada por Escofet *et al.* (1988). En ambos estudios ambas especies fueron detectadas en la zona de marismas en el Estero de Punta Banda y el presente estudio se enfocó en la zona intermareal de la BTS, donde se encuentran los cultivos de mejillón.

La abundancia de *M. perspicillata* en este estudio estuvo asociada principalmente a la zona cultivada de mejillón y dentro de ésta, la mayor incidencia se observó en las zonas de colectores artificiales, lo que sugiere que la presencia del cultivo atrae a la especie a la bahía. Sin embargo, dado que no se cuenta con registros de abundancia de años anteriores en la bahía de Todos Santos, es necesario complementar la información para tener mejores puntos de comparación.

7.2 Estimación de tiempo de alimentación

Los resultados del análisis de tiempo de alimentación indican que *M. perspicillata* pasa un promedio de 5.4 minutos por hora alimentándose en la bahía de Todos Santos. Este resultado difiere de los obtenidos por Vanstratt (2003), quien comparó tiempo estimado de alimentación para *M. perspicillata* en sitios distintos de la costa oeste de su distribución en invierno. En su estudio sugería que la distribución era influenciada por la calidad del hábitat de alimentación y que si la calidad del hábitat de alimentación era baja, el tiempo de alimentación aumentaba debido a que requerirían pasar mayor tiempo buceando en busca de alimento. Estimó que *M. perspicillata* pasa un promedio de 19.5 min por hora alimentándose en Baja California a diferencia de los 9.5 minutos

por hora en el Sureste de Alaska. Con lo anterior infirió que la calidad del hábitat de alimentación en Baja California es baja y por lo tanto requieren pasar mayor tiempo buceando para encontrar el alimento en dicha zona que en su distribución nortea.

Lo anterior contrasta con el resultado obtenido aquí, sin embargo, los sitios de trabajo de VanStratt en Baja California fueron la bahía de San Quintín y Laguna Ojo de Liebre. En ambos sitios existen bancos naturales de mejillón y almeja, donde la calidad del hábitat de alimentación podría ser baja comparada con Rincón de Ballenas, donde la presencia del cultivo de mejillón representan una alta calidad de hábitat de alimentación para *M. perspicillata*, y por lo tanto utilizan menos tiempo para alimentación que en otros sitios de su distribución en Baja California. Adicionalmente, la mayoría de los sitios con bancos naturales de mejillón en Baja California, se encuentran en zonas de rompiente, donde el constante golpe de las olas podrían dificultarles la captura de dicho alimento, obligándolos a realizar buceos profundos para obtener mejillones protegidos de la rompiente, a buscar otras presas u otros sitios de alimentación.

Con lo anterior, los resultados de tiempo de alimentación del presente estudio sugieren que la hipótesis establecida por VanStratt (2003) es correcta.

7.3 Estimación de consumo por *Melanitta perspicillata*

El modelo bioenergético estimó que cada individuo de *M. perspicillata* consume diariamente de 784 - 945 kJ. Considerando que el 90% de su dieta corresponde a bivalvos, estimamos que de 705 – 850 kJ son obtenidos de mejillón, lo que corresponde a 811 y 977 g respectivamente del mismo. Dichos resultados difieren de los estimados por Vermeer (1981) y Anderson y Lovvorn (1987) como veremos a continuación. Vermeer (1981) estimó que *M. perspicillata* necesita consumir 196 g de tejido blando de cualquier tipo de presa para cubrir su requerimiento energético diario. Sin embargo, dado que ese valor se obtuvo a partir de la ecuación para aves piscívoras propuesta por Nilsson y Nilsson (1980), no podemos suponer que la energía proporcionada por 196 g de alguna especie de pez sea la misma que la proporcionada por bivalvos o crustáceos. Además se debe considerar que la eficiencia de asimilación de alimento entre aves piscívoras y malacófagas difiere debido al costo energético que debe pagar un ave

malacófaga para digerir y eliminar las conchas de sus presas, comparado con la osamenta de los peces. Anderson y Lovvorn (2011) estimaron que *M. perspicillata* requiere 1095.85 kJ/d para llevar a cabo sus actividades. La cifra difiere poco a la obtenida aquí. Dado que la ecuación utilizada por Anderson y Lovvorn fue propuesta por Nagy (1987) para aves marinas entre las cuales se encontraban especies buceadoras, la diferencia entre el resultado obtenido por Anderson y Lovvorn (2011) del obtenido en el presente estudio puede estar relacionado al uso de los estimadores teóricos.

El modelo bioenergético propuesto en este estudio integró los presupuestos de tiempo y energía de las diferentes actividades realizadas por *M. perspicillata* en un periodo de 24 horas. Esto dió como resultado una estimación teóricamente más precisa a las propuestas por otros autores. Sin embargo, dado que los cálculos obtenidos provienen de modelos alométricos y teóricos de costos de actividad, es necesario validarlo.

El consumo individual estimado de 811 - 977 g de mejillón extrapolado al consumo poblacional acumulado, dió un promedio de 125,147 kg de mejillón consumido por *M. perspicillata* en la temporada invernal 2013-2014, de los cuales se estima que el 62% corresponde al consumo en colectores artificiales y el 38% al consumo en calcetines de engorda.

7.4 Estimación del rendimiento de producción de las empresas estudiadas

Los resultados de la comparación entre la cosecha esperada y la cosecha real indicaron que la cosecha real representa el 58% de la cosecha esperada. Así mismo, se obtuvo que el consumo de mejillón por *M. perspicillata* en la zona de calcetines de engorda es de 47,681 kg correspondientes al 19% de la cosecha esperada.

Dada la abundancia de *M. perspicillata* y la cantidad estimada de mejillón consumido durante una temporada invernal, se puede valorar el efecto negativo para la producción de mejillón. Este efecto es amortiguado por la cantidad de mejillón que permanece en la zona de colectores y no es utilizada para los cálculos de cosecha. En este sentido, es

decir, considerando la biomasa de mejillón en la zona de colectores el consumo por los patos representa el 14% del de mejillón en los colectores artificiales.

Si bien la depredación por *M. perspicillata* en la zona de colectores artificiales no es significativa, en la zona de calcetines de engorda si lo es en términos de producción y costo económico.

Considerando un costo de \$48 M.N. por kg de mejillón, la pérdida económica anual por *M. perspicillata* asciende a \$2,288,681 M.N. si consideramos solamente el consumo en calcetines de engorda y \$6,007,056 M.N. si consideramos el consumo total en el cultivo, sin tomar en cuenta los costos de las medidas de disuasión utilizadas por ambas empresas para reducir la pérdida por depredación en el cultivo.

Para mitigar el impacto de las aves sobre la producción del cultivo ambas empresas utilizan como principal medida de disuasión la persecución en lancha de motor. Éste método se lleva a cabo seis días por semana durante las horas de luz del día (promedio de 10 horas en invierno), y utilizándose dos embarcaciones, de cada empresa, tripuladas por al menos dos personas cada una. Cada lancha requiere un promedio 60 litros de gasolina por día, que tiene un costo de \$14.50 M.N. por litro. Lo anterior da un total de \$870.00 M.N. diarios que cada empresa gasta en combustible. Considerando que la temporada invernal de *M. perspicillata* en la BTS abarca de Noviembre-Abril y los meses tiene un promedio de 25 días hábiles, obtenemos que cada empresa gasta aproximadamente \$130,500.00 M.N. en combustible. Estimando un salario mínimo mensual de \$4,000.00 M.N. en ambas empresas, tenemos que cada una gasta aproximadamente \$48,000.00 M.N. en personal que conduzca las lanchas durante los mismos meses. Con lo anterior se estima un gasto total aproximado igual a \$357,000.00 pesos durante la temporada invernal para cubrir el costo de la persecución en lancha de motor, un costo elevado si se considera que su efectividad es momentánea pues las aves regresan después de unas pocas horas de haber sido molestadas.

Adicional a éste método, Acuicultura Oceánica tiene instaladas dos bocinas subacuáticas que reproducen el sonido de los motores de las lanchas. El sonido es

perceptible bajo agua en aproximadamente 1 Km a la redonda, sin embargo, durante las observaciones en campo nos percatamos que las bocinas no están en funcionamiento constantemente y en las ocasiones que si lo estuvieron, las aves se encontraron a escasos 50 metros de ellas, por lo que concluimos que se han habituado a ellas.

El costo económico por la depredación y el empleo de medidas de disuasión corresponde al 37% de la producción económica anual de mejillón de ambas empresas. Adicionalmente, el costo económico por persecución en lancha equivale al 15.6% de la pérdida económica por depredación. En apariencia, las medidas de disuasión empleadas por los acuicultores en Rincón de Ballenas no han arrojado resultados positivos a la producción de mejillón, por lo que se sugiere llevar a cabo una evaluación de las mismas, así como la implementación de nuevos métodos que ejerzan una mayor presión a las aves en el cultivo. El propósito es hacer menos atractiva la zona de cultivo para las aves, obligándolas a buscar otros sitios para alimentarse. Por otra parte, si bien la depredación por *Melanitta perspicillata* sobre el cultivo tiene un efecto negativo significativo, es necesario observar que el consumo por las aves y la cosecha real corresponden al 77% respecto a la cosecha esperada, por lo que existe una pérdida adicional del 23%. Ésta pérdida puede atribuirse a diversos factores ambientales como mareas fuertes, condiciones climáticas adversas, marea roja, enfermedades del cultivo o el manejo durante la siembra y cosecha, entre otros. Sin embargo, es necesario evaluar el efecto de dichos factores.

Capítulo 8. Conclusiones

La especie dominante es *M. perspicillata* lo largo de toda la temporada invernal 2013-2014, estimándose una media poblacional de 1000 individuos presentes de Noviembre a Abril.

En mínimas ocasiones se observó a *M. fusca* y en mínimas cantidades.

El modelo bioenergético propuesto en el presente estudio estimó un requerimiento energético individual diario de 706 – 851 kJ, equivalente a 811 – 977 g de mejillón. Con una media poblacional de 1000 individuos de *M. perspicillata*, se estima un consumo acumulado promedio de 125,128 kg de mejillón en la temporada invernal 2013-2014, de los cuales el 38% corresponde al consumo en la zona de calcetines de engorda. Dicha cantidad, representa el 19% de la cosecha esperada anual, por lo que es posible suponer que la depredación de mejillón por *M. perspicillata* en la zona de cultivos en Rincón de Ballenas de la bahía de Todos Santos, es una causa importante de la disminución de la producción anual de mejillón. Sin embargo, existe un 23% de pérdida adicional cuyas causas diversos factores ambientales que no han sido evaluados. Por otra parte, la presencia de colectores en los cultivos de ambas empresas puede tener un efecto amortiguador en la producción, evitando el declive de la rentabilidad del cultivo.

Capítulo 9. Recomendaciones

Se recomienda continuar los conteos en los años siguientes para evaluar el comportamiento poblacional *M. perspicillata* en la bahía de Todos Santos. Se sugiere que dichos conteos se realicen justo antes de iniciar actividades de trabajo en el cultivo, con el objetivo de evitar disturbios durante los conteos. Asimismo, realizar un estudio poblacional a mayor escala que incluya los sitios adyacentes más cercanos de su distribución conocida para complementar los conteos de la BTS.

Se recomienda validar el modelo bioenergético utilizando en este trabajo. Para ello se recomienda utilizar el método de agua doblemente marcada (*adm*) y/o tasa de ritmo cardíaco (*trc*) y medir el gasto energético durante un periodo de captura/recaptura de individuos de *Melanitta perspicillata*.

Asimismo, debido al elevado número de aves registradas durante la temporada invernal y a que se trata de una especie cuya población continental ha sido reportada en declive, es necesario evaluar cualquier medida de persuasión propuesta, para evitar que éstas afecten significativamente la población. Dado que algunas de éstas medidas persuasivas implican el sacrificio de algunos individuos, se sugiere considerar la tasa intrínseca de reproducción, r , de *M. perspicillata* previo a su utilización.

Comenzar un registro puntual de la siembra y cosecha, edad del cultivo, condiciones climáticas, marea y demás factores que puedan influir en la disminución de la producción de mejillón, para llevar un control y comparar de forma más precisa la disminución de la misma entre los distintos factores.

Se sugiere realizar una evaluación de distintos métodos de disuasión que mitiguen el impacto de las aves con mayor eficiencia y menor costo económico de los empleados actualmente. Algunas medidas de disuasión recomendadas se mencionan en la tabla 8.

Tabla 8. Medidas de disuasión recomendadas

Método de disuasión	Fundamento	Ventaja	Desventaja
Medidas aleatorias	Uso de persecución en bote, sonidos subacuáticos, disparos con balas de salva, uso de cañones en distintos tiempos y de manera aleatoria.	Evita habituación de las aves	Costoso No garantiza su efectividad
Rifle laser	Consisten en disparar rayo un rayo láser con visión telescópica ajustable. El objetivo es que las aves no toleren el contraste entre la luz del láser y la luz ambiental.	Reducción del 50-98% de las aves en el cultivo.	Costo económico alto Su efectividad depende de la luz ambiental. Requiere uso de mano de obra intensiva.
Depredadores naturales	Algunas especies de halcones pueden ser entrenadas efectivamente para cazar aves de áreas específicas y promover así su dispersión	No causa habituación a las aves debido a que el peligro es real. Reduce costos infraestructura y mano de obra derivados de la persecución por otros métodos	

Lista de referencias

- Anderson, E. M., y Lovvorn, J. R. (2011). Contrasts in energy status and marine foraging strategies of White-winged Scoters (*Melanitta fusca*) and Surf Scoters (*M. perspicillata*). *The Auk*, 128(2), 248-257.
- Baudinette, R. y Schmidt-Nielsen, K. (1974). Energy cost of gliding flight in herring gulls. *Nature*, 248, 83-84.
- Beauchamp, G. (1992). Diving behavior in surf scoters and Barrow's goldeneyes. *The Auk*, 109(4), 819-827.
- Benítez, H., Arizmendi C. y Marquez L. (1999). Base de Datos de las AICAS. CIPAMEX, CONABIO, FMCN y CCA. México. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx>
- Bevan, R., Woakes, A., Butler, P., y Boyd, I. (1994). The use of heart rate to estimate oxygen consumption of free-ranging black-browed albatrosses *Diomedea melanophrys*. *Journal of Experimental Biology*, 193(1), 119-137.
- Brey, T., Rumohr, H., y Ankar, S. (1988). Energy content of macrobenthic invertebrates: general conversion factors from weight to energy. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 117(3), 271-278.
- Bryant, D. M., y Furness, R. W. (1995). Basal metabolic rates of North Atlantic seabirds. *Ibis*, 137(2), 219-226.
- Cáceres-Martínez, J. (1997). Mussel fishery and culture in Baja California, México: history, present status, and future. *Mackenzie Jr. Jr., CL, Burrell Jr. Jr., AR (Eds.)*, The History, Present Condition and Future of the Molluscan Fisheries of North America and Europe: NOAA Tech. Rep. NMFS, 128, 41-55.
- Connolly, L. M. y Colwell, M. A. (2005). Comparative use of longline oysterbeds and adjacent tidal flats by waterbirds. *Bird Conservation International*, 15(3), 237.
- De Leeuw, J. J. (1999). Food intake rates and habitat segregation of tufted duck *Aythya fuligula* and scaup *Aythya marila* exploiting zebra mussels *Dreissena polymorpha*. *Ardea*, 87(1), 15-31.
- Dionne, M. (2004). Relationship between diving ducks and mussel aquaculture in Prince Edward Island, Canada. (Tesis doctoral). University of New Brunswick (Canadá).

- El-Aleem Saad Soliman Desoky, A. (2014). A Review of Bird Control Methods at Airports. *Global Journal of Science Frontier Research*, 14(2), 40-50
- Ellis, H. I. (1984). Energetics of free-ranging seabirds. In *Seabird energetics*. Springer US. 203-234
- Enstipp, M. R., Daunt, F., Wanless, S., Humphreys, E. M., Hamer, K. C., Benvenuti, S. y Grémillet, D. (2006). Foraging energetics of North Sea birds confronted with fluctuating prey availability. *Top predators in marine ecosystems: their role in monitoring and management*. Cambridge University, 191-210.
- Escofet, A., Loya-Salinas, D. H. y Arredondo, J. I. (1988). The Punta Banda Estuary (Baja California, Mexico) as an avifauna habitat. *Ciencias Marinas*, 14(4), 73-100.
- Carreón, T. L. E., Castro, G. G., Pacheco, J. M. R., y Martínez, S. N. (2001). Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila a en aguas costeras de la Ensenada del Sur de California. *Ciencias Marinas*, 27(3), 397-422.
- FAO (2012). Estado mundial de la pesca y acuicultura. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma.
- Furness, R. W. (1978). Energy requirements of seabird communities: a bioenergetics model. *The Journal of Animal Ecology*, 47(1), 39-53.
- Green, J. A., Halsey, L. G., Butler, P. J., y Holder, R. L. (2007). Estimating the rate of oxygen consumption during submersion from the heart rate of diving animals. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(5), 2028-2038.
- Goldstein, D. L. (1988). Estimates of daily energy expenditure in birds: the time-energy budget as an integrator of laboratory and field studies. *American Zoologist*, 28(3), 829-844.
- Hamilton, D. J., Nudds, T. D. y Neate, J. (1999). Size-selective predation of blue mussels (*Mytilus edulis*) by common eiders (*Somateria mollissima*) under controlled field conditions. *The Auk*, 116(2), 403-416.

- Hawkins, P. A., Butler, P. J., Woakes, A. J., y Speakman, J. R. (2000). Estimation of the rate of oxygen consumption of the common eider duck (*Somateria mollissima*), with some measurements of heart rate during voluntary dives. *Journal of Experimental biology*, 203(18), 2819-2832
- Harris, R. E., y Davis, R. A. (1998). Evaluation of the efficacy of products and techniques for airport bird control. *LGL Limited for Aerodrome Safety Branch, Transport Canada*. pp.106
- Jiménez Pérez, L. C., de la Cueva, H., Molina-Peralta, F. y Estrada-Ramírez, A. (2009). Avifauna del Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(3), 589-608.
- Kaiser, M. J., Galanidi, M., Showler, D. A., Elliott, A. J., Caldow, R. W. G., Rees, E. I. S. y Sutherland, W. J. (2006). Distribution and behaviour of Common Scoter *Melanitta nigra* relative to prey resources and environmental parameters. *Ibis*, 148(1), 110-128.
- Kehoe, F. P., Brown, P. W. y Houston, C. S. (1989). Survival and longevity of White-Winged Scoters nesting in central Saskatchewan. *Journal of Field Ornithology*, 60(2), 133-136.
- Kendeigh, S. (1970). Energy requirements for existence in relation to size of bird. *Condor*, 72(1), 60-65.
- Kidwell, D. M. (2007). Habitat use of surf scoters wintering in the mesohaline region of the mainstem Chesapeake Bay, Maryland. Tesis doctoral. University of Maryland.
- Lasiewski, R. C. y Dawson, W. R. (1967). A re-examination of the relation between standard metabolic rate and body weight in birds. *Condor*, 13-23.
- Lewis, T. L., Esler, D., y Boyd, W. S. (2005). Foraging Behaviors of Surf Scoters and White-Winged Scoters in Relation to Intertidal Clam Density: are Scoters Food Constrained During Winter? Partial copyright licence.
- Lewis, T. L., Esler, D. y Boyd, W. (2007). Effects of predation by sea ducks on clam abundance in soft-bottom intertidal habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 329, 131-144.

- Lewis, T. L., Esler, D. y Boyd, W. S. (2008). Foraging behavior of Surf Scoters (*Melanitta perspicillata*) and White-winged Scoters (*M. fusca*) in relation to clam density: inferring food availability and habitat quality. *The Auk*, 125(1), 149-157.
- Lifson, N., McClintock, R. (1966). Theory of use of the turnover rates of body water for measuring energy and material balance. *Journal of Theoretical Biology*, 12(1), 46-74.
- McDonald, J. H., y Koehn, R. K. (1988). The mussels *Mytilus galloprovincialis* and *M. trossulus* on the Pacific coast of North America. *Marine Biology*, 99(1), 111-118.
- McNab, B. K. (2012). Extreme measures: the ecological energetics of birds and mammals. University of Chicago, pp. 312
- Morgado, E., Günther, B. y Cociña, M. (2006). Relaciones entre el metabolismo oxidativo y la obesidad Parte 1: Alometría: el álgebra de la vida. *Clínica y ciencia*, 3(1), 43-52.
- Nagy, K. A. (1987). Field metabolic rate and food requirement scaling in mammals and birds. *Ecological monographs*. 57(2), 112-128.
- Nilsson, S. G. y Nilsson, I. N. (1976). Numbers, food consumption, and fish predation by birds in Lake Möckeln, southern Sweden. *Ornis Scandinavica*, 7(1), 61-70.
- Orians, G. H. (1961). The ecology of blackbird (*Agelaius*) social systems. *Ecological Monographs*, 31(3), 285-312.
- Palm, E. C., Esler, D., Anderson, E. M. y Wilson, M. T. (2012). Geographic and temporal variation in diet of wintering white-winged scoters. *Waterbirds*, 35(4), 577-589.
- Randall, D., Burggren, W. y French, K. (2002). Eckert Animal Physiology. Macmillan. pp. 830
- Rangel, D. C. (1997). El cultivo de moluscos marinos en México. En E. G. De la Lanza y J. L. Arredondo (eds.). La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. 107-138.
- Ramírez-Gutiérrez S. (2000). Ciclo reproductivo y fijación de *Mytilus galloprovincialis* y *Mytilus californianus* en la bahía de Todos los Santos y el ejido Eréndira, Baja

- California. (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. pp. 80
- Reiss, M. J. (1991). The allometry of growth and reproduction. Cambridge University. pp. 182
- Ricciardi, A. y Bourget, E. (1998). Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 163, 245–251. doi:10.3354/meps163245
- Richman, S. E. y Lovvorn, J. R. (2003). Effects of clam species dominance on nutrient and energy acquisition by spectacled eiders in the Bering Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 261, 283-297.
- Ross, B. P. (2000). Manipulation of the feeding behaviour of diving ducks on mussel farms. (Tesis doctoral). University of Glasgow.
- Roycroft, K T. C. y Lewis, L. J. (2004). Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(4), 703-712.
- Ruiz-Campos, G., González-Guzmán, S., Bathe-González, E. H., Palacios, E. y Castillo-Guerrero, J. A. (2005). Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 31(3) 553-576.
- Savard, Jean-Pierre L., Daniel Bordage y Austin Reed. 1998. Surf Scoter (*Melanitta perspicillata*), The Birds of North America Online (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/363> doi:10.2173/bna.363
- Secretaría de Marina (SEMAR) (1974). Estudio Geográfico de la Región de Ensenada, B. C.
- Shingleton, A. (2010). Allometry: the study of biological scaling. *Nature Education Knowledge*, 1(9), 2.
- Sibley, D. (2000). The Sibley guide to birds. Alfred a Knopf Inc.
- Stempniewicz, L. (1986). The food intake of two Scoters *Melanitta fusca* and *M. nigra* wintering in the Gulf of Gdańsk, Polish Baltic coast. *Vår Fågelv*, 11, 211-214.

- Tapia-Vázquez O. M., García-Hirales R. y Sáenz-Gaxiola L. M. (2013). Sistemas de cultivo para la producción de ostión en Baja California, México. Centro Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California, A. C.
- Tucker, V. A. (1973). Bird metabolism during flight: evaluation of a theory. *Journal of Experimental Biology*, 58(3), 689-709.
- VanStratt, C. S. 2001. Foraging effort by Surf Scoters at the peripheries of their wintering distribution: Do foraging conditions influence their range? Tesis de Maestría. Simon Fraser University, Burnaby, BC.
- Verbeek, N. A. (1964). A time and energy budget study of the Brewer Blackbird. *Condor*, 66(1) 70-74.
- Vermeer, K. (1981). Food and populations of surf scoters in British Columbia. *Wildfowl*, 32(32), 106-116.
- Woakes, A. J. y Butler, P. J. (1983). Swimming and diving in tufted ducks, *Aythya fuligula*, with particular reference to heart rate and gas exchange. *Journal of Experimental Biology*, 107(1), 311-329.
- Žydelis, R., Esler, D., Boyd, W. S., Lacroix, D. L. y Kirk, M. (2006). Habitat use by wintering surf and white-winged scoters: effects of environmental attributes and shellfish aquaculture. *Journal of Wildlife Management*, 70(6), 1754-1762.
- Žydelis, R., Esler, D., Kirk, M. y Boyd, W. S. (2009). Effects of off-bottom shellfish aquaculture on winter habitat use by molluscivorous sea ducks. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19(1), 34-42.