



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**ESTUDIO GENETICO CUANTITATIVO PARA OPTIMIZAR
LA RESPUESTA EN EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO
GENETICO DEL OSTION DEL NORTE (*Argopecten
purpuratus*)**

SEBASTIÁN ANDRÉS CRUZ KOSLER

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento Fomento de
Producción Animal

**Profesor Guía: Víctor Martínez. MSc. PhD.
Profesor Asociado**

**SANTIAGO – CHILE
2008**



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**ESTUDIO GENETICO CUANTITATIVO PARA OPTIMIZAR
LA RESPUESTA EN EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO
GENETICO DEL OSTION DEL NORTE
(*Argopecten purpuratus*)**

SEBASTIÁN ANDRÉS CRUZ KOSLER

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento Fomento de
Producción Animal

NOTA FINAL:.....

	Nota	Firma
Profesor Guía: Dr. Víctor Martínez:
Profesor Consejero: Dra. Laura Huaquin:
Profesor Consejero: Dr. Iñigo Díaz:

SANTIAGO, CHILE
2008

INDICE

	Pagina
SUMMARY	
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Mercado y producción	3
2.2 Biología y reproducción	6
a) Selección y acondicionamiento de reproductores	8
b) Desove y Fecundación	9
c) Cultivo larval	9
d) Metamorfosis y asentamiento larval	10
e) Cultivo de post-larvas	10
2.3 Establecimiento de programas de mejoramiento	11
2.4 Heredabilidad	18
2.5 Respuesta a la selección	21
2.6 Correlación genética	23
3. HIPÓTESIS	26
4. OBJETIVOS	26
5. MATERIAL Y MÉTODOS	27
5.1 Muestreo	28
5.2 Información retrospectiva	29
5.3 Estimación de parámetros genéticos	30
5.4 Estimación respuesta a selección	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1 Análisis Fenotípico	35
6.1.1 Descripción estadística básica	35
6.1.2 Correlación fenotípica	40
6.2 Análisis Genético	41
6.2.1 Estimación Componentes de Varianza y Heredabilidad	41
6.2.2 Correlaciones Genéticas	49
6.2.3 Construcción índice de selección y predicción de la respuesta a selección	51

7. CONCLUSIONES	53
8. BIBLIOGRAFÍA	54
9. ANEXOS	59
Tabla 1. Desembarque y producción final de Ostión del Norte, entre 1996 – 2006	3
Tabla 2. Desembarque total año 2006 según mes (ton)	5
Tabla 3. Heredabilidades para características de interés productivo en moluscos	18
Tabla 4. Correlaciones fenotípicas (sobre la diagonal) entre mediciones de talla y peso vivo con mediciones internas	41
Tabla 5. Heredabilidades y Correlaciones genéticas bajo la diagonal mediciones en Hueihue y las estaciones de prueba en el norte	50
Gráfico 1. Distribución de peso músculo	38
Gráfico 2. Coeficiente de variación estimada para las distintas características muestreadas	39
Gráfico 3. Comparación heredabilidades para Alto 2002	43
Gráfico 4a. Comparación heredabilidades para Largo 2002	45
Gráfico 4b. Comparación heredabilidades para Ancho 2002	46
Gráfico 5. Respuesta relativa con la información de los propios hermanos y el propio individuo	52
Figura 1. Biometría del ostión del Norte	29

SUMMARY

Due to the effort between the Fishing Promote Institute (IFOP), industrialists and FDI-CORFO, in 1999 was developed a program of genetic improvement. The present study have the objective to optimize the method of selection of the improvement program, under closed culture in the Sea Culture Center Hueihue (Chiloé) and the Test Collaborating Stations. The base population is formed by approximately 100 families, generated using a hierarchic crossovers (1 male by 4 females), using a total of 25 males and 100 females. The values of external biometric variables (wide, high and long), gonads and muscle (objective of improvement) during marking and harvests, this allows to have the necessary information for the estimation of genetic parameters, this was through method of maximum restricted likelihood (REML) and the construction of a selection index, thus to obtain the best response to selection ($R = i r_{i,H} \sigma_H$). Heritability was obtained for muscle weight of the 0,07, using as selection criterion the total weight, characteristic with a high genetic correlation with the aim of improvement (> 0.90). This way, including all the information available of relatives, an increase in the response can be established in the selection of a 8% by generation, using collateral series of phenotypic measurement upgrading internal and external traits.

RESUMEN

Producto del esfuerzo entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), los empresarios y FDI-CORFO, en 1999 se desarrolló un programa de mejoramiento genético para el Ostión del Norte, El presente estudio tiene por objetivo principal optimizar el método de selección del programa de mejoramiento, bajo cultivo cerrado en el Centro de Maricultura Hueihue (Chiloé) y las Estaciones de Prueba Colaboradoras. La población base está constituida por aproximadamente 100 familias, generadas utilizando cruzamientos jerárquicos (1 macho por 4 hembras), utilizando un total de 25 machos y 100 hembras. La obtención de valores de morfometría externa (ancho, alto y largo), además de peso de tejidos, gónadas y músculo (objetivo de mejoramiento) durante marcaje y cosecha, permiten tener la información necesaria para la estimación de parámetros genéticos, esta estimación se realizó a través del método de máxima verosimilitud restringida (REML) y la construcción de un índice de selección, para así obtener la mejor respuesta a la selección posible ($R = i r_{(L,H)} \sigma_H$). De esta forma se obtuvo una heredabilidad para peso del músculo de 0.07, utilizando como criterio de selección el peso total, característica con una alta correlación genética con el objetivo de mejoramiento (> 0.90). De esta manera, incluyendo toda la información disponible de parientes, se puede establecer un aumento en la respuesta a la selección de un 8% por generación, utilizando series de correlación entre las medidas fenotípicas, optimizando tanto características internas como externas.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1984, el cultivo del Ostión del Norte, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) es muy importante en la industria acuícola nacional, debido a que es el segundo sistema de cultivo de importancia económica para el país, generando una industria en permanente desarrollo, convirtiendo a Chile en el tercer exportador mundial después de China y Japón.

El mercado mundial de ostiones es de aproximadamente 1 millón de toneladas anuales, lo que comercialmente solo para Europa se traduce en €\$ 159 millones. El principal importador a escala mundial de este producto es Francia y el segundo Estados Unidos.

Esta industria es considerada el segundo sistema de producción de cultivo a escala industrial y tecnológica a nivel nacional, después de la industria salmonera. Al igual que esta última, este sistema de producción presenta un alto grado de asociatividad gremial a través de la Asociación de Productores de Ostras y Ostiones de Chile (APOOCH), la que se ha transformado en un importante agente de desarrollo para esta industria acuícola. Esta producción es importante en el ámbito regional, especialmente en la III y IV regiones, en las que se observan niveles de cosecha (Desembarque) para el año 2007 de 5.474 y 53.802 ton, respectivamente, representando el 99% de la producción nacional, siendo aun

cifras preliminares; en cambio, para el 2006 se tradujo en una producción cercana a las 3.000 ton de producto final.

El sistema de producción presenta un cierto grado de integración vertical, lo que hoy se traduce en una importante desventaja, la disminución en la talla en los ostiones, lo cual determina un menor rendimiento final de los ostiones cosechados, debido a la alta dependencia de este sistema productivo del medio natural para la obtención de semillas; el medio aporta entre 70 a 80% de las necesidades de la industria, esto genera una sobreexplotación de semillas, fenómeno que se ve reflejado en la talla final de los ostiones. Debido a esta problemática y producto del esfuerzo entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), los empresarios y FDI-CORFO, en 1999 se desarrolló un programa de mejoramiento genético, con el objetivo principal de mejorar la productividad, calidad y competitividad del Ostión del Norte.

Este estudio tiene por objetivo principal optimizar el método de selección del programa de mejoramiento, utilizando la información generada dentro del propio programa para estimar los parámetros genéticos. Esta información es necesaria para definir el criterio de selección que maximice la respuesta para el mejoramiento en el Ostión del Norte.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mercado y producción

La producción de ostiones en Chile ha aumentado progresivamente sus volúmenes de producción y exportación, sin embargo, este aumento no ha sido constante (Tabla 1). Esto se debería principalmente a: 1) la disminución progresiva en la talla de los ostiones, lo cual necesariamente implica aumentar el número de ejemplares/kg final de producto y a 2) la dependencia completa de las semillas obtenidas desde bancos naturales (Chile, 2002).

Tabla 1. Desembarque y producción final de Ostión del Norte, entre 1996 – 2006 (ton)

Especie	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ostión del Norte											
Desembarque	9.788	11.486	16.495	20.668	19.038	18.806	15.179	15.129	24.228	17.319	19.426
Producción Final	1.300	1.405	2.000	2.014	2.047	2.184	1.824	2.049	2.660	2.057	3.000
Total Moluscos	96.106	93.269	109.225	110.402	110.050	138.368	111.270	145.466	355.691	109.440	149.881

Fuente: CHILE 2008 y APOOCH 2008

Durante los últimos 10 años los volúmenes de desembarque han aumentado progresivamente, a su vez los niveles de producto final han aumentando presentando los niveles más altos de producción, con algunas excepciones, como lo ocurrido en el 2002 en donde la producción final de este producto llegó a las 1.824 ton., una situación similar de producción se evidencia

para el año 2005, obteniéndose una producción final de 2.057 ton; estas excepciones pueden ser explicadas por la gran dependencia de este tipo de producción acuícola a la captación natural de semillas.

Las exportaciones de Ostión del Norte para el año 2000 significaron un ingreso de US\$ 19,2 millones. Durante el año 2001, en cambio se produjo un récord en el valor de las exportaciones y también en los precios obtenidos. Se obtuvo un ingreso de US\$ 26,6 millones, observándose un incremento de un 6,7% la cantidad de exportaciones y en el valor exportado en 38.4% (Taub, 2002). En contraste a lo ocurrido, en el año 2002 hubo una disminución de un 17% en los niveles de exportación, donde las ventas bordearon los US\$ 20,4 millones, cifra un 23% inferior. Estos cambios dificultan la generación de nuevos mercados, debido a que no se pueden mantener niveles constantes de producción año a año (Sánchez, 2003). Como se puede observar, los niveles de producto final han ido en aumento durante los últimos 5 años, pero eso no se ha traducido en un aumento proporcional de las exportaciones, esto se debe, al aumento de los niveles de exportación peruanas, lo que generó un crecimiento sostenido de la oferta de este producto a nivel internacional, produciendo una baja del precio a unos US\$ 10/Kg aproximadamente (APOOCH, 2008).

Las expectativas de crecimiento fueron bastante moderadas para el año 2004, tomando todas las variables que pueden influir en el crecimiento de los individuos (Sánchez, 2003). Sin embargo, los niveles alcanzados el año 2004, superaron todas las expectativas, obteniéndose un nivel de producción de 2.660

ton. (Chile, 2005), al contrario, lo observado durante el año 2005 los niveles alcanzados fueron un 30% menor que el año anterior, lo que evidencia la variabilidad en este sistema de producción, siendo una evidencia tangible de la alta dependencia de la captación natural, lo que determina cierta incertidumbre en los niveles productivos (APOOCH, 2008).

También se debe agregar la marcada estacionalidad que presenta este tipo de producción, tanto en los niveles de desembarque (Tabla 2) como los niveles de producto final, la producción se concentra mayormente en la época estival (APOOCH, 2008; Chile, 2008), donde las condiciones de temperatura favorecen el crecimiento de los individuos (González *et al.*, 1999).

Tabla 2. Desembarque total año 2007 según mes (ton)

Especie	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Ostión del Norte	1562	830	858	1560	1073	2718	1835	817	4143	17876	16082	10444

Fuente: CHILE 2008 y APOOCH 2008

Las estructuras económicamente importantes del ostión del norte son el músculo abductor (callo) y las gónadas (coral). Dependiendo del mercado de destino puede incluir o no las gónadas (*roe-on* o *roe-off*, respectivamente), las que incrementan un 30% el peso total del producto (APOOCH, 2008).

Las formas de comercialización son: Congelado IQF (*Individual Quick Frozen*), fresco refrigerado con o sin coral, además de brochetas con coral para Europa y, un producto particular, denominado zamburiña (ostión con manto destinado a conservas) (APOOCH, 2008).

La diversificación de mercados ha sido lenta, en 1999 se contaba con 15 diferentes destinos, los que llegaron a 20 el 2001. Francia importa entre un 93 a 94% del total de Ostión del Norte, lo que significa que los otros mercados tienen una mínima participación en nuestras exportaciones. Por ello, se debe continuar con el esfuerzo iniciado a final del 2003 de prospectar y lograr penetrar con más énfasis otros mercados, prioritariamente Estados Unidos, Italia y España (APOOCH, 2008), los últimos dos han aumentado considerable sus importaciones, en contraste con lo sucedido con Francia durante el año 2008 (APOOCH, 2008).

2.2 Biología y reproducción

El Ostión del Norte, es un molusco bivalvo, filtrador, perteneciente a la familia pectinidae. Anatómicamente posee un músculo retractor, un pie, gónadas y demás órganos, no diferenciándose de la constitución de un molusco bivalvo tipo. Son animales hermafroditas, de fecundación externa, con la liberación de gametos masculinos primero y luego liberación de gametos femeninos (ovocitos) en forma de pulsos hacia el medio, existiendo un cierto grado de autofecundación (APOOCH, 2008; Chile, 2002).

Unas pocas horas después de la fecundación, el embrión desarrolla un pequeño cilio y comienza a nadar. Dentro de 24 a 48 hrs se transforma en larva trocófora, la cual se alimenta de fitoplancton y pronto desarrolla una concha larval con forma distinta, momento en que pasa a denominarse larva "D", etapa que también se conoce como larva velígera. Dentro de 4 a 5 semanas alcanza el estado de larva pediveliger con un largo de 0,4 mm, donde encontrará un lugar para su asentamiento y metamorfosis. Este es el proceso por el cual la larva velíger nadadora pierde su velo ciliado y comienza a secretar la concha definitiva, llegando a la etapa juvenil del individuo. Ambos eventos se superponen y es difícil separarlos, siendo esto solo un criterio didáctico (Chile, 2002).

El sistema productivo del Ostión del Norte tiene dos formas de obtención de semillas:

- **Captación natural**
- **Producción artificial (*hatchery*)**

En la captación natural se utilizan colectores (bolsas de malla plástica fina externas que encierran a una manga plástica de mayor trama) para la recolección de larvas desde el plancton al momento del asentamiento. La instalación de estos colectores debe coincidir con la mayor abundancia larval (APOOCH, 2008; Chile, 2002). La etapa de colectores dura aproximadamente entre 3 a 4 meses y su talla de recolección de semillas es entre 5 a 10 mm con una densidad aproximada por colector entre 100 a 600 unidades (APOOCH, 2008).

En general, el sistema de reproducción artificial de semillas consiste en crear condiciones artificiales bajo las cuales se induce a desovar a los reproductores, se fecundan óvulos, se cultivan larvas, se induce a su fijación en sustratos artificiales y luego se transfieren los organismos recién fijados al medio natural. Todas estas etapas se realizan bajo condiciones controladas en laboratorios diseñados especialmente para llevar a cabo estas actividades (“*hatcheries*”). En el medio natural se completa el crecimiento de los individuos hasta el tamaño de cosecha, siguiendo diseños de siembra que permitan el adecuado desarrollo de estos (Chile, 2002).

Para la producción artificial se pueden definir 5 etapas fundamentales (Chile, 2002):

- Selección y acondicionamiento de reproductores,
- Desove y fecundación,
- Cultivo de larvas,
- Metamorfosis y asentamiento larval, y
- Cultivo post larval

a) Selección y acondicionamiento de reproductores.

El acondicionamiento consiste en acelerar el proceso de maduración de la gónada, lo que se logra manteniendo a los reproductores en condiciones de temperatura adecuada y abundante alimento. El proceso de acondicionamiento demora entre 2 y 5 semanas, dependiendo de la madurez de los reproductores al

inicio de este proceso y de las condiciones en que se mantengan (APOOCH, 2008; Chile, 2002).

b) Desove y Fecundación

En la mayoría de los moluscos la inducción a desove se logra sometiendo a los organismos reproductivamente maduros a estímulos físicos, químicos, eléctricos, combinados, etc. La aplicación de un estímulo muy intenso sobre especímenes que no han completado aún su maduración, provoca la muerte de productos gonadales, siendo estos poco adecuados para actividades de cultivo (APOOCH, 2008; Chile, 2002).

c) Cultivo larval

Esta etapa considera el desarrollo desde huevo fecundado hasta larva competente para el asentamiento. Aproximadamente a las 12 horas de la fertilización aparecen las primeras trocóforas y entre 24 a 48 horas aparecen las primeras larvas D (APOOCH, 2008; Chile, 2002).

La mayoría de los estados larvales de moluscos se caracterizan por ser libres nadadores y planctotróficos. El período que toma la larva desde su aparición hasta la fijación depende de la especie y de las condiciones de cultivo en términos de alimentación y temperatura, donde al final de esta etapa se produce la metamorfosis (Chile, 2002).

d) Metamorfosis y asentamiento larval

Esta etapa es una de las más críticas, pues aquí se verifican las mayores mortalidades en todo el cultivo larval. Es necesario reconocer las características que indican que la larva está competente e inducirla a metamorfosis para obtener buenos resultados. Luego de la metamorfosis se produce el asentamiento de las larvas, entrando a la fase de post-larvas o juveniles tempranos, los cuales en el medio productivo se denominan en forma arbitraria pre-semilla y semilla (Chile, 2002).

e) Cultivo de post-larvas

Se denomina post-larva al estado que va desde la fijación hasta un tamaño tal que pueda ser transferido al mar para su crecimiento hasta semilla. Para el ostión del norte esta etapa demora entre 2 y 3 meses lográndose al final de este período un juvenil promedio de 4 mm. Los juveniles en este estadio de desarrollo presentan un comportamiento muy diferente a lo observado en su etapa de larvas, pierden su capacidad de nadar y son capaces de adherirse y despegarse del fondo y paredes de los estanques de cultivo, reptar y volver a adherirse, por medio de un bisco secretado por una glándula especial (APOOCH, 2008; Chile, 2002).

Posteriormente continúa el sistema con la etapa de engorda, la cual corresponde a la etapa adulta de este organismo, donde permanece un periodo de 4 meses o hasta la cosecha. En este período final los individuos a cosechar alcanzan tallas entre los 70 a 90 mm. Las cosechas pueden darse durante todo el

año, pero se concentran mayormente entre septiembre a diciembre y marzo, según los requerimientos de los diversos mercados (Chile, 2002). Los individuos cosechados son transportados a las plantas de proceso, en donde pasan por diversos procesos hasta la obtención del producto final (APOOCH, 2008).

2.3 Establecimiento de programas de mejoramiento

Los programas de mejoramiento tienen como meta principal maximizar la rentabilidad de los sistemas pecuarios (Apiolaza y Greaves, 2001). Cada programa debe tener una estructura definida (la cual es particular a la especie productiva) de manera tal de obtener más eficientemente las metas incluidas en el objetivo de mejoramiento (Hammond, K., 1994; Gjerde *et al.*, 2002).

Para realizar un programa de mejoramiento se deben seguir pasos bien definidos, (Becker, 1986):

- a) Definición del objetivo de mejoramiento.
- b) Elección de los criterios de selección.
- c) Organización de servicios de registros de producción.
- d) Uso de la información obtenida para decisiones de selección.
- e) Utilización de los animales seleccionados.

Estas etapas se deben suceder en forma ordenada, existiendo la posibilidad de retroalimentación periódica, para tomar la decisión necesaria para pasar a la siguiente etapa (Becker, 1986).

Al definir un programa de mejoramiento genético es necesario establecer el objetivo de mejoramiento (Apiolaza y Greaves, 2001) y la población base que sustenta el programa genético (Gjerde *et al.*, 2002). Hazel (1943) define un objetivo de mejoramiento (H) como: una combinación lineal de los valores genéticos aditivos (a), ponderada por sus respectivas importancias económicas relativas (w).

El objetivo de mejoramiento es de difícil medición (Apiolaza y Greaves, 2001) y generalmente es necesario utilizar otras características correlacionadas genéticamente con el objetivo de mejoramiento. Para predecir los valores genéticos de los reproductores se utiliza la información fenotípica de varias características correlacionadas genéticamente con el objetivo de mejoramiento, de manera tal de construir lo que se denomina el índice de selección (I) (Apiolaza y Greaves, 2001; Becker, 1986).

El Índice o criterio de selección se construye maximizando la correlación con el objetivo de mejoramiento genético, ya que la selección por mérito genético económico debe ser practicada indirectamente y seleccionado directamente por una variable correlacionada, basada sobre registros fenotípicos de cada animal para los caracteres involucrados. A su vez se maximiza el promedio genético de los individuos seleccionados, lo cual permite obtener la mayor respuesta a la selección de los objetivos incluidos dentro del programa, debido a la superioridad del grupo seleccionado, por la generación de un correcto ordenamiento de un par de animales por su mérito genético económico (Falconer y Mackay, 1996).

Para obtener cada índice es necesario conocer parámetros genéticos poblacionales (particulares a cada población), tales como las varianzas y covarianzas genéticas, ambientales y fenotípicas entre las características (Hazel, 1943; Falconer y Mackay, 1996). La obtención de estos parámetros, está determinada por la información reunida en el programa, además permite generar un sistema de registros para mantener una retroalimentación continua, con el fin de tomar las dediciones referentes a los animales seleccionados como reproductores durante toda la implementación del programa de mejoramiento (Becker, 1986)

2.4 Heredabilidad

Uno de los parámetros genéticos más importantes es la heredabilidad (h^2) de un carácter. Este parámetro expresa la proporción de la varianza fenotípica que es atribuida a los efectos genéticos aditivos, explicando el grado de semejanza observada entre parientes (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

Sólo los valores fenotípicos pueden ser medidos en los individuos, pero es el valor genético aditivo el que determina su influencia en la siguiente generación. Por esto al seleccionar individuos como progenitores de una generación, a partir de sus valores fenotípicos, el grado de cambio en las propiedades de la población dependerá del grado de asociación existente entre el fenotipo y su componente genético aditivo. Este grado de asociación es indicado por la heredabilidad, por lo

tanto, ésta se define como la razón entre la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica (Falconer y Mackay, 1996):

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

La función más importante de la heredabilidad en un estudio genético es su rol predictivo. Al considerar a la heredabilidad como una regresión del valor aditivo sobre el valor fenotípico, se muestra este valor predictivo descrito para este parámetro (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

Es importante tener claro que la heredabilidad no es sólo una propiedad de una característica, sino también, de la población bajo ciertas circunstancias ambientales a las cuales los individuos están sujetos. Por esto, la heredabilidad depende de todos los componentes de varianza, donde pequeños cambios en cualquiera de ellos puede afectarla. Por ejemplo, la varianza ambiental depende de las condiciones de cultivo o manejo, en consecuencia mientras más variable sean estas condiciones menores serán el(los) valor(es) de la heredabilidad y mientras más uniforme sean las condiciones aumentará el valor de la heredabilidad (Falconer y Mackay, 1996).

Valores de heredabilidades se han estimado en una gran variedad de animales y plantas. Estos valores no pueden ser estimados fácilmente y con una

gran precisión, además, la mayoría de las estimaciones tienen amplios rangos de error estándar. Diferencias en estimación para el mismo carácter en los mismos organismos muestra un amplio rango de variación, donde algunos pueden reflejar una real diferencia entre poblaciones o de las condiciones en las cuales los individuos fueron estudiados (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

La heredabilidad es estimada por el grado de semejanza entre parientes, la alternativa de qué tipo de parientes usar en la estimación depende de las circunstancias, y de forma práctica, qué tipo de parientes está realmente disponible. Por esto, hay dos puntos a considerar: precisión y el sesgo. Mientras más cercana es la relación entre parientes más precisa es la estimación. El sesgo en la estimación de heredabilidad es usualmente más importante a considerar que la precisión. El sesgo es introducido por fuentes ambientales de covarianza y en los casos de propios hermanos por dominancia (Falconer y Mackay, 1996).

El ostión a diferencia de otros moluscos, es hermafrodita funcional lo cual podría generar en condiciones naturales un alto nivel de auto-fecundación. Esta estrategia y la metodología de desove en masa, comúnmente utilizada en otros moluscos, resulta en la formación de larvas auto fecundadas, lo que podría tener efectos en el sistema de producción debido a efectos deletéreos por consanguinidad (Ibarra *et al.*, 1995). Por lo tanto, podríamos esperar sesgo en la estimación de los parámetros genéticos, debido a lo anterior, se debe considerar la auto-fecundación en la construcción de las matrices aditivas en un análisis de máxima verosimilitud restringida (REML) (Martinez y Di Giovanni, 2007).

Los niveles de auto-fecundación es un efecto importante en esta especie en particular, debido a como se liberan los gametos en el ambiente natural, por lo tanto esto podría afectar la estimación de parámetros genéticos, debido al aumento de la variabilidad genética y a una incorrecta asignación de pedigree (Falconer y Mackay, 1996). Si la característica está influenciada por dominancia direccional, se tendería a disminuir el valor fenotípico promedio (Ibarra, 1999). En condiciones de *hatchery* se utilizan sólo los últimos pulsos de liberación de ovocitos, lo cual disminuiría el porcentaje de auto-fecundación realizado. Esta estrategia permitiría obtener parámetros genéticos asintóticamente insesgados (Martínez, 2004; Chile, 2002).

Según Ibarra *et al.* (1995), al final del periodo de 18 días de edad, las larvas con un coeficiente de consanguinidad alto mostraron una depresión en el largo, de entre un 11,2 a 12,4% y una depresión en la sobrevivencia de un 41,6 a 43,9%. Para obtener estos resultados se utilizaron 30 individuos sexualmente maduros, a los cuales se indujo el desove inyectando 0.2 ml de serotonina de forma individual, posterior a esto se formaron tres grupos experimentales: grupo auto fecundado, grupo de cruce en pares y grupo de desove masivo donde se incluyeron 10 individuos por grupo, no encontrándose diferencias significativas entre el grupo de pares y grupo de desove masivo (Ibarra *et al.*, 1995).

Estimaciones de parámetros genéticos en ostiones es escasa en la literatura, por esto, son importantes los estudios realizados por Ibarra *et al.*, (1999). Este tipo de estudio permitió obtener estimación de heredabilidad realizada

para cada característica, así como su respuesta correlacionada, lo que también permite obtener una correlación genética realizada entre dos características seleccionadas (Ibarra *et al.*, 1999; Falconer y Mackay, 1996). Para la mayoría de moluscos bivalvos, el crecimiento puede ser medido directamente utilizando tres características valvares (largo, alto y ancho valvar), además de peso total y las características que se quieren mejorar en un programa de selección como peso de tejido vivo (Ibarra *et al.*, 1999). Estas características representan la parte comercial, pero son características que no pueden ser evaluadas directamente sin sacrificar a los individuos (Ibarra, 1999).

Para ostiones, las características de importancia económica corresponden a una pequeña parte del peso vivo, como lo es el peso del músculo abductor y el peso de gónadas vivo (Ibarra *et al.*, 1999). Este tipo de características generalmente no son incorporados en el criterio de selección debido a consideraciones prácticas, como lo que ocurre para características de carcasa en mamíferos y aves, debido a que es necesario el sacrificio del individuo (Ibarra, 1999).

Valores de heredabilidades para las características valvares han sido estimados para diferentes especies de moluscos, obteniendo valores que van de 0.20 hasta 0.40 (Toro y Newkirk, 1991; Heffernan *et al.*, 1993). Menos información existe en la literatura relativa a la estimación de heredabilidades para peso corporal total en moluscos (Ibarra, 1999). Estimaciones preliminares señalan

valores de heredabilidades para estas características entre 0,20 y 0,40 (Lannan, 1972; Ibarra, 1999). Un resumen de estas estimaciones se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Heredabilidades para características de interés productivo en moluscos

Características	h^2	Error estándar	Fuente
Largo			
<i>A. irradians</i> (Ostión de bahía)	0.21	± 0.16	Crenshaw <i>et al.</i> , 1991; Heffernan <i>et al.</i> , 1993
<i>M. edulis</i> (Mejillón azul)	0.22	± 0.07	Mallet <i>et al.</i> , 1986
<i>M. mercenaria</i> (Almeja dura)	0.43	± 0.06	Hadley <i>et al.</i> , 1991
Alto			
<i>O. chilensis</i> (Ostra chilena)	0.34	± 0.12	Toro y Newkirk, 1991
<i>O. edulis</i> (Ostra europea)	0.19	± 0.07	Toro y Newkirk, 1990
Ancho			
<i>P. fucata martensii</i> (Ostra de perla)	0.47		Wada, 1986
<i>A. ventricosus</i> (Ostión de catarina)	0.1	± 0.07	Ibarra <i>et al.</i> , 1999
Peso total*			
<i>A. ventricosus</i>	0.33	± 0.08	Ibarra <i>et al.</i> , 1999
<i>C. gigas</i> (Ostra japonesa)	0.37	± 0.06	Lannan, 1972
Peso vivo**			
<i>O. edulis</i>	0.24	± 0.02	Toro y Newkirk, 1990

* animal incluyendo concha

** animal sin incluir concha

Los estudios de Ibarra *et al.*, (1999), mas relevantes actualmente, fueron obtenidos para *A. ventricosus* (Ostión de Catarina) en la primera generación de individuos sometidos a selección, las características que se evaluaron fueron peso total y ancho valvar. Se realizó en dos líneas para la estimación de respuesta

directa y respuesta correlacionada, heredabilidades realizadas y correlación genética realizada para estas dos características. Para este estudio se utilizó una población base formada del desove inducido de 50 individuos de la población de bahía Magdalena en Baja California Sur. Se realizaron dos experimentos, los cuales se subdividían en dos grupos: un grupo seleccionado para peso total y otro seleccionado para ancho valvar (Ibarra *et al.*, 1999).

La heredabilidad realizada se estimó utilizando la razón entre la respuesta a la selección y el diferencial de selección observado (Falconer y Mackay, 1996). Ibarra *et al.* (1999) obtuvo valores de heredabilidad en dos experimentos; en el primero la heredabilidad para peso total fue de 0.33 ± 0.08 y para ancho valvar 0.10 ± 0.07 . En cambio, para el segundo experimento la heredabilidad para peso total fue 0.49 ± 0.12 y para ancho valvar fue 0.17 ± 0.08 . Estos resultados se obtuvieron utilizando los valores de respuesta estandarizada, ya que este método dio los resultados más conservadores. Para cada característica la estimación de heredabilidad fue mayor en el segundo experimento, sin embargo ambas estimaciones se sobreponen en el intervalo $h^2 \pm 2$ error estándar (Ibarra *et al.*, 1999).

La baja heredabilidad estimada para ancho valvar, indica que la varianza ambiental es significativamente mayor a la varianza aditiva. Esta característica está asociada con calidad maternal. Un alto valor en ancho valvar podría indicar una mayor habilidad para reservar energía para la maduración gonadal y mejor

liberación de gametos (tanto número, como calidad), esto aún no ha sido probado, pero es un factor a considerar en la selección de individuos (Ibarra *et al.*, 1999).

La estimación de valores de heredabilidad utilizando la metodología de heredabilidad realizada, no permite obtener una estimación válida de la heredabilidad de la población base. Esto se debe a tres razones (Falconer y Mackay, 1996):

1. Para características con heredabilidad alta se espera una reducción después de la primera generación sometida a selección, debido a una pequeña pero sucesiva disminución de la varianza debido a la selección (efecto Bulmer),
2. Cambios sistemáticos debido a tendencia ambiental o depresión por consanguinidad, y
3. Los cambios pueden ser debido a drift genético, confundándose con la respuesta.

De acuerdo a lo descrito por Falconer y Mackay (1996), una estimación insesgada de heredabilidades en la población base puede ser obtenida desde una respuesta a selección por el método de máxima verosimilitud restringida (REML), la cual usa información desde la respuesta a selección así como de la relación genética de todos los individuos dentro de cada generación y entre generaciones. Este es el mejor método para esta estimación ya que toma en cuenta el *drift* genético y la selección (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

El diseño de los programas de mejoramiento debe considerar siempre maximizar el mejoramiento genético de las características consideradas y para las situaciones específicas donde se desarrollarán (Falconer y Mackay, 1996). Para lograr esto se necesita una seguridad en la predicción, conocer la intensidad de la selección y la desviación de los valores estándar de los valores aditivos y, por último, el intervalo generacional (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

2.5 Respuesta a la selección

La selección es un proceso en donde se pueden mejorar ciertas características de importancia económica. La respuesta a la selección (R) se define como los cambios en los promedios generacionales, expresado como desvío de la generación actual con relación a la generación anterior. Este cambio se logra eligiendo a los padres que darán origen a la siguiente generación. El promedio de los padres seleccionados, tomado como desvío de la media de la población a la cual pertenecen es denominado como diferencial de selección (S). Por lo tanto, la respuesta a la selección será función de este diferencial y de que tan heredable sea este desvío ($R = h^2 S$) (Falconer y Mackay, 1996).

Como se mencionó anteriormente la mayor importancia de la heredabilidad es, su valor predictivo, al ser considerado como una regresión del valor genético aditivo de un individuo y su valor fenotípico. La desviación de la progenie desde el promedio de la población, por definición, es el valor aditivo de los padres (Falconer y Mackay, 1996).

La ganancia genética puede predecirse bajo dos supuestos (Falconer y Mackay, 1996):

1. Los registros fenotípicos y los valores aditivos presentan una distribución conjunta normal, este supuesto se cumple en prácticamente todos los caracteres cuantitativos.
2. Solo se seleccionan aquellos individuos que de acuerdo a los procedimientos de selección presentan los valores más altos (selección por truncación).

Bajo estas condiciones el diferencial de selección depende de la proporción de individuos en el grupo seleccionado y de la desviación estándar fenotípica del carácter (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

La desviación estándar, que mide la variabilidad, es una propiedad del carácter y de la población, esta es introducida en las unidades en la que es expresada la respuesta (mm, gr., etc.). La respuesta a la selección puede generalizarse si el diferencial de selección es expresado en términos de desviación estándar fenotípica; este diferencial estandarizado se conoce como intensidad de selección. Ésta depende sólo de la proporción de la población incluida en el grupo seleccionado si la distribución fenotípica es normal. Puede ser determinado desde tablas de las propiedades de la distribución normal (Falconer y Mackay, 1996).

El incremento en la respuesta depende de varios factores entre ellos la tasa reproductiva de la especie sometida a selección. Esta limita la intensidad de selección, ya que la proporción de individuos seleccionados nunca puede ser menor a la proporción de individuos necesarios para reemplazo (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

En bivalvos, la selección se realiza para mejorar las características de importancia de forma indirecta, como el peso vivo (ostras, mejillones y almejas) o el peso del músculo (mayoría de las especies de ostiones) (Ibarra, 1999). Por esto, es importante el conocimiento de respuestas correlacionadas para estas características durante un programa de selección (Ibarra *et al.*, 1999). Sorpresivamente, respuestas correlacionadas para estas características escasamente se reportan en la literatura (Ibarra, 1999). Por ejemplo, respuestas correlacionadas se han reportado para alto valvar y peso vivo en ostras europeas (Toro y Newkirk, 1990) y peso vivo y largo valvar para ostras chilenas (Toro y Newkirk, 1991).

2.6 Correlación genética

La correlación es un parámetro poblacional que mide el grado de asociación que existe entre dos características, por lo tanto, si el valor de este parámetro es distinto de cero, al variar una de las características, variará de manera conjunta la otra (Ibarra, 1999; Falconer y Mackay, 1996). Así como el fenotipo es el resultado de un componente genético y un componente ambiental, la asociación entre

características también posee una causa genética y otra ambiental (Falconer y Mackay, 1996).

La causa genética de asociación posee dos orígenes (Falconer y Mackay, 1996):

- **Pleiotropía**, es la propiedad de un gen de afectar a dos o más características, causando la variación simultánea en las características afectadas.
- **Ligamiento**, es una causa de correlación genética transitoria y se debe a la cercanía física de dos genes en un cromosoma y que puede llegar a romperse por crossing-over.

Correlaciones genéticas entre características en moluscos se han descrito en algunas especies. Por ejemplo, en ostras europeas existe una alta correlación entre peso vivo y alto valvar a varias edades (Toro y Newkirk, 1990).

Para *Argopecten ventricosus* la correlación entre peso total y peso del músculo fue altamente positiva (>0.90), produciendo una ganancia de entre un 13% a 19% (promedio 16.3%) por generación al seleccionar individuos por peso total, el grupo seleccionado corresponde al 10% mas pesado de la población (Ibarra, 1999). Este resultado es similar a lo obtenido por Toro y Newkirk (1990), donde la ganancia sería entre un 10 a 20% por generación. Por otra parte, la selección directa por características valvares no permitiría observar respuesta

correlacionada para características asociadas al peso de estructuras (Ibarra, *et al.*, 1999; Ibarra, 1999).

Para ancho valvar indicaría una baja o carencia de correlación genética; ya que esta característica tendría una alta varianza ambiental (baja heredabilidad), lo que resultaría en una baja precisión al seleccionar individuos por esta características (Ibarra, 1999). Con una alta correlación genética, mayores respuestas correlacionadas pueden esperarse para características de baja heredabilidad en comparación con la heredabilidad de la característica seleccionada (Falconer y Mackay, 1996).

Según los resultados obtenidos por Ibarra (1999), habría una respuesta correlacionada negativa de ancho valvar al seleccionar por alto valvar y largo valvar, lo que implica una correlación negativa con esta característica. Esto podría afectar respuestas correlacionadas después de varias generaciones de selección basándose en estas características, de ahí la necesidad de mayores estudios en moluscos para establecer si la presencia de un efecto negativo sobre peso del músculo y sobre tasa reproductiva.

3. HIPÓTESIS

Las características de importancia económica en ostiones presentan niveles razonables de variabilidad genética, lo cual produce un impacto positivo sobre la rentabilidad de la producción del ostión del norte debido a la selección genética practicada en esta población.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros genéticos, de medidas morfométricas externas y características de importancia económica (músculo y gónada), en el programa de mejoramiento genético del ostión del norte.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar los parámetros genéticos tales como heredabilidades, componentes de varianza y correlaciones genéticas y ambientales entre los criterios de selección y el objetivo de mejoramiento de la población en estudio.
2. Predecir y optimizar la respuesta a la selección, utilizando diferentes criterios de selección.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

El programa de mejoramiento se inicia bajo cultivo cerrado en el Centro de Maricultura Hueihue (Chiloé). El programa está constituido por una Estación Central de Prueba (EC), la cual corresponde al Centro de Maricultura Hueihue y las Estaciones de Prueba Colaboradoras (EP, empresas adscritas al proyecto). Las semillas generadas dentro de la EC son enviadas a cada una de las empresas adjuntas al proyecto, donde se realizan pruebas de crecimiento y evaluación productiva. Además en la EC permanece otro grupo en etapa de crecimiento y engorda de los *stocks* de ostiones seleccionados.

La población base de los años par e impar está constituida por aproximadamente 100 familias, generadas utilizando cruzamientos jerárquicos (1 macho por 4 hembras), utilizando un total de 25 machos y 100 hembras.

En cada generación se registra la identificación de macho y hembra en cruzamiento y la fecha de desove. Posterior a un período de 10 meses, se obtienen semillas con una talla de aproximadamente de 10 mm, las cuales, son identificadas con marcas individuales (etapa de marcaje). Esto permite obtener información de las variables cuantitativas a utilizar dentro del programa para los propósitos de selección.

Las semillas se transportan a las EP para continuar con la etapa de mar. Aquí los individuos se distribuyen en linternas, las cuales consisten en un armazón

cilíndrico rodeado de malla y dividida en partes iguales por medio de pisos confeccionados con el mismo material se utiliza una densidad final de 25 individuos/piso, donde permanecen por 12 meses hasta la cosecha y luego llevados a las plantas de proceso. El intervalo generacional es de aproximadamente 2 años.

5.1 Muestreo

Los individuos generados durante el año 2003 (la segunda generación de individuos de la línea impar) permanecieron en la etapa de mar un período de 8 meses (Junio 2003 a Febrero 2004).

El muestreo realizado como parte de esta memoria consistió en la obtención de información fenotípica de medidas morfométricas externas (Figura 1):

- longitud valvar (medida antero-posterior)
- alto valvar (medida dorso-ventral)
- ancho valvar,

Además de la información de peso total, tejidos blandos, gónadas y músculo.

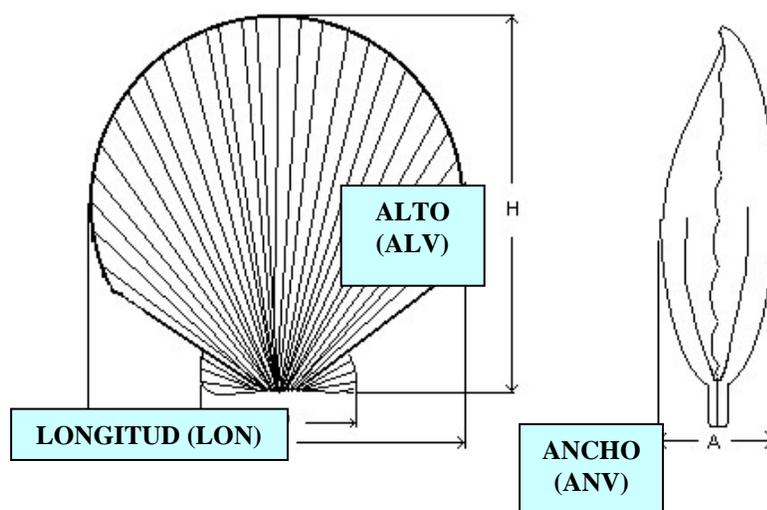


Figura 1. Biometría del ostión del Norte.

Se incluyó además información de linterna, piso (dentro de linterna), número de individuo (marca) y empresa donde permanecieron estos individuos en la etapa en mar del cultivo. Se dispone de aproximadamente 2.100 individuos medidos para todas estas características simultáneamente. Toda esta información fue recopilada siguiendo un protocolo diseñado con anterioridad (Martínez, Comunicación Personal, Anexo 16).

5.2 Información retrospectiva.

La base de datos incluyó información de individuos para los años 2001 y 2003 dentro de la EC. La información recopilada en muestreos anteriores no sólo consta de valores obtenidos para la cosecha, sino que también de valores obtenidos en la etapa de marcaje. Se recopiló la misma información que para el

muestreo realizado en el año 2004, salvo las características de tejidos internos ya que eso comprende el sacrificio del individuo muestreado. Previo al análisis productivo básico, se verificó en los datos si existían errores de escritura o errores sistemáticos al ingresar la información. Se utilizó los siguientes criterios de depuración para verificar la exactitud de la base (Martinez, V., comunicación personal):

- Ilegibilidad de la marca individual (5%).
- Registros de Individuos Repetidos (aprox. de 300 a 2800 registros).
- Registros Fuera del Rango de Normalidad para cada Característica (20).
- Incorrecta Asignación de Pedigrí en el archivo original.

5.3 Estimación de parámetros genéticos

Los componentes de varianza y covarianza se estimarán con un modelo completamente aleatorio (“modelo animal”) utilizando el método de máxima verosimilitud restringida (REML). Debido a que se incorpora en este análisis la matriz de parentesco aditiva (utilizando información desde la formación de la población base), se obtienen estimaciones insesgadas de los componentes de varianza (Falconer y Mackay, 1996), el sesgo podría deberse a (Martínez, 2004):

- Criterios utilizados en establecimiento de la población base
- Selección sin incluir una disminución de la consanguinidad poblacional.
- Selección natural previa de los stocks utilizados en la Estación Central de Prueba.

El “modelo animal” en notación matricial corresponde a:

$$Y_i = Z_i a_i + F_i w_i + e_i$$

Donde:

- Y_i es el vector de las observaciones para la i-ésima característica (ancho, alto, etc.).
- a_i es el vector de los efectos genéticos aditivos de la característica i-ésima relacionados con Y_i a través de la matriz de diseño $Z_{i-ésima}$.
- w_i es el vector de los efectos ambientales de linterna-piso-empresa para la característica i-ésima relacionados con Y_i a través de la matriz de diseño $F_{i-ésima}$.
- e_i es el vector de los efectos residuales para la característica i-ésima.
- Z_i y F_i son las matrices que relacionan los efectos genéticos–aditivos y ambientales con el vector de las observaciones Y_i .

La esperanza de Y es igual a 0 y la varianza total (σ^2_y) es igual a la suma de las varianzas debidas a los efectos de linterna (σ^2_l), efectos genético aditivos (σ^2_a) y la varianza de los efectos residuales (σ^2_e). La co-varianza genética aditiva entre los individuos de esta población se representa como A , σ^2_a , en donde A es la matriz de parentesco de la población en estudio. El método de estimación de las

varianzas correspondió a la esperanza maximizada utilizando simultáneamente toda la información de las covarianzas entre los parientes de esta población.

En el análisis la máxima verosimilitud se utilizó para obtener los estimadores de varianzas, se realizó utilizando el programa estadístico computacional ASReml disponible en el servidor de la Unidad de Genética de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile (Gilmour *et al.*, 2002).

5.4 Estimación respuesta a selección

El modelo para predecir la respuesta a la selección corresponde a (Falconer y Mackay, 1996):

$$R = i r_{(I,H)} \sigma_H$$

Donde:

- R es la respuesta a la selección.
- i corresponde a la intensidad de selección.
- $r_{(I,H)}$ es la correlación que existe entre el criterio de selección y el objetivo de mejoramiento.
- σ_H es la desviación estándar del objetivo de mejoramiento.

Los registros reunidos en los diversos muestreos para la estimación de los componentes de varianza y heredabilidades, se utilizará para construir un índice

de selección, el cual incluirá la mayor cantidad de información entre parientes, lo que maximizará la respuesta a selección.

La respuesta dependerá del grado de correlación entre el índice de selección (criterios de selección) y el objetivo de mejoramiento. Esto se obtiene del cociente entre la desviación estándar del índice y la desviación estándar del objetivo de mejoramiento (σ_I/σ_H). En el presente estudio el objetivo de mejoramiento es el peso del musculo (siendo la varianza genética aditiva de esta variable (σ_{Am})). Este objetivo se seleccionara indirectamente utilizando la información del promedio de para peso total (P_t) y el promedio sus parientes (propios hermanos) para peso de musculo (P_m). El índice de selección es el siguiente (Anexo 17):

$$I = b_1 \bar{P}_m + b_2 \bar{P}_t$$

En notación matricial el índice es el siguiente:

$$P = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_m) & \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) \\ \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) & \text{Cov}(\bar{P}_t, \bar{P}_t) \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, A_i) \\ \text{Cov}(\bar{P}_t, A_i) \end{bmatrix}$$

La varianza de este índice (Martinez, V. Informe de proyecto, 2004) en notación matricial es igual a:

$$r_{(H,I)} = \frac{\sigma_I}{\sigma_H} = \sqrt{b' P b} / \sigma_{Am}$$

Donde

P es la matriz de varianzas y covarianzas entre las fuentes de información incluidas en el índice, derivado como (Martinez, V. 2004):

$$P = \begin{bmatrix} 1/n(\sigma^2_{Pm} + (n-1)1/2\sigma^2_{Am}) & \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) \\ \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) & 1/n(\sigma^2_{Pt} + (n-1)1/2\sigma^2_{At}) \end{bmatrix}$$

$$y \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados tanto para el análisis fenotípico como genético fueron obtenidos de diferentes muestreos, los cuales constituyen la base de datos del proyecto, incluye información retrospectiva de datos obtenidos durante la cosecha, y de otros obtenidos durante el marcaje de individuos, además se incluye la información generada durante el año 2004, muestreo que formó parte de este estudio.

6.1 Análisis Fenotípico

6.1.1 Descripción estadística básica

Para el análisis fenotípico, primero se realizó un estudio estadístico básico de los diversos muestreos realizados. Esta información de las diferentes características medidas en los diversos muestreos tanto en la EC y las estaciones de prueba del proyecto.

Para el muestreo de Bahía Inglesa el 2002 se obtuvo 791 observaciones. La información generada en este muestreo sólo considera dos características: alto y ancho. No se tiene registros de otras características morfométricas externas. Para la característica ancho se obtuvo un valor mínimo de 25,91 mm y un valor máximo de 74,3 mm; con un promedio de 25.97 mm con una desviación estándar de 3,83 y un coeficiente de variación de 14,78% (Anexo 1). Para la característica

alto, el valor promedio fue de 78,88 mm con una desviación estándar (D.E.) de 10,24; además presenta un coeficiente de variación de 12,98% (Anexo 1).

La base de datos además incluye información de EC (Hueihue); tanto para el stock norte como para el stock sur para el año 2002. En estos muestreos se obtuvo información de tres características externas como son el alto, ancho y peso. Para el muestreo de Hueihue 2002 stock norte, se obtuvo 1495 observaciones; para la característica alto, se obtuvo un promedio de 67,87 mm, una D.E de 8,48 y un coeficiente de variación (C.V.) de 12,5%. Para la variable ancho, la media fue de 24,1 mm con una D.E. de 3,11 y C.V. de 12,9%. Para la característica peso, la media fue 67,14 gr con una D.E. de 21,22 y un C.V. de 31,6% (Anexo 2). En cambio, para el muestreo de Hueihue 2002 stock sur, se obtuvo 4090 observaciones; para la característica alto, se obtuvo un promedio de 68.59 mm, una D.E de 9.68 y un coeficiente de variación (C.V.) de 14.12%. Para la variable ancho, la media fue de 23.16 mm con una D.E. de 3,18 y C.V. de 13.75%. Para la característica peso, la media fue 68.71 gr con una D.E. de 24.27 y un C.V. de 35.3% (Anexo 2).

Además se obtuvo información de muestreos realizados durante el año 2004, tanto para la estación central de prueba Hueihue como para las estaciones de prueba colaboradoras. En los muestreos realizados se observa que las diferentes características evaluadas presentan distribución normal (Anexo 3).

Para el muestreo realizado en Hueihue durante ese año, se obtuvo 3301 observaciones para tres características externas: alto, ancho y peso. Para la variable ancho, se observó una media de 20,67 mm, con una D.E. de 3,53 y un C.V. de 17,08%. La variable alto al ser analizada estadísticamente se obtuvo una media de 60,76 mm, con una D.E. de 10,8 y C.V. de 17,77%; en cambio para la característica peso la media obtenida fue de 53,8 gr, con una D.E. de 23,95 y C.V. de 44,5% (Anexo 3).

Para el muestreo realizado en las estaciones de prueba colaboradoras durante el año 2004, se obtuvo información adicional a los muestreos anteriores. Esta información corresponde a los obtenidos para características como peso vivo, peso de gónadas y peso de músculo (Anexo 4).

En este muestreo se obtuvo 2210 observaciones; para la característica de ancho, se obtuvo una media de 22,76 mm, con una D.E. 3,30 y C.V. de 14,5%. Para la característica alto, la media fue 64,16 mm, la D.E. 10,5 y C.V. de 16,4%. Para la característica largo, la media fue 68,9 mm, la D.E. 11,2 y C.V. de 16,3% (Anexo 4).

En Anexo 4 se observa que para la característica peso total, la media fue 53,69 gr, D.E. 23,30 y C.V. de 43,4%. Para el peso vivo, la media obtenida fue 19,67 gr, la D.E. 10,19 y C.V. de 51,8%.

En las características de importancia económica se obtuvo los siguientes resultados: para peso de gónadas la media fue 4,79 gr, con una D.E. 3,72 y C.V. de 77,7%; en cambio, para peso de músculo la media obtenida fue 5,43 gr, la D.E. 3,34 y un C.V. de 61,58%; esto se presenta en (Anexo 4), en el grafico 1, se presenta la distribución para peso del músculo.

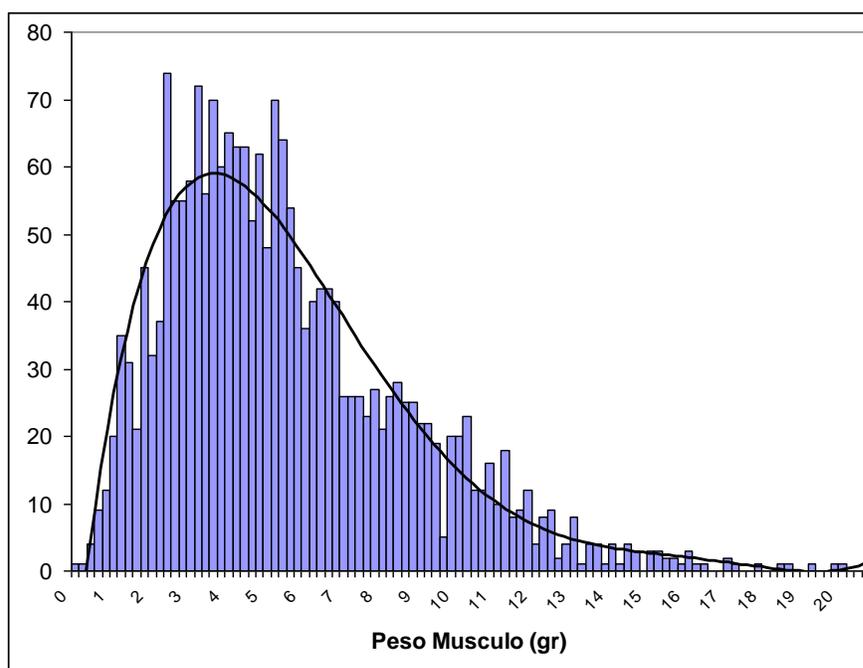


Gráfico 1. Distribución de peso músculo

En los muestreos realizados durante el proceso de marcaje de individuos, se obtuvo información de sólo dos características las cuales son ancho y alto; estas presentaron distribución normal tanto para el muestreo del 2002 como para el 2004. Durante este período se obtuvo 27907 observaciones, para la característica alto del stock norte en el 2002 la media fue 26,06 mm; para el stock

sur del mismo año la media fue de 37,74 mm; para la característica ancho la media fue 8,97 mm y 12,25 mm, respectivamente.

Para el período de marcaje del año 2004 se obtuvo 19127 observaciones, donde para la característica alto la media obtenida fue 24,84 mm para el stock norte; para el stock sur, la media obtenida fue 25,9 mm. Para la característica ancho la media obtenida fue 7,84 mm y 8,22 mm, respectivamente.

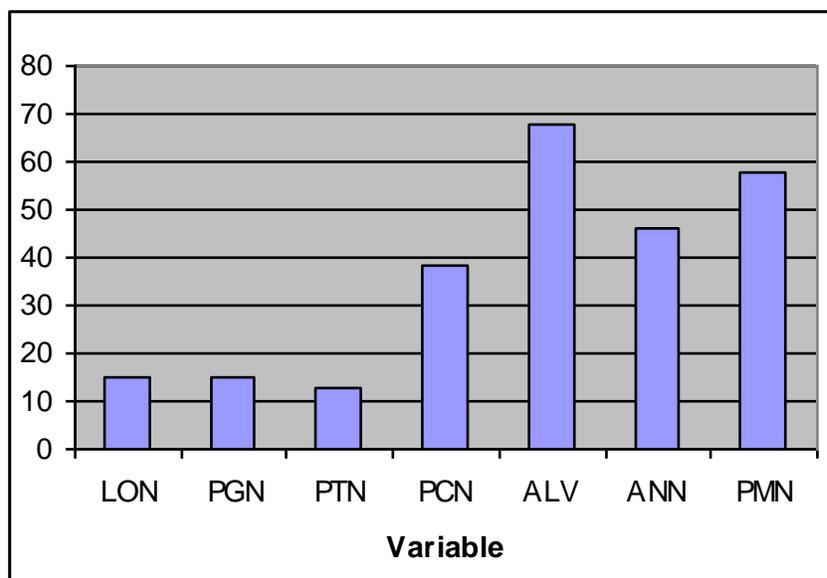


Gráfico 2. Coeficiente de variación estimada para las distintas características muestreadas.

En la descripción estadística básica de las diferentes características presentadas anteriormente (Gráfico 2), si se consideran aquellas características medidas externamente, como longitud, presenta una menor variabilidad, con coeficiente de variación cercano al 15%, en relación a las otras características

externas, las cuales tendrían una variación por sobre el 40%. Aquella relacionadas con el peso tanto del individuo completo, como del objetivo de mejoramiento (peso de músculo) con coeficientes de variación cercano al 40%, en cambio la variación de tras características internas, como peso de tejido y peso de gónadas, presentaron un coeficiente de variación cercano al 15%.

6.1.2 Correlación fenotípica

A continuación se realizó un análisis utilizando la correlación que existía entre la diversa información fenotípica incluida en la base de datos. La tabla 4 presenta sobre la diagonal las correlaciones fenotípicas estimadas entre las distintas mediciones tanto en Hueihue como en las estaciones de prueba en el norte. En términos generales, se observó correlaciones relativamente altas entre peso del músculo y las mediciones externas de talla alto (Norte), ancho (Norte), longitud (Norte) (ALN, ANN, LON, respectivamente) y especialmente con el peso corporal total con concha, el cual fue cercano a un 87%.

Tabla 4. Correlaciones fenotípicas (sobre la diagonal) entre mediciones de talla y peso vivo con mediciones internas.

	PCH	ALH	ANH	PCN	PTN	PGN	PMN	ALN	ANN	LON
PCH	1.00	0.83	0.94	.	.	.	.	.	.	.
ALH		1.00	0.86	.	.	.	.	.	.	.
ANH			1.00	.	.	.	.	.	.	.
PCN				1.00	0.80	0.90	0.87	0.84	0.58	0.8
PTN					1.00	0.80	0.85	0.81	0.58	0.77
PGN						1.00	0.88	0.84	0.59	0.81
PMN							1.00	0.92	0.67	0.87
ALN								1.00	0.73	0.89
ANN									1.00	0.59
LON										1.00

6.2 Análisis Genético

6.2.1 Estimación Componentes de Varianza y Heredabilidad

Posterior al análisis estadístico descriptivo se obtuvo estimación de los componentes de varianza y heredabilidades para las diferentes características, en los diversos muestreos realizados.

Posterior a la obtención de las heredabilidades para cada uno de los muestreos, se procedió a verificar la significancia de cada uno de los componentes de varianza para el modelo propuesto. Dentro de este análisis se pudo observar que el efecto aleatorio de linterna-piso es muy significativo en la estimación de los componentes de varianza; esto se obtuvo mediante el cálculo de la verosimilitud

del modelo incluyendo y excluyendo el efecto anteriormente mencionado. Los resultados para cada uno de los muestreos y las respectivas características medidas se presentan en los Anexos 10, 11 y 12.

Utilizando la prueba de chi cuadrado (χ^2) los valores obtenidos al comparar las verosimilitudes estimadas para cada una de las características muestran resultados superiores al valor tabular de 3,84 (1 grados de libertad); lo que determina que el valor calculado del efecto linterna-piso es significativo en la estimación de los componentes de varianza para este programa de mejoramiento genético.

Los componentes de varianza y heredabilidades estimados para las distintas características muestreadas en la cosecha en Hueihue en el año 2002 se presentan en Anexo 6. Se obtuvo valores bastante altos de heredabilidades para el stock Norte en comparación a lo descrito en la literatura para las mismas características, para la característica alto se estimó un valor de 0.52, para ancho fue de 0.42 y para peso total fue 0.39, sobrepasando en general un 40% de la varianza fenotípica total; en cambio los valores obtenidos para el stock Sur son medianos en comparación al stock Norte, para la característica alto la heredabilidad estimada fue de 0.11, para ancho fue 0.21 y para peso total fue de 0.10. En términos generales los valores estimados fueron cercanos al 10% en el stock Sur, en cambio, la heredabilidad estimada para el ancho valvar fue de un 21% de la varianza fenotípica total.

Los componentes de varianza y heredabilidad estimados para los valores obtenidos en Bahía inglesa durante la cosecha del 2002, se presentan en Anexo 7. La estimación de heredabilidades en este stock fue media a baja, evidenciado tan solo un 0.06 para alto valvar, valor muy por debajo a lo obtenido por Toro y Newkirk (1991 y 1990), donde las heredabilidades para esta característica sería superiores al 15% de la varianza fenotípica, para otras especies de moluscos; para ancho valvar se estimo un 13%, siendo este valor similar a lo descrito en otras especies de ostiones por Ibarra *et al.*(1999), pero esto sería muy inferior a lo descrito por Wada (1986) en ostras; para este muestreo no se dispone registro de otras características morfométricas.

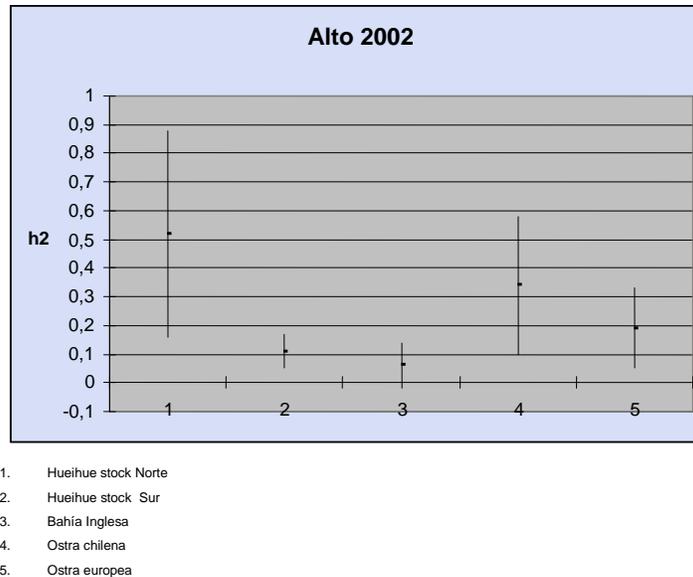


Gráfico 3. Comparación heredabilidades para Alto 2002

Como se puede observar en el gráfico 3, las heredabilidades estimadas para alto valvar en el año 2002, son comparables con las obtenidas para otros moluscos, tales como las ostras europeas (Toro y Newkirk, 1990) y las ostras chilenas (Toro y Newkirk, 1991).

Las heredabilidades obtenidas en los muestreos año 2002 fueron cercanas al 20% de la varianza fenotípica. Como se puede observar los valores obtenidos para el muestreo de Hueihue 2002 correspondiente al stock norte (1), fueron mucho mayores a los obtenidos para los otros stocks en el mismo año (2 y 3); además, es superior a lo descrito en la literatura (4 y 5). Esta diferencia encontrada podría explicarse por diferencias en el manejo de los diferentes stocks o debido a efecto materno.

Para confirmar lo descrito anteriormente se procedió a estimar la significancia de efectos maternos, para esto se calculo la verosimilitud de los registros, incluyendo y excluyendo este efecto, y se utilizo la prueba de chi cuadrado (χ^2), como se puede observar en los resultados obtenidos presentados en los Anexos 13, 14 y 15. El efecto materno no es significativo en las diferentes características en la mayoría de los muestreos, excepto en el muestreo realizado en Hueihue el año 2002 y que corresponde al stock norte, respectivamente. Lo descrito anteriormente también sucedió para ancho y peso, medidas en el stock norte para el año 2002.

Este efecto podría deberse como consecuencia de la auto fertilización que ocurre en esta especie de forma natural, lo que determinaría una alteración en la variabilidad de estas características produciendo un sesgo en las estimación de los parámetros genéticos. Ya que, en esta población, la información disponible solo consta de un número reducido de parientes. Tanto en la formación de la población base, como en la selección llevada a cabo se utilizó la información de pedigrí y fenotipo, sin considerar el aumento en la consanguinidad. Esto podría incrementar aun más la tasa de consanguinidad considerando que esta especie animal pueden tener una mayor coancestría cuando una de sus formas de fecundación es la auto fertilización (Ibarra *et al.*, 1995; Martínez, 2004). Lo descrito anteriormente también sucedió para ancho y peso, medidas en el stock norte para el año 2002.

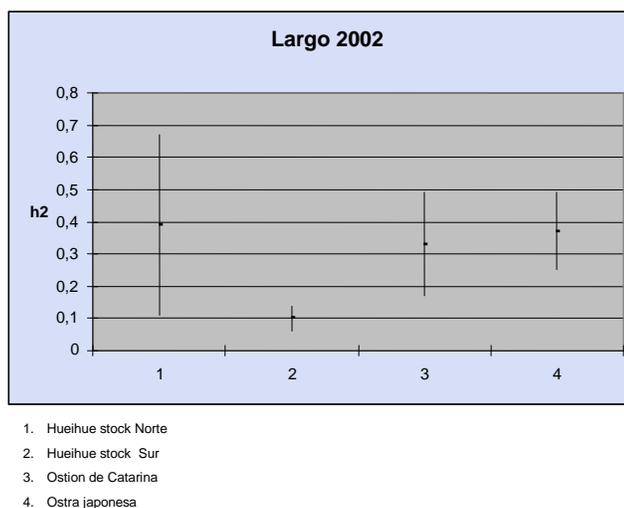


Gráfico 4a. Comparación heredabilidades para Largo 2002

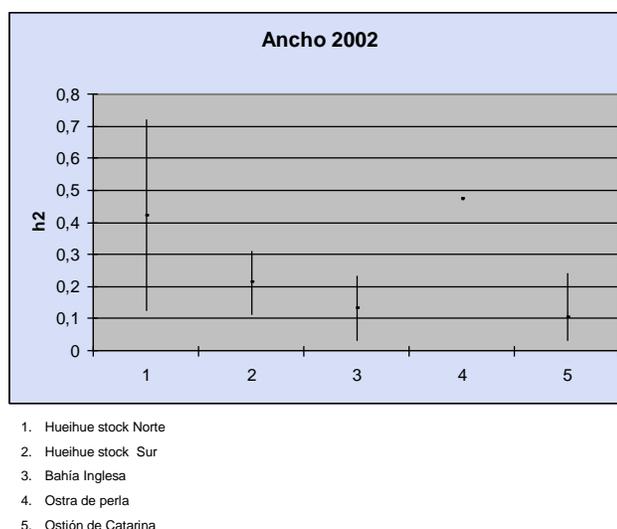


Gráfico 4b. Comparación heredabilidades para Ancho 2002

Los gráficos 4^a y 4b, presenta la comparación de las estimaciones de heredabilidades obtenidas el año 2002 en los diversos muestreos. Como se puede observar los resultados obtenidos son comparables con los datos recabados en la literatura. La heredabilidad estimada para peso en el stock sur (2) fue solo de 10% de la varianza fenotípica, bastante inferior al stock norte (2) donde el valor es cercano al 40%, siendo este ultimo similar a lo descrito para ostiones de catarina (Ibarra *et al.*, 1999) y para ostras japonesas (Lannan, 1972) como se describe en la tabla 3.

Las heredabilidades estimadas para ancho tuvieron valores entre un 10 a 20% de la varianza fenotípica total, esto para el stock Sur (2) y Bahía Inglesa (3), similar a los datos obtenidos en ostiones de catarina (Ibarra *et al.*, 1999). Como se puede observar nuevamente las estimaciones para el stock norte tuvieron valores elevados comparativamente, tanto de la estimación como en el rango de variación

de la estimación, pero aun las estimaciones serian similares a lo descrito por Wada, 1986.

Los componentes de varianza y heredabilidad estimados para las variables medidas en Hueihue durante la cosecha del año 2004, se presentan en Anexo 8. Las estimaciones para este stock fueron bastante altas, cercanas al 0.3, no presentaron mayores diferencias con las referencias encontradas en la literatura. Para alto, la heredabilidad obtenida fue 0.38 ± 0.11 muy similar a lo obtenido por Toro y Newkirk en 1991 para ostras chilenas. Para ancho el valor estimado fue de 0.27 ± 0.08 , esta estimación fue levemente superior a lo obtenido para ostiones de catarina (Ibarra *et al.*, 1999). Las estimaciones de heredabilidad para peso fue 0.33 ± 0.09 , este valor es semejante tanto para lo obtenido por Ibarra *et al.*, en 1999, como lo realizado por Lannan en 1972.

Las estimaciones de componentes de varianza para las EP durante el 2004 no se incluyó el efecto linterna-piso, ya que se obtuvieron muy pocos individuos por piso en cada linterna, lo que podría reflejar un sesgo importante en la estimación de los parámetros genéticos para este muestreo.

A diferencia de todos los muestreos anteriores, en el muestreo realizado en las Estaciones de Prueba se obtuvo información de peso del músculo, peso de gónadas y peso total de tejido. Los componentes de varianza que se estimaron para estas características se observan en Anexo 9. Como se puede observar la

heredabilidad estimada para peso del músculo y peso de tejidos fue bastante baja cercana al 0.07, en cambio la heredabilidad para peso de gónadas fue de un 0.22, y la heredabilidad para peso de tejidos fue de solo un 0.08.

Como se pudo observar anteriormente, las estimaciones para características internas fueron más variables; para el peso de tejido vivo, el valor de heredabilidad fue de sólo 0.08, valor muy inferior a lo obtenido en ostras europeas por Toro y Newkirk en 1990, el cual fue de 0.24 ± 0.02 . Solo para las características mencionadas anteriormente se hace referencia en la literatura; en cambio para peso de gónadas y peso del músculo no existen datos al respecto. Las estimaciones para peso de gónadas fueron cercanas al 20% (0.22), valor bastante alto, sobretodo por ser una de las características de importancia económica de esta especie animal. Lo interesante es que el valor de esta característica en el mercado puede ser manejado por diferentes métodos, como aumento de temperatura y alimentación, para obtener una gónada con mayor desarrollo y mayor grado de madurez, generando una gónada de mayor tamaño y peso, sin necesidad de ser incluido dentro del objetivo de mejoramiento.

Una situación distinta ocurre con el peso del músculo, puede ser aumentado por mejoramiento genético, lo que corresponde al objetivo de mejoramiento; el inconveniente es que el valor estimado de heredabilidad para esta característica fue 0.07.

Utilizando toda la información reunida entre generaciones se procedió a la estimación de las heredabilidades para cada una de las características, tanto de las EP y la EC, donde se obtuvieron valores para peso corporal (Hueihue) 0.25, para peso corporal (Norte) 0.21; para alto (Hueihue) fue de 0.24, para alto en el Norte fue de 0.05; para la característica ancho valvar en Hueihue el valor estimado fue de un 0.24, en cambio en el Norte el valor estimado para esta característica fue 0.18; para las características de importancia económica como el peso del músculo y peso de gónadas se obtuvo del muestreo del año 2004, presentado anteriormente, toda esta información es presentada en la tabla 5.

6.2.2 Correlaciones Genéticas

Posteriormente se estimó las correlaciones genéticas existente entre las distintas características, observándose una gran asociación del objetivo de mejoramiento (peso del músculo) con las diversas características morfométricas externas, esos datos se estimaron utilizando toda la información existente en la base de datos del proyecto, los valores se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Heredabilidades y Correlaciones genéticas bajo la diagonal para las mediciones en Hueihue y las estaciones de prueba en el norte.

	PCH	ALH	ANH	PCN	PTN	PGN	PMN	ALN	ANN	LON
PCH	0.25									
ALH	0.89	0.24								
ANH	0.90	0.86	0.24							
PCN	0.41	0.36	0.34	0.21						
PTN	0.69	0.58	0.63	0.98	0.09					
PGN	0.26	0.08	0.34	0.77	0.95	0.23				
PMN	0.97	0.84	0.96	0.88	0.81	0.51	0.07			
ALN	0.98	0.97	0.97	0.92	0.84	0.49	0.97	0.05		
ANN	0.68	0.46	0.70	0.85	0.95	0.97	0.81	0.66	0.18	
LON	0.83	0.78	0.76	0.91	0.97	0.63	0.98	0.99	0.78	0.09

Aquí podemos observar la alta correlación genética entre el peso total y el peso del músculo, valor que fue > 0.90 ; utilizando el promedio entre los datos obtenidos en la EC y las EP. Además las estimaciones de heredabilidades para peso total fueron bastante altas entre 0.21 y 0.25.

Las estimaciones de correlaciones fenotípicas estimadas entre peso corporal total con concha fue cercano al 87%, una asociación bastante alta, al estimar las correlaciones entre la información obtenida de la EC y las estaciones de prueba, este valor fue cercano al 90%. Asociación muy similar tanto a nivel fenotípico como genotípico. Este nivel de correlación es similar a lo descrito por Toro y Newkirk, 1990, correlaciones genéticas entre características relacionadas con crecimiento en moluscos sólo se han estimado en ostras europeas. En términos generales, tanto la magnitud como el signo entre las correlaciones

fenotípicas y genéticas se mantuvieron relativamente semejantes entre ellas, destacándose especialmente las altas correlaciones entre peso corporal (Hueihue), ancho (Hueihue), peso corporal (Norte), alto (Norte), largo (Norte) y el peso del músculo evaluado en las estaciones colaboradoras (Tabla 5).

6.2.3 Construcción índice de selección y predicción de la respuesta a selección

Teniendo todos los antecedentes reunidos se procedió a la construcción de un índice de selección, el cual contiene toda la información disponible de parentesco entre los diferentes individuos. La construcción de este índice se basa en la fórmula presentada en la sección material y métodos y anexo 17.

Utilizando este índice se pudo estimar la respuesta correlacionada del peso del músculo cercana al 7%, utilizando como criterio de selección el peso total, este valor fue estandarizado por el peso promedio de peso del músculo (Gráfico 5). El valor obtenido es levemente superior a la estimación de la respuesta utilizando la fórmula para calcular la respuesta directa a selección ($R=ih^2\sigma_P$), este valor calculado fue solo de un 3%. Como podemos observar en el gráfico 5, la respuesta relativa utilizando la información de propios hermanos y el propio individuo; a medida que se dispone de mayor información de parientes, mayor será la respuesta esperada.

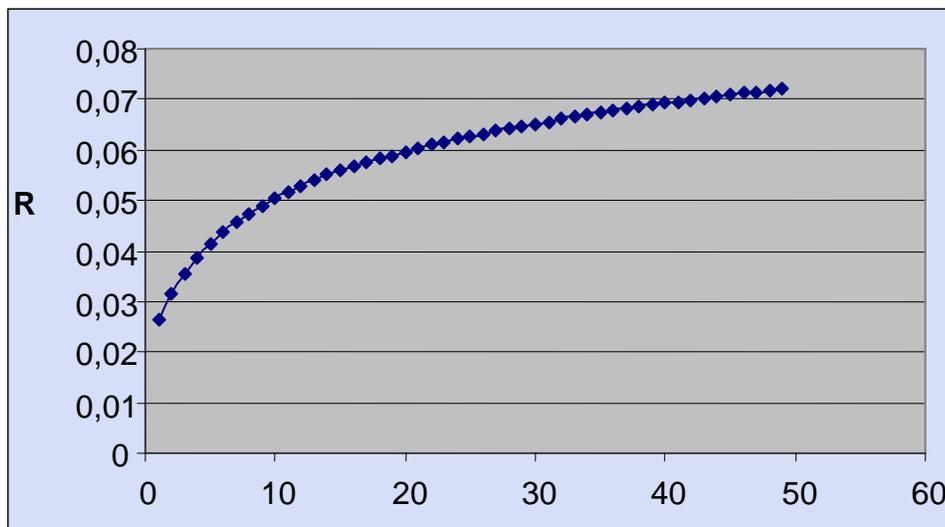


Gráfico 5.- Respuesta relativa con la información de los propios hermanos y el propio individuo

Los resultados anteriormente presentados para peso total son bastante menores a los reportados en la literatura. Ibarra, 1999, obtuvo una ganancia entre un 13 y 19% (16.3%) por generación para una sola generación de individuos sometidos a selección; esto también difiere a lo esperado para otras especies de moluscos, donde la ganancia sería entre un 10 a un 20% por generación (Newkirk, 1980). Sin embargo el índice construido incluye la mayor cantidad de información disponible de parientes, lo que genera una estimación mayor de la respuesta a la selección para esta población, esto optimizaría la respuesta de esta población sometida a selección, al utilizar la mayor información generada por la Estación Central de Prueba y las estaciones colaboradoras.

7. CONCLUSIONES

De los resultados del presente trabajo se puede concluir:

- Existiría la suficiente variabilidad genética para las características de interés comercial, para someter a la población en estudio a un programa de selección genética.
- Como objetivo de mejoramiento de la población en estudio, se puede incluir solo el peso del músculo.
- Existiría la suficiente variabilidad genética para seleccionar por características medidas en el animal vivo (Mediciones externas).
- Peso total es el mejor criterio de selección para esta población (correlación entre criterio y objetivo de mejoramiento >0.90)
- La predicción de la respuesta del índice de selección construido, es optimizada, debido a la incorporación de toda la información disponible.
- Existe una correlación bastante alta (>0.90) entre información generada EC y EP, por lo tanto se podría utilizar las dos fuentes de información de forma complementaria en la toma de decisiones necesarias para el programa de mejoramiento.

8. BIBLIOGRAFÍA

APIOLAZA, L. A.; GREAVES, M. J., 2001. Breeding objectives for three silvicultural regimen of radiata pine. Can. J. Forest Res. 31:654-662.

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE OSTRAS Y OSTIONES DE CHILE (APOOCH). 2008. Proceso de producción y estadísticas de Ostión del Norte. <www.mundoostion.co.cl>. [Consulta Mayo 2008].

BECKER, W. A. 1986. Manual de genética cuantitativa, 4º ed. Academia Entreprises, Pulman, Washington. USA. pp 231-249.

CHILE, INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP). 2002. Informe final programa de selección para el mejoramiento genético del ostión del norte, *Argopecten purpuratus*. Chiloé, Chile. pp 10-15.

CHILE, SERVICIO NACIONAL DE PESCA (SERNAPESCA). 2005. Anuario Estadístico de Pesca 2005. Desembarque, producción y exportación de Ostión del Norte. <www.sernapesca.cl/paginas/publicaciones/anuarios/index_anuario.php#>. [Consulta Diciembre 2005].

CHILE, SERVICIO NACIONAL DE PESCA (SERNAPESCA). 2008. Anuario Estadístico de Pesca 2006. Desembarque, producción y exportación de Ostión del Norte. <www.sernapesca.cl/paginas/publicaciones/anuarios/index_anuario.php#>. [Consulta Mayo 2008].

CRENSHAW, J.W.; HEFFERNAN, P.B. Y WALKER, R.L. 1991. Heritability of growth rate in the southern bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say, 1822). J. Shellfish Res. 10 (1): 53-63.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. 1996. Introduction to quantitative genetics, 4th edn. Longman Group Ltd. Mill Harlow, England. 464 p.

GILMOUR, A.R.; CULLIS, B.R.; WELHAM, S. J.; THOMPSON, R., 2002. ASReml, Release 1,0 Agriculture Biometrical Bulletin, NSW, Australia. 1500 pp.

GJERDE, B.; VILLANUEVA, B.; BENTSEN, H. B. 2002. Opportunities and challenges in designing sustainable fish breeding programs. **In:** 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP), Session 06, Communication 06-01. Montpellier, Francia.

GONZÁLEZ, M.L.; LÓPEZ, D.A.; PÉREZ, M.C.; RIQUELME, V.A.; URIBE, J.M.; LE PENNEC, M. 1999. Growth of the scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), in southern Chile. Aquaculture 175: 307-316.

HADLEY, N.H., DILLON, R.T. JR. Y MANZI, J.J., 1991. Realized heritability of growth rate in the hard clam *Mercenaria mercenaria*. *Aquaculture* 93: 109-119.

HAMMOND, K., 1994. Conservation of domestic animal diversity. Global overview. In: Proc. 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGAAP). 21: 423-430.

HAZEL, L. N., 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476-490.

HEFFERNAN, P.B.; WALKER, R.L.; CRENSHAW, J.W. 1993. Second heritability estimate of growth rate in the southern bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say, 1822). *J. Shellfish Res.* 12 (1): 151. (abstract).

IBARRA, A.M.; CRUZ, P.; ROMERO, B.A., 1995. Effects of inbreeding on growth and survival of self-fertilized catarina scallop larvae, *Argopecten circularis*. *Aquaculture* 134: 37-47.

IBARRA, A. M.; RAMÍREZ, J.; RUIZ, C. 1999. Realized heritabilities and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in catarina scallop (*Argopecten ventricosus*). *Aquaculture* 175: 227 – 241.

IBARRA, A. M. 1999. Correlated responses at age 5 months and 1 year for a number of growth traits to selection for total weight and shell width in catarina scallops (*Argopecten ventricosus*). *Aquaculture* 175: 243-254.

LANNAN, J. E. 1972. Estimating heritability and predicting response to selection for the pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Proc. Natl. Shellfish Assoc.* 62: 62-66.

LYNCH, M., WALSH, B. 1998. *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Sunderland, USA. 980 p.

MALLET, A.L.; FREEMAN, K.R.; DICKIE, L.M. 1986. The genetics of production characters in the blue mussel *Mytilus edulis*: I. A Preliminary analysis. *Aquaculture* 57:133-140.

MARTÍNEZ, V. 2004. Mejoramiento Genético del Ostión del Norte. II. Efecto de la auto-fertilización en la estimación de los parámetros genéticos. In: XXIV Congreso de Ciencias del Mar. La Serena. pp 23.

MARTÍNEZ, V., DI GIOVANNI, S. 2007. Breeding Programmes of Scallops: Effect of sel-fertilization when estimating genetic parameters (Abstract). *Aquaculture* 272S1 s238-s321.

NEWKIRK, G. F. 1980. Review of the genetics and the potencial for selective breeding of commercially important bivalves. *Aquaculture* 19: 209-228.

SÁNCHEZ, V. 2003. Acuicultura 2002: Imperio de la calma en aguas chilenas. Aquanoticias, mayo, pp 6-15.

TAUB S. 2002. La acuicultura del 2001: Nadando en aguas turbulentas. Aquanoticias, mayo-junio, pp 6-23.

TORO, J. E.; NEWKIRK, G. F. 1990. Divergent selection for growth rate in the European oyster *Ostrea edulis*: response to selection and estimate of genetic parameters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 62 (3): 219-227.

TORO, J. E.; NEWKIRK, G. F. 1991. Response to artificial selection and realized heritability estimate for shell height in the Chilean oyster, *Ostrea chilensis*. Aquatic Living Resources 4(2): 101-108.

WADA, K. 1986. Genetic selection for shell traits in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. Aquaculture 57: 171-176

9. ANEXOS

ANEXO 1

Descripción estadística de variables Ancho y Alto de concha
(Cosecha Bahía Inglesa 2002).

	Ancho	Alto
N	791	791
Promedio	25,97	78,88
DE	3,839	10,24
CV	14,78	12,98
Mínimo	25,91	78,75
Máximo	74,3	107,0

ANEXO 2.

Descripción estadística de variables Alto, Ancho y peso
(Stocks Norte y Sur cosecha Hueihue 2002).

	Norte			Sur		
	Alto	Ancho	Peso	Alto	Ancho	Peso
N	1495	1495	1495	4090	4090	4090
Promedio	67.87	24.09	67.14	68.59	23.16	68.71
DE	8.48	3.11	21.22	9.68	3.18	24.27
CV	12.5	12.9	31.6	14.12	13.75	35.3
Mínimo	67.82	24.05	66.93	68.57	23.16	68.6
Máximo	89.5	57.5	130.0	95.0	51.0	145.0

ANEXO 3.

**Descripción estadística de variables Alto, Ancho y Peso
(Cosecha Hueihue 2004).**

	Alto	Ancho	Peso
N	3301	3301	3301
Promedio	60.76	20.67	53.8
DE	10.8	3.53	23.95
CV	17.77	17.08	44.5
Mínimo	60.88	20.72	54.10
Máximo	88.0	71.00	142.4

ANEXO 4.

**Descripción estadística de variables Alto, Ancho, Largo,
Peso total, Peso vísceras, Peso gónadas y Peso músculo
(Cosecha EPC 2004).**

	Alto	Anc	Lar	Peso t	Peso v	Peso g	Peso músc
N	2210	2210	2210	2210	2210	2210	2210
Promedio	64.18	22.76	68.9	53.69	19.67	4.79	5.43
DE	10.5	3.30	11.25	23.32	10.19	3.72	3.34
CV	16.4	14.5	16.32	43.44	51.8	77.77	61.5
Mínimo	25.3	11.5	16.2	5.00	1.16	0.10	0.14
Máximo	92.5	56.3	102.4	151.7	91.33	42.61	62.14

ANEXO 5.

**Descripción estadística de variables Alto y Ancho,
para los Stocks Norte y Sur (marcaje Hueihue 2002).**

	Norte		Sur	
	Alto	Ancho	Alto	Ancho
N	1495	1495	4090	4090
Promedio	67.87	24.09	68.59	23.16
DE	8.48	3.11	9.68	3.18
CV	12.5	12.9	14.12	13.75
Mínimo	67.82	24.05	68.57	23.16
Máximo	89.5	57.5	95.0	51.0

ANEXO 6.

**Componentes de varianza para Alto, Ancho y Peso
de ostión del norte a la cosecha. Hueihue 2002**

	Norte			Sur		
	Alto	Ancho	Peso	Alto	Ancho	Peso
σ^2_i	11.09	1.032	69.61	17.43	1.45	114.713
σ^2_a	38.19	4.171	178.29	10.20	2.161	60.61
σ^2_e	24.25	4.466	204.54	68.18	6.941	425.31
σ^2_t	73.53	9.66	452.44	95.81	10.5	600.62
h^2	0.52 ± 0.18	0.42 ± 0.15	0.39 ± 0.14	0.11 ± 0.03	0.21 ± 0.05	0.10 ± 0.02

ANEXO 7.

**Componentes de varianza para Alto y Ancho
de ostión del norte a la cosecha. Bahía Inglesa 2002**

	Alto	Ancho
σ^2_l	13.09	1.39
σ^2_a	7.10	1.87
σ^2_e	92.10	11.28
σ^2_t	112.29	14.55
h^2	0.06 ± 0.04	0.13 ± 0.05

ANEXO 8.

**Componentes de varianza para alto, ancho y peso
de ostión del norte a la cosecha. Stock Norte Hueihue 2004**

	Alto	Ancho	Peso
σ^2_l	9.573	0.828	35.16
σ^2_a	49.28	3.64	208.059
σ^2_e	70.23	8.811	383.89
σ^2_t	129.09	13.28	327.12
h^2	0.38 ± 0.11	0.27 ± 0.08	0.33 ± 0.09

ANEXO 9.

Componentes de varianza para Peso músculo, Peso de gónadas y Peso tejidos de ostión del norte a la cosecha. Estaciones de Prueba Colaboradoras 2004

	Peso músculo	Peso gónadas	Peso tejidos
σ_a^2	0.65	3.4	7.82
σ_e^2	8.7	11.8	84.51
σ_t^2	9.35	15.2	92.33
h^2	0.069	0.22	0.08

ANEXO 10.

**Efecto linterna-piso para Ancho, Alto y Peso
en los Stocks Norte y Sur. Cosecha Hueihue 2002**

	Norte ancho	alto	peso	Sur ancho	alto	peso
Efecto linternapiso	-2259,87	-3698,16	-5118,07	-6582,67	-11130,7	-14874,3
Sin Efecto linternapiso	-2290,94	-3751,2	-5168,12	-6680,4	-11265,9	-15023,5
χ^2	62,14	106,08	100,1	195,46	270,4	298,4

ANEXO 11.

**Efecto linterna-piso para Ancho, Alto y Peso.
Cosecha Hueihue 2004**

	ancho	alto	peso
Efecto linternapiso	-5789,81	-9354,77	-12006,5
Sin Efecto linternapiso	-5822,92	-9399,54	-12032,2
χ^2	66,22	89,54	51,4

ANEXO 12.

**Efecto linterna-piso para Ancho y Alto.
Cosecha Bahia Inglesa 2002**

	ancho	alto
Efecto linternapiso	-1438,84	-2249,59
Sin Efecto linternapiso	-1443,68	-2258,56
χ^2	9,68	17,94

ANEXO 13.

**Efecto materno para Ancho y Alto
Stocks Norte y Sur. Cosecha Hueihue 2002**

	Norte ancho	alto	peso	Sur ancho	alto	peso
Sin efecto materno	-2290,94	-3751,2	-5168,12	-6680,4	-11265,9	-15023,5
Con efecto materno	-2314,68	-3775,77	-5191,38	-6680,96	-11266,9	-15024,4
χ^2	47,48	49,14	46,52	1,12	2	1,8

ANEXO 14.

**Efecto materno para Ancho, Alto y Peso.
Cosecha Hueihue 2004**

	ancho	alto	peso
Sin efecto materno	-5822,92	-9399,54	-12032,2
Con efecto materno	-5824,65	-9400,87	-12033,7
χ^2	3,46	2,66	3

ANEXO 15.

Efecto materno para Ancho y Alto. Cosecha Hueihue 2004

	ancho	alto
Sin efecto materno	-1443,68	-2258,56
Con efecto materno	-1441,98	-2254,45
χ^2	-3,4	-8,22

ANEXO 16.**REGISTRO INFORMACION DEL CULTIVO Y COSECHA DE OSTIONES DEL
NORTE (*Argopecten purpuratus*) GENÉTICAMENTE MEJORADOS****Registro de información****Caracterización del centro de cultivo**

1. Ubicación geográfica del centro.
2. Temperatura promedio mensual del centro.
3. Salinidad promedio mensual del centro.
4. Medida de Plancton.

Información del stock genético

5. Distribución inicial de los ejemplares en el cultivo. Número de ejemplar y su distribución en linterna y piso (Nº de linterna y Nº piso).
6. Fecha desdoble.
7. Distribución post desdoble de los ejemplares en el cultivo. Nº ejemplar y distribución en linterna y piso.
8. Fecha de cosecha.

Información de ejemplares destinados a cosecha o reproducción (de acuerdo a indicaciones)

9. Mortalidad por piso, por linterna (Muerto, eliminado por deformidad u otra causa).
10. Longitud valvar.
11. Ancho valvar.
12. Alto valvar.
13. Peso total.
14. Peso tejidos blandos.
15. Peso músculo.
16. Peso gónadas.

Procedimiento de cosecha

17. Cosechar cada linterna por separado.
18. Poner todos los ejemplares de cada piso en un recipiente marcado con la misma marca de la linterna y piso.
19. Separación de vivos y muertos
20. Individuos vivos van a mediciones de cosecha o reproducción tomando las variables anteriormente mencionadas.

Para todas estas mediciones se toma como referencia la figura 1.

ANEXO 17.

CONSTRUCCION INDICE DE SELECCION

$$P = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_m) & \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) \\ \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) & \text{Cov}(\bar{P}_t, \bar{P}_t) \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, A_i) \\ \text{Cov}(\bar{P}_t, A_i) \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_m) & \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) \\ \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) & \text{Cov}(\bar{P}_t, \bar{P}_t) \end{bmatrix}$$

$$= \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_m)$$

$$= \text{Cov} \left(\frac{P_1 + P_2 + P_n}{n}; \frac{P_1 + P_2 + P_n}{n} \right)$$

$$= 1/n^2 \left(\text{Cov} \sum P_m, \sum P_m \right)$$

$$= 1/n^2 \left(n \text{Cov}(P_m, P_m) + (n-1) \text{Cov}(P_m, P_m) \right)$$

$$= 1/n^2 \left(n\sigma^2 P_m + (n-1) \text{Cov}(A_l + e_i, A_d + e_i) \right)$$

$$= 1/n^2 \left(n\sigma^2 P_m + n(n-1)/2\sigma^2 A_m \right)$$

$$= 1/n(\sigma^2_p + (n-1)1/2\sigma^2_A)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1/n(\sigma_p^2 + (n-1)1/2\sigma_A^2) & \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) \\ \text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t) & 1/n(\sigma_p^2 + (n-1)1/2\sigma_A^2) \end{bmatrix}$$

Para $\text{Cov}(\bar{P}_t, \bar{P}_t)$ se obtiene de la misma forma;

Para $\text{Cov}(\bar{P}_m, \bar{P}_t)$

$$\begin{aligned} &= \text{Cov}\left(\frac{1}{n}\sum P_m, \frac{1}{n}\sum P_t\right) \\ &= \frac{1}{n^2} \text{Cov}\left(\sum P_m, \sum P_t\right) \\ &= \text{Cov}\left(\sum (A_m + e_n), \sum (A_i + e_t)\right) \\ &= \text{Cov}\left(\sum A_m, \sum A_t\right) \\ &= \frac{1}{2} \text{Cov}_A(n, t) \end{aligned}$$

$$P = \begin{bmatrix} 1/n(\sigma_p^2 + (n-1)1/2\sigma_A^2) & 1/2\sigma_{A(m,t)} \\ 1/2\sigma_{A(m,t)} & 1/n(\sigma_p^2 + (n-1)1/2\sigma_A^2) \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \text{Cov}(\bar{P}_m, A_i) \\ \text{Cov}(\bar{P}_t, A_i) \end{bmatrix}$$

$$= \text{Cov}(\bar{P}_m, A_i)$$

$$= \frac{1}{n} \text{Cov}\left(\sum_{i=1}^n P_i, A_i\right)$$

$$= 1/2\sigma^2 Am$$

$$= \text{Cov}(\bar{P}_t, A_i)$$

$$= 1/n \text{Cov}(P_1 + P_2 + \dots + P_n; A_i)$$

$$= 1/n \left[\text{Cov}(P_i; A_i) + (n-1) \text{Cov}(P_i; A_i) \right]$$

$$= 1/n(\sigma_{A(m,t)} + (n-1)1/2\sigma_{A(m,t)})$$

$$C = \begin{bmatrix} 1/2\sigma^2_{(Am)} \\ 1/n(\sigma_{A(m,t)} + (n-1)1/2\sigma_{A(m,t)}) \end{bmatrix}$$