

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Evaluación económica de las estrategias de cosecha del cultivo
del *Halotisrufescens* mediante un modelo de simulación
bioeconómica

Proyecto para optar al título de Ingeniero en Acuicultura
por
Cristian Soto Castillo

Valparaíso
2015

ACTA DE LA COMISIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO

Comité de titulación:

Profesor Guía Exequiel Gonzáles : Sr. _____

Profesor Felipe Hurtado: Sr. _____

Profesor Jaime Orellana : Sr. _____

Profesor Renato Molina : Sr. _____

AUTORIZACION DE USO

Al presentar este Proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero en Acuicultura, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este Proyecto sólo con fines académicos.

Cristian Soto Castillo

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres por no limitarme en mi desarrollo personal y por supaciencia, y en especial a Tobías Soto, que se presentó en mi vida en el comienzo de mi edad adulta, el cual siempre estuvo a mi lado en mis horas de estudio, para decidir dejarme justo en este momento crucial.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Exequiel González, profesor guía de este proyecto de título, por su enorme paciencia e invaluable ayuda en la elaboración de este trabajo.

A los profesores Felipe Hurtado, Jaime Orellana y Renato Molina por su invaluable ayuda en el desarrollo del modelo bio-económico y la aplicación de este en un software de simulación dinámica.

A mis padres, por su constante apoyo en mis estudios y en incentivar en terminar este proyecto de título.

A mis mejores amigos, por estar siempre presionándome en terminar este proyecto.

A la empresa de cultivo de abalones Aquamont S. A. por estar siempre a disposición de resolver todas mis consultas, en especial a Lester Jorquera, Joseph Arceu y Nicolás Mardones.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
COMITÉ DE TITULACIÓN	i
AUTORIZACION DE USO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	iix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. ANTECEDENTES	4
3.1 Antecedentes de la especie	4
3.1.1 Características fisiológicas.....	4
3.1.2 Distribución geográfica y batimétrica	5
3.1.3 Alimento	5
3.1.4 Enfermedades	5
3.1.5 Requerimientos de la especie	6
3.2 Tecnología de cultivo	6
3.2.1 Cultivo en tierra.....	7
3.2.2 Cultivo en mar	7
3.3 Ciclo productivo en la acuicultura Chilena	9
3.4 Tipos de productos	11
3.5 Antecedentes Mercado	13
3.5.1 Producción en Chile	14
3.5.2 Mercados internacionales.....	15
3.6Antecedentes metodológicos: definición y tipos de modelos	13
4. METODOLOGIA	21
4.1 Escenarios propuestos	21
4.2 Plataforma de construcción y simulación	21
4.3Elaboración de un modelo dinámico	21
4.4Evaluación económica	21
4.4.1 Indicadores económicos propuestos.....	28
4.4.2Tasa de descuento.....	29
5. RESULTADOS	30

5.1	Modelo Conceptual Matematico.....	30
5.2	Modelo Matemático	32
5.2.1	Dinámica de poblaciones	32
5.2.2	Dinámica de Crecimiento.....	37
5.2.3	Dinámica de producción.....	41
5.2.4	Dinámica de alimentación	42
5.2.5	Dinámica factores productivos de capital	42
5.2.6	Dinámica envasado de producto final	47
5.2.7	Dinámica factor productivo humano.....	48
5.2.8	Dinámica de costos.....	49
5.2.9	Dinámica de ingresos	50
5.2.10	Dinámica de utilidad	51
5.2.11	Indicadores económicos	51
5.2.12	Sensibilidad	53
5.3	Resultados Matemáticos	54
5.3.1	Validación	54
5.3.2	Evaluación de los escenarios propuestos	55
5.3.3	Sensibilidad	56
5.3.3.1	Mortalidad	57
5.3.3.2	Costo Alimento	57
5.3.3.3	Costo operacional.....	58
5.3.3.4	Precio venta.....	58
5.3.3.5	Tasa de descuento.....	59
6	DISCUSION	60
6.1	Confiability del modelo:	60
6.2	Evaluación de escenarios.....	62
6.2.1	Escenario base respecto al escenario 1.....	63
6.2.2	Escenario base respecto al escenario 2.....	65
6.2.3	Escenario base respecto al escenario 3.....	66
6.2.4	Escenario 3 respecto al escenario 4.....	67
6.2.5	Conclusión sobre escenarios expuestos.....	68
6.3	Análisis de sensibilidad.....	69
6.4	Observaciones generales.....	70
7	CONCLUSION	72
8	REFERENCIAS	73
ANEXO	80
ANEXO I	81
ANEXO II	89
ANEXO III	94
ANEXO IV	101
ANEXO V	102

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1: <i>Haliotis rufescens</i>	4
Figura. 2: Anatomía de un Abalón y Vista ventral.....	5
Figura. 3: Estanques de cultivo en tierra en la zona norte.....	7
Figura. 4: Unidad de cultivo en mar.....	9
Figura. 5: Diferenciación sexual en abalones sexualmente maduros.....	9
Figura. 6: Etapas de desarrollo larval.....	10
Figura. 7: Producción anual mundial de abalones.....	13
Figura. 8: Producción anual de la industria del abalón en Chile.....	14
Figura. 9: Precios promedio CIF de Chile respecto a otros países para abalón rojo congelado.....	15
Figura. 10: Ubicación sector Huenao, isla de Chiloe y datos físicos del centro productivo.....	21
Figura. 11: Elementos de construcción básicos de Stella.....	22
Figura. 12: Bucle de la investigación clásica.....	23
Figura. 13: Símbolos del diagrama de Forrester para la representación de un sistema.....	26
Figura. 14: Diagrama de bucle causal de un cultivo de engorda del <i>Haliotis rufescens</i>	31
Figura. 15: Ingreso de los i-ésimo lote en el horizonte de vida del proyecto.....	33
Figura. 16: Plan de producción del i-ésimo lote.....	35
Figura. 17: Duración del ciclo productivo para el escenario base y escenario 1.....	55
Figura. 18: Variables de la ecuación de Von Bertalanffy en función de la temperatura anual.....	56
Figura. 19: Dinámica de poblaciones.....	89
Figura. 20: Dinámica de crecimiento.....	89
Figura. 21: Dinámica factores productivos de capital.....	90
Figura. 22: Dinámica de mano de obra de calibración.....	90
Figura. 23: Dinámica de utilización del suelo, alimentación y semillas.....	91
Figura. 24: Dinámica adquisición de factores productivos de capital.....	91
Figura. 25: Dinámica de costos operacionales.....	92
Figura. 26: Dinámica de indicadores económicos VPN y RBC.....	92
Figura. 27: Dinámica del rendimiento de la inversión directa.....	93
Figura. 28: Unidades de cultivo, líneas y mano de obra planta para el escenario base.....	94
Figura. 29: Tasa de crecimiento en función de la temperatura de cultivo.....	94
Figura. 30: Duración del ciclo de cultivo a talla 90 milímetros según temperatura de cultivo.....	95
Figura. 31: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario base.....	95
Figura. 32: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 1.....	96
Figura. 33: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 2.....	96
Figura. 34: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 3.....	97
Figura. 35: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 4.....	97
Figura. 36: Indicador VPN para los escenarios evaluados en las zonas de cultivo.....	98
Figura. 37: Indicador RBC para los escenarios evaluados en las zonas de cultivo.....	98
Figura. 38: Indicador PI para los escenarios evaluados en las zonas de cultivo.....	99
Figura. 39: Resultado de análisis de sensibilidad para el escenario base.....	99
Figura. 40: Resultado de análisis de sensibilidad para el escenario 1.....	100
Figura. 41: Jaula de acopio, Linterna y líneas de jaula engorda.....	101

Figura. 42: Galpón de oficinas y servicios y Galpón de mantención	101
Figura. 43: Máquina calibradora y Linterna en desdoble	101
Figura. 44: Balsas de calibración, mantención, transporte y alimentación	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estrategias y escenarios propuestos	22
Tabla 2: Variables de estado del escenario base y sistema real.....	54
Tabla 3: Resultados de los escenarios propuestos	55
Tabla 4: Sensibilidad de VPN respecto a mortalidad	57
Tabla 5: Sensibilidad de VPN respecto al costo de alimento	57
Tabla 6: Sensibilidad de VPN respecto a los costos operacionales.....	58
Tabla 7: Sensibilidad de VPN respecto al precio de venta.....	58
Tabla 8: Sensibilidad de VPN respecto a la tasa de descuento.	59
Tabla 9: Variación porcentual de las variables de estado del sistema real respecto al escenario base.	60
Tabla 10: Variación porcentual de las variables de estado de los escenarios 1, 2, y 3 respecto al escenario base	62
Tabla 11: Variación porcentual de las variables de estado del escenario 4 respecto al escenario 3	67
Tabla 12: Duración ciclo cultivo	81
Tabla 13: Parámetros de semillas y alimento	81
Tabla 14: Mortalidad semanal por etapa	81
Tabla 15: Porcentaje de individuos puntas al desdoble y extensión del ciclo por rezago	81
Tabla 16: Parámetros de la determinación de densidad	82
Tabla 17: Área de unidades de cultivo	82
Tabla 18: Datos dimensionamiento mano de obra	82
Tabla 19: Capacidad Bienes directos.....	83
Tabla 20: Costo de semilla y alimento	83
Tabla 21: Costos de factores productivos de capital variable	83
Tabla 22: Costos de factores productivos de capital fijo.....	84
Tabla 23: Costos por contrato y despido de mano de obra.....	85
Tabla 24: Costo operacional mano de obra	85
Tabla 25: Costos operacionales extras.....	86
Tabla 26: Costo operacional semanal de Factores Productivos	86
Tabla 27: Costos operacionales indirectos semanales.....	86
Tabla 28: Costo nominal	87
Tabla 29: Otros costos	87
Tabla 30: Parámetros económicos.....	87
Tabla 31: Parámetros de embalaje producto final	87
Tabla 32: Temperatura superficial del mar mensual según zona de cultivo	88
Tabla 33: Coordenadas de zona de cultivo.....	102

RESUMEN

El fuerte crecimiento del cultivo del *Haliotis rufescens* en Chile en la última década impulsado por el aumento de la población mundial y la demanda insatisfecha por parte de países orientales, ha estado sujeto al constante aumento de los costos operacionales en la zona norte el cual cuyo cultivo es realizado exclusivamente en tierra, a su vez la zona sur del país donde el cultivo es realizado en mar en sistemas suspendidos ha presentado un extenso ciclo de cultivo debido a la menor temperatura de producción en comparación a la zona norte, lo que no ha permitido obtener los beneficios económicos esperados. Frente a esta situación en el año 2010, los entes gubernamentales autorizan cultivar abalones de ambos sexos mediante la modalidad de cultivo suspendido en la zona norte del país, lo que buscaría en parte solucionar estas problemáticas.

Bajo esta condición una empresa debe decidir si relocalizar sus operaciones o permanecer en igual condición. Para analizar estas alternativas, se construye un modelo matemático el cual es montado en un software de simulación dinámica a través de la modalidad de tiempo continuo, el cual permite evaluar una diversidad de escenarios sin la necesidad de efectuar pruebas reales bajo una fuerte carga económica y temporal. Estos escenarios fueron representados bajo 3 estrategias de cosecha correspondientes a las tres tallas comúnmente utilizadas en la industria (80, 90 y 100 milímetros), en función de dos patrones de temperatura, donde el escenario base correspondió al sistema productivo de una empresa modelo ubicado en la zona sur. A su vez dichos escenarios son evaluados económicamente mediante 3 indicadores económicos: VPN, RBC y PI. Estos escenarios tienen como fin determinar si es plausible reducir o extender el ciclo productivo y al mismo tiempo permanecer en la misma zona de cultivo o trasladar las instalaciones hacia una de mayor temperatura si es económicamente beneficioso. A su vez la fiabilidad del modelo se basó en su capacidad predictiva respecto al escenario base, donde la tasa de crecimiento se presentó en función de la temperatura de cultivo según la ecuación propuesta por Pérez (2010).

Los resultados expuestos por los indicadores económicos permitieron observar como la mejor alternativa económica el escenario 3 y de forma decreciente el escenario base, escenario 4, escenario 2 y escenario 1. Esto permitió notar un mayor valor económico a una mayor talla de cosecha, pero que a su vez la zona Norte presentó un menor rendimiento económico, ya que la reducción del ciclo de cultivo en esta zona no fue lo suficientemente pronunciado respecto a la zona Sur, además de presentar mayores costos productivos debido a la mayor intensidad productiva y a un mayor costo unitario del alimento.

Con el modelo validado más los resultados obtenidos bajo una base sólida, este permite ser un marco de referencia que proporciona el entendimiento de las interacciones de las variables, como también ser una herramienta que facilita la gestión y planificación de recursos biológicos, económicos y tecnológicos y que a partir de estos resultados, se obtiene la facultad para tomar decisiones fundadas de acuerdo con los objetivos planteados.

ABSTRACT

The strong growth of the *Haliothisrufescens* farming in Chile in the last decade, boosted by the increasing of the world's population and unsatisfied demand by oriental countries, has been affected at a constant increase of operational costs in the northern zone, where it is made exclusively on land. At the same time in the south zone, it is made on the sea by hanging systems, which has displayed an extensive cultivate cycle. Due to the fact this zone has a less farming temperature in comparison to the north zone, it hasn't left to achieve the expected profits. Because of the situation in 2010, government agencies authorized farm abalones both sexes on hanging farming in the north zone, with the aim of sorting out these problems.

In this situation an enterprise must choose whether to move out its operations or stay in the same condition. To analyze these alternatives, a mathematical model was built which is mounted in a dynamic simulation software through continuous time. It permits evaluation of diverse scenarios without the necessity of making real tests with strong economic and temporary load. These scenarios were depicted by 3 harvest strategies corresponding to three sizes commonly used in the industry (80, 90 y 100 millimeters) to 2 temperature pattern. As the base scenario, it is depicted as a productive system of real enterprise from southern zone of the country. These scenarios are evaluated economically through 3 economic indicators: VAN, RBC y PI. These scenarios have as aim to determine whether it is possible to decrease or increase productive cycle and at the same time stay in the same farming zone or move out the installations to the other zone of higher temperature whether it is economically profitable. The reliability of the model is based in its predictive capacity respectful to the real system which was adjusted to the methodology of the enterprise model and the growth rate was adjusted in function of culture temperature according to the equation showed by Perez (2010).

The results obtained by the economic indicators have allowed observation as the best economic alternative, the third scenario and in decreasing order, the base scenario, fourth scenario, second scenario and first scenario. This allowed to point out a higher economic value to a higher harvest size, but at the same time, the Caldera zone showed a less economic performance, because the reduction of the cycle time wasn't pronounced enough respect to the Ancud zone, which also showed higher productive costs because it had both higher productive intensity and feed unit cost.

With the model validated and the results obtained with a reliable base, this has permitted to be a setting of reference that gives understanding of interaction of variables as well as to also be a helpful tool for management and planning of biology, technology and economic resources. From these results, the faculty has been achieved to make reliable decisions in accordance to the objectives proposed.

1. INTRODUCCION

La industria del abalón dio sus primeros pasos en la acuicultura en 1960, por un pequeño grupo de personas, principalmente de Estados Unidos y Japón, que fueron capaces de producir con éxito, larvas, juveniles y adultos jóvenes en 1970 (InoyHarada, 1961; Owen, McLean y Meyer, 1971; McBride, 1998). En Chile, se introdujo en 1977 el abalón rojo (*Haliotis rufescens*) como una opción para diversificar la actividad acuícola en el país, a través de la experimentación en sistemas cerrados por Fundación Chile y la Universidad Católica del Norte (Viviani, 1981; Godoy, Jerez, Ponce, 1992). La primera experiencia comercial comenzó en 1992, cuando un estudio de evaluación de impacto ambiental realizado por la Fundación Chile fue aprobado frente a la Isla Chiloé en la X región (Flores-Aguilar, Gutiérrez, Ellwanger y Searcy-Bernal, 2007).

A partir de la última década, la industria en Chile presentoun fuerte desarrollo, impulsado por el constante aumento de la población mundial en especial de China y el declive de las capturas legales de las diferentes especies de abalón (Cook y Gordon, 2010), que handerivado en unademanda insatisfecha en los países orientales (Nuestro Mar, 2002; TradeChile, 2003; Guzmán, 2003; Araos, 2008). Esto ha dado paso a que laproducción nacional aumentara de 241 a 1.130 toneladas exportadas desde el año 2004 al 2014 (SERNAPESCA, 2014), colocando al país entre los 10 principales productores a nivel mundial (Flores-Aguilar *et al*, 2007).

A pesar de lo anterior, estecrecimiento no ha estado entrelazado con el aumento de la productividad en los centros productivos, sino todo lo contrario. Para los hatcheries posicionados en la zona norte del país (26° 03' 30" y 30° 20' 00") la actividad ha visto comolos costos operacionales, específicamente los costos deenergía y alimentohan ido en constante aumento, además de la imposibilidad de cultivar en sistemas abiertosindividuos de ambos sexos, el cual se manifiesta posterior a los dos años, reduciendo así la competitividad y el beneficio neto de la actividad de dichas empresas (Borda, 2008). En el caso de la zona sur de Chile (41° 21' 55" y 46° 00' 00"), en la cual se opera con sistemas suspendidos en mar y que se permite el cultivo de ambos sexo, no ha logrado reducir el extenso ciclo de cultivo, debido a la menor tasa de crecimiento como resultado de una menor temperatura superficial del mar en comparación a la zona norte del país (Flores-Aguilaret al, 2007; Com. Pers. Nicolás Mardones).

Una solución a estos problemas se presenta en el año 2010, cuando se autoriza el cultivo en mar en la zona norte de chilede abalones de ambos sexos, lo que en parte permitiría a las empresas privadasposicionadas en la zona sur del país, como también del ingreso de nuevos actores atender a disposición zonas más cálidas que pudiesen mejorar las tasas de crecimiento. En dicho caso una empresa privada deberádecidir si localizar sus operaciones en una de ambas

zonas o relocalizar su producción para una empresa ya establecida. En caso contrario, una empresa que decida o que ya se encuentre establecida en la zona sur del país pudiese concentrarse en explorar nuevos mercados y presentaciones.

En este contexto, por razones prácticas y económicas, no es posible evaluar estas estrategias en el ambiente natural debido a su tamaño y complejidad (Karplus, 1983). Para esto, se deben integrar herramientas que permitan facilitar la planeación y gestión de los recursos biológicos y económicos ajustados a la realidad de cada empresa a manera de mejorar su productividad (Scholten y VanderTol, 1998). Esta herramienta, es definida como un modelo bio-económico, el cual mediante la evaluación de diferentes escenarios económicos, asiste al proceso de toma de decisiones en un centro de cultivo de abalón, permitiendo identificar y desarrollar soluciones estratégicas a las problemáticas que afectan a la industria.

Integrando la metodología de cultivo y datos de campo de una empresa modelo en la zona sur del país en conjunto con información bibliográfica, en este trabajo se desarrolla un modelo bio-económico para identificar estrategias que puedan mejorar la productividad de los centros de cultivo de abalón en el sur de Chile.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Elaborar un modelo bio-económico para determinar la conveniencia de producir *Haliotisrufescens* en la zona sur o norte de Chile y determinar las condiciones que maximizan el rendimiento económico del cultivo.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Construir un modelo bio-económico conceptual y matemático para la producción en un sistema de cultivo de *Haliotisrufescens*
- 2) Construir un modelo computacional utilizando el software de simulación Stella.
- 3) Evaluar el desempeño económico de la producción de *Haliotisrufescens* bajo condiciones ambientales de la zona sur y norte de Chile.

3. ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes de la especie

Taxonomía (Hanh, 1989)

Phylum: Mollusca

Clase: Gastrópoda

Subclase: Prosobranquia

Orden: Archeogastrópoda

Familia: Haliotidae

Género: Haliotis

Especie: *Haliotisrufescens* (Swainson, 1822)

Nombre común: Abalón rojo, oreja de mar roja, abalón californiano (Fig. 1).



Figura.1:*Haliotisrufescens*

3.1.1 Características fisiológicas

El *Haliotisrufescens* posee un cuerpo plano hidrodinámico adaptado al hábitat costero expuesto entre 1 a 10 metros de profundidad, posee una concha calcificada, que protege los tejidos blandos y un pie muscular ondulado, que le entrega una fuerte adherencia al sustrato rocoso, incluso mientras el animal se mueve y alimenta (HeasmanySavva, 2007). La concha está provista de una serie de orificios a lo largo del margen izquierdo superior (Fig. 2), lo que define al género Haliotis. Estos son puntos de ventilación, en el cual se exhala el agua de mar privada de oxígeno, orina y heces y los gametos. Su concha puede alcanzar hasta los 31 centímetros y el pie 25 centímetros. Madura sexualmente entre los 3 a 7 años de edad y pueden vivir hasta los 35 a 54 años (Haaker, Henderson y Parker, 1986). El color de la concha varía desde rojo ladrillo, a bandas verde agua y blanco que van en función de su dieta (*Com. Pers. Lester Jorquera*).

Internamente, la concha está cubierta de nácar lo cual le proporciona un atractivo especial y por ende un valor adicional al producto (Woywood, 2005). El epipodium es una estructura sensitiva que se proyecta como extensión del pie sosteniendo los tentáculos (Fig. 2), circunda el pie y se proyecta por debajo del borde de la concha en el abalón (Shepherd, Tegner y Guzmán del Proo, 1992). La cabeza y la boca están flanqueadas por dos pares de tentáculos sensoriales, donde el par más corto posee ojos (Fig. 2). La boca corresponde a una rádula que rasga y efectúa la ingesta de algas (HeasmanySavva, 2007). La anatomía interna está compuesta por el manto que secreta los precursores de los componentes minerales y orgánicos de la concha, la cavidad que éste forma, acumula la orina, gametos, branquias, corazón y dos atrios (Fig. 2). Internamente, la hemolinfa es impulsada por el corazón, siendo oxigenada en las branquias, específicamente en el seno paleal y seno craneal (Fallu, 1991).

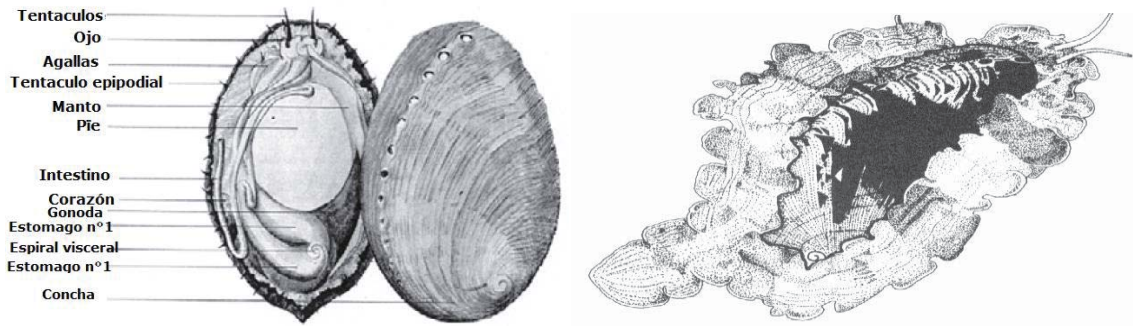


Figura 2: Anatomía de un Abalón y Vista ventral. Fuente: HeasmanySavva (2007).

3.1.2 Distribución geográfica y batimétrica

Esta especie se distribuye desde Sunset Bay, Oregon, en Estados Unidos hasta el norte de la Bahía Tortugas en México (McCormick, 1991). Batimétricamente se localiza en el intermareal inferior sobre sustratos rocosos hasta profundidades de 180 metros, siendo más abundante en la zona central de California, en profundidades de entre 6 a 17 metros (Araos, 2008). El hábitat consiste en combinaciones de depresiones y grietas en las rocas, las cuales proveen refugio contra depredadores y donde el alimento es abundante (Hahn, 1989).

3.1.3 Alimento

Los hábitos alimenticios cambian de acuerdo con su desarrollo; las larvas, son lecitotróficas, es decir, no requieren de alimentación directa. Pese a lo anterior, se ha comprobado que existe absorción a nivel tisular de nutrientes como aminoácidos y carbohidratos solubles (Viana, 2000). Las post-larvas son herbívoras, consumen películas de diatomeas como: *Monochrysis* sp., *Isochrysis* sp. y *Chaetoceros* sp. (Woywood, 2005), hasta ser juveniles de 9 meses aproximadamente, cuando ya han desarrollado y endurecido su rádula (Viana, 2000). Luego consumen algas, preferentemente algas pardas como la *Macrocystis pyrifera* y *Lessonianigrescens* en el caso de Chile. El animal posee hábitos de alimentación nocturna y la mayor parte de su movimiento está asociado a esta actividad (Haaker et al., 1986).

3.1.4 Enfermedades

Los principales causantes de enfermedades detectados, son los agentes bacterianos y parasitarios (Godoy, 2003). Dentro de las enfermedades infecciosas, se encuentran las causadas por bacterias como: *Vibrio* sp. que produce la Vibriosis, de la cual puede llegar a causar hasta un 80% de mortalidad en un centro de cultivo. La bacteria *Candidatus Xenohalio californiensis* que da origen al Whithering Syndrome, puede causar

entre un 1-10% de mortalidad (Woywood, 2005). Además de las bacterias, se encuentran hongos como el *Haliphthorosmilfordensis*, que causan infecciones micóticas (Viana, 2001).

Los parásitos de importancia para la industria del abalón son los poliquetos, donde los metazoarios marinos son los más comunes y abundantes en los ambientes bentónicos (Woywood, 2005), de estos se distinguen los Sabélidos, los cuales afectan la concha del abalón produciendo estriaciones oscuras en el nácar, presentando una concha porosa y hasta pérdida de los poros respiratorios (Cáceres, 2003). También se han descrito los poliquetos *Polydorasp*, *Dipolydorasp* y *Boccardiasp*, los cuales dañan sólo la capa externa de la concha, generando deformación de ésta, con una mayor susceptibilidad al deterioro o al ataque de depredadores (Cáceres, 2003).

3.1.5 Requerimientos de la especie

Dentro de los requerimientos de cultivo del *Haliotis rufescens*, el rango óptimo de oxígeno se encuentra entre los 5 a 6 mg/L. Esta especie presenta sensibilidad tanto a la disminución y/o a la sobresaturación de oxígeno, los cuales pueden causar lesiones neurales y producir letargo en el comportamiento de los individuos, así mismo se ha observado que ha bajas concentraciones de oxígeno decrece la tasa de crecimiento y la sobrevivencia (Hahn, 1989; Fallu, 1991).

La temperatura óptima se aproxima a los 15°C (Fallu, 1991), siendo capaz de resistir temperaturas más bajas que causan reducciones de la tasa de crecimiento. Temperaturas de 2 o 3 °C sobre el óptimo pueden ser fatales (Fallu, 1991). Respecto a la salinidad, su óptimo se encuentra entre las 33 y 35 partes por mil (Fallu, 1991). Por otro lado, soportan sin problema los rangos de pH en el mar, pero son sensibles, especialmente las post-larvas, a un pH bajo los 6,75; donde las tasas de crecimiento disminuyen (Araos, 2008). Finalmente, el amonio en concentraciones mayores a 3 partes por millón es tóxico y niveles más bajos pueden causar serios retardos en el crecimiento y desarrollo del organismo. Respecto a otros indicadores, los metales pesados pueden causar sofocaciones por el hecho que el individuo secreta mucosidades para quitarlos, causando un envenenamiento debido a la acumulación de estas mucosidades en la glándula digestiva (Hahn, 1989; Fallu, 1991).

3.2 Tecnología de cultivo

No existe una tecnología de cultivo determinada, probada y utilizada por todas las empresas productoras de abalón en el mundo, y en especial en Chile (TradeChile, 2003). Cada empresa posee su paquete tecnológico, diferenciados por la ubicación a lo largo del territorio, como del mismo paquete tecnológico que sus propietarios o gerentes estimen (*Com. Pers.*

Lester Jorquera).

La primera distinción atañe a si el cultivo es en tierra o en mar. En tierra existe un mayor nivel de control sobre la operación, pero demanda una alta inversión inicial y costos por bombeo de agua. En mar, los requerimientos de capital son significativamente menores, pero no existe un control sobre parámetros ambientales y los costos laborales son mayores, además de presentar una mayor complejidad al escalar la producción (TradeChile, 2003). La descripción de los diferentes sistemas de cultivo se presentan a continuación:

3.2.1 Cultivo en tierra

En la zona norte de Chile, la tecnología de cultivo predominante es el sistema japonés con raceways (Fig. 3a), definido como estanques rectangulares con un flujo de agua auto limpiante con canastos que otorgan refugio y superficie al abalón. Estos estanques a su vez pueden variar en tamaño y diseño como también en el modo de suministro del agua. Así mismo, no todos los centros de cultivo culminan la cosecha en estos estanques, algunos por ejemplo producen solo semillas para su comercialización o para satisfacer su demanda interna si posee un sistema de engorda en la zona sur del país. En caso de cerrar el ciclo de cultivo en tierra, los individuos en etapa de engorda se mantienen en raceways de 3.000 a 6.000 litros o más y/o estanques circulares de 5.000 litros o más (Fig. 3b). Existen empresas que integran nuevas tecnologías, como lo son estanques de flujo laminar utilizado principalmente en Australia (Fig. 3c), que en teoría mejorarían la circulación y la autolimpieza (*Com. Pers. Lester Jorquera*).



Figura. 3: Estanques de cultivo en tierra en la zona norte: a) Estanque raceways, b) Estanque circular de siembra y c) Estanque de flujo laminar.

3.2.2 Cultivo en mar

El cultivo en mar se desarrolla únicamente la fase de engorda, en zonas costeras bien protegidas con una importante renovación de agua (Araos, 2008). Las unidades de cultivo están sujetas a una línea madre con sistemas de flotación (long-line) y un sistema de fondeo, donde la línea madre puede tener una longitud de 100 a 200 metros, con diámetro de 18-20 milímetros de Nylon o Perlón (empresa modelo). Las unidades comúnmente utilizadas en un sistema de engorda suspendido se describen a continuación:

Barriles:

Están elaborados de polietileno, con una capacidad de 220 litros (Fig. 4a), el cual posee aberturas de tamaño aproximado de 20 cm de largo por 10 cm de ancho, las que son cubiertas por malla rashel con abertura de media pulgada. Estas se realizan en extremos opuestos y a un tercio de la base del barril, así como también en ambos extremos que contemplan la mayor parte del radio. En estos extremos, es donde se ubican las amarras a modo de fijar la unidad de cultivo a la línea madre. (González-AvilésySheperd 1996; Madrid, 2001). Son uno de los más comunes en el sur de Chile por su bajo costo (Araos, 2008).

Corral:

Son generalmente de forma rectangular, construidas comúnmente de polietileno, fibra de vidrio y/o PVC (Fig. 4b). Las placas poseen orificios, permitiendo al abalón posicionarse, refugiarse y alimentarse, además, en sus costados posee entradas rectangulares permitiendo un constante intercambio de agua. La fijación en la línea madre doble se realiza mediante una cuerda que va unida a cada uno de los extremos del contenedor (Madrid. 2001). Posee ventajas comparativas por ser desarmables, inocuas, de bajo peso y poseer una gran área de cultivo (Araos, 2008).

Linternas:

Están conformadas por una serie de pisos circulares de diámetro y cantidad variable según la preferencia de cada empresa (Fig. 4c), las que son separadas entre sí de a 10 a 20 centímetros mediante 8 pilares de PVC de 32 milímetros, que le otorgan a la unidad de cultivo tanto forma como estabilidad. Todo esto es envuelto por una malla raschel de media pulgada y es fijado por un cabo a un flotador individual, el cual a su vez es adosado a la línea madre. Su principal falencia radica en ser útiles solo para una baja población por unidad de cultivo y para individuos de baja talla, debido a la poca área que esta expone, generando una alta demanda de unidades y mano de obra. A su vez corresponden a las unidades con el menor costo unitario.

Jaulas

Es un símil a lo utilizado en China o Corea del Sur (Fig. 4d), donde una jaula de tamaño variado, es posicionada cerca de la superficie (aproximadamente 1 metro), la cual es fijada en ambos costados con una línea madre doble y adosada con 4 flotadores por lado (Fig. 6e). A esta se le incluye una cantidad determinada de Holders de forma semicircular, otorgándole un

posicionamiento diagonal que proporciona superficie y protección al abalón en el fondo de la jaula. Los beneficios de esta unidad de cultivo son: alta tasa de ventilación, bajo costo unitario, una alta relación de mantención biomasa-mano de obra, alta superficie de área, mayor biomasa por unidad y escasa manipulación (*Com. Pers. Nicolás Mardones*).



Figura. 4: Unidad de cultivo en mar: a) Barril, b) Corral, c) Linterna, d) Jaula de origen China y e) Vista superior de jaula de cultivo de abalón en Chile.

3.3 Ciclo productivo en la acuicultura chilena

El ciclo productivo comienza con la inducción al desove mediante una combinación de shock químicos y alteración del fotoperiodo a los reproductores maduros sexualmente, los cuales presentan gónadas de color blanco-cremoso en el macho (Fig. 5a) y verdoso oliva en la hembra (Fig. 5b) (*Com. Pers. Lester Jorquera*). La fertilización es externa, donde los ovocitos y espermatozoides son lanzados en el agua a través de los poros con la corriente respiratoria (Woywood, 2005).



Figura. 5: Diferenciación sexual en abalones sexualmente maduros: a) Macho y b) Hembra.

Una vez fertilizados, el primer corpúsculo (Fig. 6a) y el segundo corpúsculo polar se presentan en menos de una hora y media de iniciada la fertilización. 1 a 2 horas después comienza la primera (Fig. 6b), segunda y tercera división celular. A las 16 o 18 horas se tiene una trocofera (figura. 6c). Una larva en condición asentarse (Fig. 6d) toma entre 5 a 8 días, según la temperatura de cultivo (*Com. Pers. Lester Jorquera*).

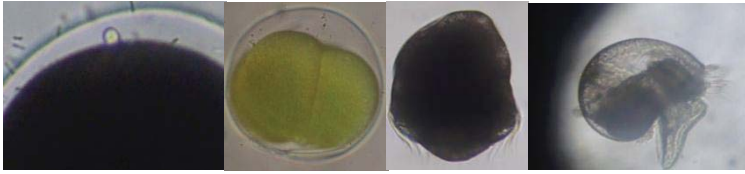


Figura. 6: Etapas de desarrollo larval: a) Expulsión del primer corpúsculo polar, b) Primera división celular, c) Trocosfera y d) Larva en condición de asentar.

Etapa de Nursery:

Consiste en la etapa de cultivo de un abalón juvenil, el cual es realizada en toda su extensión en tierra, que va desde que es asentado hasta que alcanza la longitud necesaria para iniciar la etapa de engorda en aproximadamente un año. En primera instancia la larva en condición de asentar, necesita una superficie inoculada con microalgas, donde este procedimiento difiere entre cada centro de cultivo, por ejemplo, la siembra se puede realizar en estanques circulares de 250 litros inoculados en sus paredes hasta que los juveniles alcancen los 3 meses de vida, para luego ser desdoblados y dar inicio al sistema japonés. Otros centros de cultivo realizan la siembra en raceways de 3.000 litros con canastos inoculados, efectuando la primera manipulación a los 6 meses. Posteriormente, cada semana los estaques son desaguados en el menor tiempo posible y son aseados con un suave flujo de agua de mar, con motivo de eliminar todo residuo que afecte la salud de los juveniles. Una vez que los individuos alcanzan la edad aproximada de 9 meses, pueden comenzar a consumir macrolagas, las cuales se suministran de 1 a 2 veces por semana (*Com. Pers. Lester Jorquera*).

Etapa de Engorda:

La etapa de engorda se inicia cuando los especímenes han alcanzado los 20 o 24 milímetros dependiendo de los criterios del centro de cultivo, basado en la talla mínima que demuestre el mejor rendimiento en función de su mortalidad. Si la etapa de engorda está posicionada en un sistema de cultivo suspendido, los individuos dentro del mismo día, son aletargados mediante un shock térmico de 8-10°C, para luego ser empacados y transportados por vía aérea (*Com. Pers. Lester Jorquera*).

Las unidades de cultivo (excepto jaulas) son extraídas cada 8 o 10 días, período en el cual se realiza mantención y limpieza, además del retiro de mortalidad. Por otro lado, la alimentación se puede suministrar de 1 a 2 veces por semana según la capacidad de consumo de los individuos. Los desdobles se realizan entre los 6 meses a un año, con el fin de estandarizar la distribución de tallas. Para luego ser transferidos según la metodología de cada centro a otra unidad de cultivo (*Com. Pers. Nicolás Mardones*).

Cosecha

Los individuos son cosechados por buzos, desprendiéndolos desde las unidades de cultivo, una vez cuando han alcanzado una talla mínima de cosecha. Posteriormente, los individuos son trasladados hasta tierra firme donde son embalados, y llevados a las plantas de proceso (*Com. Pers. Nicolás Mardones*).

3.4 Tipos de productos

Abalón Vivo:

Es comercializado principalmente para sushi y otras recetas tradicionales asiáticas, siendo muy cotizado en el mercado japonés, por su carácter de fresco, el cual debe destacar en apariencia, gusto y textura de la carne (TradeChile, 2003). El producto Premium alcanza los 9 centímetros de tamaño y es comercializado con un promedio de 10 unidades por kilo (Oakesy Ponte, 1996), con un valor aproximado de 140 dólares el kilo (Hoshino, 2013).

Su proceso comienza cuando los individuos son embalados en cajas de polietileno con un peso neto de 10 a 12 kilos, luego en su interior se le adhieren bolsas de hielo para mantener un bajo metabolismo de los individuos, posteriormente son selladas con oxígeno y en el menor tiempo posible enviados al lugar de destino. Fuente: www.australianwildabalone.com

Abalón fresco-refrigerado:

Al igual que el producto vivo, es comercializado preferentemente para recetas tradicionales asiáticas como el sashimi y sushi, el cual debe destacar con una apariencia de frescura. Su precio se aproxima a los USD 53/kg. Su proceso consiste en la remoción de la concha y viseras como también del recorte de los bordes del pie. Luego son enfriados lentamente mediante salmuera y posteriormente son sellados en empaques al vacío o a atmosfera modificada y refrigerados entre -1 a -5°C, para luego ser empacados en cajas de plumavit con hielo en escarcha. Fuente: www.australianwildabalone.com.

Abalón Congelado:

El mercado objetivo corresponde a los países asiáticos, destinado a restaurantes y hogares (Oakesy Ponte, 1996). Su ventaja, radica en no representar los desafíos logísticos de comercializarlo vivo, ni la necesidad de diseños de procesos y empaques especiales. Su precio

es de USD 22,5/Kilo (TechnoPress, 2011). El proceso consiste en congelar el abalón en pocos segundos mediante nitrógeno líquido hasta lograr los -20°C , el cual garantiza su sabor y textura. Comúnmente el proceso de glaseado, calibrado y empaque es automatizado. Fuente: www.abalone.cl.

Abalón en conserva:

Es el mayor producto producido mundialmente, debido a su facilidad de uso y almacenamiento (TradeChile, 2003). Es comercializado en envases con un contenido neto de 450 gramos y filetes desde 213 a 230 gramos, su precio se puede estimar en USD 105 una caja de 24 envases (Empresa modelo). Los mercados objetivos abarcan los países de Japón, Hong Kong, Vietnam, China y Taiwán, donde debe destacar por su color amarillo-cremoso.

Su proceso se inicia cuando los especímenes son desconchados manualmente, para luego ser lavados en agua tibia ($30-40^{\circ}\text{C}$) con el fin de extraer pigmentos y residuos. Posteriormente son eviscerados y lavados bajo agua a 70°C por 5 minutos e introducidos en cada envase, rellenándolos en su totalidad con salmuera, luego son sellados al vacío y se aplica un shock térmico en autoclave por 76 o 35 minutos si la temperatura es 110 o $121,1^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Fuente: www.fao.org.

Abalón Seco o deshidratado:

Corresponde al producto de menor consumo pero de mayor valor, el cual puede alcanzar los 441 dólares por kilo (Hoshino, 2013). El más apetecido proviene de Japón, seguido de Omán y Sudáfrica (TradeChile, 2003), los mercados preferentes son China, Hong Kong y Japón (Terra San Group, 2007). Su proceso es considerado un arte, ya que no existe una metodología única, resultando muchas veces en ser un proceso celosamente resguardado. Para el caso de China, si el procedimiento es de carácter artesanal, puede tomar hasta 2 meses de secado al sol, traspasándose los conocimientos de generación en generación. En Sudáfrica, el proceso se presenta como un cocimiento a fuego lento con un conservante químico, colgado en bastidores en una sala a 38°C , para luego dejar secar durante un período de tres semanas (Steinberg, 2005). Al final del proceso el producto presenta un rendimiento de un 10% sobre su peso original, además un proceso mal elaborado puede alcanzar sólo una cuarta parte del precio de un abalón deshidratado a sol natural (Steinberg, 2005).

3.5 Antecedentes Mercado

Existen alrededor de cien especies conocidas de abalones, distribuidas principalmente a lo largo de las costas de regiones tropicales en ambos hemisferios con excepción de Sudamérica y el oeste de Norteamérica. Sólo diez especies son consideradas de importancia comercial, encontrándose principalmente en Corea, Japón, México, Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos y China (Hahn, 1989), las cuales son apreciadas como un producto gourmet y de nicho, consumido preferentemente en países asiáticos y en restaurantes de alta sofisticación, el cual es considerado una exquisitez y cuyo consumo otorga cierto grado de prestigio (TradeChile, 2003). El mercado del abalón presenta un alto grado de heterogeneidad comercializándose un número importante de especies, tallas y formatos de presentación (TradeChile, 2003).

La mayor parte de la producción mundial hasta hace una década fue provista por las capturas comerciales de abalón silvestre (Fig. 7), las que han disminuido considerablemente en los últimos 40 años, desde 20.000 toneladas en el año 1970 hasta 9.000 toneladas para el año 2008 (Cook y Gordon, 2010). Esto se debe a la sobreexplotación y a la vulnerabilidad de la especie por su lenta tasa de crecimiento y tendencia a agregarse (Hahn, 1989; Illanes, 1999). Esto a su vez ha ocasionado que el aumento de la demanda sea cubierta por la producción acuícola, mostrando un fuerte crecimiento desde comienzo del 1970 hasta el año 2013, alcanzando una producción de 103.464 toneladas (Cook y Gordon, 2014).



Figura. 7: Producción anual mundial de abalones (miles de toneladas). Fuente: Camanchaca, prospecto comercial noviembre, 2010.

3.5.1 Producción en Chile

Chile no posee especies del género *Haliotis* de forma endémica, por lo que toda la producción proviene desde la acuicultura. El 95% de la producción corresponde a la especie *Haliotis rufescens*, ya que la otra especie producida *Haliotis discushanna* presenta bajas tasas de crecimiento y una anormal mortalidad en los centros de cultivo del país, lo que no ha permitido su masificación en la industria (Flórez et al, 2007).

En el último tiempo, la industria del abalón en Chile ha mantenido un constante crecimiento (Fig. 8), diversificando sus mercados en una gran variedad de países asiáticos, como también en presentaciones, mostrando una tendencia hacia los productos en conserva con un 50%, 49% congelado y 1% como producto vivo, a diferencia de lo ocurrido en la década de los noventa y principio del 2000, los cuales se enfocaban mayoritariamente al mercado japonés como producto congelado (Flores-Aguilar, 2010). La talla promedio producida es de 8-10 centímetros, equivalente a 100-120 gramos de peso individual.

La mayor producción en Chile se concentra en la III región, que representa el 50% del total y las regiones IV, V, y X contribuyen entre un 9% a un 20% cada una. En este contexto, Chile ha tenido un importante crecimiento en la última década, donde las exportaciones han crecido en un 302%, llegando el año 2014 a 1.130 toneladas (SERNAPESCA, 2014) con un precio de US\$ 25,4 por kilo (Flores-Aguilar, 2010). Por último Chile presenta desventaja en cuanto posicionamiento y penetración de mercados (TradeChile, 2003) resultando en un precio inferior a la media mundial (Fig. 9).

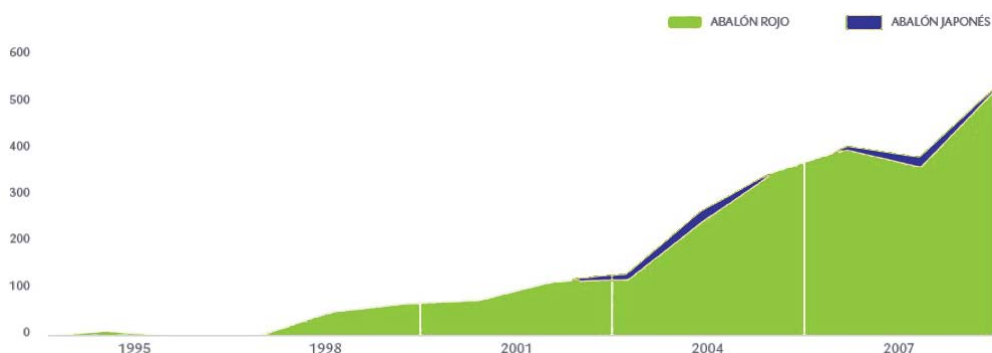


Figura. 8: Producción anual de la industria del abalón en Chile (toneladas).
Fuente: FAO (2008).

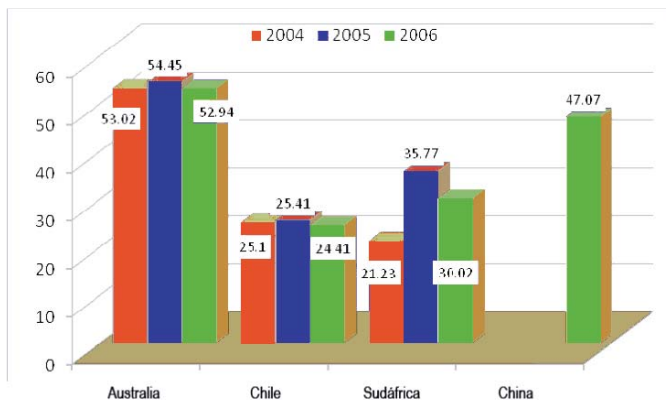


Figura. 9: Precios promedio CIF de Chile respecto a otros países para abalón rojo congelado. Fuente: ProChile (2007).

3.5.2 Mercados internacionales

- Australia

Es el principal proveedor de abalón silvestre en los mercados internacionales, alcanzando casi el 50% del suministro mundial. Sus capturas se estimaron en 4.525 toneladas en el año 2010 (FishTech, 2012) y para la acuicultura en 910 toneladas en el año 2013 (Cook, 2014). Las capturas ilegales se estimaron en 1.500 toneladas (FishTech, 2012). Las dos principales especies producidas son el abalónblacklip (*Haliotisruber*) y el greenlip(*Haliotislaevigata*). Sus precios se han incrementado en forma sostenida por ser uno de los más cotizados en el mercado asiático, alcanzando desde los USD 77,8/kg a USD 92/kg (www.tasmanianseafoods.com.au).

- Sudáfrica

Haliotismidaees la única especie producida en Sudáfrica, la cual es muy apreciada en Japón debido a que su carne gris se asemeja al del abalón japonés, con un precio que oscila entre los USD 30 a 40 el kilo. Las capturas legales de esta especie bordean las 128 toneladas en el año 2010 (FishTech, 2012), mientras que la explotación ilegal se estima que en el año 2010 alcanzó las 1.500 toneladas, en cambio, la producción acuícola se contabilizó en 1.116 toneladas (Cook, 2014).

- Japón

En Japón existen 4 especies endémicas que se utilizan con fines comerciales. Estas son: *Haliotisdiscushannai*, *Haliotisdiscusdiscus*, *Haliotismadakay* *Haliotis gigantea*, donde la primera es considerada la más importante en cuanto a niveles de captura y precio (TradeChile, 2003). Sus capturas se estimaron en 1.200 toneladas y 500 toneladas producidas en la acuicultura para el año 2008 (FishTech, 2012) y de origen ilegal se estimó en 536 toneladas para el año 2002 (Cook y Gordon, 2010), donde su producción satisface en la actualidad el 50% de su demanda interna (Araos, 2008).

Japón posee un sistema único de producción a diferencia de la producción intensiva de la mayoría de los países productores de abalón en el mundo. El proceso se inicia con la producción de semillas en laboratorios, para luego ser comercializadas a precios subsidiados por el estado a Cooperativas de Pescadores, los cuales siembran estas semillas en áreas de manejo hasta alcanzar la talla comercial, así mismo esta condición los hace dueño de este recurso (Hahn, 1989). A su vez Japón es uno de los principales consumidores de abalón en el mundo, preferentemente como producto vivo y fresco-refrigerado para recetas tradicionales asiáticas, en contraste a productos más elaborados (TradeChile, 2003), el cual junto a China y Hong Kong, constituyen más del 80% de la demanda mundial. Además es el país con mayor demanda de producto calidad “premium” en el mundo, existiendo tradiciones culturales tanto en el gusto y como en la preferencia de los consumidores, donde los factores como apariencia, sabor y textura son determinantes para otorgar el valor al producto (Oakesy Ponte, 1996).

- Hong Kong, Taiwan, Corea del sur y China

Hong Kong es uno de los principales centros de comercialización de abalón en el mundo, además de actuar como intermediario de China, incrementado su participación en el último tiempo (Oakesy Ponte, 1996). Las importaciones fluctúan en alrededor de las 2.700 toneladas para el año 2011 (Hoshino, 2013), abarcando una gran variedad de especies de acuerdo al país de origen y presentación, de las cuales destacan principalmente en conserva, fresco y congelado y en pequeñas proporciones como seco, proveniente de Japón.

Taiwán posee una producción aproximada de 200 toneladas actualmente (FishTech, 2012), las cuales han disminuido considerablemente desde las 2.500 toneladas producidas en el año 2000. Esto fue el resultado de la conjunción de dos bacterias (*vibrioparahaemolyticus* y *vibrioalginolyticus*) que infectan las semillas de abalón, lo que destruyó la producción en un 90% (www.internationalabalonesociety.org). Con esto la demanda interna es satisfecha principalmente por la importación proveniente de China el cual alcanza los 259 toneladas para el año 2009 (ProChile, 2010). La principal especie consumida y producida es el *H.*

diversicolorsupertexta, la cual se le considera un producto de baja calidad por su pequeño tamaño (ProChile, 2010).

Corea del sur posee una producción estimada en 9.300 toneladas para el año 2013, destinado el 85% a Japón (Cook, 2014). Este país ejerce una importante influencia sobre el mercado mundial debido a que mayoritariamente produce la especie *Haliotis discus hannai* que representa el producto de mayor precio y demanda en el mercado japonés (Cook y Gordon, 2010).

China es el mayor productor de abalón en el mundo, contando con más de 300 centros de cultivos y con una producción aproximada de 90.694 toneladas para el año 2013 (Cook, 2013). China produce principalmente la especie *H. DiversicolorSupertexta* considera de poca importancia, debido a su baja talla y rápido crecimiento con un precio de USD 17/kilo, equivalente a 16 a 20 individuos por kilo (Cook y Gordon, 2010).

China a su vez es uno de los mayores consumidores de abalón en el mundo, ya que posee la mayor población mundial y su consumo se asocia a salud y buena fortuna. Las especies importadas preferidas son el *Haliotis Ruber* y *Haliotis midae* (Cook y Gordon, 2010). Toda su producción es consumida internamente, dejando así mismo demanda insatisfecha (Cook y Gordon, 2010).

- América del Norte

Para Estados Unidos, el estado de California es responsable de la totalidad de la producción. La especie *Haliotis rufescens* constituye el 95% del total de la producción, (Haakeret *al.*, 2001), los cuales provienen en su totalidad de la acuicultura, ascendiendo a una producción de 250 toneladas para el año 2013 (Cook, 2014). Las exportaciones tienen como destino Japón, Taiwán, Hong Kong y Singapur. También, el mercado está compuesto por selectos y costosos restaurantes de California, los cuales utilizan el abalón fresco como sushi japonés (Oakes y Ponte, 1996).

Para México, las especies explotadas son el *H. cracherodi*, *H. rufescens*, *H. corrugata* y *H. fulgens*. Las especies *H. corrugata* y *H. fulgens* son utilizadas para producir concha de nácar para fines decorativos. Los principales destinos del abalón como alimento corresponde a Japón y Estados Unidos, siendo mayoritariamente como producto en conserva, congelado y seco y en pequeñas proporciones como producto fresco. La marca “Calmex” es una de las más apetecidas en el mundo liderando los precios y su calidad sirve de referencia dentro de los productos en conserva (TradeChile, 2003). Las capturas en el año 2008 alcanzaron las 715 toneladas y 53 toneladas para la acuicultura (FishTech, 2012).

3.6 Antecedentes metodológicos: definición y tipos de modelos

Un modelo es la representación del funcionamiento de un sistema real que incluye sólo los atributos relevantes, sean estos componentes e interacciones para un problema particular con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible (Spain, 1982; Grant, 1986; StarfieldyBleloch, 1986). Un sistema a su vez es definido como un conjunto de componentes (elementos o partes) que están vinculados para realizar una determinada función (Kitching, 1983; Grant, 1986). Estos vínculos o interacciones son conocidos como procesos de retroalimentación (Cuenco, 1989). La retroalimentación se define como el mecanismo que dentro de un proceso, la variable de entrada genera variaciones sobre las variables de salida, lo que a su vez efectúa modificaciones sobre la variable de entrada que originalmente suscitó estos cambios, definido como bucle (Hannony Ruth, 1994).

El objetivo de un modelo es responder una pregunta específica, ilustrar una teoría, evaluar un conjunto de posibles hipótesis o describir parte de un sistema (Kitching, 1983; Phillips, Ravindran ySolberg, 1976), orientando el juicio sobre la toma de decisiones en forma sistemática, explícita y eficiente (Cuenco, 1989). El uso de ellos es un enfoque interdisciplinario para la resolución de problemas que se caracteriza por la construcción, prueba y uso de modelos (Riggs, 1963; Spain 1982; Grant, 1986). Se trata de una herramienta para especificar, describir, organizar y comunicar el conocimiento acerca de los fenómenos complejos en términos precisos, claros y concisos (Cuenco, 1989). Además, es un interminable proceso de construir, revisar, comparar y analizar la variación de las variables en el tiempo, mejorando la comprensión de la realidad (Hannony Ruth, 1994).

Un modelo es representado por cuatro componentes: (i) variables externas, referido a funciones o variables que influyen el estado del modelo, las cuales permiten realizar predicciones de como cambiará el sistema, cuando estas son variadas (JørgensenyFath, 2011); (ii) variables de estado, definidas como las condiciones observables o mensurables del modelo, que proporcionan la base para su evaluación (Cuenco, 1989), es decir, sus valores son considerados como el resultado del modelo (Jørgensen *et al.*, 2011); (iii) ecuaciones matemáticas, que representan los procesos físicos, químicos y biológicos en el modelo, estableciendo las relaciones entre variables de estado y variables externas, como también entre variables de estado (Jørgensen *et al.*, 2011) y por último, (iv) los parámetros que corresponden a las constantes de las ecuaciones matemáticas (Jørgensen *et al.*, 2011).

Los modelos, a su vez, se pueden dividir en dos grandes grupos: (i) modelos cualitativos, que pueden consistir en una descripción verbal del comportamiento general de un sistema o en un diagrama, careciendo de la precisión y del rigor que un análisis o una evaluación amerita (Cuenco, 1989) y (ii) modelos cuantitativos, expresados como unidades de análisis, donde sus interrelaciones y dinámica se utilizan como propiedades susceptibles de medición (Börner,

Boyack, Milojevic y Morris, 2012), involucrando una o muchas ecuaciones que relacionan a varias variables mutuamente dependientes (Cuenco, 1989).

Un modelo cuantitativo se puede subdividir a su vez en dos grandes grupos: Iso-mórficos, donde todos los elementos del sistema real están incluidos en el modelo con una correspondencia de los procesos reales y ecuaciones que los describen y los Homo-mórficos que expresan la simplificación de un sistema real, los cuales están orientados a sistemas complejos como los eco-sistémicos (Gertsev, 2003). Los modelos homo-mórficos se distinguen en los siguientes subgrupos de modelos:

Deterministas: son aquellos en los que los parámetros presentan valores constantes, entregando el mismo resultado, de acuerdo con las mismas variables de entrada (Spain, 1982).

Estadísticos: son aquellos que se construyen mediante datos experimentales y técnicas estadísticas. Los datos de entrada y sus resultados son conocidos y su proceso es descrito como una caja negra (Piedrahita, 1988).

Estocásticos: son aquellos en los que los parámetros utilizan valores aleatorios (Cuenco, 1989), resultando en un espectro de posibles valores de salida (Gertsev, 2003).

Estáticos: son aquellos en los que los resultados son independientes del tiempo dentro del proceso, ilustrando un modelo en un instante de tiempo determinado (Cuenco, 1989).

Optimización: son aquellos en los que su función es encontrar el valor óptimo de una expresión matemática en virtud de un conjunto dado de restricciones (Cuenco, 1989).

Dinámicos: están en función del tiempo, por ejemplo la variación de la temperatura o las finanzas de una empresa en el tiempo. A su vez se subdividen en discretos o continuos. Los modelos discretos, las variables de estado cambian en puntos distintos en el tiempo, las cuales se expresan en números de enteros. Los modelos continuos son desarrollados por ecuaciones diferenciales (SAS/ETS, 1984), permitiendo ilustrar la variación de las variables en intervalos infinitesimales, expresando el comportamiento de una variable de forma continua (Cuenco, 1989).

- Del uso de la simulación dinámica de un modelo en tiempo continuo en la acuicultura.

La acuicultura es un complejo sistema estocástico que involucra una amplia diversidad de interacciones (peces, plancton, bentos, bacterias), conformando una dinámica ecosistémica que se caracteriza por muchos factores físico-químicos (temperatura, gases disueltos, pH) que varían en un espacio tridimensional y aun patrón tanto diario como estacional (Boyd, Romaine y Johnston, 1978). Además, se incluye variables de carácter impredecibles, como eventos estocásticos de baja de oxígeno, contaminación y enfermedades. Finalmente, a esto se suma

que cada individuo posee una composición genética única que se deriva de un mecanismo de herencia aleatorio (Cuenco, 1989).

Con el fin de analizar dichos sistemas en función de los objetivos planteados, es necesaria la simplificación de éste mediante el uso de modelos. Un modelo presenta tres funciones básicas: experimentación, predicción e investigación sobre sistemas (Spain, 1982). En este contexto, con el objeto de llevar a la práctica las citadas funciones, se hace necesaria la utilización de una herramienta analítica que otorgue un soporte de aplicación.

Esta es definida como una herramienta informática de simulación dinámica, que dentro de un marco interactivo, actúa como un soporte de decisión mediante interfaz gráfica para la simulación, análisis y evaluación de alternativas de diseño y estrategias de gestión para sistemas (Ernst, 2000) permitiendo a su vez identificar los procesos de retroalimentación en el curso temporal del modelo.

Esta herramienta es menos costosa que la experimentación física que toma meses o años, en vez de los segundos o minutos que toma una simulación (Cuenco, 1989). De igual forma, por razones prácticas o económicas, rara vez es posible experimentar con ciertos aspectos de complejos sistemas en su medio natural (Karplus, 1983). A su vez puede asumir una enorme carga de datos, como también una alta capacidad de resolución de cálculos, reduciendo así el tiempo de trabajo y análisis, en especial cuando múltiples cohortes de individuos y complejas interacciones de múltiples variables de retroalimentación positiva y negativa son consideradas (Cuenco, 1989). Resultado así en ser una flexible herramienta para diversos sistemas de acuicultura y escenarios de producción (Ernst, 2000).

Por último, con el fin de simular un proyecto como un proceso del mundo real, este debe ser tratado como un modelo de tiempo-dependencia (discreto y continuo) (Glass y Xia, 2003). Los modelos en tiempo continuo a diferencia de los discretos permiten captar completamente la dinámica del curso de las variables de estado en el tiempo, ya que dichas interacciones proceden en tiempo continuo (Glass y Xia, 2003). Así mismo estos modelos han demostrado un alto éxito en reproducir el comportamiento dinámico de modelos biológicos (Glass y Xia, 2003).

4. METODOLOGIA

4.1 Escenarios propuestos

La construcción del modelo, se basa en simular una empresa productora de *Haliotis rufescens*, ubicado en el sector de Huenao, comuna de Curaco de Vélez, Isla de Quinchao, perteneciente a la Provincia de Chiloé, Décima Región de Los Lagos (Fig. 10), el cual es definido como el escenario base.

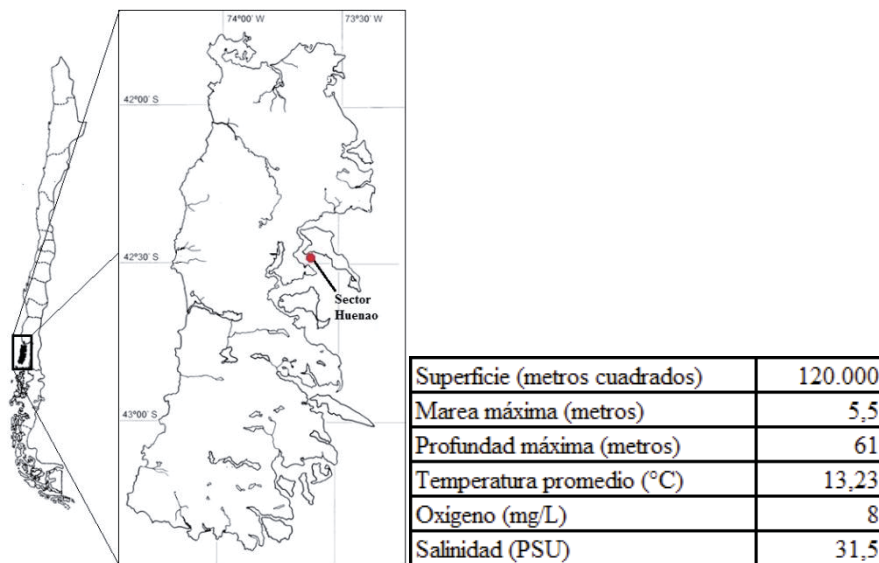


Figura. 10: Ubicación sector Huenao, isla de Chiloe y datos físicos del centro productivo (ANEXO V). Fuente: Elaborado en base a datos de campo y declaración de impacto ambiental: Cultivos Australes S.A. (2010) y Cultivos Marinos del Pacifico S.A. (2010).

A este escenario base se integra un conjunto de escenarios alternativos que buscan reflejar las condiciones de cultivo asociadas a la zona sur y norte de Chile a tres estrategias de cosecha que están en función de las tallas comúnmente comercializadas en la industria (TradeChile, 2003). Esto tiene como objeto evaluar el comportamiento económico de extender o reducir el ciclo productivo, lo que permite contrastar la posibilidad de tener individuos de mayor o menor peso, frente a mayores o menores costos de producción asociados a una mayor o menor duración del ciclo productivo, dadas las condiciones ambientales en que se producen. Estos son representados en la siguiente tabla:

Tabla1: Estrategias y escenarios propuestos.

	Zona Sur (Ancud)	Zona Norte (Caldera)
Estrategia 1 (90 mm)	Escenario Base	Escenario 1
Estrategia 2 (80 mm)	Escenario 2	No hay
Estrategia 3 (100 mm)	Escenario 3	Escenario 4

4.2 Plataforma de construcción y simulación

El modelo a construir será desarrollado en el software simulación STELLA® versión 8.0, que proporciona un marco de referencia y una interfaz gráfica para la observación (diagramas relacionales de Forrester y gráficos en tiempo continuo) e interacción cuantitativa (ecuaciones diferenciales) de las variables de un sistema en lugar de simplemente la codificación de la conducta observada (Cervantes, Chiappa y Simoes, 2007). El software a su vez permite la aplicación de “ARRAYS”, matrices unidimensionales o bidimensionales, que ejecutan el mismo modelo uno sobre otro con un DELAY pre-establecido, permitiendo simular el ingreso de lotes en forma continua. El sistema modelado es representado a través de cuatro elementos de construcción: stock, flujo, conector y convertidor (Fig. 11), los cuales son descritos en Cervantes *et al*(2007), como:

Stock: representa cualquier cosa que acumula o consume recursos, así mismo puede estar sujeta a una extensión de tiempo, permitiendo simular el comportamiento de ciertas variables en una etapa de un proceso productivo.

Flujo: es la tasa de cambio de un stock. Permite acumular o agotar un stock.

Convertidor: se utiliza para tomar datos de entrada y manipularlos para convertir esa entrada en alguna señal de salida, por ejemplo el área y números de jaulas, talla promedio o la duración de la etapa. Sirven para ingresar parámetros y/o constantes, además de realizar operaciones aritméticas (Zúñiga, 2009).

Conector: es una flecha que permite a la información pasar entre: convertidores, stocks y flujos. Un conector cuya dirección va de un convertidor 1 a un convertidor 2 significa que el convertidor 2 está en función del convertidor 1.

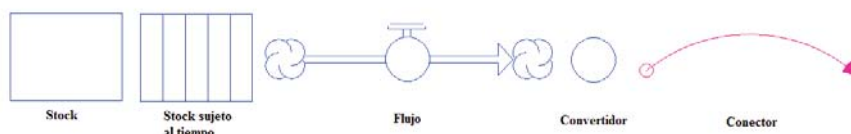


Figura. 11: Elementos de construcción básicos de Stella.

4.3 Elaboración de un modelo dinámico

La elaboración de un modelo es un proceso iterativo llamado bucle de la investigación clásica (Fig. 12). Esta se divide en las siguientes etapas:

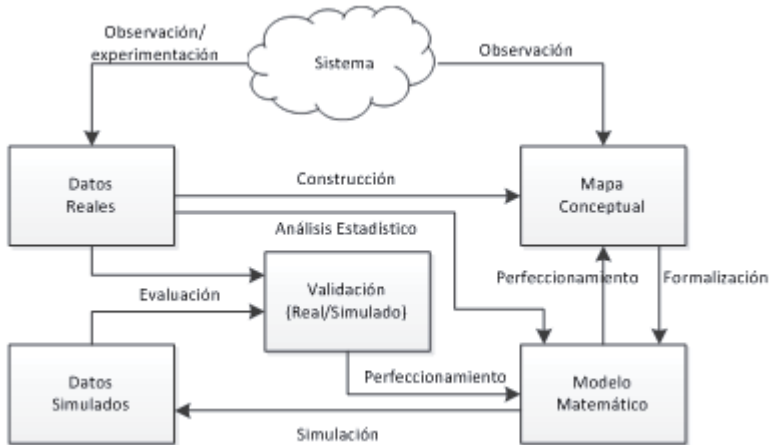


Figura. 12: Bucle de la investigación clásica. Fuente: Cuenco (1989).

a) Observación:

Se basa en la recolección de los datos físicos, biológicos, económicos y procesos de gestión utilizados para representar a la empresa modelo. Esto se expresa a continuación:

Datos físicos: corresponde al patrón mensual de la temperatura superficial del mar de las dos zonas de cultivo a evaluar (ANEXO I, Tabla 33) y la hectárea disponible del centro de cultivo.

Datos biológicos, estos son definidos a continuación:

- Tasa de crecimiento: corresponde a la obtención de los parámetros modificados de la curva de crecimiento de Von Bertalanffy para el *Halotisrufescens* según la temperatura de cultivo de acuerdo con los resultados obtenidos en Pérez (2010).
- Mortalidad: la fuente se basa en los datos de campo de la empresa modelo según la etapa de cultivo en que se encuentra cada cohorte (ANEXO I, Tabla 15).
- Rezago: incluye el porcentaje de individuos que no cumplen con la talla requerida al desdoble o cosecha y la extensión del ciclo para lograr dicha talla, ambos son datos de campo de la empresa modelo (ANEXO I, Tabla 16).

- Alimentación: corresponde al porcentaje peso-cuerpo utilizado en la empresa modelo de acuerdo con la temperatura de cultivo (ANEXO I, Tabla 14).
- Talla cosecha: es expresado como tres tallas comúnmente comercializadas en la industria nacional (TradeChile, 2003).

Datos económicos, estos son definidos a continuación:

- Costos Variables: Son todos los costos variables que no forman parte del producto terminado pero que contribuyen a su formación. Se basan en datos de campo de la empresa modelo, fuentes bibliográficas y cotizaciones propias del autor (ANEXO I, Tabla 22, Tabla 24, Tabla 25, Tabla 26 y Tabla 27).
- Costo materia prima: corresponde a los costos que forman parte del producto terminado (semillas), correspondiente a datos de campo de la empresa modelo (ANEXO I, Tabla 21).
- Costos fijos (directos e indirectos): son los costos que no están sujetos a la variación de la producción. Se basan en datos de campo de la empresa modelo, fuentes bibliográficas y cotizaciones propias del autor (ANEXO I, Tabla 23 y Tabla 28).
- Depreciación: es la pérdida del valor de un bien tangible sea directo o indirecto por el uso y goce de este. Está en función del costo del bien y su vida útil según SII (www.sii.cl).
- Otros costos: corresponden a costos difíciles de prever, algunos se realizan al inicio del proyecto y otros son de carácter anual. Se basan en fuentes bibliográficas (ANEXO I, Tabla 29 y Tabla 30).
- Ingresos: son los datos necesarios que determinan los ingresos de la empresa, estos son: el precio de venta, la talla a cosechar y la conversión del dólar a moneda local, sus fuentes son definidas como datos de campo de la empresa modelo y estadísticas del banco central. Además, están conformados por el valor residual de los bienes y por la venta de las conchas, de estos son necesarios el precio por kilo de concha y la conversión longitud a peso de concha, ambos datos de la empresa modelo (ANEXO I, Tabla 31).
- Indicadores económicos: corresponde a los datos necesarios para transformar a valor presente el valor económico de la actividad para su correspondiente análisis, su fuente se basa en datos del banco central de Chile (ANEXO I, Tabla 31).

Procesos de gestión: corresponden a los datos provienen de la empresa modelo al basarse en la evaluación de un sistema real. Estos se describen a continuación:

- Metodología de cultivo: corresponde a la duración de cada etapa, estrategia de siembra (distribución temporal y número a sembrar), metodología de inventario, distribución de funciones de la mano de obra y tipo de unidades según etapa de cultivo (ANEXO I, Tabla 13 y Tabla 14).
- Requerimiento de factores productivos: corresponde a los datos necesarios para efectuar el dimensionamiento del centro productivo, como lo son el porcentaje de ocupación ideal en metros cuadrados y la relación ancho-longitud de la concha, lo que determinaran a su vez la densidad de cultivo y soporte de unidades por línea, capacidad de mantención de líneas por mano de obra y líneas por embarcación o balsas (ANEXO I, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20).
- Empaque y producto terminado: corresponden a los datos necesarios para la determinación de empaques para transporte y producto terminado, como también, la densidad de envío y los rendimientos del producto terminado (ANEXO I, Tabla 32).

b) Formalización:

La creación y formalización del modelo se subdivide en tres etapas: Diagrama de bucle causal, diagrama de Forrester y sistema de ecuaciones. Estos se describen a continuación:

Diagrama de bucle causal:

Antes de estipular las relaciones algebraicas, es necesario la creación de un modelo conceptual, que permita facilitar la organización de la información y la comprensión de las relaciones inter-específicas de los elementos del modelo. Además de ayudar en el razonamiento del comportamiento del modelo. Este es descrito como un diagrama de bucle causal, definido como un mapa sencillo de un sistema con todos sus componentes constitutivos y sus interacciones (elementos y flechas). Al capturar las interacciones y por consiguiente, los circuitos de retroalimentación (positivos y negativos), permite exponer la estructura de un sistema. Si un elemento afecta con un flujo incremental a otro elemento, la relación entre ambos es positiva (+) e inversamente, la relación es negativa (-) si un elemento afecta con flujo decreciente a otro elemento (Hannony Ruth, 1994), donde estas relaciones pueden ser descritas como retroalimentación positiva y negativa respectivamente. Las flechas ilustran los procesos de acuerdo a las ecuaciones matemáticas (Jørgensen *et al.*, 2011).

Diagrama de Forrester:

Los elementos del diagrama de bucle causal son representados mediante diagramas

relacionales de Forrester (1961), el cual constituye una interfaz con el modelamiento de sistemas en el software STELLA®, en base a este diagrama se escriben las ecuaciones, que se procesaran en el ordenador para obtener el comportamiento del sistema, este se representa mediante 3 variables (Fig. 13):

Variables de estado: se definen como magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado. Estas cambian en respuesta a las variaciones de las variables de flujo (Hannony Ruth, 1994), determinando la situación en la que se encuentra el modelo.

Variables de flujo: representa los elementos que efectúan cambios en las variables de estado. A medida que el modelo avanza en el tiempo, las variables de flujo actualizan las variables de estado en cada intervalo infinitesimal (Hannony Ruth, 1994).

Variables auxiliares: representan los pasos en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles del sistema. Unen los canales de información entre variables de nivel y de flujo.

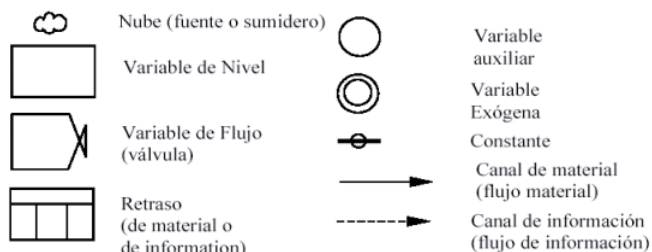


Figura. 13: Símbolos del diagrama de Forrester para la representación de un sistema. Fuente: modificado de Cuenco (1989).

La representación gráfica del modelo desarrollado mediante los diagramas relacionales de Forrester (1961) son representados en ANEXO I.

Sistema de ecuaciones diferenciales:

Es necesario una descripción más precisa del modelo, que permita validarlo y evaluarlo (Cuenco, 1989). Para esto se debe materializar hacia un análisis cuantitativo más detallado. Uno de los principios del modelamiento es que una ecuación matemática sirve como un modelo de un proceso biológico (Spain, 1982). Este proceso a su vez puede ser expresado gráficamente, representando el comportamiento de un sistema biológico (Cuenco, 1989). En este caso se estipulan las relaciones algebraicas que determinan las variables de estado, flujos de información y acumulación de stock, se asigna valores numéricos a los parámetros y especifica las condiciones iniciales del modelo (en primera instancia información empírica o suposiciones razonables). En modelos dinámicos, estas variables cambian con el tiempo y la tasa de cambio está en función de otras variables involucradas en el modelo, descrito mediante

ecuaciones diferenciales. La variación en el tiempo t es representada por la derivada, correspondiente a la diferencia del valor de la variable retrasada ($t - 1$) y el valor de la variable en el tiempo t (presente) dividido por DT (Delta Time) (Hannony Ruth, 1994).

c) Simulación:

Corresponde al resultado de la resolución de las ecuaciones montadas en el software, el cual a su vez permite analizar los resultados y las posibles violaciones económicas, biológicas y de ingeniería (Hannony Ruth, 1994). El horizonte de tiempo en el cual se analiza dichas ecuaciones corresponde a 15 años equivalente a 780 semanas con un DT (Delta time) igual a 1, el cual quiere decir, que en cada unidad de tiempo se procede al cálculo de las ecuaciones matemáticas simulando a su vez la operación semanal del centro de cultivo.

d) Validación:

Se representa como la capacidad del modelo en proyectar e interpretar correctamente las variables simuladas respecto al sistema real. Las discrepancias generadas pueden indicar errores en las relaciones algebraicas y/o supuestos en el modelo, como también fallas en el modelo conceptual (Cuenco, 1989), lo que obliga a una revisión y eventuales modificaciones en el modelo, contribuyendo así en el mejoramiento de la comprensión del comportamiento sistema real (Hannony Ruth, 1994). Un modelo validado, permite realizar predicciones confiables sobre la consecuencia de distintas estrategias de gestión (Cuenco, 1989).

e) Evaluación del modelo:

Se aplica un set de pruebas con el fin de observar el valor del factor riesgo (Sapag, 1983) a los resultados pronosticados ante cambios en las hipótesis, condiciones iniciales y parámetros. Su importancia radica en que manifiesta cuanto los valores de las variables de importancia en el proyecto puedan tener desviaciones con efectos importantes sobre el análisis económico del proyecto (Sapag, 1983). Un modelo dinámico no es válido si carece de este análisis.

4.4 Evaluación económica

La necesidad de evaluar proyectos, se basa en la decisión de aceptar o rechazar un proyecto específico o el ordenamiento de varios proyectos con racionamiento (Sapag, 1983). Esto es efectuado por indicadores económicos, los cuales miden el comportamiento del valor

económico de la actividad (Molina, 2010), resultando en una herramienta para la toma de decisiones bajo un sustento razonable.

4.4.1 Indicadores económicos propuestos

Se seleccionan 3 indicadores económicos: VPN, RBC y PI. El indicador VPN, es uno de los indicadores económicos más aceptados en la evaluación de proyectos (Sapag, 1983), el cual presenta el beneficio de evaluar dos o más proyectos a valor presente mediante la sumatoria de los flujos efectivos futuros que genera un proyecto en cada intervalo de tiempo y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Si este es positivo, representa el excedente monetario después de haber recuperado todos los costos que se tuvieron que desembolsar para llevar a cabo el proyecto incluyendo la tasa de interés y la amortización (Sapag, 1983). Este es representado matemáticamente (Sapag, 1983) a continuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Bn_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (4.4.1.1)$$

Dónde:

VPN : Valor presente neto.

n : Longitud temporal del proyecto.

Bn_t : Beneficio neto del flujo en el periodo t .

i : Tasa de descuento.

I_0 : Inversión inicial del proyecto.

Luego el indicador económico RBC es seleccionado para observar en valor presente la relación entre los ingresos y todos los costos desembolsados para llevar a cabo la actividad mediante el cociente de ambos. Un índice mayor a 1 indica que el proyecto reporta beneficios en el tiempo (Molina, 2010). Este es representado matemáticamente (Sapag, 1983) a continuación:

$$RBC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} + I_0} \quad (4.4.1.2)$$

Dónde:

RBC: Razón beneficio-costos.

Y_t : Flujo de ingresos en el periodo t .

E_t : Flujo de egresos en el periodo t .

Por último, el indicador económico PI permite observar la valorización de la inversión en valor presente, a través de cuantificar el valor creado por unidad de inversión. El requisito de aceptación se basa si el índice es mayor a 1. Este es expresado matemáticamente (Gurau, 2012) como:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Bm_t}{(1+i)^t}}{I_0} \quad (4.4.1.3)$$

Dónde:

PI: Índice de la rentabilidad de la inversión.

4.4.2 Tasa de descuento

Para poder calcular los indicadores económicos anteriormente descritos es necesario el cálculo de la tasa de descuento, la cual es definida como la rentabilidad mínima exigida al proyecto tomando en consideración el riesgo, permitiendo solventar todos los costos que se tuvieron que desembolsar para llevarlo a cabo (Sapag, 1983). La tasa de descuento permite en definitiva actualizar los flujos económicos a valor presente.

En el presente proyecto al ser llevado a cabo bajo recursos propios, este debe ser calculado mediante la metodología del modelo de Valoración de Activos de Capital, donde la rentabilidad del inversionista es afectada exclusivamente por el riesgo del mercado. El cual toma en cuenta la sensibilidad del activo al riesgo no-diversificable (β), el retorno esperado del mercado y el retorno esperado de un activo teóricamente libre de riesgo. Este es representado matemáticamente (Sapag, 1983) a continuación:

$$E(Rs) = Rf + \beta[E(Rm) + Rf] \quad (4.4.2.1)$$

Dónde:

$E(.)$: Valor esperado de una variable aleatoria.

(Rs) : Rentabilidad esperada de una inversión.

Rf : Tasa libre de riesgo.

β : Medida de riesgo sistemático.

$E(Rm)$: Rentabilidad esperada del mercado.

Rf : Rentabilidad libre de riesgo.

5. RESULTADOS

5.1 Modelo conceptual matemático

Sea materia prima las semillas a sembrar, se entenderá que a mayor cantidad de semillas sembradas, la población de individuos presentes en el modelo se incrementara. Estos individuos se verán afectados de forma negativa por el aumento de la mortalidad y a su vez, mientras exista un mayor número de individuos, mayor serán los extraídos por dicha mortalidad (ciclo naranja). De igual forma, el número de individuos cosechados disminuirá el número de individuos del i -ésimo lote e inversamente, mientras más sea el número de individuos de una cohorte, mayor será el número de individuos cosechados (ciclo lila).

Sean los factores productivos de capital, humano y tierra (inversión física, mano de obra y área de cultivo respectivamente) los recursos necesarios para la formación del producto susceptible de ser comercializado. A medida que aumente la población total en el tiempo a través del ingreso constante de los lotes, dará como resultado, un incremento en los requerimientos de los factores productivos. Análogamente, si al modelo se le permite escalar su capacidad productiva a través del aumento de estos factores productivos, de forma proporcional permitirá mantener una mayor cantidad de individuos en el sistema (ciclo rosa).

La temperatura de cultivo como una variable externa influencia de forma positiva la tasa de crecimiento, debido a que los parámetros que regulan esta tasa están en función de dicha variable. Si la talla promedio es mayor, la tasa de crecimiento se reducirá debido al comportamiento asintótico de la curva de crecimiento del *Haliotisrufescense* inversamente, si la tasa de crecimiento aumenta, mayor será la talla promedio dando como resultado una reducción en la duración del ciclo productivo (ciclo verde). A medida que la talla promedio se incrementa, la densidad de cultivo se irá reduciendo progresivamente en el tiempo, lo que dará eventualmente una mayor demanda de factores productivos. Para la talla inicial de siembra definido como una variable externa, afectará de forma positiva la talla promedio, a su vez mientras mayor sea la talla en cada instante de tiempo, mayor será la talla que se pudiese obtener al momento de la cosecha. Si la talla cosechada se incrementa, la conversión al peso individual de cosecha aumentara exponencialmente debido a la relación entre ambas variables, resultando eventualmente en una mayor biomasa a cosechada.

Si la duración del ciclo productivo se extiende, la talla de una cohorte de individuos en una determinada etapa se incrementara. Así mismo si aumenta la talla promedio, menor será el tiempo restante para finalizar el ciclo productivo e inversamente, mientras más sea el tiempo restante, el ciclo productivo extenderá más su duración (ciclo café). La variable decisional externa de la talla a cosechar, afectara de forma positiva la duración del ciclo productivo y la talla instantánea de estos individuos, dando como resultado, mayores costos asociados al sistema productivo.

Si el número de individuos a ser cosechados aumenta, dará como resultado una mayor biomasa cosechada y en conjunto con el precio de venta del producto terminado establecen una relación positiva sobre las utilidades, así mismo, los factores productivos que son susceptibles de ser desechados y comercializados a su valor residual efectuaran otro aporte positivo sobre las utilidades (ciclo celeste), a su vez, en el transcurso de operación del ciclo productivo se incurrieron en una serie de costos determinados por el uso de factores productivos y materia prima, los cuales establecen una relación negativa sobre las utilidades (ciclo rojo), luego ambos ciclos comparten el curso de acción para el uso de dichas utilidades, las cuales permiten para el siguiente periodo de siembra, la adquisición de la materia prima, factores productivos de carácter laboral y de capital y otros costos de carácter periódico con la eventual generación de los costos e ingresos correspondientes (ciclo azul). Por último, los indicadores económicos que representan el comportamiento económico de la actividad, se verán beneficiados si se incrementa la utilidad neta al final de la vida del proyecto e inversamente, se verán reducidos si la tasa de descuento con que serán analizados aumenta.

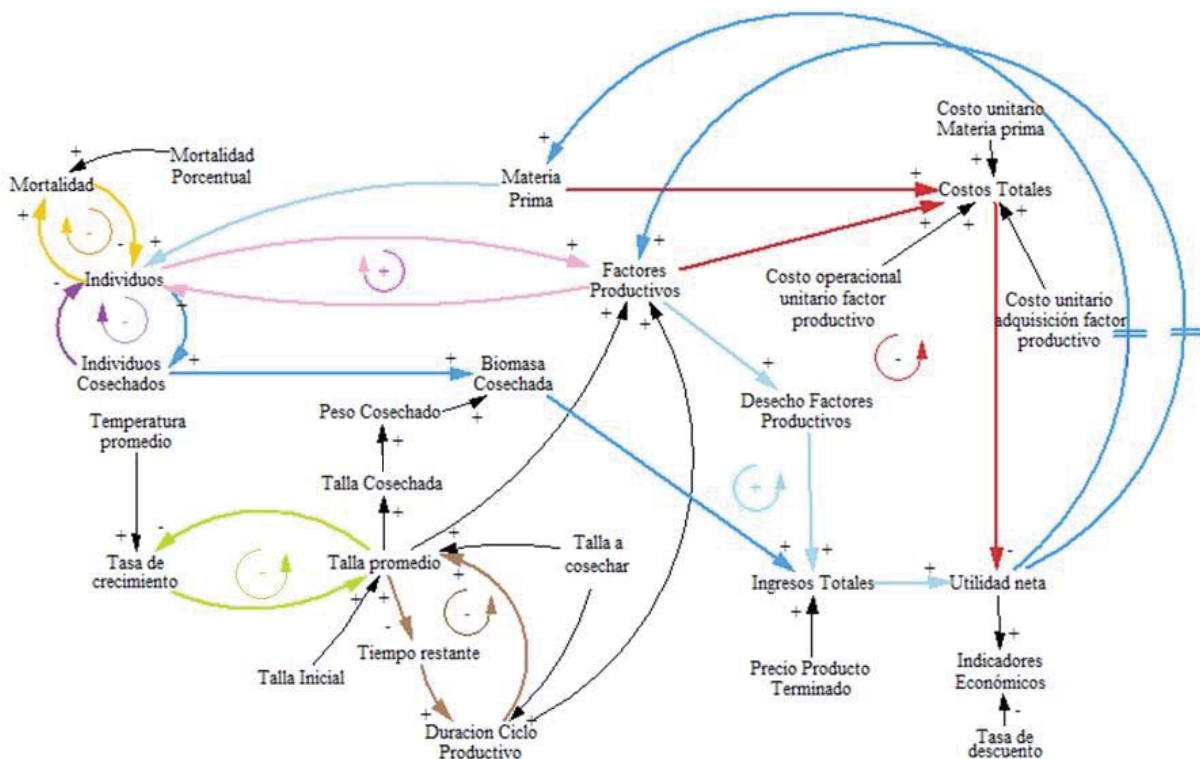


Figura. 14: Diagrama de bucle causal de un cultivo de engorda del *Halotisrufescens*.

5.2 Modelo matemático

Las ecuaciones diferenciales son el resultado de un modelo integrado en el marco de la simulación dinámica de acuerdo con lo obtenido de los diagramas relaciones de Forrester (Ver ANEXO I) según el régimen productivo de la empresa modelo, más la integración de la tasa de crecimiento según la temperatura de cultivo (Pérez, 2010), metodología tecnológica (Araos, 2008; Molina, 2010), modelo de producción (Zúñiga, 2009; Pérez, 2012) y comportamiento económico (Sapag, 1983; Molina, 2010). El desarrollo matemático se expresa a continuación:

5.2.1 Dinámica de poblaciones

La dinámica del centro de cultivo, se basa en un ingreso mensual y constante de cierta cantidad de individuos, definido como un lote. Esto implica que sean doce lotes los sembrados por año (Fig. 15), que por acomodación se considera que ingresan a la primera semana de cada mes. Matemáticamente se expresa como:

$$Y_i(t) = \begin{cases} 0; sit \neq I_i(t) \\ T_i(t); sit = I_i(t) \end{cases} \quad (5.2.1.1)$$

$$D_f: \{Y_i(t)/Y_i(t) \in \mathbb{N} \wedge Y_i(t) > 0\}$$

$$D_f: \{I_i(t)/I_i(t) \in \mathbb{N}\}$$

Dónde:

$Y_i(t)$: Cantidad de semillas sembradas del i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

$I_i(t)$: Semana de siembra para el i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

$T_i(t)$: Semillas sembradas al i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

i : Índice de referencia del i-ésimo lote; dado $i = \{1, 2, \dots, 196\}$.

t : Tiempo expresado en semanas; dado $t = \{0, 1, \dots, 780\}$.

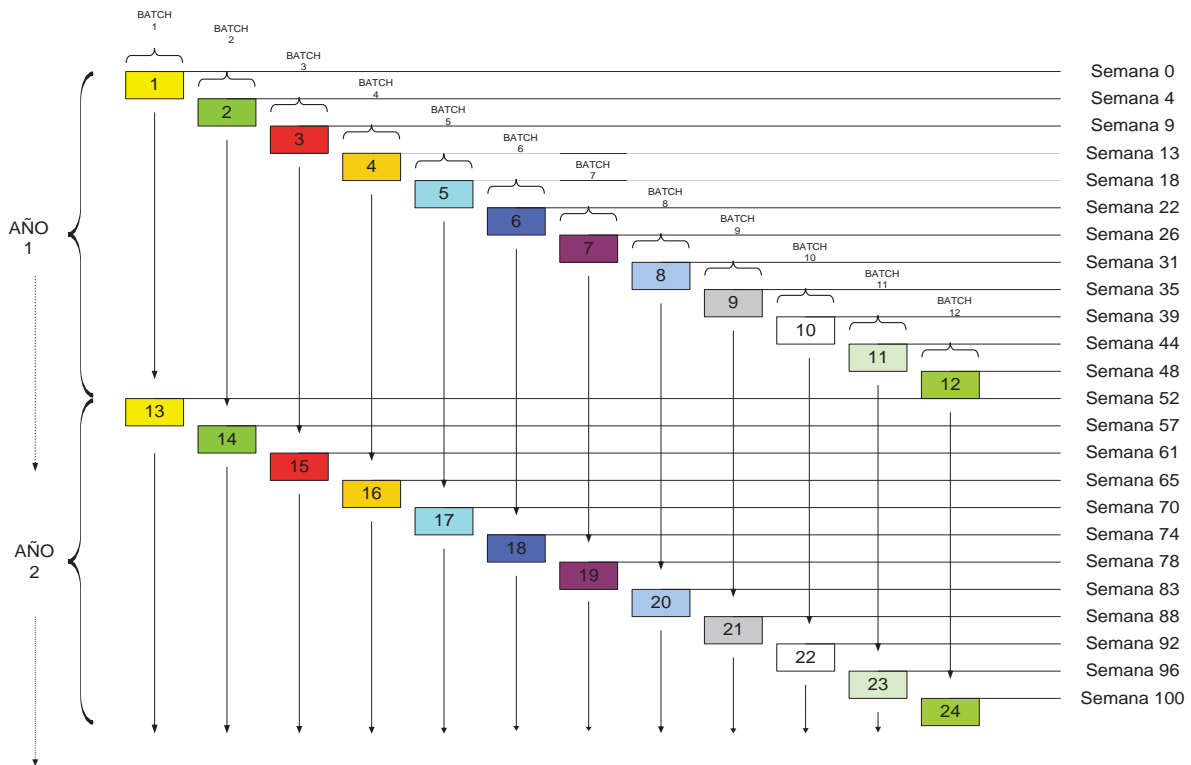


Figura. 15: Ingreso de los i -ésimo lote en el horizonte de vida del proyecto.

La expresión de la distribución temporal del ingreso de cada lote, se expresa continuación:

$$I_i(t) = \begin{cases} 0; & \text{sit} \neq e \\ \text{Semana}(t); & \text{sit} = e \end{cases} \quad (5.2.1.2)$$

Dónde:

e : Índice de referencia a expresar el número de semanas acumuladas, representado por una progresión aritmética con distancia 4; donde $e = \{0,4,8, \dots, 780\}$.

Cada lote que ingresa al ciclo de cultivo deberá permanecer 3 meses en una jaula de acopio, con el fin de adaptarse a un sistema suspendido en mar. Luego son trasladadas a linternas, sin la necesidad de calibrar por tallas, debido a que aún mantienen la uniformidad del calibre. Una vez alcanzado el año, son desdoblados formando 2 etapas, uno de crecimiento normal y otro de individuos rezagados. Por lo tanto, en este punto se han generado 4 etapas:

- Etapa 1: Semillas sembradas en jaula de acopio hasta los 3 meses.
- Etapa 2: Individuos mantenidos en linternas hasta cumplir el año.
- Etapa 3: Individuos de crecimiento normal proveniente del primer desdoble.
- Etapa 4: individuos rezagados provenientes del primer desdoble.

Luego las nuevas etapas 3 y 4, permanecen en jaulas de engorda, por un año para la etapa 3 y un 1 año y 2 meses para individuos rezagados de la etapa 4, para luego volver a ser desdoblados. En este punto se generan 4 nuevas etapas:

- Etapa 5: Individuos de crecimiento normal que permanecen 1 año en jaula proveniente de la etapa 3.
- Etapa 6: Individuos rezagados que permanecen 1 año en jaula de engorda y que deben permanecer 2 meses más en el centro de cultivo, provenientes de la etapa 3.
- Etapa 7: individuos de crecimiento normal que permanecen 1 año en jaula de engorda provenientes de la etapa 4.
- Etapa 8: individuos rezagados que permanecen 1 año en jaula de engorda y que deben permanecer 2 meses más en el centro de cultivo, provenientes dela etapa 4.

Una vez de transcurrido el tiempo necesario para efectuar la primera cosecha. Se procede al tercer desdoble, en este punto se presenta un grupo que cumple con la talla mínima de cosecha y un grupo de rezagados, debiendo permanecer 2 meses más. Con esto se genera 4 etapas nuevas (rezagados de las etapas 5, 6, 7 y 8). La expresión genérica y el diagrama de la dinámica de un lote (Fig. 16),se expresan a continuación:

Valor	Etapa	Duración (semanas)
1	<i>Semillas en Acopio</i> <i>Individuos en linternas</i> <i>Individuos de crecimiento normal en Jaula</i> <i>Individuos rezagados en Jaula</i> <i>Individuos de crecimiento normal en Jaula 2</i> <i>Individuos rezagados en Jaula 2</i> <i>Individuos de crecimiento normal en Jaula 3</i> <i>Individuos rezagados en Jaula 3</i> <i>Individuos rezagados para cosecha</i> <i>Individuos rezagados para cosecha 2</i> <i>Individuos rezagados para cosecha 3</i> <i>Individuos rezagados para cosecha 4</i>	12
2		40
3		52
4		60
5		58
6		66
7		58
8		66
9		2
10		2
11		2
12		2

(6.2.1.3)

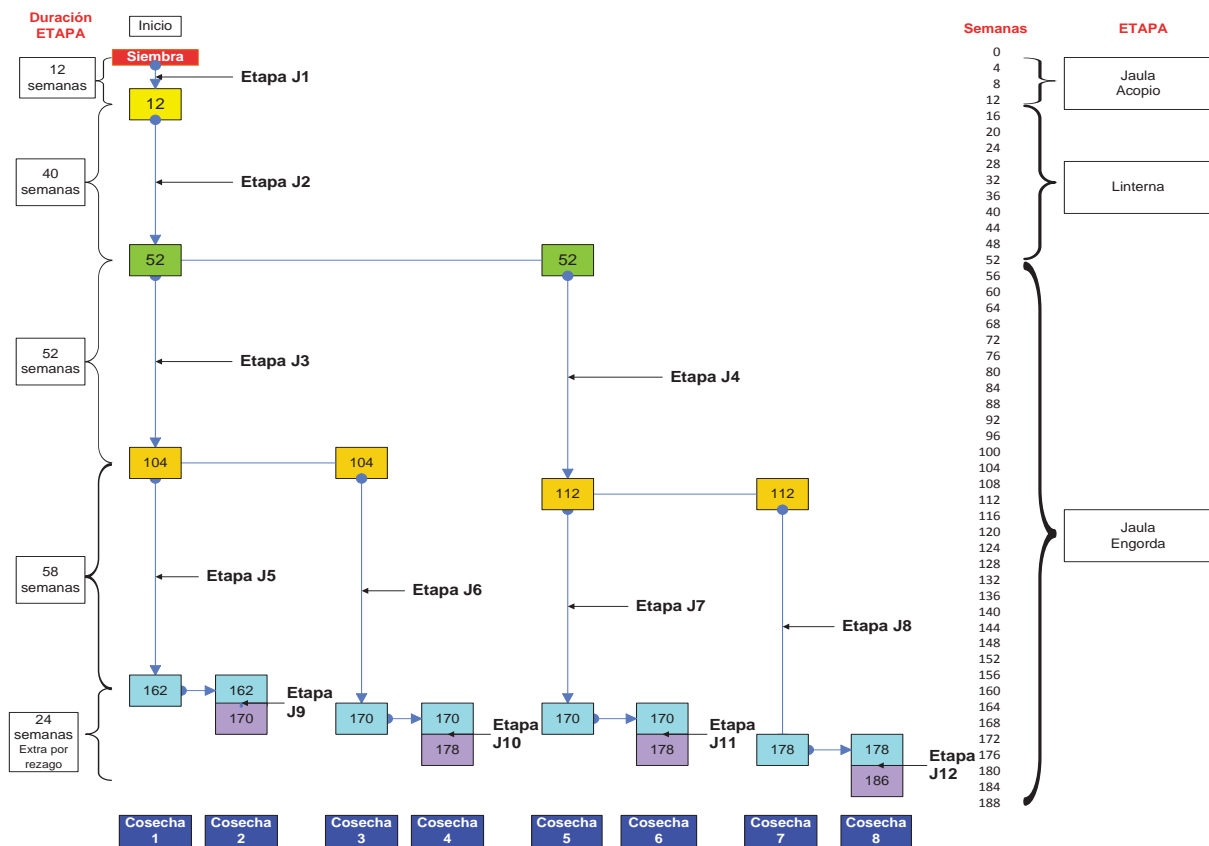


Figura. 16: Plan de producción del i-ésimo lote.

Matemáticamente la dinámica de poblaciones se expresa como:

$$NT(t) = \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} \vartheta_{ij}(t) \quad (5.2.1.4)$$

Dónde:

$NT(t)$: Número total de individuos presentes en el cultivo en el instante de tiempo t .

$\vartheta_{ij}(t)$: Cantidad de individuos en el i -ésimo lote a la j -ésima etapa en el instante de tiempo t .

La mortalidad es represando porel número de individuos multiplicado por la tasa de mortalidad permitiendo calcular el número de individuos que serán extraídos del ciclo productivo sin cosechar, esto se describe a continuación:

$$M_{ij}(t) = \vartheta_{ij}(t) * MP_j(t) \quad (5.2.1.5)$$

$$D_f: \{M_{ij}(t)/M_{ij}(t) \in \mathbb{N}\}$$

Dónde:

$M_{ij}(t)$: Mortalidad del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$MP_j(t)$: Tasa de mortalidad porcentual semanal de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

Nota: Por mantención continua de las cohortes de individuos, se extrae semanalmente las mortalidades y no al final del periodo de desdoble o cosecha.

El número de individuos presentes en una determinada etapa, es representado por un flujo positivo proveniente de la siembra y los individuos de la etapa anterior y por un flujo negativo determinado por la mortalidad, los individuos que abandonan la j-ésima etapa y los individuos que son cosechados. La ecuación 5.2.1.6 presenta la formulación matemática de esto como una modificación de Molina, Cerda, González y Hurtado(2012) en función de la duración temporal de cada etapa:

$$\frac{d[\vartheta_{ij}(t)]}{dt} = \left\{ \begin{array}{l} Y_i(t) - Nf_{ij}(t) - M_j(t); \forall \{j = 1\} \\ Ni_{ij}(t) - Nf_{ij}(t) - M_j(t); \forall \{2 \leq j \leq 4\} \\ Ni_{ij}(t) - Nf_{ij}(t) - M_j - H_{ij}(t); \forall \{5 \leq j \leq 8\} \\ Ni_{ij}(t) - M_j - H_{ij}(t); \forall \{9 \leq j \leq 12\} \end{array} \right\} \quad (5.2.1.6)$$

Dónde:

$Nf_{ij}(t)$: Individuos transferidos por desdoble a la siguiente etapa del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$Ni_{ij}(t)$: Individuos que entran a la siguiente etapa por desdoble del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$H_{ij}(t)$: Individuos cosechados del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

En todo sistema de acuicultura se tiene cohortes de individuos con un crecimiento heterogéneo en mayor o menor medida. Este fenómeno afecta en que el individuo deba permanecer más tiempo de lo necesario en el cultivo, conllevando todos los costos y funciones operacionales extras acordes al régimen productivo. Esto se describe a continuación:

$$Nf_{ij}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; si t < t_j \\ R_{ij}(t) + IP_{ij}(t); si t = t_j \end{array} \right\} \forall \{2 \leq j \leq 8\} \quad (5.2.1.7)$$

$$D_f: \{Nf_{ij}(t)/Nf_{ij}(t) \in \mathbb{N}\}$$

$$IP_{ij}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; t < t_j \\ \vartheta_{ij}(t) * (1 - Pr_j); si t = t_j \end{array} \right\} \forall \{2 \leq j \leq 8\} \quad (5.2.1.8)$$

$$R_{ij}(t) = \begin{cases} 0; & t < t_j \\ \vartheta_{ij}(t) * Pr_j; & \text{si } t = t_j \end{cases} \forall \{2 \leq J \leq 8\} \quad (5.2.1.9)$$

Dónde:

$IP_{ij}(t)$: Individuos sin rezago del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t

$R_{ij}(t)$: Individuos rezagados del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t

Pr_j : Proporción de rezagados de la j-ésima etapa en el instante del desdoble o cosecha.

Los individuos que son recibidos de la etapa anterior, se representa de la siguiente manera:

$$Ni_{ij}(t) = \begin{cases} 0; & \text{si } t \leq t_j \\ R_{(ij+1)}(t) + IP_{(ij+1)}(t); & \text{si } t > t_j \end{cases} \forall \{2 \leq J \leq 12\} \quad (5.2.1.10)$$

$D_f: \{Ni_{ij}(t)/Ni_{ij}(t) \in \mathbb{N}\}$

Los individuos que son cosechados se representan a continuación:

$$H_{ij}(t) = \begin{cases} 0; & \text{si } t < t_j \\ hi_{ij}(t); & \text{si } t = t_j \end{cases} \forall \{5 \leq J \leq 12\} \quad (5.2.1.11)$$

$D_f: \{H_{ij}(t)/H_{ij}(t) \in \mathbb{N}\}$

Donde:

$hi_{ij}(t)$: Cantidad cosechada del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

5.2.2 Dinámica de Crecimiento

La curva de crecimiento del *Haliothis rufescens* es expresado por la ecuación de Von bertalanffy, el que incluye las siguientes variables: $L(t)$ que es la longitud en un instante de tiempo, L_∞ que es la estimación de la longitud asintótica y K que es la constante que representa la tasa a que $L(t)$ se aproxima a la longitud asintótica. A su vez los parámetros K y L_∞ están en función de la k-ésima temperatura en un instante de tiempo, la cual según los resultados de (Pérez, 2010) explicarían de forma importante el patrón de crecimiento. La dinámica de crecimiento modificada a la temperatura de cultivo según lo expresado por Pérez (2010), se describe a continuación:

$$K(t) = [-0.000134 * T(t)^2 + 0.0046809 * T(t) - 0.0235219] \quad (5.2.2.1)$$

$$L_\infty(t) = \sqrt{\frac{10^{2.65}}{-0.000134 * T(t)^2 + 0.0046809 * T(t) - 0.0235219}} \quad (5.2.2.2)$$

Dónde:

$T(t)$: TSM de la ubicación del centro de cultivo en el instante de tiempo t .

Nota: Los valores de los parámetros K y L_{∞} son válidos únicamente para alimentación con algas (Pérez, 2010). A su vez ambos parámetros están en función del tiempo, debido a que estos están condicionados al patrón de temperatura de la zona de cultivo.

A modo de observar el comportamiento de la tasa de crecimiento según la temperatura de cultivo, se incluye una variable de decisión de acuerdo a la zona de cultivo a evaluar:

$$T(t) = \begin{cases} Tc(t); & \text{si } \delta = 0 \\ Tp(t); & \text{si } \delta = 1 \end{cases} \quad (5.2.2.3)$$

$D_f: \{T(t)/T(t) \in \mathbb{R}\}$

Donde:

$Tc(t)$: TSM de Caldera en el instante de tiempo t .

$Tp(t)$: TSM de Ancud en el instante de tiempo t .

δ : Variable Binaria de decisión de la temperatura de cultivo.

Luego la variación de la longitud en el tiempo se expresa como:

$$\frac{d[L_{ijk}(t)]}{dt} = K(t) * [L_{\infty}(t) - L_{ijk}(t)] \quad (5.2.2.4)$$

Dónde:

$L_{ijk}(t)$: Longitud promedio del i -ésimo lote a la j -ésima etapa sujeta a la k -ésima temperatura en el instante de tiempo t .

La longitud instantánea es determinada por la tasa de crecimiento que está en función de la longitud en el instante anterior y la k -ésima temperatura. La longitud de una cohorte se considera como un promedio debido a la inviabilidad técnica de mantener un registro individual (Molina, 2010) con una tasa de crecimiento expresada en condiciones óptimas, hasta el correspondiente desdoble o cosecha. La dinámica descrita se expresa de acuerdo a Molina *et al.* (2012) modificado a la metodología de cultivo de la empresa modelo sujeto a la duración temporal de cada etapa y en función de la k -ésima temperatura:

$$\frac{d[L_{ijk}(t)]}{dt} = \left\{ \begin{array}{l} I_i(t) + C_{ijk}(t) - F_{ijk}(t); \forall \{j = 1\} \\ D_{ijk}(t) + C_{ijk}(t) - F_{ijk}(t); \forall \{2 \leq j \leq 4\} \\ D_{ijk}(t) + C_{ijk}(t) - F_{ijk}(t) - Z_{ij}; \forall \{5 \leq j \leq 8\} \\ D_{ijk}(t) + C_{ijk}(t) - Z_{ij}; \forall \{9 \leq j \leq 12\} \end{array} \right\} \quad (5.2.2.5)$$

Dónde:

$I_i(t)$: Longitud inicial promedio de ingreso en el i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

$C_{ijk}(t)$: Tasa de crecimiento instantáneo del i-ésimo lote, en la j-ésima etapa y a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

$F_{ijk}(t)$: Longitud promedio de término del i-ésimo lote, a la j-ésima etapa y a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

$D_{ijk}(t)$: Longitud promedio de inicio del i-ésimo lote, en la j-ésima etapa a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

$Z_{ij}(t)$: Longitud promedio de cosecha del i-ésimo lote, a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

Nota: La variable $Z_{ij}(t)$ se presenta independiente del patrón de temperatura debido a que está en función de la talla a cosechar.

La dinámica de las variables de la ecuación (5.2.2.5) se describe a continuación:

$$I_i(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; \text{ si } Y_i(t) = 0 \\ TS_i(t); \text{ si } Y_i(t) > 0 \end{array} \right\} \forall \{j = 1\} \quad (5.2.2.6)$$

$$D_f: \{I_i(t)/I_i(t) \in \mathbb{R} \wedge I_i(t) > 0\}$$

Dónde:

$I_i(t)$: Talla promedio inicial en milímetros del i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

$TS_i(t)$: Talla promedio de siembra al i-ésimo lote en el instante de tiempo t.

$$C_{ijk}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; \text{ si } t = 0 \\ L_{ijk}(t+1) - L_{ijk}(t); \text{ si } t < t_j \end{array} \right\} \forall \{1 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.7)$$

La inclusión del rezago sobre la longitud al momento del desdoble o cosecha, se expresa como:

$$F_{ijk}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; \text{ si } t < t_j \\ (1 - RT_j) * L_{ijk}(t); \text{ si } t = t_j \end{array} \right\} \forall \{2 \leq j \leq 8\} \quad (5.2.2.8)$$

$$RT_j = \left\{ \begin{array}{l} 0; \forall \{IP_{ij}(t) > 0\} \\ RTJ_j; \forall \{R_{ij}(t) > 0\} \end{array} \right\} \quad (5.2.2.9)$$

Dónde:

RT_j : Rezago porcentual sobre la talla al momento del desdoble o cosecha en la j-ésima etapa.

RTJ_j : Rezago porcentual de la talla sobre los individuos que no cumplen la talla estipulada al finalizar la j-ésima etapa.

$$D_{ijk}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; si t \leq t_j \\ F_{ijk+1}(t); si t > t_j \end{array} \right\} \forall \{2 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.10)$$

$$Z_{ij}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; si t < t_j \\ V_{ij}(t); si t = t_j \end{array} \right\} \forall \{5 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.11)$$

Dónde:

$V_{ij}(t)$: Talla promedio de cosecha del i-ésimo lote a la j-ésima etapa al instante de tiempo t.

La variable decisional de la duración necesaria para alcanzar la talla de cosecha de acuerdo a la zona de cultivo a evaluar, se describe a continuación:

$$t_j(t) = \left\{ \begin{array}{l} tn_j(t); si \ell = 0 \\ ta_j(t); si \ell = 1 \end{array} \right\} \forall \{5 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.12)$$

$$tn_j(t) = \left\{ \begin{array}{l} tnm_j(t); si si \varsigma = 2 \\ tng_j(t); si si \varsigma = 3 \end{array} \right\} \forall \{5 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.13)$$

$$ta_j(t) = \left\{ \begin{array}{l} tap_j(t); si si \varsigma = 1 \\ tam_j(t); si si \varsigma = 2 \\ tag_j(t); si si \varsigma = 3 \end{array} \right\} \forall \{5 \leq j \leq 12\} \quad (5.2.2.14)$$

Dónde:

$tn_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de cosecha en Caldera de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$ta_j(t)$: Tiempo necesario a alcanzar la talla de cosecha en Ancud de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

ℓ : Variable decisional del patrón de temperatura a evaluar.

$tnm_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de 90 milímetros en la zona de Caldera de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$tng_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de 100 milímetros en la zona de Caldera de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$tap_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de 80 milímetros en la zona de Ancud de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$tam_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de 90 milímetros en la zona de Ancud de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$tag_j(t)$: Tiempo necesario para alcanzar la talla de 100 milímetros en la zona de Ancud de la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

ς : Variable decisional del tiempo necesario para alcanzar la talla a cosechar.

5.2.3 Dinámica de producción

La determinación del alimento necesario, producción anual y la presentación del producto final se expresan en unidades de peso, para esto se debe realizar la conversión de la longitud promedio mediante el factor de condición expuesto en Pérez (2012), esto se expresa como:

$$W_{ijk}(t) = 0.000082 * L_{ijk}(t)^{3.15} \quad (5.2.3.1)$$

$$D_f: \{W_{ijk}(t)/W_{ijk}(t) \in \mathbb{R} \wedge W_{ijk}(t) > 0\}$$

Dónde:

$W_{ijk}(t)$: Peso promedio en el i-ésimo lote a la j-ésima etapa sujeto a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

La biomasa instantánea está en función de la cantidad total de individuos que se encuentren en una determinada etapa de un i-ésimo lote por su correspondiente peso promedio en un instante de tiempo. Esto se expresa a continuación:

$$B_{ijk}(t) = \vartheta_{ij}(t) * W_{ijk}(t) \quad (5.2.3.2)$$

Dónde:

$B_{ijk}(t)$: Biomasa del i-ésimo lote en la j-ésima etapa y a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

Por tanto la biomasa total en un instante de tiempo, se expresa como:

$$BT_k(t) = \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} B_{ijk}(t) \quad (5.2.3.3)$$

Dónde:

$BT_k(t)$: Biomasa total sujeta a la k-ésima temperatura en el instante de tiempo t.

5.2.4 Dinámica de alimentación

La metodología de alimentación se aproxima a un suministro de alimentación a saciedad, desestimando fórmulas de porcentaje Peso-cuerpo (PC), evitándose así una sub-estimación (*Com. Pers. Lester Jorquera*). El PC presenta dos valores según la temporada otoño-invierno y primavera-verano, debido al carácter termo-dependiente de los individuos. Así mismo en la época primavera-verano se suma un 20% más, debido al aumento de la oferta de alimento, permitiendo aprovechar el mayor metabolismo de los individuos. Esta condición no es posible de replicar en la época invierno-otoño, debido al decaimiento de oferta, el cual no permite suministrar todo lo que se quisiera, sino más bien lo disponible (*Com.Pers. Nicolás Mardones*). La dinámica descrita es representada para la zona sur, se asume que la zona norte permitiría obtener en un mayor número de meses un mayor PC. Para simular esta condición, se establece un punto de quiebre según la temperatura de cultivo en el cual se realiza el cambio de PC de la zona sur, con esto permite aplicar el PC de mayor valor cuando dicha temperatura se presente en la zona norte, esto se expresa a continuación:

$$PPC(t) = \begin{cases} PPCc(t); si T_k(t) \leq 14.5 \\ PPCa(t); si T_k(t) > 14.5 \end{cases} \quad (5.2.4.1)$$

Dónde:

$PPC(t)$: Porcentaje Peso-cuerpo diario en el instante de tiempo t.

$PPCc(t)$: Porcentaje Peso-cuerpo diario de menor metabolismo en el instante de tiempo t.

$PPCa(t)$: Porcentaje Peso-cuerpo diario de mayor metabolismo en el instante de tiempo t.

La cantidad de alimento necesario se expresa a continuación:

$$AT(t) = \begin{cases} BT_k(t) * PPC(t) * DS; si T_k(t) \leq 14.5 \\ BT_k(t) * PPC(t) * DS * 1.2; si T_k(t) > 14.5 \end{cases} \quad (5.2.4.2)$$

$$D_f: \{AT(t)/AT(t) \in \mathbb{R} \wedge AT(t) > 0\}$$

Dónde:

$AT(t)$: Cantidad de alimento total necesarios expresados en kilos en el instante de tiempo t.

DS : Días en una semana.

5.2.5 Dinámica factores productivos de capital

Los factores productivos se subdividen en dos grupos, variables y fijos. Los primeros están en función del número de individuos y su respectiva longitud promedio de cada lote en un

instante de tiempo. Los fijos en cambio corresponden a los bienes necesarios para mantener la calidad de vida del operario o que faciliten la logística y operación del mismo centro, incluido las obras físicas complementarias al sistema productivo. A su vez ambos están determinados de forma importante por su correspondiente vida útil, ya que determinara la frecuencia con que volverán a ser adquiridos. La dinámica de los factores productivos se describe a continuación:

5.2.5.1 Dinámica factores productivos de capital variable

La dinámica comienza con la determinación de las unidades de cultivo necesarias, las que a su vez determinaran la demanda de las líneas de cultivo y consecuentemente los demás bienes (botes, balsas, máquinas calibradoras y empaques). La determinación de las unidades se desarrolla a través de la fórmula expresada por Araos (2008), esto se representa como:

$$U_{ij}(t) = \frac{\vartheta_{ij}(t)}{\left[\frac{10000cm^2}{\varphi * \left[\frac{L_{ijk}(t)}{10} \right]^2 * \alpha * \tau} \right]} \quad (5.2.5.1.1)$$

Dónde:

$U_{ij}(t)$: Unidades necesarias del i-ésimo lote a la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

φ : Relación Ancho-largo de la concha.

τ : Superficie ocupada en metros cuadrados.

α : Área disponible por unidad.

Sujeto a la siguiente restricción:

$$\alpha = \begin{cases} AA; si j = 1 \\ AH; si j = 2 \\ AJ; si 3 \leq j \leq 12 \end{cases} \quad (5.2.5.1.2)$$

$$D_f: \{U_{ij}(t)/U_{ij}(t) \in \mathbb{N} \wedge U_{ij}(t) > 0\}$$

Dónde:

AA: Área disponible por jaula de acopio en metros cuadrados.

AH: Área disponible por linterna en metros cuadrados.

AJ: Área disponible por jaula de engorda en metros cuadrados.

Luego la cantidad de unidades de cultivo totales necesarias en un instante de tiempo corresponde a la sumatoria de las necesarias de cada etapa del correspondiente lote:

$$UT(t) = \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} U_{ij}(t) \quad (5.2.5.1.3)$$

Dónde:

$UT(t)$: Unidades de cultivo totales necesarias en el instante de tiempo t .

Líneas:

La cantidad de líneas está sujeta a la distribución de las unidades en esta y la longitud de la misma línea, esto se expresa a continuación:

$$J_{ij}(t) = \frac{U_{ij}}{U} \quad (5.2.5.1.4)$$

$$D_f: \{J_{ij}(t) / J_{ij}(t) \in \mathbb{N} \wedge J_{ij}(t) > 0\}$$

Dónde:

$J_{ij}(t)$: Líneas necesarias para el i -ésimo lote, a la j -ésima etapa en el instante de tiempo t .

U : Cantidad de unidades por línea.

Sujeto a la siguiente restricción para la cantidad de unidades por línea:

$$U = \begin{cases} 0; & \text{si } j = 1 \\ Ul; & \text{si } j = 2 \\ Uj; & \text{si } 3 \leq j \leq 12 \end{cases} \quad (5.2.5.1.5)$$

Dónde:

Ul : Cantidad de unidades linternas por línea.

Uj : Cantidad de unidades jaulas por línea.

Luego la sumatoria total de líneas en un instante de tiempo, se expresa a continuación:

$$JT(t) = \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} J_{ij}(t) \quad (5.2.5.1.6)$$

Dónde:

$JT(t)$: Líneas totales necesarias en el instante de tiempo t .

La determinación de los botes y balsas necesaria se expresara:

$$TBN(t) = \frac{JT(t)}{CBN} \quad (5.2.5.1.7)$$

$$D_f: \{TBN(t)/TBN(t) \in \mathbb{N} \wedge TBN(t) > 0\}$$

Dónde:

$TBN(t)$: Botes y balsas totales necesarios en el instante de tiempo t .

CBN : Capacidad de mantención de líneas por botes y balsas.

Para máquina calibradora:

$$TQC(t) = \frac{\sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} Ni_{ij}(t)}{CQC} \quad (5.2.5.1.8)$$

$$D_f: \{TQC(t)/TQC(t) \in \mathbb{N} \wedge TQC(t) > 0\}$$

Dónde:

$TQC(t)$: Máquinas calibradoras necesarias en el instante de tiempo t .

CQC : Capacidad de calibración de máquina calibradora.

Para empaques de cosecha:

$$EC(t) = \frac{\sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} \left[\frac{[0.000082 * Z_{ij}^{3.15}]}{1000} * H_{ij} \right]}{\phi} \quad (5.2.5.1.9)$$

$$D_f: \{EC(t)/EC(t) \in \mathbb{N} \wedge EC(t) > 0\}$$

Dónde:

$EC(t)$: Empaque totales necesarios en el instante de tiempo t .

ϕ : Densidad de envío (Kg por empaque).

Luego el total de bienes necesarios se expresa como:

$$BT_c(t) = UT(t) + JT(t) + TBN(t) + TQC(t) + EC(t) \quad (5.2.5.1.10)$$

Dónde:

$BT_c(t)$: Total del c-ésimo bien necesario en el instante de tiempo t .

Los bienes en existencia en un instante de tiempo, se expresan a continuación:

$$BE_c(t) = BU_c(t) + BA_c(t) \quad (5.2.5.1.11)$$

Dónde:

$BE_c(t)$: C-ésimo bien en existencia en el instante de tiempo t.

$BU_c(t)$: C-ésimo bien en utilización en el instante de tiempo t.

$BA_c(t)$: C-ésimo bien almacenado en el instante de tiempo t.

La variación de cada bien en existencia en el tiempo, se expresa con un flujo positivo determinado por la adquisición y un flujo negativo, cuando deban ser desechados según su vida útil. Esto se expresa a continuación:

$$\frac{d[BE_c(t)]}{dt} = AB_c(t) - DB_c(t) \quad (5.2.5.1.12)$$

Dónde:

$AB_c(t)$: Adquisición del c-ésimo bien en el instante de tiempo t.

$DB_c(t)$: Desecho del c-ésimo bien en el instante de tiempo t.

La dinámica que expresa el movimiento desde y hacia tierra de un bien como también si le corresponde ser o no ser adquirido o desechado en un instante de tiempo se desarrolla de forma similar a lo expuesto por Molina (2010).

5.2.5.2 Dinámica factores productivos de capital fijos

La dinámica de los factores productivos de capital fijo se basa en separar en 5 grupos dependiendo de su vida útil, permitiendo simplificar la simulación en vez de realizarlo cada uno por separado, ya que al sumar la cantidad adquirida de bienes de igual vida útil, una vez que cumplen su ciclo y deban ser desechados, automáticamente volverán a ser adquiridos. Esto se expresa a continuación:

$$TIIN_x(t) = 1 \quad (5.2.5.2.1)$$

$$\frac{d[TIINE_x(t)]}{dt} = AII_x(t) - DII_x(t) \quad (5.2.5.2.2)$$

$$AII_x(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; \text{ si } [TIIN_x(t) - TIINE_x(t)] \leq 0 \\ [TIIN_x(t) - TIINE_x(t)]; \text{ si } [TIIN_x(t) - TIINE_x(t)] > 0 \end{array} \right\} \quad (5.2.5.2.3)$$

$$DII_x(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0; \text{ si } [t - VIIN_x(t)] < 0 \\ AII_x(t) * [t - VIIN_x(t)]; \text{ si } [t - VIIN_x(t)] \geq 0 \end{array} \right\} \quad (5.2.5.2.4)$$

Dónde:

$TIIN_x(t)$: Factores productivos de capital fijo necesarios de la x-ésima vida útil en el instante de tiempo t.

$TIINE_x(t)$: Factores productivos de capital fijo en existencia de la x-ésima vida útil en el instante de tiempo t.

$AII_x(t)$: Adquisición del factor productivo de capital fijo de la x-ésima vida útil en el instante de tiempo t.

$DII_x(t)$: Desecho del factor productivo de capital fijo de la x-ésima vida útil en el instante de tiempo t

$VIIN_x(t)$: x-ésima vida útil del factor productivo de capital fijo en el instante de tiempo t.

X: Índice de referencia para la x-ésima vida útil del factor productivo de capital fijo.

Estos bienes siempre se encuentran en utilización, independiente del nivel de producción, por lo tanto la cantidad de estos será igual a los bienes en existencia en un instante de tiempo, esto se expresa a continuación:

$$TTIINE(t) = \sum_{x=1}^5 IIU_x(t) \quad (5.2.5.2.5)$$

$$IIU_x(t) = AII_x(t) \quad (5.2.5.2.6)$$

Dónde:

$TTIINE(t)$: Total de factores productivos de capital fijo en existencia al instante de tiempo t.

$IIU_x(t)$: Factores productivos de capital fijo en utilización de la x-ésima vida útil en el instante de tiempo t.

5.2.6 Dinámica envasado producto final

Corresponde a la dinámica del envasado del producto final en conserva, donde este ítem se incluye dentro de los costos operacionales, esto se expresa a continuación:

$$Fc(t) = \left\{ \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{[0.000082 * Z_{ij}^{3.15}]}{1000} * H_{ij} \right) \right\} * RF \quad (5.2.6.1)$$

$$D_f: \{Fc(t)/Fc(t) \in \mathbb{N} \wedge Fc(t) > 0\}$$

Dónde:

$Fc(t)$: Filete total producido en el instante de tiempo t.

RF : Rendimiento de producto final por kilo cosechado.

Luego:

$$PCT(t) = \frac{Fc(t)}{KC} \quad (5.2.6.2)$$

Dónde:

$PCT(t)$: Total de envases necesarios para producto final en el instante de tiempo t.

KC : Peso neto expresado en kilos por envase.

5.2.7 Dinámica factor productivo humano

Corresponde a la mano de obra que es parte del proceso productivo, están en función de la cantidad de líneas necesarias a ser mantenidas y el tiempo de permanencia del operario en el centro de cultivo. Esta a su vez se divide en dos tipos, la mano de obra planta que posee una permanencia mayor a tres meses desde que es contratada y la mano de obra temporera la cual posee menos de tres meses de permanencia en el sistema y no percibe bonos o gratificaciones. A su vez la mano de obra planta y temporera se sub-divide en 3 categorías, la necesaria para calibrar y alimentar y la necesaria para realizar la limpieza y mantención de las unidades de cultivo definido como buzos. La dinámica descrita se expresa a continuación:

$$\frac{d[MO_l(t)]}{dt} = AM_l(t) - DM_l(t) \quad (5.2.7.1)$$

$$D_f: \{AM_l(t)/AM_l(t) \in \mathbb{N} \wedge AM_l(t) > 0\}$$

Dónde:

$MO_l(t)$: l-ésima mano de obra planta en existencia en el instante de tiempo t.

$AM_l(t)$: Contratación de la l-ésima mano de obra planta en el instante de tiempo t.

$DM_l(t)$: Despido de la l-ésima mano de obra planta en el instante de tiempo t.

La existencia de la mano de obra temporera se expresa a continuación:

$$\frac{d[MOT_l(t)]}{dt} = AMCt_l(t) - DMCt_l(t) \quad (5.2.7.2)$$

$$D_f: \{AMCt_l(t)/AMCt_l(t) \in \mathbb{N} \wedge AMCt_l(t) > 0\}$$

Dónde:

$MOt_l(t)$: l-ésima mano de obra temporera en existencia en el instante de tiempo t.

$AMCt_l(t)$: Contratación de la l-ésima mano de obra temporera en el instante de tiempo t.

$DMCt_l(t)$: Despido de la l-ésima mano de obra temporera en el instante de tiempo t.

La dinámica que expone la contratación y despido de mano de obra, se desarrolla de forma similar a lo expresado en Molina (2010).

5.2.8 Dinámica de costos

Los costos totales son definidos por Foulon (1963) como la expresión en dinero necesario para atraer y mantener a los factores productivos hacia y en una actividad determinada. Estos se subdividen en costos fijos y variables, los primeros no son afectos a ser modificados de acuerdo a la variación de la actividad de la empresa, presentando un carácter periódico, los segundos están en función de la producción y son determinados por la cantidad de factores productivos (de capital, humanos y de naturaleza) necesarios en un instante de tiempo más la materia prima que se transforma directamente en el producto susceptible a ser comercializado. Esto se expresa a continuación:

Costos fijos:

$$CF(n, t) = \sum_{t=1}^{780} [IF(n, t) * [cf(n) + cof(n)] + CD(n, t)] \quad (5.2.8.1)$$

$$IF(n, t) = \sum_{x=1}^5 TIIN_x(t) + MOI(t) \quad (5.2.8.2)$$

$$CD(n, t) = \sum_{x=1}^5 \frac{cf(n)}{VIIN_x(t)} * TIINE_x(t) \quad (5.2.8.3)$$

Dónde:

$CF(n, t)$: Costo fijo total de los n-ésimos factores productivos en el instante de tiempo t.

$IF(n, t)$: Cantidad necesaria del n-ésimo factor productivo en el instante de tiempo t.

$cf(n)$: Costo unitario de adquisición del n-ésimo factor productivo como costo fijo.

$cof(n)$: Costo operacional unitario del n-ésimo factor productivo como costo fijo.

$CD(n, t)$: Costo de depreciación del n-ésimo factor productivo de capital como parte de los costos fijos en el tiempo.

$MOI(n, t)$: Cantidad necesaria del n-ésimo factor productivos humano como parte de los costos fijos en el instante de tiempo t.

n : Índice de referencia para el n-ésimo factor productivo como parte de los costos fijos.

Costos variables:

$$CV(m, t) = \sum_{t=1}^{780} [CI(m, t) * [cv(m) + cov(m)] + CD(m, t)] \quad (5.2.8.4)$$

$$CI(m, t) = Y_i(t) + AT(t) + BT_c(t) + PCT(t) + AM_l(t) + AMCt_l(t) \quad (5.2.8.5)$$

$$CD(m, t) = \frac{cv(m)}{VUB_c(t)} * BE_c(t) + cd(m) * (DM_l(t) + DMCt_l) \quad (5.2.8.6)$$

Dónde:

$CV(m, t)$: Costo total variable de los m-ésimos factores productivos variables y materia prima en el instante de tiempo t.

$CI(m, t)$: Cantidad necesaria del m-ésimo factor productivo variable y materia prima en el instante de tiempo t.

$cv(m)$: Costo unitario de adquisición del m-ésimo factor productivo variable y materia prima.

$cov(m)$: Costo operacional unitario del m-ésimo factor productivo variable.

$CD(m, t)$: Costo de depreciación y desecho del m-ésimo factor productivo como parte de los costos variables en el tiempo.

$VUB_c(t)$: Vida útil del c-ésimo factor productivo de capital variable en el instante de tiempo t.

$cd(m)$: Costo unitario de desecho del m-ésimo factor productivo variable de carácter humano.

m : Índice de referencia para el m-ésimo factor productivo variable y materia prima.

Por tanto los costos totales se expresan de la siguiente forma:

$$CT(t) = CF(n, t) + CV(m, t) \quad (5.2.8.7)$$

Dónde:

$CT(t)$: Costos totales del proyecto en el instante de tiempo t

5.2.9 Dinámica de ingresos

El ingreso corresponde al valor generado por el producto susceptible de ser comercializado, este está en función del precio de venta por kilo de producto y la biomasa producida de dicho producto expresado en kilos. A su vez el precio de venta está en función de la valorización del dólar respecto a la moneda local y el precio cancelado según tipo de producto. A esto se suma los ingresos generados por los factores productivos de capital desechados según sea su valor residual (Sapag, 1983) y la comercialización de conchas con fines decorativos. El ingreso total

se expresa de la siguiente forma genérica:

$$IT(t) = \sum_{t=1}^{780} [Fc(t) * PP + qc(t) * PC + D(n, m, t) * vr(n, m, t)] \quad (5.2.9.1)$$

$$qc(t) = [N(t) * pic(t)] \quad (5.2.9.2)$$

$$D(n, m, t) = [DB_c(t) + DII_x(t)] \quad (5.2.9.3)$$

Dónde:

$IT(t)$: Ingreso total por el ejercicio de la actividad en el instante de tiempo t.

PP : Precio final del producto terminado.

$qc(t)$: Biomasa producida de conchas expresadas en kilos en el instante de tiempo t.

PC : Precio por kilo de concha.

$pic(t)$: Peso individual de concha en el instante de tiempo t.

$D(n, m, t)$: Cantidad desechada del n-ésimo y m-ésimo factor productivo de capital en el tiempo.

$vr(n, m, t)$: Valor residual del n-ésimo y m-ésimo factor productivo de capital en el tiempo.

5.2.10 Dinámica de utilidad

Corresponde al beneficio generado por la actividad una vez que se han descontado a los ingresos todos los costos que se tuvieron que desembolsar para producir el producto final. Por consiguiente, la utilidad en el tiempo se expresa a continuación:

$$UN(t) = IT(t) - CT(t) \quad (5.2.10.1)$$

Dónde:

$UN(t)$: Utilidad neta en el instante de tiempo t.

5.2.11 Indicadores económicos

Las expresiones matemáticas de los indicadores económicos se expresan en la siguiente sección:

5.2.11.1 Tasa de descuento

En primera instancia es necesario el cálculo de la tasa de descuento, el cual es el parámetro que permite actualizar los flujos de dinero durante el horizonte del proyecto, este se describe a

continuación:

$$Ke = Rf + Rp \quad (5.2.11.1.1)$$

$$Rp = \beta_{ind} * [E(Rm) - Rf] \quad (5.2.11.1.2)$$

$$Rm = r * 100 \quad (5.2.11.1.3)$$

$$r = rt - 1 \quad (5.2.11.1.4)$$

$$rt = \left[\frac{IPSA_f - IPSA_i}{IPSA_i} \right]^{\left(\frac{1}{n}\right)} \quad (5.2.11.1.5)$$

Dónde:

Ke: Tasa de descuento.

Rf: Tasa libre de riesgo.

Rp: Prima por riesgo.

β_{ind} : Beta de la industria a la apertura de la bolsa.

Rm: Rentabilidad del mercado porcentual.

r: Tasa promedio anual de la rentabilidad del mercado.

rt: Rentabilidad del mercado.

IPSA: Índice de Precio Selectivo de Acciones.

n: Índice de referencia a expresar el horizonte del proyecto en años.

5.2.11.2 Indicador económico VPN

La actualización de los flujos efectivos por intervalo de tiempo a valor presente, se expresa a continuación:

$$VPN(t) = \sum_{t=0}^T \frac{UN(t)}{(1 + Ke)^t} \quad (5.2.11.2.1)$$

Dónde:

VPN(t): Valor actual neto en el instante de tiempo t.

5.2.11.3 RBC

El cociente entre los ingresos y todos los costos desembolsados para llevar a cabo la actividad en valor presente, se representa a continuación:

$$RBC(t) = \sum_{t=0}^T \left[\frac{IT(t) * (1 + ke)^{-t}}{CT(t) * (1 + ke)^{-t}} \right] \quad (5.2.11.3.1)$$

Dónde:

$RBC(t)$: Relación ingreso-costo en el instante de tiempo t .

5.2.11.4 Índice de rentabilidad (PI)

La valorización de la inversión en valor presente, se describe a continuación:

$$FWC(t) = IT(t) - [MPa(t) + COTV(t) + CTO(t) + GOI(t) + PAH(t) + OCN(t) + CTD] \quad (5.2.11.4.1)$$

$$II(t) = CTI(t) + CTFPF(t) \quad (5.2.11.4.2)$$

Dónde:

$FWC(t)$: Flujo de caja en el instante de tiempo t .

$II(t)$: Inversión inicial en el instante de tiempo t .

Luego por tanto, el índice de rentabilidad es expresado como el cuociente entre el flujo de caja y la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto en valor presente, esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Gurau, 2012):

$$PI(t) = \sum_{t=0}^T \left[\frac{FWC(t) * (1 + ke)^{-t}}{II(t) * (1 + ke)^{-t}} \right] \quad (5.2.11.4.3)$$

Dónde:

$PI(t)$: Índice de rentabilidad en el instante de tiempo t .

5.2.12 Sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite evaluarla variación porcentual en el resultado del valor una variable (numerador) al variar el valor de otra variable (denominador). El análisis de sensibilidad es expresado por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\Delta x_r \left(\frac{\Delta p_d}{p_d}, p_d, z_u, t \right)}{x_r(p_d, z_u, t)} * 100 \quad (5.2.12.1)$$

Dónde:

S : Medición de la sensibilidad.

X_r : Valor de la r -ésima variable dependiente en situación base.

P_d : Valor de la d -ésima variable independiente a modificar en situación base.

Z_u : Valor de la u-ésima variable mantenida como contante.
 Δx_r : Variación del valor de la r-ésima variable dependiente.
 ΔP_d : Variación del valor de la d-ésima variable independiente.

5.3 Resultados matemáticos

5.3.1 Validación

Corresponde a la capacidad predictiva del modelo respecto al sistema real mediante la observación de las variables que permiten evaluar la fiabilidad del modelo (Tabla 2). Los resultados son expresados en régimen productivo equivalente a igual o mayor a 5 años de producción.

Tabla 2: Variables de estado del escenario base y sistema real.

Variable de estado	Escenario base	Sistema real
Operarios Alimentación	6	5
Operarios calibración	28	30
Operario Buzo	15	16
Unidad Jaula de acopio	6	5
Unidad linterna	240	250
Unidad Jaula de engorda	50	50
Líneas de linterna	5	6
Líneas de jaula	14	13
Balsas	5	6
Embarcación	2	2
Maquina calibradora	1	1
Alimento real verano (Ton/día)	16,4	15,9
Alimento real invierno (Ton/día)	13,0	10,7
Biomasa producida (Ton/anual)	136,7	150
Tasa de crecimiento promedio (mm/mensual)	1,7	1,8
Costo/Kilo (Mínimo – Máximo)	11.553 -11.807	11.960-12.480
Hectárea	4	3,5

5.3.2 Evaluación de los escenarios propuestos

Corresponden a los resultados de los escenarios propuestos en función de los objetivos planteados. Esto se expresa a continuación:

Tabla 3: Resultados de los escenarios propuestos

Variable de estado	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
VPN(X1000 mills)	1,59	0,49	0,56	2,68	0,97
RBC	1,13	1,03	1,02	1,21	1,07
PI	6,3	2,6	3,39	8,83	3,75
Tasa crecimiento (mm/mensual)	1,7	1,73	1,75	1,59	1,63
Duración Ciclo (semanal)	162	156	132	196	188
Alimento (Ton/diaria) – Mínimo/Máximo	13,0/ 14,6	13,2/ 16,6	8,41/ 10,9	19,3/ 24,2	19,7/ 24,6
Producción (Ton/año)	137,7	142,23	97,51	187,94	192,16
Costo/Kilo – Mínimo/Máximo	11.553/ 11.807	13.964/ 14.440	13.291/ 13.658	10.286/ 11.456	13.198/ 13.659

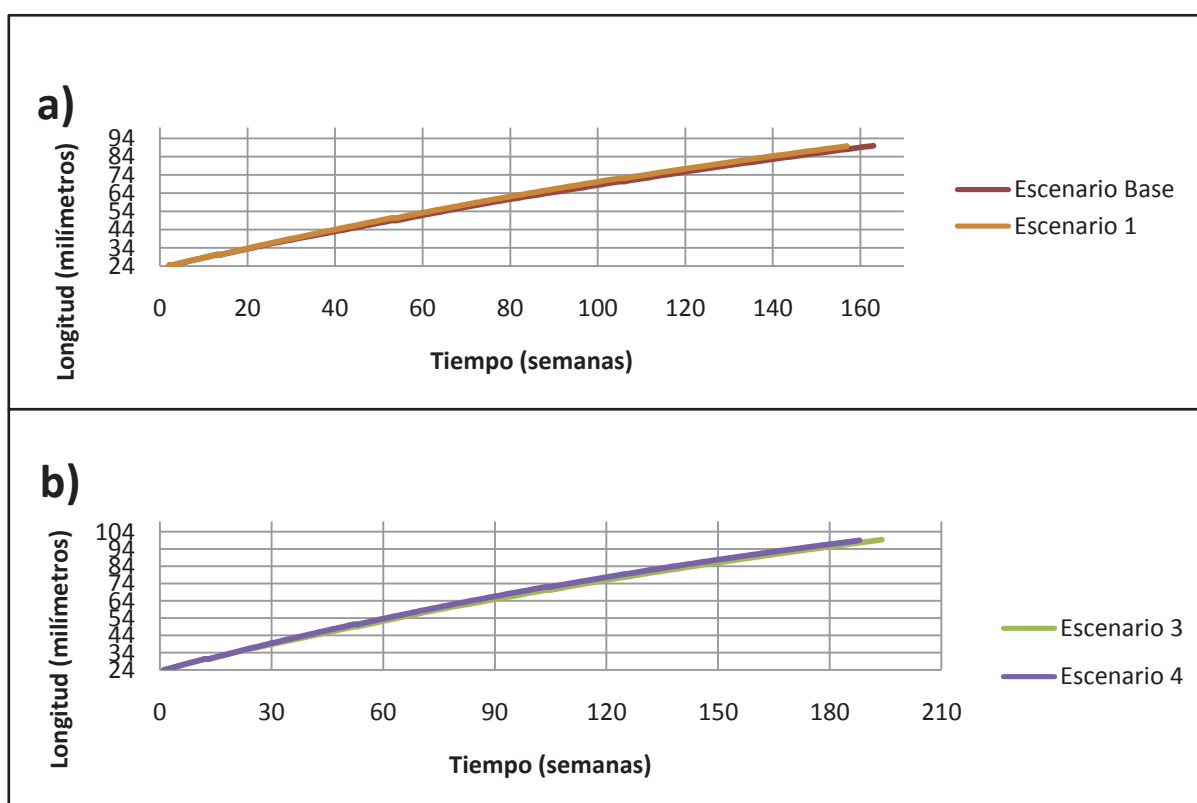


Figura. 17: Duración del ciclo productivo a una talla de cosecha en dos zonas de cultivos. a) Escenario base respecto al Escenario 1 y b) Escenario 3 respecto al Escenario 4.

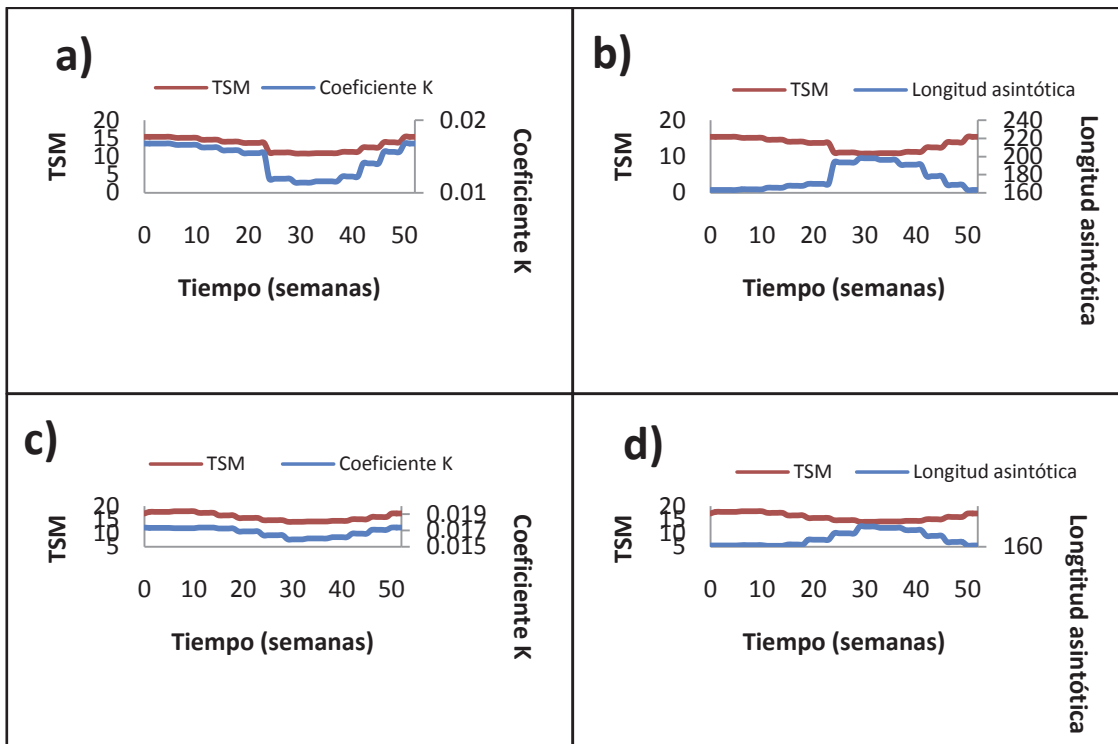


Figura. 18: Variables de la ecuación de Von Bertalanffy en función de la temperatura anual. a) Comportamiento coeficiente K para la zona de cultivo de Ancud, b) Comportamiento longitud asintótica para la zona de cultivo de Ancud, c) Comportamiento longitud asintótica para la zona de cultivo de Ancud, c) Comportamiento coeficiente K para la zona de cultivo de Caldera, y d) Comportamiento longitud asintótica para la zona de cultivo de Caldera.

5.3.3 Sensibilidad

La evaluación de la sensibilidad será expresada para el escenario base y escenario 1, con el objeto de observar los efectos de los costos, mortalidad y la tasa de descuento, sobre el comportamiento económico de la zona de cultivo a evaluar. A modo de observar el efecto de los costos de alimento sobre la factibilidad económica del proyecto, esta variable se presentara separada de los costos operacionales totales. Se entenderá que:

$P(Z)$: Costos, mortalidad, precio de venta y tasa de descuento sin altera en función de la zona de cultivo Z.

$X(Z)$: VPN sin alterar en función de la zona de cultivo Z.

5.3.3.1 Mortalidad

Tabla 4: Sensibilidad del VPN respecto a mortalidad

P(Z)	Escenario base		Escenario 1	
$\Delta P/P$	Δx	$\Delta x/x$	Δx	$\Delta x/x$
-30	2.086.142.829	31,1	937.188.427	90,0
-15	1.841.728.041	15,9	729.053.482	47,9
-5	1.664.436.288	4,8	578.684.401	17,4
5	1.524.062.383	-4,0	417.571.028	-15,3
15	1.345.838.841	-15,2	264.340.327	-45,4
30	1.130.237.624	-28,8	141.596.433	-71,2

Se observa un efecto negativo sobre el aumento de la mortalidad en el resultado económico de la actividad. Mientras mayor es el aumento porcentual de la mortalidad, el efecto negativo de este aumenta en una mayor proporción. Un cambio porcentual en la mortalidad genera una variación de un 0,8% a 1,04% sobre el VPN para el escenario base y de un 2,37% a un 3,48% para el escenario 1.

5.3.3.2 Costo Alimento

Tabla 5: Sensibilidad de VPN respecto al costo de alimento

P(Z)	Escenario base		Escenario 1	
$\Delta P/P$	Δx	$\Delta x/x$	Δx	$\Delta x/x$
-30	1.873.775.871	17,9	1.319.624.683	167,7
-15	1.730.944.887	9,0	906.284.926	83,9
-5	1.635.724.231	3,0	630.725.087	27,9
5	1.540.503.575	-3,0	355.165.249	-27,9
15	1.445.282.919	-9,0	79.605.410	-83,9
30	1.302.451.935	-17,9	-333.734.348	-167,7

Se observa un comportamiento lineal inverso al aumento del alimento respecto al VPN. Para el escenario base es levemente inferior a un punto porcentual, en cambio, en el escenario 1 se presenta con una mayor sensibilidad. Un cambio porcentual en el costo del alimento genera una variación sobre el indicador VPN de 0,6% para el escenario base y un 5,6% para el escenario 1.

5.3.3.3 Costo operacional

Tabla 6: Sensibilidad de VPN respecto a los costos operacionales

P(Z)	Escenario base		Escenario 1	
	Δx	$\Delta x/x$	Δx	$\Delta x/x$
-30	2.427.886.630	52,9	1.250.692.845	153,7
-15	2.008.000.267	26,4	871.819.007	76,9
-5	1.728.075.924	8,8	619.236.447	25,6
5	1.448.151.782	-8,8	366.653.888	-25,6
15	1.168.227.539	-26,4	114.071.329	-76,9
30	748.341.175	-52,9	-264.802.510	-153,7

Se observa una relación inversa entre ambas variables con una fuerte sensibilidad en el caso del escenario 1. Un cambio porcentual en el costo operacional genera una variación de un 1,76% sobre el indicador VPN para el escenario base y un 5,13% para el escenario 1.

Nota: Para efectos de este análisis, se extrae los costos totales de alimento de los costos totales operaciones a modo de observar la sensibilidad de la variación porcentual de los costos de la mano de obra y operativos de la maquinaria.

5.3.3.4 Precio venta

Tabla 7: Sensibilidad de VPN respecto al precio de venta

P(Z)	Escenario base		Escenario 1	
	Δx	$\Delta x/x$	Δx	$\Delta x/x$
-30	-716.545.023	-145,1	-1.947.217.713	-495,0
-15	435.784.440	-72,6	-727.136.273	-247,5
-5	1.204.004.082	-24,2	86.251.354	-82,5
5	1.972.223.724	24,2	899.638.981	82,5
15	2.740.443.366	72,6	1.713.026.608	247,5
30	3.892.772.829	145,1	2.933.108.049	495,0

Se observa una relación lineal inversa entre ambas variables. Donde el precio resulta ser la variable que genera la mayor sensibilidad sobre el VPN en relación a otras variables. Un cambio porcentual en el precio de venta, genera una variación de un 4,84% sobre el indicador VPN para el escenario base y un 16,5% para el escenario 1.

5.3.3.5 Tasa de descuento

Tabla 8: Sensibilidad de VPN respecto a la tasa de descuento.

$P(Z)$ $\Delta P/P$	Escenario base		Escenario 1	
	Δx	$\Delta x/x$	Δx	$\Delta x/x$
-30	2.973.778.035	87,2	1.464.554.715	197,1
-15	2.206.983.132	39,0	925.008.825	87,6
-5	1.779.940.769	12,1	626.462.047	27,1
5	1.409.379.959	-11,3	368.933.642	-25,2
15	1.087.541.490	-31,5	146.764.335	-70,2
30	681.907.591	-57,1	-130.576.904	-126,5

Presenta una relación no-lineal inversa entre ambas variables con un comportamiento diferido según la magnitud porcentual utilizada. Un cambio porcentual de la tasa de descuento genera una variación de un 1,90% a un 2,91% sobre el indicador VPN en el escenario base y de un 4,2% a 6,57% para el escenario 1.

6.DISCUSION

El escenario base presenta un comportamiento acorde a la dinámica de producción expresado en Zúñiga (2009) y Pérez (2012), dinámica de la tecnología expresado en Araos (2008) y Molina (2010) y dinámica económica expresada en Sapag (1983) y Molina (2010) modificado al cultivo del *Haliothisrufescens*. Este a su vez es perfeccionado al régimen productivo de un centro de cultivo de *Haliothisrufescens* ubicado en la zona sur del país el cual incluye la dinámica de crecimiento expuesto en Pérez (2010), con el objeto de ser una herramienta de soporte para la toma de decisiones bajo una plataforma de valoración confiable que garantice su aplicabilidad. El análisis de los resultados de acuerdo a los objetivos planteados se expresan a continuación:

6.1 Confiabilidad del modelo:

Tabla 9: Variación porcentual de las variables de estado del sistema real respecto al escenario base.

Variable de estado	Escenario Base	Sistema real
Operarios Alimentación	6	-17,0%↓
Operarios calibración	28	7,0%↑
Operario Buzo	15	7,0%↑
Unidad Jaula de acopio	6	-17,0%↓
Unidad Linterna	240	4,0%↑
Unidad Jaula de engorda	50	0,0% (-)
Líneas de linterna	5	20,0%↑
Líneas de jaula	14	-7,0%↓
Balsas	5	20,0%↑
Embarcación	2	0,0% (-)
Maquina calibradora	1	0,0% (-)
Alimento real verano (Ton/día)	16,4	-3,0%↓
Alimento real invierno (Ton/día)	13,0	-18,0%↓
Biomasa producida (Ton/anual)	136,7	10,0%↑
Tasa de crecimiento promedio (mm/mensual)	1,7	6,0%%↑
Costo/Kilo	11.553 -11.807	1,04-1,06%↑

Efectuadas las modificaciones respecto de los valores e interacciones entre variables de estado, parámetros y variables externas de acuerdo con el régimen productivo del centro de cultivo, el modelo elaborado permite con cierta facilidad observar el comportamiento proyectado de las variables de estado en el tiempo mediante una interfaz gráfica, así como también en el desarrollo e interacciones de las ecuaciones expuestas. A partir de estos resultados, se observa que el escenario base posee una capacidad predictiva razonable al

sistema real, con especial referencia a los factores productivos variables (variables biológicas, tecnológicas y económicas), los cuales oscilaron entre un 0% a 26% de divergencia (ver tabla 9). Dicha aproximación concuerda con cualquier modelo de simulación dinámica, los que en ningún caso buscan describir de forma exacta el sistema representado (Cuenco, 1989), ya que se requiere de cierto grado de simplicidad para facilitar la calibración, análisis y observación de los bucles retroalimentativos (ScholtenySmaal, 1998). Aunque dicha simplificación puede sobrepasar algunas de las características biológicas en especial la variabilidad de las tallas a lo largo de ciclo productivo, esto se hace necesario para facilitar la construcción y aplicación del modelo (Pouvreau *et al.*, 2000). Para el caso específico de los operarios de alimentación, unidades de jaula de acopio, líneas de linternas y balsas, expresaron una divergencia de un 17% a un 20% tanto a favor como en contra de lo proyectado, esta sensibilidad es el resultado de la baja cantidad demanda (una unidad de factor productivo equivale a un 20%), por lo que no representa una mayor problemática tanto en términos económicos y prácticos.

Respecto al alimento suministrado diariamente, los resultados del escenario base presentaron una divergencia de un 3% a favor de lo proyectado en las estaciones primavera-verano equivalente a 0,5 toneladas, en cambio, en las estaciones otoño-invierno, la divergencia aumenta a un 18% equivalente a 2,3 toneladas. Esta mayor diferencia pudiese ser explicado por la disminución de la oferta del alimento en las estaciones otoño-invierno, la cual no permite satisfacer de forma continua la demanda (TradeChile, 2003; Flores-Aguilaret *et al.*, 2007; *Com. Pers. Nicolás Mardones*). Con esto se pudiese concluir que dicha diferencia corresponde a la cantidad de alimento que no es posible de satisfacer en el sistema real, así mismo se estima que el resultado del modelo expresa lo mínimo a suministrar, otorgando un resultado más razonable y fiable que una sub-estimación.

Para la tasa de crecimiento promedio mensual proyectada, esta presentó un alto grado de ajuste a la tasa de crecimiento de la empresa modelo y a lo expresado en TradeChile (2003) para la zona sur, resultando en un 6% menos que el sistema real. Con esto, la ecuación de Pérez (2010) resulta ser una herramienta útil en predecir con un importante grado de asertividad la duración de ciclo, otorgando así un significativo nivel de confianza sobre las ecuaciones (5.2.2.1 y 5.2.2.2) con el objeto de ser utilizada en los objetivos planteados. A su vez es importante que las variables K y L_{∞} deban ser interpretados con cautela, ya que existe una intrínseca relación entre estas variables y el ambiente que no pueden ser ignorados (Cisneros, Bautista y Arguelles, 2008).

Respecto a la biomasa cosechada anual, a pesar del importante grado de ajuste de las variables que controlan dicha variable (números de individuos, mortalidad y tasa de crecimiento), los resultados evidencian una diferencia que asciende a 13,3 toneladas menos que el sistema real, equivalente a un 10%. Esto indica que posiblemente los individuos cosechados por sobre los 90 milímetros corresponde a una proporción mayor a lo supuesto y que no corresponde a pedidos específicos en el caso presentado por la empresa modelo que por términos de simplificación no es representado por el escenario base. Se estima que el número de

individuos y el beneficio neto que no es contabilizado en el modelo equivale a 113.285 y USD 377.055 respectivamente.

Por último, el costo total de producir un kilo de abalón corresponde a una de las variables de mayor complejidad en representar con precisión, debido a su amplia diversidad, comportamiento sujeto a la producción, vida útil y principalmente la diferencia del costo estipulado en el modelo en relación al real desembolsado. Esto fue solucionado mediante el correcto dimensionamiento de los factores productivos, como también los costos unitarios correspondieron a datos de campos y cotizaciones efectuadas por el autor y que el modelo elaborado busco representar de forma fiel la compleja dinámica de un centro de cultivo de abalón. Esto se tradujo que la dinámica del costo producción, una vez de alcanzado el régimen productivo posterior a los 4 años, presentara un comportamiento estable con leves variaciones tanto negativas como positivas, debido al desecho y reinversiones de bienes y contrato y despido de personal. Esto resulto que el costo de producción proyectado fluctúe dentro del rango de los 23 a 24 dólares, el cual presenta un alto grado de precisión respecto al sistema real, permitiendo validar el nivel de utilidad obtenido por la empresa y por ende establecer un nivel de confiabilidad importante sobre la magnitud de los indicadores económicos.

6.2 Evaluación de escenarios

Tabla 10: Variación porcentual de las variables de estado de los escenarios 1, 2, y 3 respecto al escenario base.

Variables de estado	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VPN	1.588.113.903	-69,18%↓	-64,78%↓	68,55%↑
RBC	1,13	-8,84%↓	-9,73%↓	7,07%↑
PI	6,30	-58,73%↓	-46,19%↓	40,15%↑
Tasa crecimiento/mensual	1,7	1,76%↑	2,94%↑	-6,47%↓
Duración Ciclo (semanal)	162	-3,70%↓	-18,52%↓	21,0%↑
Alimento (Ton/diaria) - Mínimo/Máximo	14,9/36,7	1,15%↑/ 13,69%↑	-35,30%↓/ -25,34%↓	48,46%↑/ 65,75%↑
Producción (Ton/año)	137,7	3,29%↑	-29,19%↓	36,49%↑
Costo/Kilo - Mínimo/Máximo	11.553/ 11.807	20,87%↑/ 22,30%↑	15,04%↑/ 15,68%↑	-10,97%↓/ -2,97%↓
Costos operacionales anuales Mínimo/Máximo	1.214.628.898/ 1.235.788.322	32,08%↑/ 34,59%↑	-21,14%↓/ -23,00%↓	25,14%↑/ 29,84%↑
Costos factores productivos de capital Acumulado	621.338.052	8,68%↑	-25,25%↓	22,45%↑
Otros costos anuales (Depreciación, costos nominales, mantención, imprevistos) Mínimo/Máximo.	34.945.251/ 43.451.738	2,58%↑/ -4,55%↓	-28,26%↓/ -28,90%↓	19,53%↑/ 24,28%↑

El análisis de los escenarios propuestos en función del escenario base son presentados a continuación para posteriormente, a partir de estos resultados expresar un análisis final.

6.2.1 Escenario base respecto al escenario 1.

La integración de la ecuación de crecimiento de Von bertalanffy modificada a la temperatura instantánea de acuerdo a los resultados expuestos en Pérez (2010) en la dinámica del modelo, permite observar la reducción del ciclo de cultivo si la temperatura se incrementa un grado por sobre un $[t_{-1}]$ (Ver Fig. 17). Así el patrón de temperatura utilizado para la zona de Caldera permite disminuir el ciclo de cultivo en un 3,7%, con una tasa de crecimiento mensual de un 1,76% superior a la zona de Ancud, equivalente a 0,03 milímetros (Ver Fig. 29). Estos resultados son concordante a lo expuesto en Pérez (2010), donde el autor citado expresa que para la zona norte, se pudiese obtener una tasa de crecimiento de 1,9 milímetros mensuales si el ciclo de cultivo se inicia a talla 0, observando así un grado de ajuste importante a Villagrán (2005), Flores-Aguilar (2007) y Villagrán (2008), que proponen una tasa de crecimiento de 2 milímetros mensuales para esta zona. Según lo anterior y lo observado en la sección (6.1), la relación encontrada a partir de los datos de SteinarssoneImsland (2003) y Pérez (2010), se consideraría un buen indicador del crecimiento en función de la temperatura valido para el *Haliotisrufescens* mediante alimentación con alga.

Con esto las ecuaciones (5.2.2.1 y 5.2.2.2) permiten concluir que el ciclo de cultivo en la zona de Caldera no presenta una reducción importante respecto a la zona de Ancud. Esto hizo notar que dicho resultado es representativo del comportamiento de las variables K y L_{∞} frente a la temperatura instantánea (Ver Fig. 18) que maximiza la tasa de crecimiento cuando la temperatura alcanza los 16,7°C, por lo que si se aumenta la distancia en grados a este óptimo, la tasa de crecimiento irá disminuyendo (Ver Fig. 30). En este caso, para la zona de Caldera que posee un gradiente inferior al óptimo de 0,7°C, el ciclo se extiende en un 0,5%, en cambio la zona de Ancud con 3,4°C bajo el óptimo, la extensión del ciclo aumenta en un 3,1%, a su vez se comienza a apreciar una importante extensión del ciclo (más de un 7%) a partir de los 4,7°C bajo el óptimo. Así mismo en términos prácticos, se observa que la zona de Ancud presenta una temperatura de cultivo que permite alcanzar tasas de crecimiento en las estaciones primavera y verano cercanas al máximo concebible (Flores-Aguilar *et al*, 2007; *Com. Pers.* Nicolás Mardones). Con estos antecedentes se intuye que bajo las ecuaciones (5.2.2.1, 5.2.2.2 y 5.2.2.4) no es posible reducir el ciclo productivo que más de lo obtenido en la zona de cultivo de Caldera en función estrictamente de la temperatura de cultivo.

Respecto a los requerimientos de factores productivos variables en la zona de Caldera, estos presentan una mayor demanda en comparación a la zona de cultivo de Ancud (ver Fig. 31 y 32), debido a que la tasa de crecimiento semanal en la zona de cultivo de Caldera presenta una leve mayor pendiente, resultando en una mayor intensidad productiva. Los costos de los factores productivos de capital variable en la zona norte resultan en un 8,68% superior. En

cambio, los costos operacionales presentan un aumento de un 32,08% a un 34,59% a pesar de que el costo unitario de mano de obra en la zona de Caldera es un 45% inferior respecto de Ancud. Esto hace notar la importancia del aumento del costo del alimento sobre este resultado, ya que si se extrae dicha variable, el costo operacional total es entre un 9 a un 14% inferior a la zona de Ancud a pesar de que el factor productivo humano demanda entre 1 a 3 operarios más en la zona de Caldera.

El fuerte aumento en el costo unitario del alimento en la zona Caldera que asciende a un 167% en comparación a la zona de Ancud, es debido a dos condiciones: la menor oferta disponible y la lejanía de las praderas naturales de los centros de cultivo (Poblete, 2012). A su vez en el modelo, se otorga un mayor suministro de alimento, debido a que la variable $PPC(t)$ se le suma un 20% más como alimentación a saciedad en 9 meses para la zona de Caldera en comparación a los 5 meses de la zona de Ancud. La situación antes dicha debiese tener algún efecto sobre tasa de crecimiento del cual se desconoce para el ámbito local, por lo que los beneficios económicos de esta condición no son modelados, resultando en un perjuicio económico. Matarazzo (2004) presenta una aproximación a esta situación, el cual observo para la especie *Perna Perna*, que a pesar de la mayor temperatura de cultivo y el mayor alimento consumido por el aumento del metabolismo, la tasa de crecimiento obtenida no es compensada. Zúñiga (2009) obtuvo conclusiones similares para el *Haliotis discushannai*, el cual obtiene mejores rendimientos económicos a pesar de la extensión del ciclo productivo a 13°C de temperatura promedio respecto a 17°C. Con esto se pudiese concluir que existe una relación desventajosa entre el aumento de la tasa de crecimiento y el mayor alimento suministrado en función de cultivar en zonas más cálidas que causarían un menor rendimiento económico con el eventual efecto negativo sobre la factibilidad económica del proyecto, lo que hace notar que la variable del alimento suministrado, tanto en términos económicos como biológicos resulta ser en una de las principales limitantes de transferencia desde una zona a otra.

En el escenario 1, si el precio por kilo de alga descendiese a los 72 pesos chilenos presentaría una mayor factibilidad económica que la zona de Ancud, que bajo un escenario realista es poco probable, ya que su valor es igual o mayor a los 120 pesos chilenos. En términos prácticos se teme que la principal limitante sea la disponibilidad de alimento en la zona de Caldera (*Com. Pers. Nicolás Mardones*), lo que pudiese imposibilitar en mantener una biomasa activa de similares dimensiones de la de Ancud. Actualmente en la zona norte del país existe la cantidad de alimento necesario para suplir principalmente hatcheries productores de semillas, los cuales pueden demandar entre un 11% a un 16% de lo requerido por un centro de engorda. Con estos antecedentes se genera la interrogante de que si una o más compañías desearan establecerse en esta zona con un sistema de engorda, probablemente no exista una cantidad adecuada de alimento y proveedores (*Com. Pers. Nicolás Mardones*).

Respecto a la mortalidad, la zona de cultivo de Ancud presenta virtudes físico-químicas que permiten mantener una producción estable sin el riesgo de mortalidades de carácter catastrófico (*Com. Pers. Nicolás Mardones*). Esto no necesariamente se pudiese replicar en la

zona norte del país, ya que la mortalidad puede variar por las condiciones ambientales, la genética y la metodología de cultivo entre otras (González, 1998). A su vez se carecen estudios que analicen el comportamiento de la mortalidad en sistemas de engorda suspendidos en la zona de Caldera, debido a la reciente autorización por parte de los entes gubernamentales de esta condición. Por otro lado, el costo unitario de las semillas, es mantenido constante a pesar de que la zona de Ancud pudiese presentar un mayor costo por términos de transporte, ya que la producción de semillas mayoritariamente es realizada en la zona norte del país. Se asume el costo de transporte como despreciable por el bajo riesgo y escaso tiempo de transporte, como también que algunas fuentes de semillas son provenientes de la misma zona.

En definitiva, representado por los 3 indicadores económicos, se presenta como la mejor alternativa el escenario base respecto al escenario 1. El cual es el resultado del menor costo de producción de un kilo de abalón en conserva, que para la zona de Caldera resultan entre un 20,87% a un 22,30% superior a la zona de Ancud.

Como una herramienta de gestión, el modelo permite observar divergencias en la duración del ciclo productivo entre los individuos ingresados en la primera semana del año respecto a los ingresados al final del primer semestre, correspondiente a 0,5 milímetros a favor de los individuos ingresados al inicio del año. Esto se traduce en la reducción del ciclo productivo de 1 a 2 semanas, lo cual puede ser relevante si una empresa busca satisfacer con oportuno los requerimientos particulares de cada cliente.

6.2.2 Escenario base respecto al escenario 2.

El comportamiento económico de extender o reducir el ciclo productivo según la talla a cosechar está en función de la dinámica de la tasa de crecimiento del *Haliotisrufescens*, el cual presenta un comportamiento asintótico, resultando en que mientras mayor sea la longitud de un individuo, se requerirá cada vez más tiempo lograr un milímetro adicional de crecimiento. Esto resulta para el modelo desarrollado en una mayor demanda de costos operacionales y de alimentación por el tiempo extra requerido en caso de aumentar la talla de cosecha (Ver Fig. 31 y 33). A esto se suma que los factores productivos de capital, humano y alimento presentan mayores requerimientos a medida que la talla promedio de una cohorte aumenta.

El comportamiento de dichos factores presenta un comportamiento diferenciado, donde específicamente los factores productivos de capital y humano al estar en función de la longitud promedio y el número de individuos de una cohorte, resultan en una variación porcentual de comportamiento asintótico similar al de la tasa de crecimiento, en cambio, en el caso del alimento que está en función de la biomasa promedio de una cohorte, presenta un comportamiento exponencial similar al comportamiento de la curva del peso para el *Haliotisrufescens*. Así por ejemplo el alimento presenta una reducción que va desde los 25,34% a 35,30% en caso de reducir la talla de cosecha y consecuentemente su costo total, en

cambio, los costos de los factores productivos de capital y humano representan una reducción de 25,25% y de un 21,14% a un 23,0% respectivamente.

A pesar de que los costos productivos presentan una importante reducción a una menor talla de cosecha, el costo de producción de un kilo de abalón aumenta una vez de alcanzado el régimen productivo. Este resultado se define por tres condiciones: Primero, los factores productivos que están función de la talla promedio y número de individuos de una cohorte presentan un aumento porcentual menor al de la biomasa cosechada en caso de cosechar a una mayor talla. Esto resulta en que se pueda cosechar una mayor biomasa a una menor proporción de dichos factores productivos. Segundo, los costos ajenos al nivel de producción, se mantienen independientes de la intensidad de productiva. Tercero, la baja mortalidad porcentual presenta un escaso efecto positivo por el menor tiempo del ciclo productivo. Por tanto, esto resulta que el costo de producción se reduzca entre un 15,04% a un 15,68% para el escenario base respecto al escenario 2, resultado por los 3 indicadores económicos como la mejor alternativa, el escenario base.

6.2.3 Escenario base respecto al escenario 3.

La reducción del ciclo productivo dio la no factibilidad económica del escenario 2, debido al aumento del costo de producción, por lo que se evalúa la extensión del ciclo productivo para la obtención de una mayor talla de cosecha que permita obtener un mayor volumen de producción a un menor costo porcentual. Así los resultados permiten observar cómo fue descrito en la sección 6.2.2, un aumento del ciclo productivo en un 21% al aumentar en 10 mm la talla de cosecha frente a los 18,5% en caso de reducir en 10 mm la talla de cosecha como efecto del comportamiento asintótico. Debido a la mayor talla de cosecha y peso unitario promedio de las cohortes y al tiempo extra requerido, la demanda de factores productivos aumenta entre un 25,14% a un 29,84% en el caso de los costos operacionales y a un 22,45% en el caso de los factores productivos de capital (Ver Fig. 31 y 34). Pero la biomasa cosechada aumenta en un 36,49%, resultando en que el costo de producción se reduzca entre un 2,97 a un 10,97%. Así los 3 indicadores analizados presentan como la mejor alternativa el escenario 3 sobre el escenario base, resultando en una alternativa viable en la búsqueda de la maximización de las utilidades.

A su vez es importante notar que el aumento en la demanda de alimento haciendo entre un 48,46% a un 65,75%. Esta situación debe ser tomada en cuenta, ya que pudiese generar una problemática en especial en la época invernal donde la oferta se reduce de forma importante como también de asegurar un suministro constante por parte del proveedor.

6.2.4 Escenario 3 respecto al escenario 4.

Tabla 3: Variación porcentual de las variables de estado del escenario 4 respecto al escenario 3.

Variables de estado	Escenario 3	Escenario 4
VPN	2.683.970.742	-63,81%↓
RBC	1,21	-11,57%↓
PI	8,83	-57,53%↓
Tasa crecimiento promedio/mensual	1,59	2,52%↑
Duración Ciclo (semanal)	196	-4,08%↓
Alimento (Ton/diaria) - Mínimo/Máximo	19,3/24,2	2,07%↑/1,65%↑
Producción (Ton/año)	187,94	2,25%↑
Costo/Kilo - Mínimo/Máximo	10.286/11.456	29,31%↑/19,23%↑
Costos operacionales anuales - Mínimo/Máximo.	1.520.097.400/1.604.562.202	41,79%↑/36,13%↑
Costos factores productivos de capital Acumulado	760.837.002	7,83%↑
Otros costos anuales (Depreciación, costos nominales, mantención, imprevistos) - Mínimo/Máximo.	41.770.420/54.000.638	1,21%↑/-9,12%↓

El análisis de este escenario corresponde a la búsqueda de una mejor condición económica que el escenario base y escenario 3, que como fue visto en la sección 6.2.3 presento el escenario 3 un mayor potencial económico que el escenario base. Para esto se busca observar el potencial económico de aumentar la talla de cosecha con la búsqueda de una mayor rentabilidad pero que al mismo tiempo se permita reducir el ciclo de cultivo mediante el aumento de la temperatura de cultivo.

Así los resultados permitieron observar una tendencia similar al de la sección 6.2.1 respecto a las variables analizadas, donde el ciclo de cultivo no se reduce en demasía (4,1%), debido a que la tasa de crecimiento aumenta solo en un 2,52%, que da consecuentemente un aumento en los requerimientos de los factores productivos debido a la mayor intensidad productiva (Ver Fig. 34 y 35). Así por ejemplo la demanda de alimento presenta un aumento de un 1,65% a un 2,07%, lo que se suma a un mayor costo unitario, resultando por ende que los costos operacionales aumenten entre un 36,13% a un 41,79%, en cambio los factores productivos de capital aumentan para la vida total del proyecto en un 7,83%. Estos mayores costos productivos generan que el costo de producción por kilo de abalón aumente entre un 19,23% a un 29,31%, por lo que los indicadores económicos dan como mejor alternativa el escenario 3 por sobre el escenario 4.

6.2.5 Conclusión sobre escenarios expuestos

La incapacidad de garantizar la zona de cultivo de Caldera una fuente segura y constante de alimento y que pueda demostrar mejores tasas de crecimiento que en parte permitan compensar el mayor suministro de alimento y el aumento de los costos en especial de este último, en términos biológicos y económicos, el escenario 3 y el escenario base se presentan como las alternativas que presentan la mayor viabilidad (Ver Fig. 36, 37 y 38).

A su vez el comportamiento de la curva de peso del *Haliotis rufescens* permite adquirir proporcionalmente un mayor peso respecto a un milímetro de crecimiento resultando en una mayor productividad por factor productivo (a excepción del alimento) a pesar de la fuerte extensión del ciclo productivo. El alimento demandado en cambio, al estar directamente en función la biomasa resulta una fuerte sensibilidad a los cambios de la estrategia de cosecha. Esto pone en duda si existirá tal nivel de oferta de alimento si más compañías deciden establecer esta estrategia de producción y que así mismo para la propia compañía ya presenta problemática de suministro en la época otoño-invierno, el cual resulta en un inconveniente similar al de la zona de Caldera.

El ítem alimento, es una de las mayores preocupaciones para la industria, ya que la viabilidad de la misma no puede depender de las capturas en las praderas naturales por el riesgo a que estas desaparezcan o sean objeto de veda. Como solución a esta problemática, algunos sectores proponen avanzar en el cultivo suspendido de alga (Flores-Aguilaret *al*, 2007), lo cual en términos prácticos, la alta demanda diaria de alimento hace que carezca de sentido producir pocas toneladas mensuales a un mayor costo unitario. La segunda alternativa corresponde al suministro de alimento artificial, el cual estudios dan cuenta que es posible disminuir un ciclo de cultivo en un 33% en condiciones experimentales (Camilo, 2008). Bajo un sistema de engorda en mar, se carecen de estudios que acrediten su factibilidad técnico-económica. La actual limitante corresponde a su costo unitario, el cual se aproxima a 1.800 pesos chilenos por kilo (Com. Pers. Lester Jorquera).

Respecto al modelo dinámico, a pesar de que se pudiese proyectar con facilidad los parámetros de la tasa de crecimiento, aun se requiere de estudios a verificar su validez general para la industria (Pérez, 2010), el cual permita mejorar la capacidad del modelo en representar correctamente la realidad de un centro de cultivo, ya que cada uno presenta sus propios rendimientos respecto a la mortalidad, tasas de crecimiento y alimentación y conversión del alimento a peso, influenciados por variables como la genética, calidad físico-química de la zona de cultivo, calidad nutritiva del alimento, metodología de cultivo y factores estocásticos (Com. Pers. Lester Jorquera).

A su vez se estima la necesidad de perfeccionar la metodología de desdoble y cosecha, que debido al extenso ciclo de cultivo y de la distancia temporal entre individuos puntas y

rezagados resulta en una alta variabilidad de clases de tallas, el cual afecta de forma importante la factibilidad económica y la correcta modelación de la empresa modelo (Matarazzo, 2004). A su vez se recomienda reevaluar las densidades de cultivo y las tasas de alimentación de los individuos de baja tasa de crecimiento, correspondiente al porcentaje “final de la cola” dentro de la campana de Gauss formada según la frecuencia de tallas al momento del desdoble con la posibilidad de comercializar dichos individuos, tan pronto como cuando alcanzan una talla comercial a un bajo precio (OceanusGroups, 2010). Como también es importante analizar los individuos que presentan en la práctica una mayor tasa de crecimiento a la media del cual se estima como una proporción importante, el cual pudiese contribuir a una mejor estimación, debido a que dichos individuos estarían consumiendo recursos extras y afectarían de forma directa a la competencia intraespecífica (Matarazzo, 2004).

Respecto a la estructura del modelo, este es lo suficientemente flexible para ser aplicado por otras empresas del rubro u otras especies acuícolas con las modificaciones respectivas de parámetros, interacciones entre variables y restricciones de estas mismas. Se hace hincapié en la realización de nuevos estudios respecto a zona de Caldera en función de variables exógenas como el ciclo del nitrógeno, la concentración del oxígeno, salinidad, hidrodinámica de las unidades de cultivo y tasas de alimentación sobre el crecimiento y la mortalidad, ya que no es posible realizar conclusiones definitivas sobre esta zona, sin antes determinar los reales efectos de estas variables, lo que contribuirían a obtener predicciones más exactas sobre producción.

6.3 Análisis de sensibilidad

Los resultados de las pruebas de sensibilidad permitieron observar sobre el indicador VPN sensibilidad a la modificación de las variables (costos de alimento y operacionales) y parámetros (precio de venta, tasa de descuento y mortalidad) en ambos escenarios (Ver Fig. 39 y 40). El cual entrega valiosa información para el análisis de estrategias de acuerdo con los patrones generados en la simulación (Molina *et al.*, 2012), permitiendo enfocarse en las variables y parámetros que ejercen el mayor impacto sobre los beneficios netos de la actividad (Zúñiga, 2009).

El ítem que genero la mayor sensibilidad sobre el indicador VPN en ambos escenarios es el precio de venta, lo que es concordante con similares trabajos (PelotyZwicker, 2006; Molina *et al.*, 2012). Esto es debido a que en términos monetarios los ingresos representan la mayor magnitud, los cuales deben cubrir todos los costos y exigirles un porcentaje extra como retribución por el ejercicio de actividad expresado como beneficio neto. Notar además que si este parámetro se reduce un 15%, el escenario 1 pierde su factibilidad económica. El segundo ítem que genero la mayor sensibilidad sobre el indicador VPN correspondió a la tasa de descuento para ambos escenarios. Esto es el resultado de presentar un valor de importante magnitud, como resultado de integrar un coeficiente β superior a 1, indicando que el riesgo del

proyecto es superior a la media del mercado. Si este aumenta un 30% para el escenario 1, el proyecto debe ser abortado. Notar además que presenta un comportamiento decreciente, debido a que existe una relación inversa entre la tasa de descuento y el VPN.

A su vez los ítems costos operaciones, costos de alimento y mortalidad presentan un comportamiento dispar para ambos escenarios, el cual es el resultado de presentar una estructura de costos diferida. El escenario 1 presenta un mayor costo de producción que el escenario base, dando como resultado una mayor sensibilidad a la variación de cualquier ítem que afecte la factibilidad económica. A su vez el escenario 1 se puede ver favorecido por la menor duración de ciclo productivo ejerciendo por ejemplo la mortalidad una menor influencia, pero dicha reducción del ciclo productivo no fue lo suficientemente acentuada para representar un mayor beneficio económico, como también que la mortalidad porcentual presenta una pequeña magnitud en comparación a la etapa de producción Nursery (14%), el cual la empresa ejemplificada encontrándose en estado de régimen productivo le permite mantener una producción anual estable. Así la mortalidad se presentó como la cuarta y quinta variable que ejerce la mayor sensibilidad sobre el indicador VPN para el escenario base y escenario 1 respectivamente.

El costo de alimento se presentó como la quinta y tercera variable que ejerce la mayor sensibilidad sobre el indicador VPN para el escenario base y escenario 1 respectivamente. Para el escenario 1 si el costo unitario de alimento aumenta en un 30%, el proyecto debe ser abortado. En cambio, el costo operacional se presentó como la tercera y cuarta variable que ejerce la mayor sensibilidad sobre el indicador VPN para el escenario base y el escenario 1 respectivamente. A pesar de que en el escenario 1 presenta un menor salario de mano de obra, el volumen total monetario resulta superior y por ende ejerce una mayor sensibilidad sobre el indicador económico VPN. Una variación positiva de un 30% en el escenario 1, genera que el proyecto deba ser rechazado.

6.4 Observaciones generales

El análisis económico de una empresa modelo hacia la relocalización de sus operaciones presentado en la sección (6.2.2 y 6.2.4), dio como resultado la no factibilidad económica, así mismo el análisis de sensibilidad expresado en la sección (6.3) demostró que el precio de venta resultó ser el ítem que ejerce la mayor sensibilidad sobre el indicador económico VPN. Estos resultados se presentan como una herramienta de apoyo o de guía para la toma de decisiones, por ejemplo en intuir en que se deba enfocar en el precio de venta del producto sin la necesidad de restablecer las operaciones en otro sitio, si la búsqueda es de un mejor estado económico (Zúñiga, 2009).

La condición antes expuesta puede ser alcanzado mediante el mejoramiento o búsqueda de nuevas relaciones comerciales, que permitan o contribuyan a acceder a nuevos mercados y

mejores precios de venta (Medina, 2008), con una diversificación de la oferta a nuevos estratos sociales con diferentes objetivos de consumo tanto en el país objetivo como también en otros países (Stanton, Etzel y Walker, 2007; Cook *et al*, 2010). Por ejemplo producir un abalón de mayor peso unitario (sobre los 150 gramos), el cual debido a su carácter sofisticado, es considerado como el ideal para las comidas tradicionales asiáticas, resultando en un mejor precio de venta por kilo (TradeChile 2003; BNP PARIBAS Securities Asia, 2010; *Com. Pers. Roberto Flores-Aguilar; Com. Pers. Peter Cook*), llegando a superar en un 30% el valor de un abalón de 100 gramos (*Com. Pers. Roberto Flores-Aguilar; Com. Pers. Peter Cook*). El cual a pesar de su mayor valor no afecta su demanda, ya que el mercado del abalón presenta demanda insatisfecha como es el caso de los mercados de Japón y China (Cook *et al*, 2010).

Respectos a los escenarios presentados, la sensibilidad expresada por las variables de estado analizadas según la zona de cultivo y estrategia de cosecha, evidencia la importancia de tener alta certeza cuantitativa de los parámetros y de los consecuentes resultados, que en el caso de la zona de cultivo de Caldera presenta un alto grado de incertidumbre frente a disponibilidad de alimento, estrategias de manejo y variables biológicas de la especie, que permitan con confiabilidad ser una alternativa viable tanto técnica como económica. Bajo esta condición, el escenario 3, se vislumbra como la alternativa con mayor proyección, ya que no representa el riesgo técnico y económico de los otros escenarios, pudiendo un centro de cultivo concentrar sus esfuerzos en perfeccionar la metodología de cultivo y optimizar el uso de recursos económicos.

Del aporte de los modelos dinámicos:

Uno de los beneficios de la construcción de modelos, es el que permite un continuo proceso de revisión y corrección de sus componentes, además de fomentar la investigación de sistemas (Cuenco, 1989), mejorando su fiabilidad como herramienta para la orientación en la toma decisiones y análisis de diferentes estrategias. Respecto al modelo, a pesar de que fue elaborado en función de un centro de cultivo específico, este es lo suficientemente moldeable para aplicarse a un sin fin de situaciones, tales como extrapolarse a cualquier centro de cultivo de *Haliotisrufescens* u otra especie, efectuar análisis de elasticidad de la oferta-demanda de un mercado objetivo, análisis económico de la inclusión de tecnología sobre los procesos, suministro de alimento artificial, mejoramiento genético de las semillas y aplicación de variables estocásticas externas.

7. CONCLUSION

El modelo construido presenta un comportamiento acorde a la dinámica del sistema real que incluyen los procesos económicos, tecnológicos y biológicos con las respectivas interacciones de bucle causal, tanto en el rango teórico como práctico en cuanto a costos, metodología de producción, gestión de inventario, estrategias de cosecha y rendimientos productivos de un centro de cultivo de abalón rojo.

Una vez de montado el modelo elaborado en un software de simulación dinámica, proporciona una plataforma de observación de las interacciones de las variables mediante una descripción matemática y gráfica, resultando ser en una herramienta fiable para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión productiva y evaluación de escenarios. Esto permitió obtener importantes conclusiones en cuanto que a pesar de observar una reducción del ciclo productivo al aumentar la temperatura de cultivo, la tasa de crecimiento obtenida no fue lo suficientemente acentuada para compensar la mayor demanda de factores productivos en especial el del alimento suministrado y su respectivo costo unitario, lo que resultó en definitiva en la no viabilidad económica de realizar la transferencia desde la zona de Ancud hacia la zona de Caldera. Así la alternativa que expresó un menor costo de producción con un mayor coeficiente económico expresado por todos los indicadores en comparación al escenario base correspondió al escenario 3.

Un análisis de sensibilidad fue representado mediante la modificación porcentual de las variables más importantes del proyecto bajo los escenarios base y 1, en relación con la factibilidad económica expresado por el indicador económico VPN. Los resultados presentaron al precio de venta como la variable que genera la mayor sensibilidad y en segundo lugar la tasa de descuento. Luego de forma dispar se presentaron el costo de alimento como la quinta y tercera variable, el costo operacional se presentó como la tercera y cuarta variable y la mortalidad se presentó como la cuarta y quinta variable para los escenarios 1 y base respectivamente.

Por último, el modelo elaborado presenta virtudes respecto a generar nuevas interrogantes de investigación y ser una guía de comprensión de las variables que limitan la factibilidad económica del proyecto. Es un soporte fiable y eficaz para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación y gestión de los recursos biológicos, económicos y técnicos.

8. REFERENCIAS

- Araos, C. 2008. Diseño y dimensionamiento de un centro de engorda de abalón rojo (*Haliotis rufescens*) ubicado en Caleta Cholgo, X región. Tesis de ingeniería pesquera. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile. 106 pp.
- Bjørndal, T. 1988. "The Optimal Management of North Sea Herring". J. Environ. Econ. Manag., 15: 9-29.
- BNP PARIBAS SECURITIES ASIA. 2010. Report: Oceanus Group. [<http://www.bnppresearch.com/ResearchFiles/9698/Oceanus%20Group-Jun10.pdf>]. Revisado: 24 Agosto 2013.
- Borda, C. 2008. "Vemos con preocupación el futuro de la industria". Revista AQUA. 120: 50-53.
- Börner, K., K. Boyack, S. Milojevic y S. Morris. 2012. "An Introduction to Modeling Science: Basic Model Types, Key Definitions, and a General Framework for the Comparison of Process Models". En: Scharnhorst, A., K. Börner, and P. van den Besselaar (Eds). Models of Science Dynamics. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 3-22.
- Boyd, C. E., R.P. Romaine y E. Johnston. 1978. Predicting early morning dissolved oxygen concentrations in channel catfish ponds. Trans. Am. Fish. Soc., 107 (3): 484-492.
- Cáceres, J. 2003. Programa Nacional de Sanidad Acuícola y la Red de Diagnóstico. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), Organización del Sector Pesquero y Acuícola del ISTMO Centroamericano (OSPESCA). Baja California, México.
- Camilo, P. 2008. Cultivo del abalón, derribando obstáculos. Revista AQUA. 120: 48.
- Cervantes, A., X. Chiappa y N. Simoes. 2007. Manual práctico de Stella, software de modelación dinámica. [<https://es.scribd.com/doc/38142960/Manual-Stella>]. Revisado: 13 Abril 2011.
- Cisneros, R., J. Bautista y J. Arguelles. 2008. Crecimiento comparativo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en sistemas suspendidos. Ecol. Apl., 7(1-2): 81-87.
- Cook, P. A. y G. H. Gordon. 2010. World Abalone Supply, Markets and Pricing. J. of Shellfish Res., 29(3): 569-571.
- Cook, P.A. 2014. The Worldwide Abalone Industry. Modern Economy, 5: 1181-1186.

Cuenco, M. 1989. Aquaculture System Modeling: An Introduction with Emphasis on Warmwater Aquaculture. International Center For Living Aquatic Resources Management, Manila, 52 pp.

Cultivos Australes S.A. 2004. Caracterización preliminar de sitio. Modificación de Producción Centro de Cultivo Punta Huenao. [https://www.e-seia.cl/archivos/Caracterizacion_Preliminar_del_Sitio.pdf]. Revisado: 13 Junio 2014.

Cultivos Marinos del Pacifico S.A. 2009. Caracterización preliminar de sitio Punta Huenao, Isla Quinchao, Chiloé, Décima Región. Solicitud N° 207103169. [https://www.e-seia.cl/archivos/Anexo_2_e.2_Informe_CPS_Huenao.pdf]. Revisado: 13 Junio 2014.

Cultivos Marinos San Cristobal. 2013. Sector abalonero nacional, necesidades presentes y futuras. [http://www.subpesca.cl/prensa/601/articles-80131_Sector_Abalonero_.pdf]. Revisado: 12 Junio 2013.

Ernst, W. 2000. The Earth's place in the solar system. En WG Ernst (Ed). Earth systems: Processes and issues. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 45-58.

Fallu, R. 1991. Abalone Farming. Fishing News Books, Oxford, 195 pp.

FAO. 2008. "Estado Mundial de la pesca y acuicultura". Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

Fishtech. 2012. World Abalone Supply Markets and Pricing. [<http://www.fishtech.com/2012abalonemarket.html>]. Revisado: 21 Agosto 2013.

Flores-Aguilar, R., A. Gutierrez, A. Ellwanger y R. Searcy-Bernal. 2007. Development and current status of Abalone aquaculture in Chile. J. Shellfish Res., 26(3): 705-711.

Flores-Aguilar, R. 2010. International Abalone Society. Chilean Abalone Aquaculture: An Update. [internationalabalonesociety.org/pdf/chile_update.pdf]. Revisado: 11 de Junio 2012.

Forrester, J. 1961. Industrial dynamics. Massachusetts Institute of Technology Press, Massachusetts, 464 pp.

Foulon, M. 1963. Esquema de Economía Rural. CEABA, 63 pp.

Gertsev, V. 2003. Classification of mathematical models in ecology. Ecol Model, 178: 329-334.

Glass, K. y Y. Xia. 2003. Interpreting time-series analyses for continuous-time biological models: Measles as a case study. J. Theo. Biol, 223(1): 19-25.

Godoy, C., G. Jerez y F. Ponce. 1992. The introduction of abalone into Chile. En: Shepherd S.A., M.J. Tegner y S.A. Guzmán del Prío (Eds). *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books, Cambridge, pp. 485–488.

Godoy, M. 2003. Major diseases encountered in Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) and red abalone (*Haliotis rufescens*) reared in Chile. Abstract, 5th International Abalone Symposium, Qingdao, China, 12–17 October 2003.

González-Aviles, J. y S. Shepherd. (1996). Growth and survival of the blue abalone (*Haliotis fulgens*) in barrels at Cedros Island, Baja California, with review of abalone barrel culture. *Aquaculture*, 140: 169–76.

Grant, W.E. 1986. *Systems analysis and simulation in wildlife and fisheries sciences*. John Wiley and Sons, New York, 338 pp.

Gurau, M.A. 2012. The use of profitability index in economic evaluation of industrial investment projects. *Proceedings in Manufacturing Systems*, 7(1):45-48.

Guzmán, C. 2003. Cultivo de abalón en Chile: Fotografía de una industria cautivante. *Revista AQUA*. 76: 32-40.

Haaker, P.L., K.C. Henderson y D.O. Parker. 1986. *California Abalone*. Marine Resources Leaflet No. 11. The Resources Agency, Department of Fish and Game, Marine Resources Division, Long Beach, California, 18 pp. Hahn, K. 1989. *The CRC Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods*. Boca Raton, Florida, 348 pp.

Hannon, B. y M. Ruth. 1994. *Dynamic modeling*. Springer, New York, 409 pp.

Heasman, M. y N. Savva. 2007. *Manual for intensive hatchery production of abalone*. NSW Dept. of Primary Industries, Port Stephens Fisheries Centre, 108 pp.

Hegselmann, R. 1996. Cellular automata in the social sciences: Perspectives, restrictions and artefacts. En: R. Hegselmann, U. Mueller and K. G. Troitzsch (Eds.). *Modelling and simulation in the social sciences from a philosophy of science point of view*. Kluwer. Dordrecht, pp. 209-234.

Hoshino, E. 2013. Price relationships for imported abalone in the Hong Kong Market. [<http://www.aares.org.au/aares/documents/2013ac/presentations/hoshino.pdf>]. Revisado: 22 Junio 2014.

Illanes, J. 1999. *Taller cultivo del abalón japonés en Chile*. Universidad Católica del Norte, Facultad de Ciencias del Mar, Departamento de Acuicultura. Coquimbo, 100 pp.

Ino, T. y K. Harada. 1961. On the spawning of abalone in the vicinity of Ibaragi Prefecture. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, 31: 275-81.

Inversiones Security. 2010. Apertura en Bolsa: CAMANCHACA. [https://www.bancosecurity.cl/personas/homes/invsec/cont/cont_buscap2.asp?id=06B754BB014F2F953812A9BCDF8771DCAD652A952A0C94BD]. Revisado: 30 Abril 2012.

Jørgensen, S. E. y B. Fath. 2011. Fundamentals of Ecological Modelling. Elsevier Scientific Publishers. Amsterdam. 360 pp.

Karplus, W.J. 1983. The spectrum of mathematical models. *PerspectComput*, 3(2): 4-13.

Kitching, R. 1983. Systems ecology: an introduction to ecological modelling. University of Queensland Press, St. Lucia, Queensland, 280 pp.

Madrid, A. 2001. Diseño y dimensionamiento de un hatchery productor a escala industrial de semillas de abalón rojo (*Haliotis rufescens*) posicionado en Laguna Verde. V región. Tesis de ingeniería pesquera. Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile. 171 pp.

Matarazzo, F. 2004. Population and ecophysiology modelling of the cultured mussel *Perna perna*: towards the development of a carrying capacity model. Thesis of Doctor of Philosophy in Aquaculture. University of Tasmania. Tasmania, Australia. 195 pp.

McBride, S. C. 1998. Current status of abalone aquaculture in the California. *J. Shellfish Res.* 17 (3): 593-600.

McCormick, T. B., K. Herbinson, T. S. Mill y J. Altick. 1994. A review of abalone seeding, possible significance and a new seeding device. *Bull. Mar. Sci.* 55:680-693.

Medina, R. 2008. Cultivo del Abalón, derribando obstáculos. *Revista AQUA.* 120:46-47.

Molina, R. 2010. Evaluación económica de estrategias de cosecha en el cultivo del ostión del norte, *Argopecten purpuratus*, mediante simulación dinámica. Tesis de ingeniería en acuicultura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile. 119 pp.

Molina, R., R. Cerda, E. González y F. Hurtado. 2012. Modelo de simulación para el cultivo del ostión (*Argopecten purpuratus*) en el norte de Chile: aplicaciones para la toma de decisiones. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40(3): 679-693.

Moreno, C. 1998. Factibilidad económica de un centro productor de semilla de ostión del norte, *Argopecten purpuratus*, en ambiente controlado y natural. Tesis de ingeniería Pesquera. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile. 86 pp.

Nuestro Mar. 2002. El abalón generará más dólares y empleos. N° 228. Diario Regional, Puerto Montt.

Oakes, F. y R. Ponte. 1996. The abalone market: opportunities for cultured abalone. *Aquaculture* 140: 187-195.

Oceanus Group. 2010. Oceanus Group: Annual Report 2010. [http://www.oceanus.com.sg/annualreport/Oceanus_Ar_2010.pdf]. Revisado: 24 Agosto 2013.

Owen, B., J. H. McLeany R. J. Meyer. 1971. Hybridization in the Eastern Pacific Abalone (*Haliotis*). *Los Angeles Co. Mus. Natur Hist., Sci. Bull.* (9):1-37.

Pelot, R.P. y W. Zwicker. 2006. Simulation for scallop aquaculture inventory management. *Proceedings of the 19th International Conference on Production Research, International Foundation of Productions Research, Valparaíso, August 2007*, 6 pp.

Pérez, E. 2010. Una modificación de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento del abalón rojo (*Haliotis rufescens*) para su uso en acuicultura. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 45(2): 303-310.

Pérez, E. 2012. Estimaciones de crecimiento de *Haliotis rufescens* en cautiverio en el norte de Chile. *Interciencia.* 37(2): 148-153.

Phillips, D., A. Ravindran y J. Solberg. 1976. *Operations research: principles and practice.* John Wiley and Sons, New York. 604 pp.

Piedrahita, R. 1988. Introduction to computer modelling of aquaculture pond ecosystems. *Aquacult. Fish. Manage.* 19: 1-12.

Poblete, A. 2012. Escasez de algas sigue siendo la piedra de tope para la industria del abalón. [<http://www.semanariotempo.cl/2012/03/06/escasez-de-algas-sigue-siendo-la-piedra-de-tope-para-industria-del-abalon/>]. Revisado: 21 Septiembre 2013.

Pouvreau S., J. Tiapari, A. Gangnery, F. Lagarde, M. Garnier, H. Teisser, G. Haumani, D. Buestel y A. Bodoy. 2000. Growth of the black-lip pearl oyster, *Pinctadamargaritifera*, in suspended culture under hydrobiological conditions of Takapoto lagoon (French Polynesia). *Aquaculture.* 186(1-2): 117-144.

ProChile. 2007. Perfil de mercado Abalón-Japón. [http://www.chilealimentos.com/medios/2008/servicios/infodemercado/Investigacion_Mercado/2008/Japon/japon_abalon_2007.pdf]. Revisado: 17 Mayo 2011.

Riggs, D.S. 1963. *The mathematical approach to physiological problems: a critical primer.* The MIT Press, Massachusetts, 445 pp.

Romaire, R. y C.E. Boyd. 1979. Effects of solar radiation on the dynamics of dissolved oxygen in channel catfish ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 108: 473-478.

- Rubino, M (Ed). 2008. Offshore Aquaculture in the United States: Economic Considerations, Implications y Opportunities. U.S. Department of Commerce; National Oceanic y Atmospheric Administration. Silver Spring, Maryland, USA. NOAA Technical Memorandum NMFS F/SPO-103.263 pp.
- Sapag, N. 1983. Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos. Universidad de Chile, Santiago, 437 pp.
- SAS/ETS. 1994. SAS/ETS user's guide, version 5edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Scholten, H. y A. Small. 1998. Responses of *Mytilusedulisto* varying food concentrations: testing EMMY, an ecophysiological model. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 219: 217-239.
- Scholten, H. y M. W. M. Van der Tol. 1994. SMOES: a Simulation Model for the OosterscheldeEcoSystem. Part II: calibration and validation. Hydrobiology.282/283: 453-474.
- SERNAPESCA. 2014. Anuario 2014-Series 2004 - 2014. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Gobierno de Chile, Chile.
- Shepherd, S., M. Tegner y S. Guzmán del Proo. 1992. Abalone of the world. Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Spain, J. 1982. BASIC microcomputer models in biology. Addison-Wesley Publishing Co., London, 354 pp.
- Starfield, A. y A. Bleloch. 1986. Building models for conservation and wildlife management. Macmillan Publishing Company, New York, 253 pp.
- Stanton, W., M. Etzel y B. Walker. 2007. Fundamentals of Marketing. McGraw-Hill/Irwin, Mexico D.F., 741 pp.
- Steinarsson, A. y A. Imsland. 2003. Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). Aquaculture 224: 353-362.
- Steinberg, J. 2005. The illicit abalone trade in South Africa. Institute for Security Studies. Paper 105.16 pp.
- TechnoPress. 2011. Exportaciones de productos seleccionados y turbot. Revista AQUA.145: 97.
- TerraSan Group. 2006. A Brief Over view of the Abalone Industry in South Africa. [http://www.abalone.cenrm.uwa.edu.au/__data/page/1963/A_brief_overview_of_the_abalone_industry_in_South_Africa5.pdf]. Revisado: 11 Junio 2012.

The Boston consultingGroup. 2007. Estudios de Competitividad en *Clusters* de la Economía Chilena.

[<http://bligoo.com/media/users/3/182374/files/18813/Resumen%20Ejecutivo%20Acuicultura.pdf>]. Revisado: 28 Octubre 2013.

Tradechile. 2003. Estudio del Mercado Mundial y Definición de Ventajas Competitivas de Chile para la Producción y Exportación de Abalón Japonés y Abalón Californiano. [www.tradechile.cl/Infoforos/Acuicola.pdf]. Revisado: 17 Mayo 2011.

Viana, M. T. 2000. Nutrición de abulón. *En*: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C. J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L. E (Eds). Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, Baja California, México. 33-41 pp.

Viana, M. 2001. Higiene en los cultivos comerciales y como prevenir las enfermedades. *In* Cultivo del Abalón (*Haliotis* sp.). Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. 50 pp.

Villagrán, R. 2005. Radiografía del cultivo del abulón en Chile. Boletín informativo Trimestral de la Sociedad Mexicana de Abulón. 6(1): 1-3.

Villagrán, R. 2008. Cultivo del abalón, derribando obstáculos. Revista AQUA. 120: 42-48.

Woywood, D. 2005. Determinación de la tolerancia del abalón rojo (*Haliotis rufescens*) a la exposición al aire, agua de mar con bajas salinidades y agua dulce. Tesis de médico veterinario. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Región de los Ríos, Chile. 61 pp.

Zuñiga, S. 2009. A dynamic simulation analysis of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) production in Chile. *Aquacult. Int.* 18:603–620.

ANEXO

ANEXO I
Datos necesarios para la construcción del modelo

Tabla 12: Duración ciclo cultivo

	Duración (semanas)	
Jaula acopio	12	
Linterna	40	
Jaula engorda 1	52	
	Zona de cultivo Caldera	Zona de cultivo Ancud
Jaula engorda 2 Talla 80	-	28
Jaula engorda 2 Talla 90	52	58
Jaula engorda 2 Talla 100	84	90

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 4: Parámetros de semillas y alimento

Talla inicial (milímetros)	24
Semillas sembradas/año	1.500.000
Porcentaje Peso-Cuerpo	8

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 5: Mortalidad semanal por etapa

Jaula de acopio	1,25%
Linterna	0,25%
Jaula de engorda	0,12%

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 6: Porcentaje de individuos puntas al desdoble y extensión del ciclo por rezago

	Porcentaje individuos puntas
Transferencia de acopio a linternas	Sin desdoble
Desdoble linternas a jaula de engorda	25%
Desdoble entre jaulas de engorda	25%
Extensión ciclo del ciclo a la cosecha	25%
Porcentaje rezago sobre longitud.	95-98%
Aplicable a: $2 \leq J \leq 8$	

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 16: Parámetros de la determinación de densidad

Porcentaje superficie ocupada	25%
Relación Ancho-largo concha	68%

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 17: Área de unidades de cultivo

	Unidad Jaula Acopio	Unidad Linterna	Unidad Jaula
Pisos/Linterna	10	16	10
Área/piso (m2), Ambos lados	0,36	0,72	0,36
Área/linterna (m2)	3,6	7,2	3,6
Área/contenedor (m2)	68	0,68	376
Linterna/contenedor	7	1	40
Área total (m2)	93,2	8	376
Unidades/líneas	-	49	4
Líneas/hectárea	-	10	10

Nota: Área de Centro: 12 Ha. Fuente: Empresa modelo.

Tabla 18: Datos dimensionamiento mano de obra

	Línea/Mano de obra	Duración MO	Contratación inicial	Porcentaje reclutamiento
Calibración Planta	1	520	3	-
Calibración temporera	0,5	12	-	100%
Alimentación Planta	4	520	2	-
Alimentación temporero	0,5	12	-	100%
Buzo	3	520	5	100%

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 19: Capacidad Bienes directos

	Líneas/Factor Productivo	Adquisición iníciales
Botes	20	1
Balsa alimentación	14	1
Balsa limpieza	14	1
Balsa cosecha	14	1
Balsa transporte	Fijo	1
	Piezas/requerimiento^c	Adquisición iníciales
Balsa desdoble	258.400	-
Calibradora	129.200	-
	Empaques	Adquisición iníciales
Densidad empaque(Kg/empaque)	5	-

^c Eficiencia*Horas de trabajo/día*Piezas calibradas/hora*Días permitidos*Maquina calibradora/balsa. Fuente: Empresa modelo.

Tabla 7: Costo de semilla y alimento

	Costo unitario (peso Chilenos)	
Semilla Producción interna	\$ 200	
Semilla Compra externa^a	8*Milímetro	
	Sur	Norte
Costo Alga /Kilo	\$ 45	\$ 120

^aCosto unitario de semilla adquirida es equivalente al costo unitario de cada milímetro de semilla por la longitud promedio de la cohorte adquirida. Fuente: Empresa modelo.

Tabla 8: Costos de factores productivos de capital variable

Factor productivo de capital variable	Costo unitario (Pesos Chilenos)	Unidades iníciales	Inversión Total (Pesos Chilenos)	Vida útil (semanas)	Fuente
Jaula Acopio	\$ 320.000	2	\$ 640.000	520	Empresa modelo
Linterna	\$ 16.000	-	-	520	Empresa modelo
Jaula engorda	\$ 500.000	-	-	520	Empresa modelo
Líneas	\$ 1.103.950	-	-	156	Araos (2008)
Embarcación	\$ 20.000.000	1	\$ 20.000.000	520	Oceantech
Balsa de trabajo	\$ 12.686.000	4	\$ 50.744.000	520	Oceantech
Grúa cosechadora	\$ 10.859.000	1	\$ 10.859.000	520	Oceantech
Muelle	\$ 650.000	1	\$ 650.000	520	Infeplas
Calibradora	\$ 2.760.000	-	-	780	Zhengzhou shuliy
Empaque	\$ 2.750	-	-	312	PlasticosH addad

Tabla 9: Costos de factores productivos de capital fijo

Factor productivo de capital fijo	Costo unitario (Pesos Chilenos)	Unidades iniciales	Inversión Total (Pesos Chilenos)	Vida útil (Semanas)	Fuente
Herramientas	\$95.000	1	\$ 95.000	156	Easy
Útiles de oficina	\$ 9.800	1	\$ 9.800	156	LapizLopez
Casilleros	\$ 210.000	1	\$ 210.000	364	Aconcagua ltda.
Vehículo	\$ 12.990.000	1	\$ 12.990.000	364	Bruno Fritsch
Hidrolavadora	\$ 138.990	1	\$ 139.990	364	Sodimac
Refrigerador	\$ 145.390	1	\$ 145.390	468	Easy
Cocina	\$ 87.290	1	\$ 87.290	468	Easy
Muebles	\$ 459.990	1	\$ 459.990	468	Easy
Implementación Galpón	\$ 900.000	1	\$ 900.000	520	Easy
Implementación personal	\$ 32.839	8	\$ 262.712	520	Sodimac
Estanques	\$ 610.980	1	\$ 610.980	520	Easy
Pie metro mecánico	\$ 1.590	5	\$ 7.950	468	Easy
Balanza común	\$ 17.990	4	\$ 71.960	468	Fernapet
Balanza analítica	\$ 130.000	1	\$ 130.000	468	Equilab
Termómetro mercurio	\$ 1.400	5	\$ 15.000	468	Indaga
Termómetro digital	\$ 13.000	1	\$ 13.000	468	Hanna instrument
Computador	\$ 169.000	2	\$ 338.000	468	C-integral
Radio Transmisor	\$ 99.000	2	\$ 198.000	468	Eventas
Compresor para buceo	\$ 923.000	1	\$ 923.000	468	AquaOceana
Compresor Ir ingersoll	\$ 5.355.000	1	\$ 5.355.000	468	SMT
Traje de buceo	\$ 148.000	5	\$ 1.036.000	468	Ecosub
Manipulación y descarga	\$ 990.000	1	\$ 990.000	1040	Cotización constructora
Mantenimiento y reparación	\$ 2.600.000	1	\$ 2.600.000	1040	Cotización constructora
Bodega	\$ 590.000	1	\$ 590.000	1040	Cotización constructora
Baño y servicios	\$ 1.450.000	1	\$ 1.450.000	1040	Cotización constructora
Varadero	\$ 290.000	1	\$ 290.000	1040	Cotización constructora
Galpón oficinas	\$ 14.900.000	1	\$ 14.900.000	1040	Cotización constructora
Galpón operarios	\$3.200.000	1	\$ 3.200.000	1040	Cotización constructora

Tabla 10: Costos por contrato y despido de mano de obra

Costo contrato planta (Pesos Chilenos)	\$	8.000
Costo contrato temporero (Pesos Chilenos)	\$	8.000
Costo despido planta (Pesos Chilenos)	\$	225.333
Costo despido temporero (Caso excepcional) (Pesos Chilenos)	\$	13.000

Fuente: Empresa modelo

Tabla 11: Costo operacional mano de obra

Personal del centro de engorda	Sueldos Semanal (Pesos Chilenos)	Contratación inicial	Costo total inicial (Pesos Chilenos)
Gerente General	\$ 997.500	1	\$ 997.500
Gerente Comercial	\$ 737.500	1	\$ 737.500
Gerente Operaciones	\$ 737.500	1	\$ 737.500
Jefe de centro	\$ 337.500	1	\$ 337.500
Asistente centro	\$ 162.500	1	\$ 162.500
jefe de siembra	\$ 237.500	1	\$ 237.500
Jefe RH	\$ 237.500	1	\$ 237.500
Asistente RH	\$ 162.500	1	\$ 162.500
Jefe mantención	\$ 187.500	1	\$ 187.500
Jefe de Buzos	\$ 187.500	1	\$ 187.500
Asistente de Buzos	\$ 112.500	1	\$ 112.500
Administrador contable	\$ 222.500	1	\$ 222.500
Capataz	\$ 112.500	1	\$ 112.500
Buzos Alimentación Zona norte	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Buzos de mantención Zona norte	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Buzos para siembra Zona norte	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Buzos de cosecha Zona norte	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Buzos de reserva Zona norte	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Buzos Alimentación Zona sur	\$ 75.000	2	\$ 150.000
Buzos de mantención Zona sur	\$ 75.000	2	\$ 150.000
Buzos para siembra Zona sur	\$ 75.000	2	\$ 150.000
Buzos de cosecha Zona sur	\$ 75.000	2	\$ 150.000
Buzos de reserva Zona sur	\$ 75.000	2	\$ 150.000
Operario planta Zona norte	\$ 48.250	5	\$ 241.250
Operario temporero Zona norte	\$ 48.250	-	-
Operario planta Zona Sur	\$ 75.000	5	\$ 375.000
Operario temporero Zona Sur	\$ 75.000	-	-

Fuente: Empresa modelo

Tabla 12: Costos operacionales extras

	Costo unitario (Pesos Chilenos)	Tipo de medición
Bonos	\$ 0,25	Individuo/cosecha
Asistencia social	\$ 4.651	Costo/operario
Gratificaciones	\$ 13.953	Costo/operario
Cargo responsabilidad	\$ 3.488	Costo/Jefes
Envió empaques	\$ 50	Envió/empaque

Fuente: Empresa modelo

Tabla 26: Costo operacional semanal de Factores Productivos

Costo operación Bote (Pesos Chilenos)	\$ 17.000
Costo operación Balsas(Pesos Chilenos)	\$ 25.000
Costo operación calibradora(Pesos Chilenos)	\$ 3.500
Costo operación bote cosecha(Pesos Chilenos)	\$ 6.000
Costo operación grúa de cosecha(Pesos Chilenos)	\$ 2.500
Inventario (Pesos Chilenos)	\$ 590

Fuente: Molina (2010) y dato empresa modelo.

Tabla 27: Costos operacionales indirectos semanales

	Costo unitario (Pesos Chilenos)	Número Mano de obra	Total costos operacionales indirectos(Pesos Chilenos)
Bencina	\$ 73.250	-	\$ 73.250
Arriendo transporte	\$ 48.250	1	\$ 48.250
Personal limpieza	\$ 48.250	1	\$ 48.250
Guardia	\$ 48.250	2	\$ 96.500
Electricidad	\$ 59.000	-	\$ 59.000
Gas	\$ 5.850	-	\$ 5.850
Agua	\$ 59.000	-	\$ 59.000
Comunicación	\$ 14.975	-	\$ 9.280
Cocinera	\$ 48.250	1	\$ 48.250
Publicidad	\$ 17.308	-	\$ 17.308

Fuente: Empresa modelo.

Tabla 28: Costo nominal

Hectáreas (Pesos Chilenos)	\$	924.432
Permisos (Pesos Chilenos)	\$	37.000
Replanteo trazado (Pesos Chilenos)	\$	126.000
Diario oficial (Pesos Chilenos)	\$	32.000
Personalidad jurídica (Pesos Chilenos)	\$	320.000
Certificado SNS (Pesos Chilenos)	\$	24.780
Estudio línea de base		3% de inversión inicial

Fuente: Aros 2008

Tabla 29: Otros costos

	Costo unitario	Tipo de medición	Fuente
Seguro	\$ 28	Kilo/cosecha	The Boston Consulting Group (2007)
Gasto legal	2%	Porcentaje/inversión inicial	Moreno (1998)
Puesta en marcha e Imprevistos	1%	Porcentaje/inversión inicial	Moreno (1998)
Reparación y mantención	7%	Porcentaje/costo operacional anual	Rubino (2008)

Tabla 30: Parámetros económicos

Parámetro	Valor	Fuente
Precio Venta (USD/Kilo): Talla 80-90-100 mm.	USD 107	Empresa Modelo
Precio Venta (USD/Kilo): Concha	USD 1	Empresa Modelo
Dólar Observado a Peso Chile/USD	\$ 520	Banco central(04-06-2012)
R_f	5,19	Banco central (10-01-2013)
β	1,1	Inversiones Security (2010)
$Ipsa_i$	1.185	Banco central (02-01-2002)
$Ipsa_f$	4.163	Banco central (02-01-2012)

Tabla 31: Parámetros de embalaje producto final

Parámetro	Valor	Fuente
Rendimiento abalón conserva	35%	Cultivo Marinos San Cristóbal (2013)
Kilos/Envase	0,213	Empresa modelo
Costo unitario (USD)/Operación unitaria	USD4	Empresa modelo

Tabla 2: Temperatura superficial del mar mensual según zona de cultivo

	Caldera	Ancud
Enero	17,9	15,4
Febrero	18,1	15,1
Marzo	17,5	14,6
Abril	16,6	14,1
Mayo	15,6	13,7
Junio	14,8	11,1
Julio	14,2	10,8
Agosto	14,3	10,9
Septiembre	14,5	11,3
Octubre	15,1	12,5
Noviembre	16,0	13,9
Diciembre	17,2	15,4

Fuente: Shoa

ANEXO II

Diagrama relaciones de Forrester

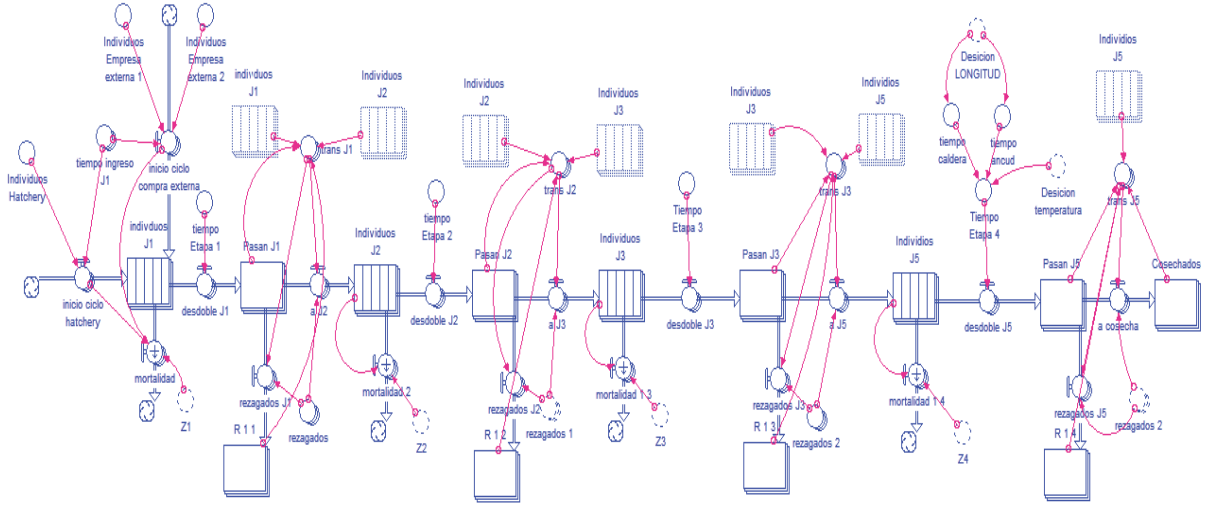


Figura. 19: Dinámica de poblaciones.

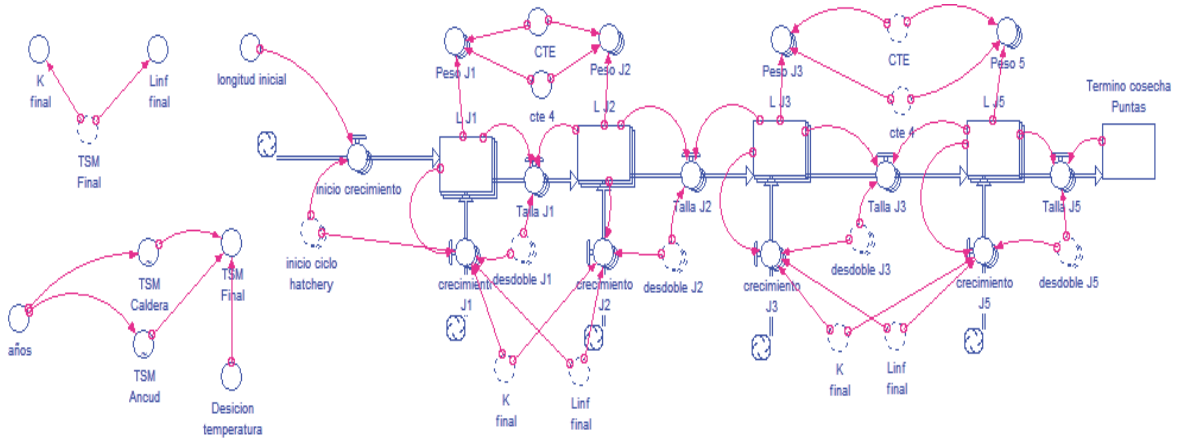


Figura. 20: Dinámica de crecimiento.

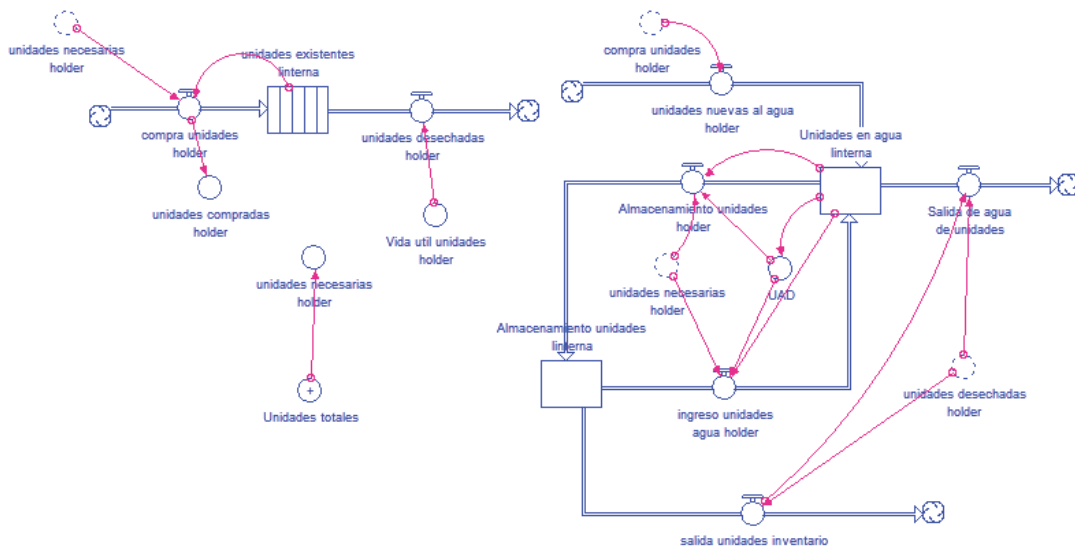


Figura. 21: Dinámica factores productivos de capital.

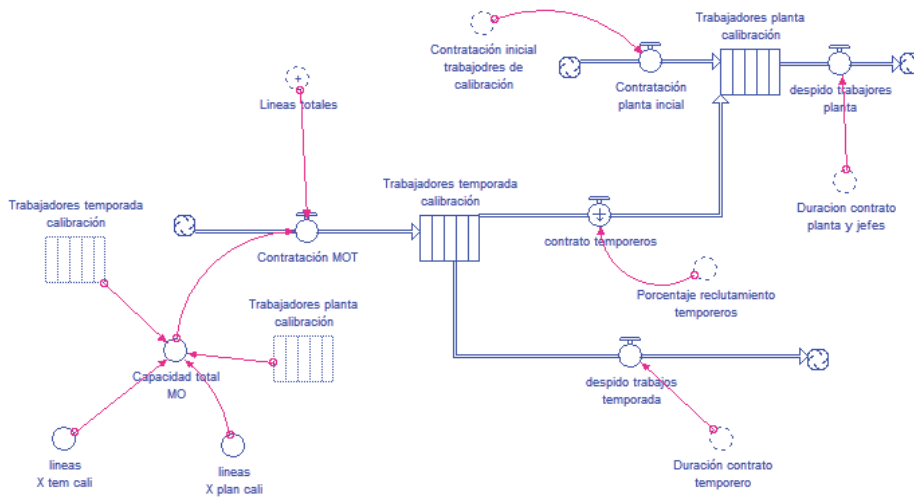


Figura. 22: Dinámica de mano de obra de calibración (aplicable a trabajadores de alimentación y buzos).

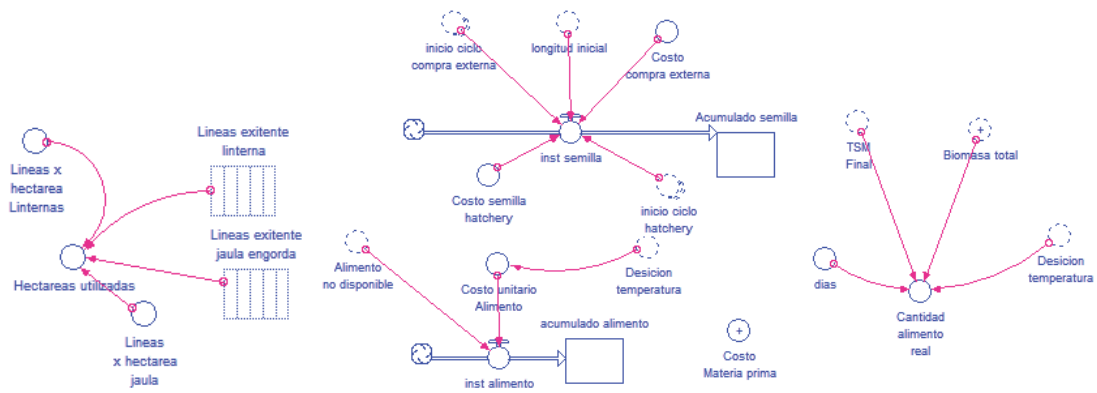


Figura. 23: Dinámica de utilización del suelo, alimentación y semillas.

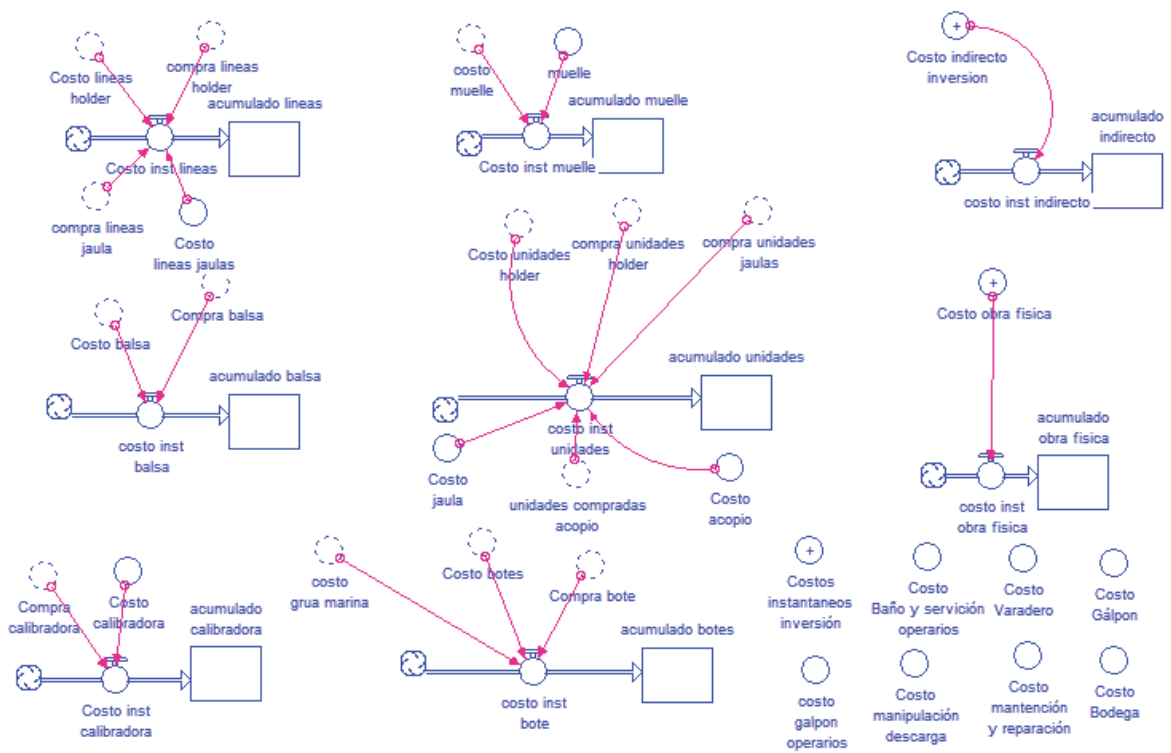


Figura. 24: Dinámica adquisición de factores productivos de capital.

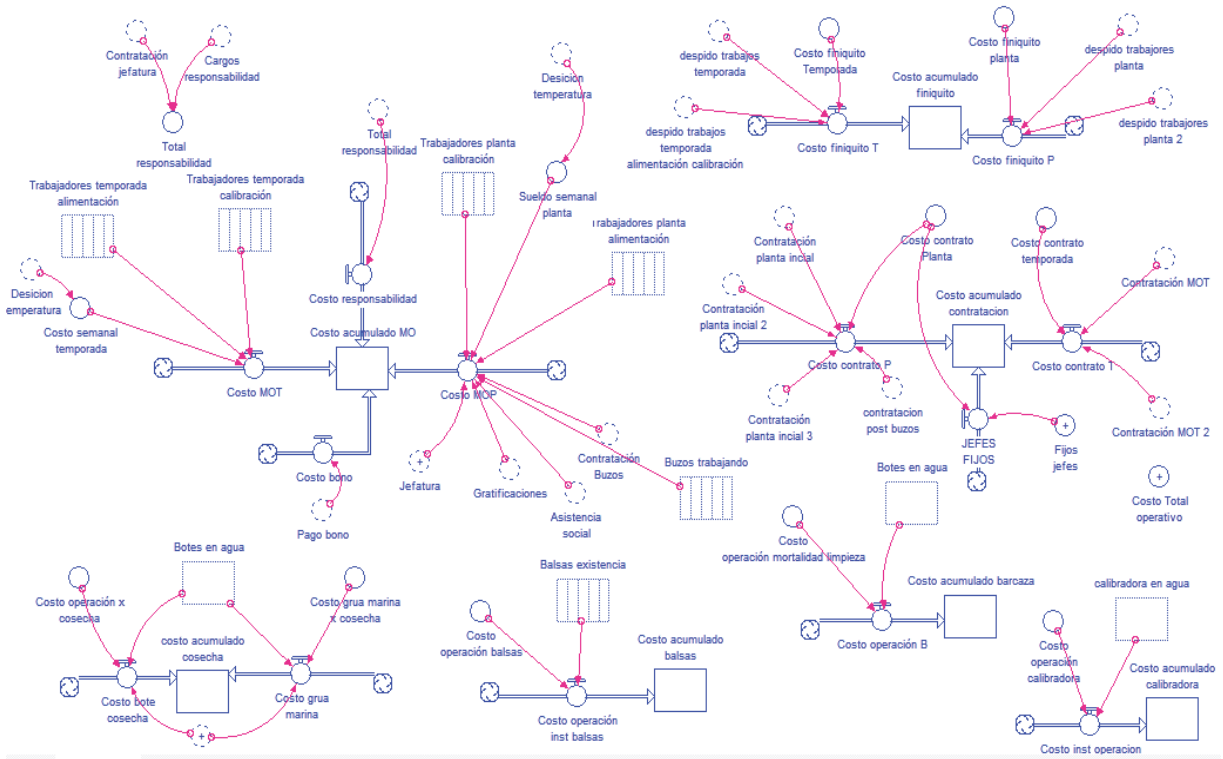


Figura. 25: Dinámica de costos operacionales.

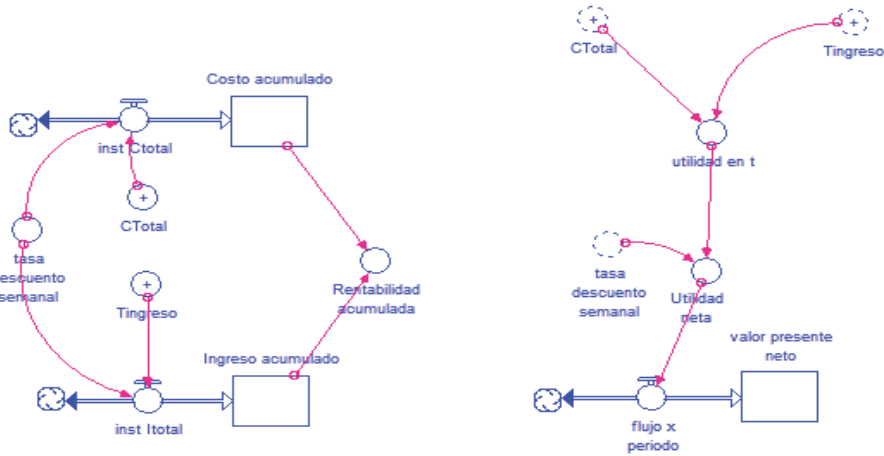


Figura. 26: Dinámica de indicadores económicos VPN y RBC.

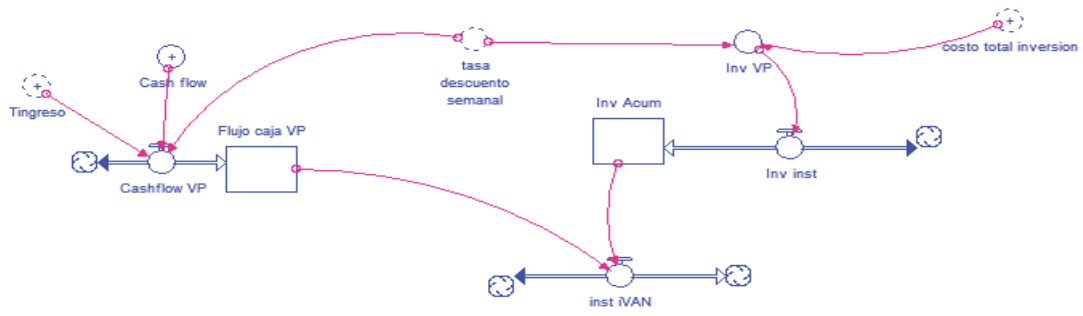


Figura. 17: Dinámica del rendimiento de la inversión directa.

ANEXO III
Resultados de los escenarios simulados

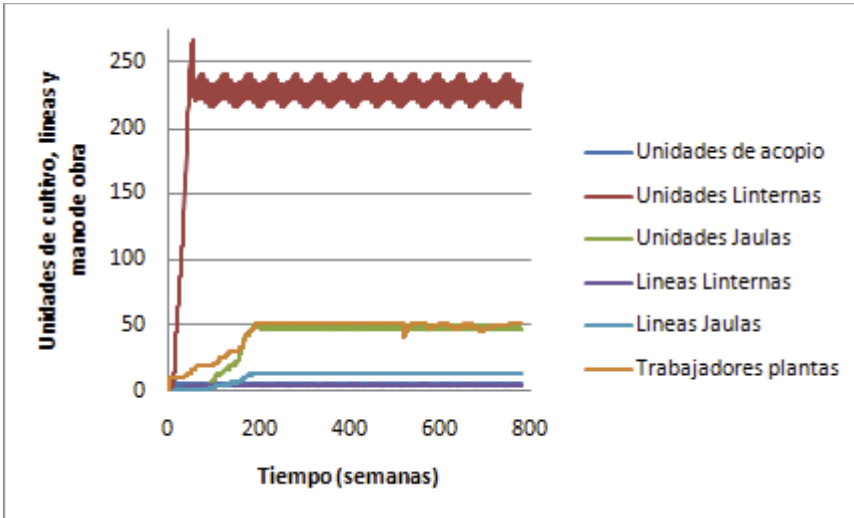


Figura.28: Unidades de cultivo, líneas y mano de obra planta para el escenario base.

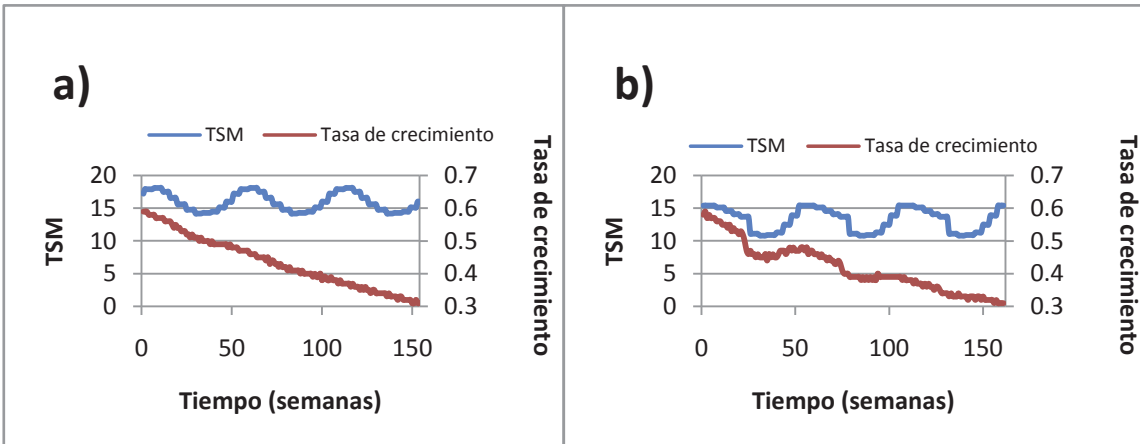


Figura. 29: Tasa de crecimiento en función de la temperatura de cultivo. a) Tasa de crecimiento en el escenario 1, b) Tasa de crecimiento en el escenario base.

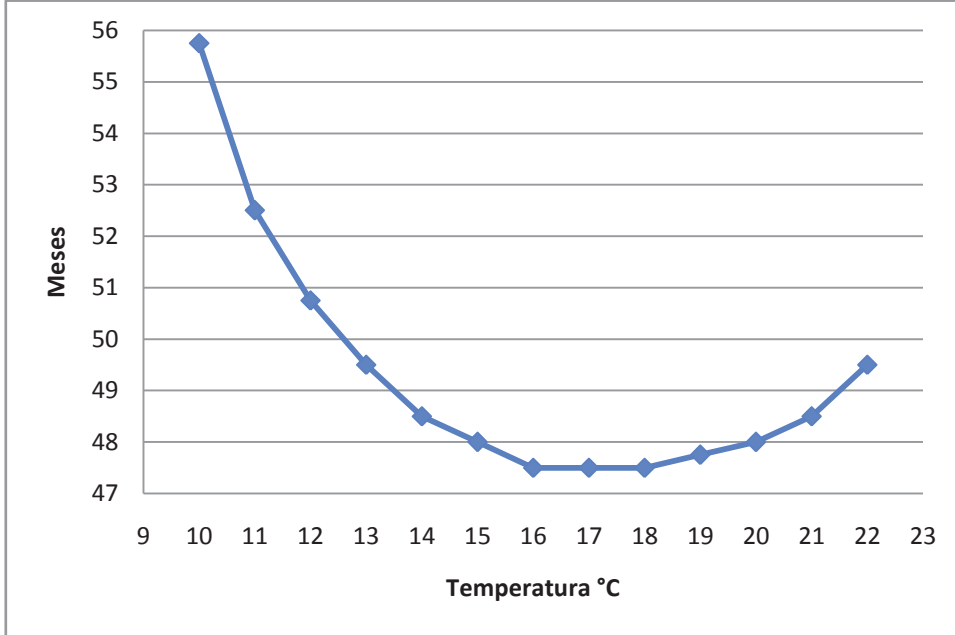


Figura. 18: Duración del ciclo de cultivo a talla de 90 milímetros según temperatura de cultivo.

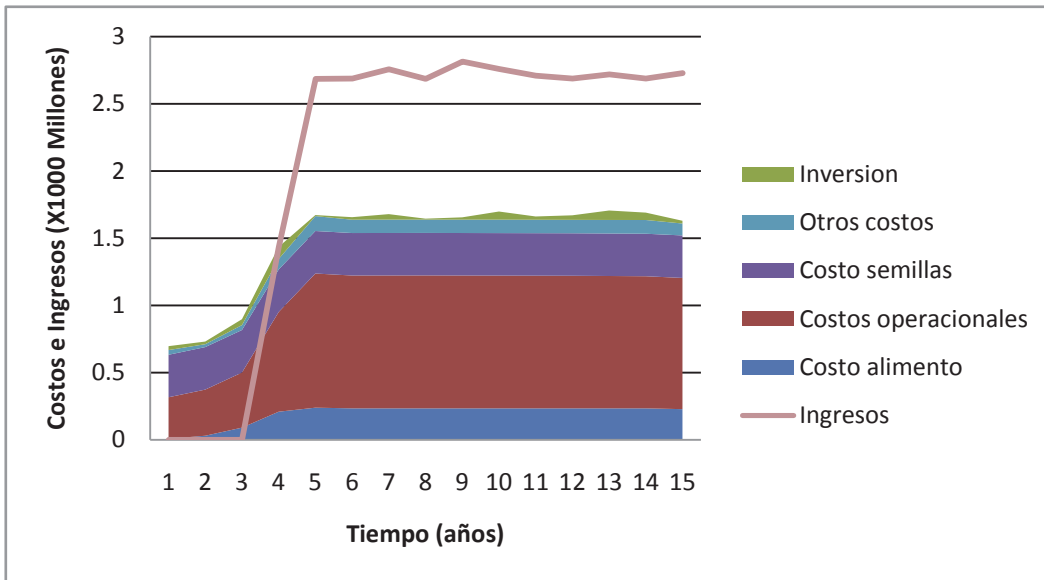


Figura. 19: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario base.

Nota: Con el fin de observar el comportamiento proyectado en el tiempo, los costos de alimento se presentan de forma diferenciada de los costos operacionales de mano de obra, operación de maquinaria e indirectos.

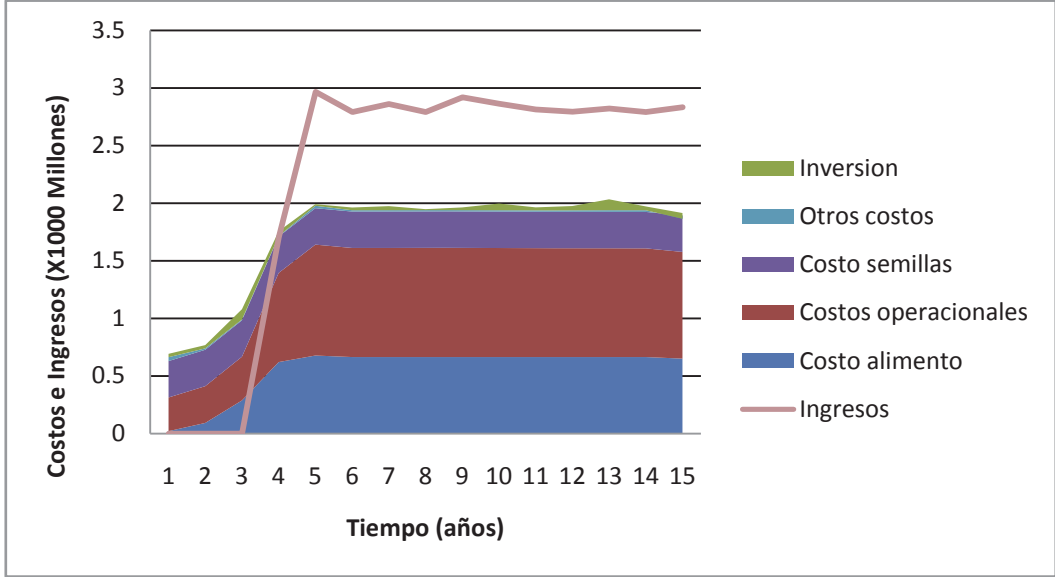


Figura. 20: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 1.

Nota: Con el fin de observar el comportamiento proyectado en el tiempo, los costos de alimento se presentan de forma diferenciada de los costos operacionales de mano de obra, operación de maquinaria e indirectos.

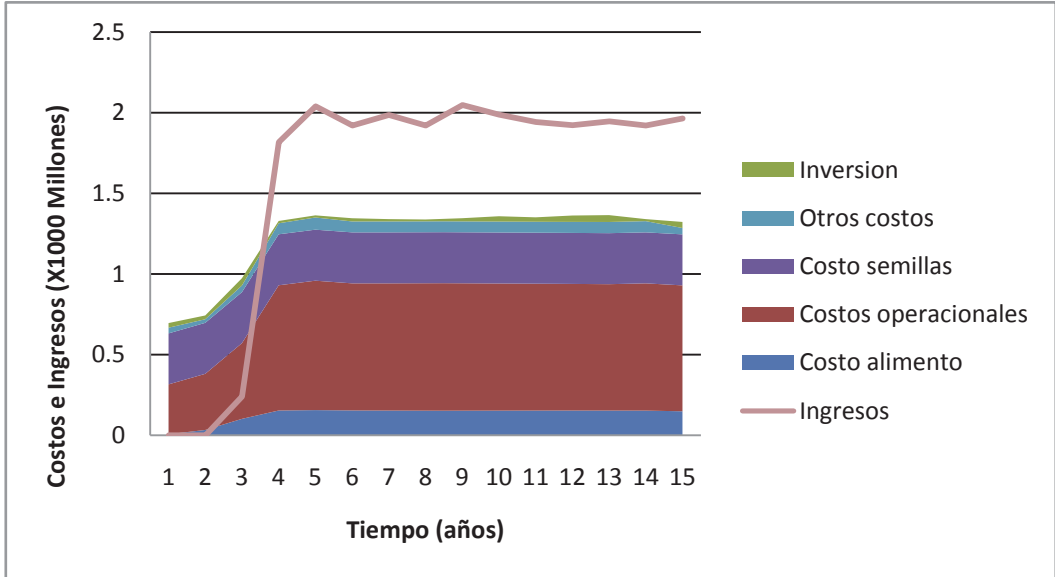


Figura. 21: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 2.

Nota: Con el fin de observar el comportamiento proyectado en el tiempo, los costos de alimento se presentan de forma diferenciada de los costos operacionales de mano de obra, operación de maquinaria e indirectos.

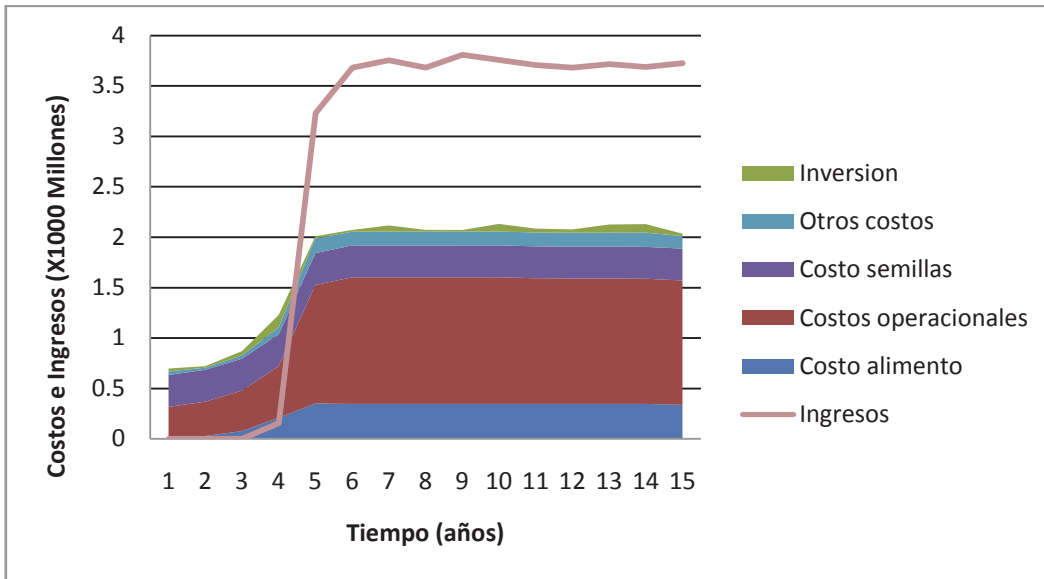


Figura. 22: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 3.

Nota: Con el fin de observar el comportamiento proyectado en el tiempo, los costos de alimento se presentan de forma diferenciada de los costos operacionales de mano de obra, operación de maquinaria e indirectos.

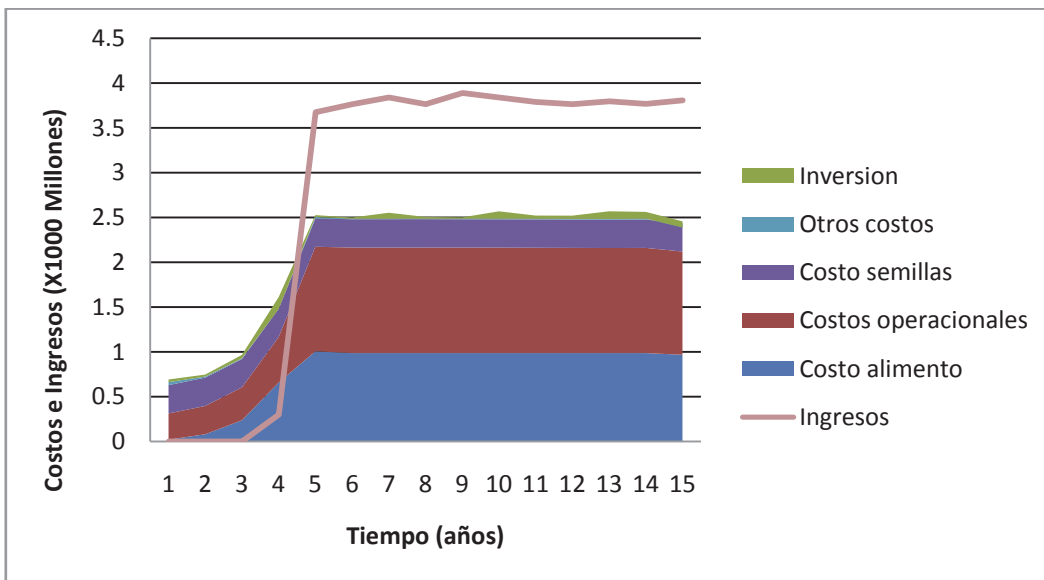


Figura. 23: Estructura de costos e ingresos anuales para el escenario 4.

Nota: Con el fin de observar el comportamiento proyectado en el tiempo, los costos de alimento se presentan de forma diferenciada de los costos operacionales de mano de obra, operación de maquinaria e indirectos.

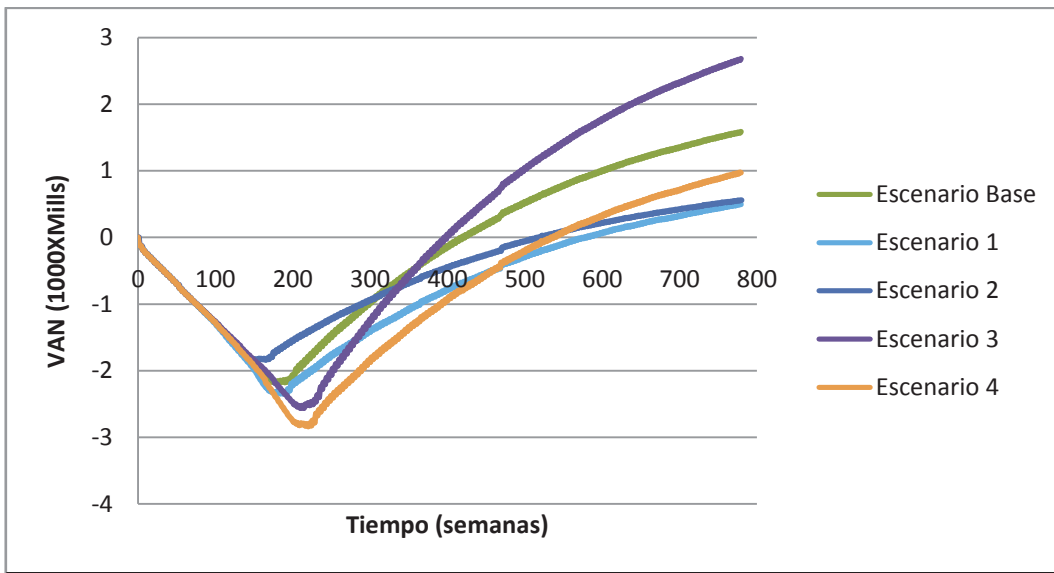


Figura. 24: Indicador VPN para los escenarios evaluados en las zonas de cultivo.

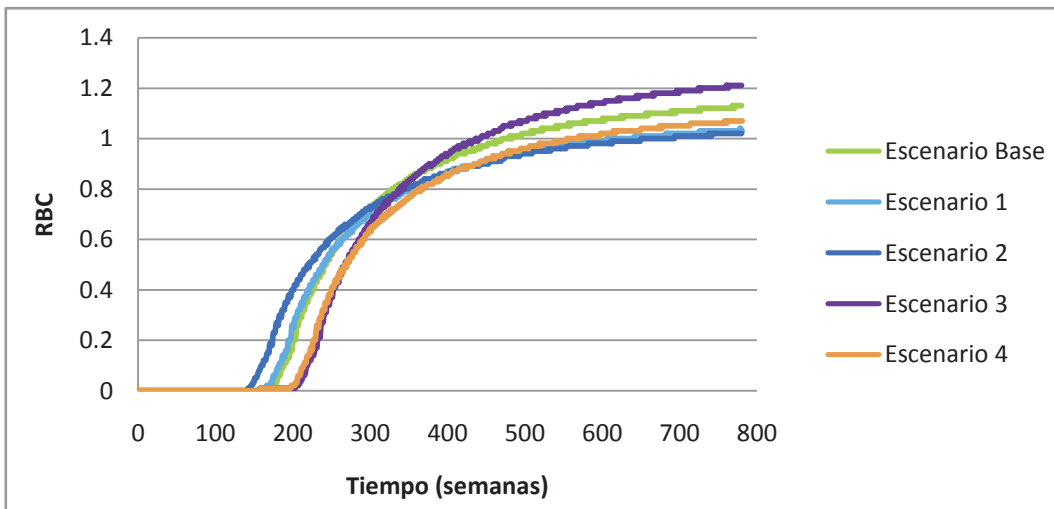


Figura. 25: Indicador RBC para los escenarios evaluados para las zonas de cultivo.

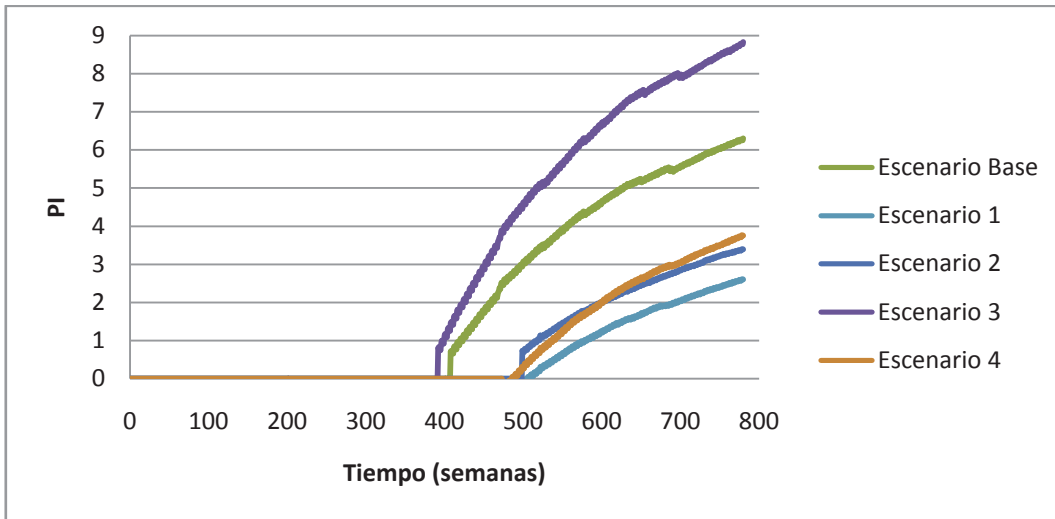


Figura. 38: Indicador PI para los escenarios evaluados en las zonas de cultivo.

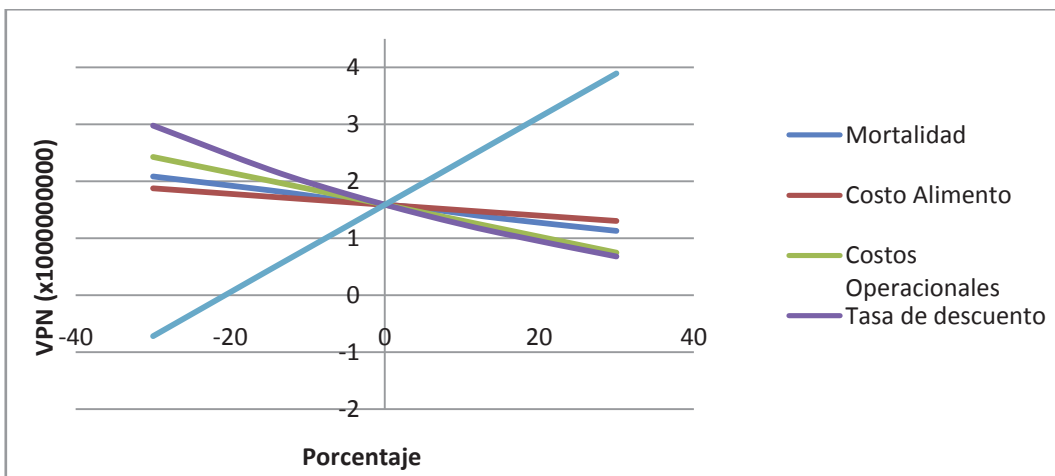


Figura. 39: Resultado de análisis de sensibilidad para el escenario base.

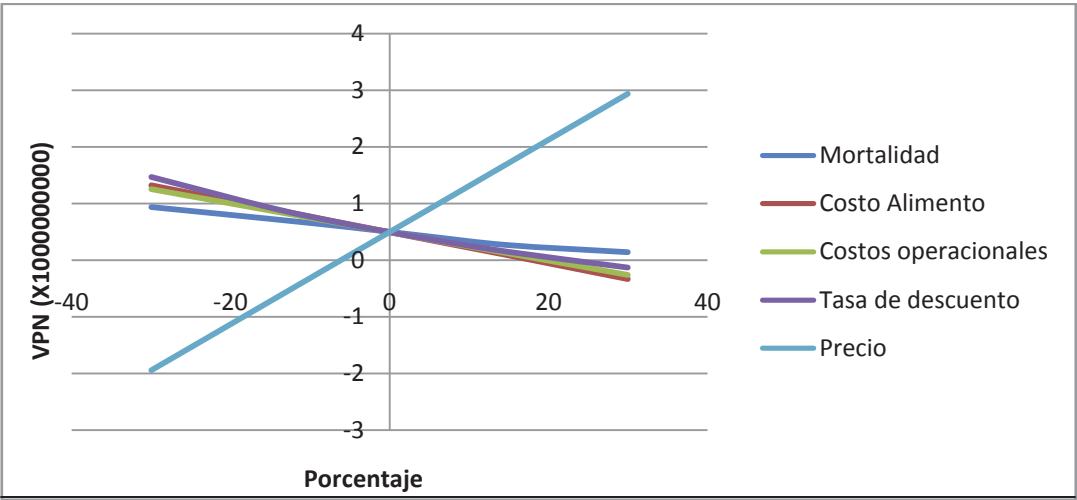


Figura. 40: Resultado de análisis de sensibilidad para el escenario 1.

ANEXO IV
Instalaciones de la empresa modelo



Figura. 26: Jaula de acopio, Linterna y líneas de jaula engorda.



Figura. 27: Galpón de oficinas y servicios (izquierda). Galpón de mantenimiento (derecha).



Figura. 28: Máquina calibradora (izquierda). Linterna en desdoble (derecha).



Figura. 29: Balsa de calibración, balsa de mantención, balsa de transporte, balsa de alimentación.

ANEXO V
Parámetros físico,químicos y biológicos de la zona de cultivo de Ancud

Tabla 33: Coordenadas de zona de cultivo.

Área superficie (M ²)	Latitud (grado)	Latitud (minuto)	Latitud (segundo)	Longitud (grado)	Longitud (minuto)	Longitud (segundo)
120.000	42	28	7,52	73	37	15,74

Fuente: Empresa modelo.

Marea:Se registran mareas desde los 1,96 a 5,55 metros (9 a 10 de octubre del 2009).

Fuente: Cultivos Marinos del Pacifico S.A., 2010.

Batimetría:La profundidad oscila entre los 36 a 61 metros de profundidad, con un promedio aproximado de 50 metros.Fuente: Cultivos Australes S.A. 2010.

Correntometría:La velocidad en la superficie oscila entre 3,1 y 15 cm/s, en las capas intermedias (9 a 31,4 metros), alcanza los 1,5 a 15 cm/s y en la capa más profunda (42 metros) 1,5 hasta 30 cm/s. Fuente: Cultivos Australes S.A., 2010.

Oxígeno disuelto: Se caracteriza por disminuir a medida que aumenta la profundidad de la columna, desde 7,9 mg/L en la capa superficial hasta los 5,7 mg/L a los 10 metros o menos. Fuente: Cultivos Australes S.A. 2010.

Temperatura:Ver Tabla 34.

Saturación de oxígeno: La capa superficial existe un 100% de saturación y a los 48 metros un 71%. Fuente: Cultivos Marinos del Pacifico S.A., 2010.

Salinidad: Presenta leves variaciones con un promedio de 31,5 PSU. Fuente: Cultivos Marinos del Pacifico S.A., 2010.

Granulometría del sedimento: El sedimento corresponde principalmente a Fango y a fracción granulométrica predominante es Arena fina. Fuente: Cultivos Marinos del Pacifico S.A., 2010.

Materia Orgánica Total del sedimento: Se presentan valores que oscilan entre 1% a 2.24 %. Fuente: Cultivos Australes S.A., 2010.

Macroinfauna Bentónica: Se han identificado 5 phylum: Polychaeta, Crustacea, Mollusca, Echinodermata y Priapulida. Donde elCrustaceas el dominante. Las especies de mayor abundancia son los crustáceos y los poliquetos.Fuente: Cultivos Australes S.A., 2010.

pH y potencial redox en el sedimento: El pH fluctúa entre los 7,2 y 7.8. Los valores de redox oscilan entre los 23 mV a 299 mV, indicando una cinética aeróbica. Fuente: Cultivos Marinos del Pacifico S.A., 2010.