

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

“Evaluación económica de estrategias de cosecha en el cultivo del  
ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) mediante simulación  
dinámica”

Proyecto para optar al título de Ingeniero Acuicultor  
por  
Renato Molina Hernández

Valparaíso  
2010



ACTA DE LA COMISIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO

**“Evaluación económica de estrategias de cosecha en el cultivo del ostión del norte  
(*Argopecten purpuratus*) mediante simulación dinámica”**

**Sr. Renato Molina Hernández**

Reunida la Comisión del Proyecto de Título, esta ha acordado lo siguiente:

1. Autorizar el empaste del Proyecto de Título y calificar el trabajo con nota siete coma cero (7,0)
2. Emitir el siguiente informe: “El trabajo es un gran esfuerzo propio de modelamiento de simulación aplicado al cultivo de ostiones con fines de apoyo a la toma de decisiones de producción, convirtiéndose en un aporte válido, oportuno y necesario para tal efecto. Se aprecia un trabajo de modelación conceptual y matemática del sistema de cultivo cuidadoso, detallado y de gran cobertura, cuya realización se cataloga como muy avanzada respecto de los estándares de la formación. Aunque los resultados de la implementación del modelo no fueron validados totalmente, ellos son coherentes al igual que su discusión y conclusiones. Adicionalmente el instrumento de modelación utilizado en este trabajo ha permitido ampliar su aplicación en docencia y en otras líneas de investigación.”

Exequiel González Poblete

René Cerda D'Amico  
Profesor Guía

Felipe Hurtado Ferreira

Valparaíso, 22 de septiembre de 2010

**Comité de Titulación:**

Profesor Guía : Sr. René Cerda D'Amico

Profesor : Sr. Exequiel González Poblete

Profesor : Sr. Felipe Hurtado Ferreira

## **AUTORIZACIÓN DE USO**

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Renato Molina Hernández', is written over a light gray rectangular background. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Renato Molina Hernández

## DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis  
padres.

A la vida y sus particularidades

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, les doy las gracias por darme la vida y su apoyo incondicional durante la misma.

A toda mi familia, por su carisma y cariño impagables, en especial a mis abuelos y a mi Tía Nelly Meza.

A mis amigos, quienes me han brindado su apoyo y amistad durante todo este tiempo. En especial a Diego Angulo, Carlos Carroza, Michael Kane y William Salas.

A los profesores, por creer en mí e incentivar me a ser cada día mejor. En especial les agradezco a los profesores de la universidad René Cerda, Exequiel González y Felipe Hurtado. A mi profesor de matemáticas en la enseñanza media Pedro Vergara.

A todas las personas con las que de una u otra forma he compartido algún momento de esta vida, porque que su existencia ha sido fundamental para integrar todo lo que hoy me conforma como persona.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
3.1 Antecedentes de la especie y la actividad económica.....	4
3.2 Antecedentes metodológicos .....	12
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	<b>17</b>
4.1 Enfoque metodológico utilizado.....	17
4.2 Modelo teórico.....	17
4.3 Plataforma de programación y simulación .....	25
4.4 Datos requeridos.....	26
<b>5. RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>29</b>
5.1 Evaluación económica.....	29
5.2 Dinámica de los individuos .....	29
5.3 Crecimiento y longitud .....	37
5.4 Estrategias de cosecha .....	39
5.5 Requerimientos del centro.....	41
5.6 Costos .....	55
5.7 Ingresos .....	65
<b>6. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MODELO</b> .....	<b>72</b>
6.1 Indicadores económicos .....	72
6.2 Indicadores productivos y sociales .....	80
6.3 Análisis de sensibilidad .....	81
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	<b>85</b>
7.1 Resultados .....	85
7.2 Análisis de sensibilidad .....	87
7.3 Del aporte a la toma de decisiones .....	88
7.4 Observaciones generales.....	88
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>89</b>
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	<b>90</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>93</b>
ANEXO I Datos utilizados para la simulación del modelo .....	94
ANEXO II Diagramas de Forrester (1961) para el modelo en Stella® .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del proceso de cultivo del ostión del norte.....	5
Figura 2: Colectores de semillas desde el ambiente natural.....	6
Figura 3: Desove inducido de reproductores en ambiente controlado .....	7
Figura 4: Unidad de cultivo pearl net .....	8
Figura 5: Sistema de cultivo suspendido long-line .....	9
Figura 6: Unidad de cultivo linterna .....	9
Figura 7: Producción y valor de exportaciones para el ostión del norte entre el 2007 y el 2009 .....	11
Figura 8: Producción de moluscos en Chile entre 1995 y el 2009 .....	11
Figura 9: Ciclo de evaluación de un evento, generación del modelo y sus conclusiones una vez evaluado.....	12
Figura 10: Símbolos de Forrester para la presentación de las interrelaciones de un sistema.....	14
Figura 11: Diagrama causal genérico de un cultivo de ostiones en sistema longline .....	18
Figura 12: Representación gráfica del esquema de siembras para el modelo .....	30
Figura 13: Esquema de la subdivisión de cada batch a medida que se produce el fenómeno del rezago de individuos en el proceso de cultivo.....	33
Figura 14: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario I.....	72
Figura 15: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario II .....	73
Figura 16: Valor presente neto de las distintas estrategias para el escenario III.....	74
Figura 17: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario IV .....	75
Figura 18: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario I .....	76
Figura 19: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario II.....	77
Figura 20: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario III.....	78
Figura 21: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario IV .....	79
Figura 22: Variación anual de los precios para los calibres de cosecha de ostión del norte .....	98
Figura 23: Diagrama dinámico para el cálculo de valor presente neto .....	99
Figura 24: Diagrama dinámico para el cálculo de la rentabilidad.....	99
Figura 25: Diagrama dinámico para la representación del stock por cada batch en la etapa de cultivo en agua de mar .....	100
Figura 26: Diagrama dinámico para la producción en agua de mar.....	100
Figura 27: Diagrama dinámico para el crecimiento en el modelo .....	101
Figura 28: Diagrama dinámico para el stock de pearl net en el modelo .....	101
Figura 29: Diagrama dinámico para el stock de linternas en el modelo .....	102
Figura 30: Diagrama dinámico para el stock de líneas en el modelo.....	102
Figura 31: Diagrama dinámico para la mano de obra en el modelo.....	103
Figura 32: Diagrama dinámico para las embarcaciones de mantención en el modelo.....	103
Figura 33: Utilización de líneas para cada estrategia sin condición de precio-dependencia.....	104
Figura 34: Utilización de hectáreas para cada estrategia sin condición de precio-dependencia .....	104
Figura 35: Mano de obra de planta utilizada por las estrategias sin condición de precio dependencia .....	105
Figura 36: Mano de obra temporal utilizada por las estrategias sin condición de precio dependencia.....	105
Figura 37: Utilización de líneas para cada estrategia con condición de precio-dependencia.....	106
Figura 38: Utilización de hectáreas para cada estrategia con condición de precio-dependencia .....	106
Figura 39: Mano de obra de planta utilizada por las estrategias con condición de precio dependencia .....	107
Figura 40: Mano de obra temporal utilizada por las estrategias con condición de precio dependencia.....	107



Figura 41: Resultados del análisis de sensibilidad para los distintos parámetros .....	108
--	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de escenarios y condiciones para las estrategias de cosecha.....	25
Tabla 2: Componentes básicos de un sistema dinámico en Stella® .....	26
Tabla 3: Resumen de resultados de valor presente neto.....	76
Tabla 4: Resumen de resultados de relación beneficio-costos .....	79
Tabla 5: Utilización promedio de insumos productivos y mano de obra.....	80
Tabla 6: Utilización promedio de insumos productivos y mano de obra.....	81
Tabla 7: Resumen de la sensibilidad del costo de semillas.....	82
Tabla 8: Resumen de la sensibilidad del precio por calibre.....	83
Tabla 9: Tabla resumen de la sensibilidad de los factores de mortalidad .....	83
Tabla 10: Tabla de datos de entrada para la estrategia de siembra .....	94
Tabla 11: Constantes de mortalidad para el proceso de cultivo .....	94
Tabla 12: Constantes de densidad de cultivo y porcentaje de rezagados por etapa .....	94
Tabla 13: Distribución de las unidades de cultivo en el sistema de suspensión.....	95
Tabla 14: Parámetros de la función de crecimiento de Von Bertalanffy .....	95
Tabla 15: Parámetros de longitud asociados al término de las etapas de cultivo.....	95
Tabla 16: Datos de operación del centro de cultivo .....	96
Tabla 17: Datos de costos para la adquisición de insumos productivos.....	96
Tabla 18: Datos de costos relativos a la mano de obra .....	96
Tabla 19: Datos de costos relativos a la operación de embarcaciones .....	96
Tabla 20: Datos de costos relativos al almacenamiento de material y embarcaciones .....	97
Tabla 21: Datos de costos relativos a la existencia del centro de cultivo .....	97
Tabla 22: Datos de vida útil para los bienes depreciables.....	97
Tabla 23: Datos de longitud de corte y de precios constantes y de temporadas de alza para los calibres de cosecha de ostión del norte .....	97
Tabla 24: Constantes para el valor del dinero en el tiempo .....	98

## RESUMEN

El cultivo del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*), es un rubro relevante del sector de producción de acuicultura en Chile. Pese a esto, durante los últimos años la actividad ha estado sometida a variadas problemáticas que hacen necesario el desarrollo de herramientas que contribuyan al proceso de toma de decisiones en vías de mejorar su competitividad.

Mediante la recopilación de información relativa a la especie y al proceso de cultivo utilizado en Chile, se desarrolló, en primera instancia, un modelo conceptual que describe el proceso general de cultivo. Posteriormente, utilizando como base el modelo anterior, se desarrolló un modelo matemático capaz de reflejar de forma continua el comportamiento del centro de cultivo en términos económicos.

Este último se programó en computadora como un modelo de simulación dinámica, con el fin de evaluar económicamente tres estrategias de cosecha, cosechar a un calibre mínimo (90-110 mm), medio (90-110 mm) o máximo (>140 mm). La evaluación económica analizó la viabilidad de las estrategias en términos de valor presente neto y relación beneficio-costos bajo cuatro escenarios distintos: con precios constantes, con precios variables durante el año, con precios constantes y periodos de alza dentro del periodo anual; y finalmente con precios constantes y periodos de alza dentro del periodo anual con la cosecha sometida a la condición de precio dependencia.

Los resultados indican que, en términos de valor presente neto, la mejor estrategia es cosechar al calibre medio, mientras que en términos de relación beneficio-costos, las estrategias de cosechar al calibre mínimo y al calibre medio son las mejores. El escenario que presenta los mejores valores para todas las estrategias es el cuarto escenario de precios constantes sujetos a periodos de alza definidos en el año, cuando las estrategias de cosecha están sometidas a la condición de precio dependencia.

Finalmente, en relación a los resultados obtenidos y al comportamiento observado, se apreció que este tipo de modelos son capaces de generar información relevante para el proceso de toma de decisiones en un centro de cultivo de ostión del norte, contribuyendo así a la mejora de la competitividad en esta actividad.

## ABSTRACT

The scallop (*Argopecten purpuratus*) farming is an important item of the aquaculture production sector in Chile. Despite this, in recent years the activity has been subject to various problems that require the development of tools that contribute to the process of decision making in order to improve its competitiveness.

By collecting information on the species and the farming process used in Chile, it was developed in the first instance, a conceptual model that describes the general process of farming. Subsequently, on the basis of the previous model, it was developed a mathematical model capable of depicting in a continuous way the behavior of the farming process in economic terms.

The latter was programmed as a computer dynamic simulation model, in order to economically evaluate three strategies for harvest, harvest at a minimum size (90-110 mm), medium (90-110 mm) or maximum ( $> 140$  mm). The economic evaluation assessed the feasibility of the strategies in terms of net present value and benefit-cost ratio under four different scenarios: constant prices, prices varying throughout the year, constant prices subject to annual rises, and finally constant prices subject to annual rises where the harvest process is under the condition of price-dependency.

The results indicate that in terms of net present value, the best strategy is to harvest at the medium size, while in terms of benefit-cost ratio, harvesting at the minimum and at the medium size are best. The scenario that presents the best values for all strategies is the fourth scenario with constant prices subject to annual rises where the harvest process is under the condition of price-dependency.

Finally, in relation with the results obtained and the observed behavior, it can be said that these models are capable of generating relevant information for the decision-making process in a scallop farming center, contributing to improve the competitiveness in this activity.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) se inició en las regiones II y IV de Chile en 1982 para posteriormente extenderse hasta la III región, llegando a una producción de una tonelada para dicho año (Aquanoticias Internacional, 1998). Hoy en día la acuicultura de moluscos es la segunda más importante en Chile con 188 mil toneladas producidas el 2009 (SUBPESCA, 2010), de las cuales 16,6 mil toneladas corresponden a cosechas de ostión del norte. La producción de este recurso durante el año 2009 se concentró principalmente en las regiones III y IV de Chile (SERNAPESCA, 2009).

El recurso ostión del norte se cultiva en el ambiente marino mediante diversos sistemas de cultivo, los cuales dependen de las preferencias de los productores y de las distintas etapas de cultivo que se definan para este propósito (Cabrera, 2000). De forma general, los centros de cultivo surten las distintas plantas de proceso, las cuales por lo general se encuentran integradas al centro y generan los productos finales para su exportación o comercialización en el mercado nacional según sea el caso. La exportación se lleva cabo principalmente en dos tipos de productos: como “callo” (músculo abductor), producto principalmente exportado a Estados Unidos; y como “callo con gónada o coral”, producto exportado principalmente a Francia (Cabrera, 2000).

A pesar de haber constituido una industria rentable durante los años 90 y la primera mitad de la década del 2000, el cultivo de ostión del norte ahora pasa por problemas al tener que competir con aquellos producidos a menor costo por otros países (Diario el Día, 2009). Esto genera la necesidad por parte de los productores de ostión del norte, de aumentar su productividad y disminuir los costos de producción, de tal forma de mantener viable esta industria que genera una importante fuente de trabajo e ingresos en las regiones III y IV del país (Pavez, 2009).

Para esto entonces se hacen necesarias herramientas que ayuden a los productores a desarrollar mejoras en el proceso productivo a través del análisis de los componentes que conforman esta industria y mediante la generación de información para el proceso de toma de decisiones en vías de aumentar su competitividad.

La construcción de modelos es vital para el entendimiento de los sistemas productivos; analizando mediante la observación y la experimentación distintas causas y efectos. Dichos modelos permiten describir sistemas complejos en la realidad, de una forma simplificada y válida en el ámbito teórico (Hannon & Ruth, 1994). Gracias a la posibilidad del uso de computadoras personales y a la programación gráfica, se pueden crear modelos complejos que se generan en el ambiente, incluyendo los sistemas de producción de acuicultura.

Este trabajo propone el desarrollo de un modelo para el proceso de producción de cultivo de ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) basándose en los modelos

bioeconómicos de carácter dinámico, para desarrollar una herramienta de simulación dinámica que facilite la evaluación de estrategias de cultivo, generando así información que ayude a la toma de decisiones en términos operacionales para este proceso.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar económicamente distintas estrategias de cosecha como contribución a la toma de decisiones de un centro de cultivo de ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) mediante un modelo de simulación dinámica.

### **2.2 Objetivos específicos**

Diseñar conceptual y matemáticamente un modelo bioeconómico del proceso de cultivo del ostión del norte.

Programar e implementar computacionalmente el modelo bioeconómico para la simulación dinámica del proceso de cultivo del ostión del norte.

Evaluar económicamente tres estrategias de cosecha bajo distintas condiciones de precio mediante el modelo de simulación dinámica del proceso de cultivo del ostión del norte.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Antecedentes de la especie y la actividad económica

El ostión del norte es el nombre común de la especie hermafrodita *Argopecten purpuratus* de la familia *Pectinidae* con simetría bilateral y un exoesqueleto constituido por dos valvas calcáreas de crecimiento continuo (Coll, 1991). Las valvas no son exactamente simétricas, siendo la anterior de mayor tamaño. El color de dichas valvas es entre violeta y anaranjado (IFOP, 1994).

Su estructura interna está formada por el manto, el cual se compone por dos lóbulos, libres de la concha; el músculo abductor muy desarrollado y se compone por una porción motora con fines de desplazamiento del individuo, y una porción encargada de cerrar la concha; y la gónada que se ubica en torno al músculo abductor, la cual es de color anaranjado intenso en la parte femenina, y color ámbar en su parte masculina (Coll, 1991).

El ostión del norte tiene como mecanismo de alimentación la filtración, donde su dieta se compone de plancton y detritus suspendido en la columna de agua. Con una distribución geográfica considerable desde Corinto, Nicaragua hasta Valparaíso, Chile. Su distribución batimétrica va desde el submareal hasta los 40 metros de profundidad, asociado a fondos arenosos o gravosos en ambientes semi-protegidos. Crece en aguas con temperaturas entre 12 y 25° Celsius, y puede tolerar un rango de salinidad entre 33 y 35 ‰ (IFOP, 1994).

La época de desove para esta especie varía con la distribución geográfica, siendo principalmente función de la temperatura. Los periodos de mayor intensidad para Chile son a finales de primavera y a comienzos de otoño, siendo el periodo entre Noviembre y Marzo en el cual se producen con mayor intensidad los desoves (Illanes, 1990).

##### 3.1.1 Crecimiento de *Argopecten purpuratus*

Existen antecedentes del crecimiento del ostión del norte tales como los señalados por Stotz y González (1997), los que indican diferencias entre los parámetros de crecimiento para distintas localidades, principalmente debido a las variaciones de temperatura en cada sitio de estudio y a la disponibilidad de alimento.

Aún así Pacheco (1979) realizó un estudio para estimar edad y crecimiento para ostiones en la zona de Valparaíso. Este estudio señala que los parámetros de crecimiento para la ecuación de Von Bertalanffy son:

$$L_{\infty} = 162,04855$$

$$K = 0,1216886$$

$$t_0 = 0,8154$$

Por otra parte Pelot y Zwicker (2006) también señalan que para simular el crecimiento de ostiones, éste se puede asumir como un crecimiento de tipo discreto en función de la época del año. Esto permite reflejar el efecto de los cambios de temperatura y disponibilidad de alimento que ocurren durante el año; cambios que alteran el crecimiento para esta especie en función de la época del año.

### 3.1.2 Antecedentes de cultivo

El cultivo del ostión del norte, se lleva a cabo principalmente en la III y IV Región de Chile. El proceso de cultivo se realiza de acuerdo a un proceso estándar, consistente en tres etapas, Abastecimiento de Semillas, Siembra en mar y Cosecha. Los productos obtenidos de esta etapa de cultivo final “Cosecha” se destinan a Plantas de Proceso y/o Venta directa (APOOCH, 2003). Las principales etapas del proceso de cultivo se encuentran representadas en la Figura 1.

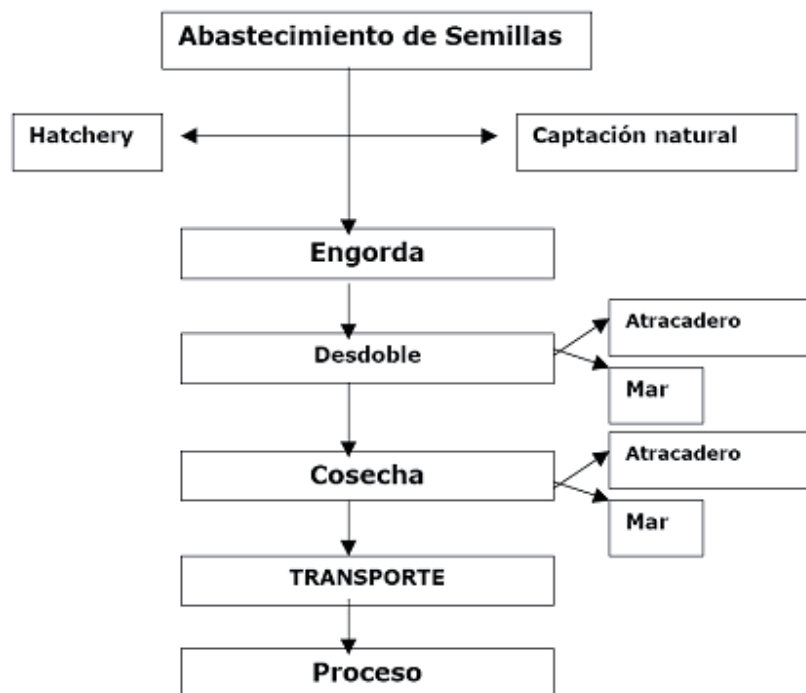


Figura 1: Diagrama del proceso de cultivo del ostión del norte  
Fuente: Acuerdo de producción limpia (APOOCH, 2003).



### 3.1.3 Abastecimiento de semillas

El abastecimiento de semillas se logra a partir de dos fuentes, la principal “captación natural” y una secundaria “Hatchery”. Una vez retirada la semilla del dispositivo, es seleccionada por tallas y es instalada en nuevos dispositivos de cultivo que van a depender del sistema elegido por el productor. En general se utiliza una unidad productiva triangular construida con paño de red llamada pearl net (APOOCH, 2003).

#### 3.1.3.1 Captación natural

La captación natural de semillas consiste en la captura de las larvas que se encuentran disponibles en el medio, después de un desove, y que provienen de bancos naturales o de sistemas de cultivo. Los desoves en la zona norte de Chile varían entre dos o tres por cada año (fines de primavera, verano y otoño), dependiendo de la temporada y de la zona geográfica que se trate (Sturla, 1993).

Para la obtención natural de semilla de ostión se utilizan colectores dispuestos en líneas de captación, donde el colector consiste en una malla receptora y un material de relleno (Figura 2). Dichos colectores se disponen a lo largo de un reinal, de forma individual o en parejas; donde las distancias entre colectores y entre reinales en la línea varían de acuerdo a las políticas de producción de cada centro (Sturla, 1993).

El proceso de captación tiene una duración de entre dos a cuatro meses, y ocurre cuando se encuentra la mayor abundancia de larvas en el medio, esto es en los meses de Noviembre a Febrero (IFOP, 1997). La exposición de los colectores en el mar durante el periodo señalado anteriormente, permite que los ostiones captados mediante este procedimiento posean un rango de talla entre los 6 y 25 mm de longitud (Cabrera, 2000).

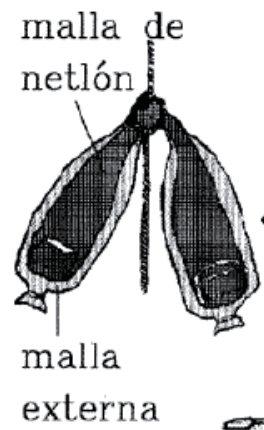


Figura 2: Colectores de semillas desde el ambiente natural  
Fuente: Características del cultivo del ostión del norte. SEIA, 2009.

### 3.1.3.2 Producción de semillas en ambiente controlado

Para la producción de semillas en ambiente controlado o hatchery, se utilizan instalaciones en tierra en las cuales se controla el proceso reproductivo desde la maduración gonadal hasta el crecimiento temprano juvenil. El proceso se divide en varias etapas: selección y acondicionamiento de reproductores, desove y fecundación, cultivo de larvas, metamorfosis, asentamiento larval, cultivo de postlarvas y transporte de juveniles a los sistemas de cultivo (Olivari *et al.*, 1998).

Los individuos que cumplirán la función de reproductores son seleccionados desde el mismo centro de cultivo, donde los aspectos más importantes son el aspecto visual: valvas sanas, conducta activa, manto turgente, tamaño total, y estado gonadal. Dichos reproductores serán manejados para estimular su desove aproximadamente tres semanas posterior a su selección desde el centro de cultivo (Moreno, 1998).

Una vez los reproductores se encuentran en un estado óptimo para desovar, son sometidos a condiciones de estrés para inducir el desove (Figura 3). Los gametos liberados son mezclados entre individuos para producir la fecundación evitando que los gametos masculinos fecunden los gametos femeninos de un mismo individuo (Moreno, 1998).



Figura 3: Desove inducido de reproductores en ambiente controlado

Fuente: Características del cultivo del ostión del norte. SEIA, 2009.

Una vez ocurrida la fecundación las larvas son mantenidas en el hatchery y son sometidas a alimentación de microalgas hasta que han consumido el vitelo en su totalidad. Las larvas que logren sobrevivir posteriormente sufrirán un cambio de estado denominado metamorfosis, el cual corresponde a la reabsorción del velo, la formación de palpos labiales y una desintegración de los músculos retractores. Al ocurrir este cambio, la larva comenzará a reptar por el sustrato hasta su asentamiento (Moreno, 1998).

Cuando el asentamiento va a ocurrir, las larvas son colectadas mediante un sustrato de fijación. Luego una vez que han sido colectadas, las larvas son transferidas al mar para comenzar el proceso de cultivo marino (Moreno, 1998).

### 3.1.4 Cultivo intermedio

El cultivo intermedio es la etapa posterior a la captación de semillas. Las semillas son seleccionadas de acuerdo a su longitud, y son trasladadas a sistemas de cultivo que se suspenden en el agua a través de sistemas long-line, permaneciendo por un periodo variable de tres a seis meses, donde la unidad de cultivo más común para este periodo es la conocida como pearl net (Figura 4) (Cabrera, 2000).



Figura 4: Unidad de cultivo pearl net

Fuente: Características del cultivo del ostión del norte. SEIA, 2009.

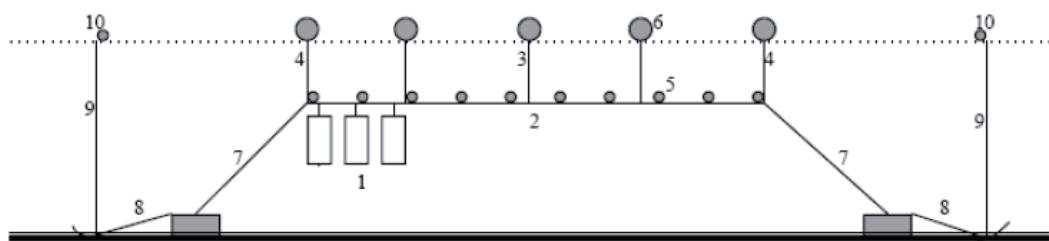
El pearl net es una estructura piramidal, donde el marco y las diagonales son por lo general de alambre galvanizado y forrado, y las paredes están recubiertas por un paño con abertura de malla de entre 2,6 a 9 mm dependiendo del tamaño de los ejemplares (Figura 4). Los pearl net se unen uno sobre otro formando una columna vertical de 10 unidades, por intermedio de un reinal cuyo extremo inferior posee un peso para mantener la verticalidad del sistema (Cabrera, 2000).

La duración de esta etapa varía entre 4 y 7 meses, donde la talla de ingreso varía entre 7 y 30 mm, hasta alcanzar una talla entre 45 y 55 mm dependiendo de las políticas adoptadas por el centro de cultivo (Sturla, 1993).

### 3.1.5 Cultivo de engorda

Este cultivo de engorda es la fase a continuación del cultivo intermedio, donde los individuos se mantienen como mínimo hasta que alcanzan un talla de aproximadamente 90

mm de longitud. Los ostiones son seleccionados de acuerdo a su tamaño, y son trasladados a las unidades de cultivo suspendidas a través de un sistema long-line (Figura 5) para su crecimiento (Cabrera, 2000).



- 1) Unidades de Cultivo
- 2) Línea principal o línea madre
- 3) Cabo de boya
- 4) Cabo primera boya
- 5) Boyas intermedias
- 6) Boyas superficiales
- 7) Línea de fondeo
- 8) Fondeos
- 9) Cabo línea orinque
- 10) Boya de fondeo

Figura 5: Sistema de cultivo suspendido long-line

Fuente: Características del cultivo del ostión del norte. SEIA, 2009.

Las unidades de cultivo que se utilizan más a menudo son las linternas, las cuales tienen forma cilíndrica, y están confeccionadas con un armazón de alambre galvanizado forrado con plástico (Figura 6). Esta estructura mide 2 m de largo, posee 10 pisos de 20 cm de altura y 50 cm de diámetro. La abertura de malla para esta estructura varía entre 9 y 20 mm, de acuerdo al tamaño de los organismos en cultivo (IFOP, 1997).



Figura 6: Unidad de cultivo linterna

Fuente: Características del cultivo del ostión del norte. SEIA, 2009.

Los individuos ingresan a estas estructuras con un rango de talla entre 45 y 55 mm, y en densidades desde 25 a 50 unidades por piso (Sturla, 1993). Luego de un periodo de tiempo que depende de las características de la zona y del manejo que se lleve a cabo en el cultivo, se realiza un primer y un segundo desdoble, en que se bajan las densidades de cultivo, tras la instalación de nuevo material de cultivo a causa de la incrustación o adherencia de organismos marinos al paño; si la talla corresponde a una etapa de crecimiento final o engorda, los individuos se mantendrán hasta cuando se lleve a cabo la cosecha (APOOCH, 2003). En la etapa final los ostiones son reingresados al mar con su densidad definitiva de 20 a 30 ostiones por piso de linterna (Sturla, 1993).

Al momento de la cosecha, los ostiones se pueden clasificar en calibres de acuerdo a las dimensiones de los individuos o por su peso. Estos calibres se pueden componer de hasta cuatro categorías dependiendo de cuál sea el dato de clasificación (Cabrera, 2000).

### 3.1.6 Volumen y valor actual de la producción

La cosecha de ostiones del norte proveniente de actividades de acuicultura, alcanza una cifra de 16.680 toneladas al año 2009. Lo que representa una disminución del 28% en comparación con el año 2008 donde se alcanzó una producción de 21.277 toneladas cosechadas (Figura 7). Estas cosechas se concentran principalmente en la tercera y cuarta región de Chile en relación con el ambiente propicio para el cultivo de los individuos (SUBPESCA, 2010).

El valor de las exportaciones de ostión del norte para el 2009, según las fuentes de SUBPESCA (2010), fue de aproximadamente US\$20 mil millones en total, lo que representa una disminución del 60% en comparación con los cerca de US\$33 mil millones recaudados el 2008. Es decir una disminución de casi el doble de puntos porcentuales en relación con el retroceso en los volúmenes cosechados. El precio FOB<sup>1</sup> por tonelada de ostión del norte exportado, presenta variaciones a durante los últimos años alcanzando valores entre los US\$ 8 mil y los US\$ 17 mil (Figura 7), donde el valor más bajo de la serie se presenta el año 2009, justificando así en gran parte la baja en el valor de las exportaciones totales.

Respecto a la producción acuícola nacional de moluscos, la Figura 8 presenta la comparación entre la producción total de moluscos frente a la de ostión del norte. Se puede notar entonces como de sobre el 50% del total de las cosechas de moluscos en 1995, actualmente el ostión del norte significa sólo el 9% del total de moluscos cosechados a nivel nacional (SERNAPESCA, 2009). Pese a lo anterior la producción se mantiene relativamente estable hasta el momento con niveles de cosecha por sobre las 15.000 toneladas desde el 2004 en adelante.

---

<sup>1</sup> Precio de los productos puestos a bordo de las unidades de transporte para su exportación.

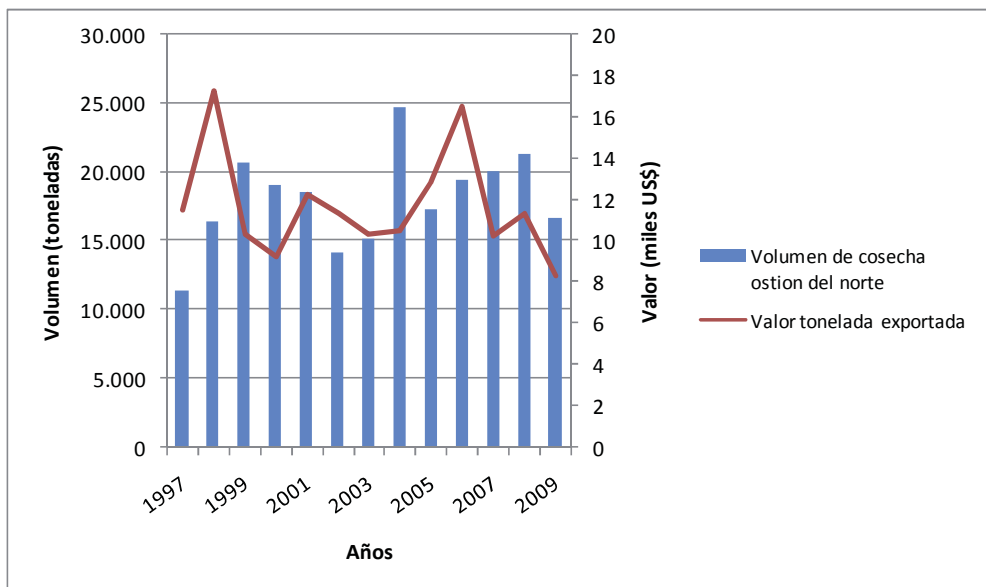


Figura 7: Producción y valor de exportaciones para el ostión del norte entre el 2007 y el 2009

Fuente: Elaborado en base a los datos de SUBPESCA(2010).

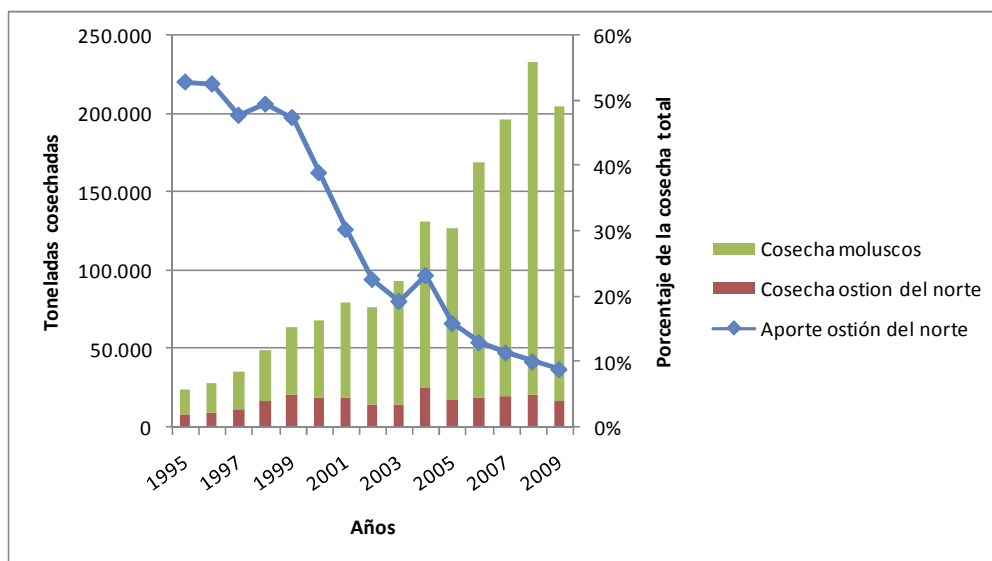


Figura 8: Producción de moluscos en Chile entre 1995 y el 2009

Fuente: Elaborado en base a los datos de SUBPESCA (2010) y SERNAPESCA (2009).

## 3.2 Antecedentes metodológicos

### 3.2.1 Modelos

Un modelo es un bosquejo que representa un conjunto real con cierto grado de precisión en la forma más completa posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad. Los modelos son utilizados principalmente para describir, explicar o comprender mejor la realidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí (Wadsworth, 1997).

La construcción de modelos es completamente variable de un modelo a otro, pero existen procesos que se pueden identificar y que son de uso común. Los eventos reales estimulan la curiosidad acerca de un fenómeno en particular. Esta curiosidad puede transformarse en una pregunta o en una serie de preguntas acerca de los eventos y los procesos que se generan a partir de tal evento (Hannon & Ruth, 1994). Elementos claves pueden ser extraídos de los procesos y observaciones para formar una versión abstracta del evento real (Figura 9). Particularmente se busca identificar las variables que describen dicho evento y que explican la relación entre dichas variables, además de establecer una estructura del modelo (Hannon & Ruth, 1994).

Basado en los resultados de evaluar el modelo se pueden elaborar conclusiones y predicciones, las cuales serán comparadas con el modelo; una vez hecho eso de acuerdo a las predicciones hechas, se puede validar o rechazar un determinado modelo (Hannon & Ruth, 1994).

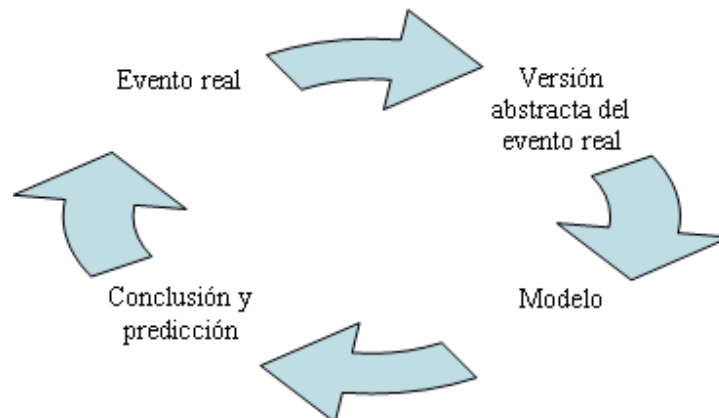


Figura 9: Ciclo de evaluación de un evento, generación del modelo y sus conclusiones una vez evaluado

Fuente: Dynamic Modeling (Hannon & Ruth, 1994).

### 3.2.2 Principales tipos de modelos

En general se pueden distinguir dos grandes tipos de modelos, los modelos cualitativos y los cuantitativos. Los modelos cuantitativos determinan, de manera general, las relaciones entre diferentes factores o componentes del sistema, Estos modelos no pretenden cuantificar dichas relaciones sino solamente facilitar el entendimiento de cómo funciona el proceso específico que le interesa al modelador (Wadsworth, 1997). Los modelos cuantitativos por otra parte, provienen del resultado del desarrollo de un modelo cualitativo que representa adecuadamente la realidad, pero que incluye números y expresiones matemáticas como medio para representarla (Wadsworth, 1997).

Se pueden distinguir dos tipos de modelos cuantitativos. El primer tipo es el que representa un fenómeno particular en un determinado punto del tiempo, estos modelos se denominan modelos estáticos. El segundo tipo describe y analiza los procesos por los cuales un fenómeno, este tipo de modelos se denomina modelos dinámicos y apuntan a describir y capturar el cambio en tiempo real o simulado (Wadsworth, 1997).

### 3.2.3 Proceso de modelación dinámica

Para modelar un sistema dinámico, es necesario el análisis bajo el supuesto de que dicho sistema está conformado por partes que interactúan entre sí. Así el término “sistema” identifica un grupo interdependiente de artículos que conforman un patrón de comportamiento unificado (Kirkwood, 1998). Luego para realizar la descripción estructural del sistema, se deben considerar los patrones de comportamiento que lo caracterizan, donde dicha actividad requiere, por lo general, la investigación del cambio en el tiempo de una o más variables de interés (Kirkwood, 1998).

El elemento principal que compone un sistema cuando es modelado dinámicamente es la variable de estado. Las variables de estado pueden o no ser conservadas a través del tiempo, donde cada variable de estado conservada representa la acumulación o stock de materiales o información (Hannon & Ruth, 1994).

Los elementos de un sistema que representan la acción o el cambio en una variable de estado son llamadas variables de flujo o de control; a medida que el modelo avanza en el tiempo, las variables de control actualizan las variables de estado al final de cada paso de tiempo (Hannon & Ruth, 1994).

Típicamente los componentes de un sistema que se modela interactúan uno con otro, y dichas interacciones están presentes en la forma de retroalimentación. Los procesos de retroalimentación ocurren si los cambios en un componente del sistema inician cambios en otros componentes que al final afectan el componente que inicialmente estimuló el cambio. La retroalimentación negativa existe cuando el cambio en un componente resulta en una respuesta que inhibe la ocurrencia del cambio original. Análogamente retroalimentación



positiva existe cuando la reacción de un componente debido a un cambio, incentiva a dicho cambio a seguir ocurriendo (Hannon & Ruth, 1994).

Para la representación gráfica de las relaciones que conforman un sistema, se utilizan los “Diagramas cíclicos de causa”, donde dichos diagramas están compuestos por elementos y flechas (enlaces causales) que los unen. El enlace entre un elemento A y un elemento B es positivo (+), si A adiciona a B, o si un cambio en A produce un cambio en B en la misma dirección; análogamente el enlace entre un elemento A y un elemento B es negativo si A sustrae de B, o un cambio en A produce un cambio en B en la dirección contraria (Hannon & Ruth, 1994).

En adición a los signos de cada enlace, cada ciclo formado por la unión de los enlaces y los elementos posee un signo o letra respectiva. El signo o letra para cada ciclo es determinado mediante la cantidad de signos negativos (-) que éste posea. Un ciclo de retroalimentación es denominado positivo (R) si contiene un número par de enlaces causales negativos; análogamente, un ciclo de retroalimentación es denominado negativo cuando posee un número impar de enlaces causales negativos (Kirkwood, 1998).

La representación gráfica del modelo de un sistema determinado se puede visualizar utilizando los diagramas relacionales de Forrester (1961) para la dinámica industrial (Figura 10). La traducción del diagrama a ecuaciones matemáticas se desarrolla debido a que las variables de estado (*State variable*, Figura 10) son calculadas a través de la integración de las variables de flujo o control (*Rate equations*, Figura 10) a través del tiempo (Cuenco, 1989).

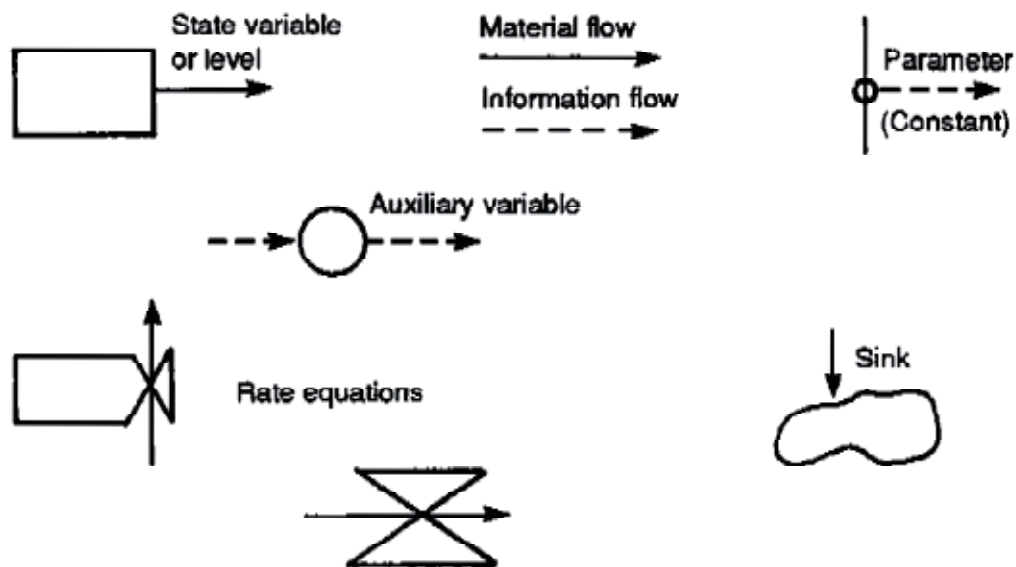


Figura 10: Símbolos de Forrester para la presentación de las interrelaciones de un sistema.  
Fuente: Industrial Dynamics (Forrester, 1961).

Una vez modelado un sistema, si su comportamiento resulta ser similar al que ocurre en la realidad, se pueden realizar interferencias en el proceso para estudiar la sensibilidad del mismo frente a condiciones alternativas; dicho estudio proporciona grandes cantidades de información que permiten enriquecer el conocimiento sobre el comportamiento fundamental del sistema modelado y sobre el patrón de comportamiento del mismo frente a variedad de condiciones externas (Hannon & Ruth, 1994).

#### 3.2.4 Simulación

Las simulaciones están directamente relacionadas con los modelos dinámicos, al ser éstas el resultado de la solución de las ecuaciones que describen un modelo dinámico en particular. Es decir una simulación imita un proceso dinámico modelado a través de la realización de otro proceso, donde proceso se refiere sólo a algunos objetos o sistemas cuyo estado cambia en el tiempo (Hegselmann *et al.*, 1996).

Existen dos tipos de simulación, la simulación continua y la simulación discreta. En la simulación continua, la estructura espacio temporal subyacente y los posibles estados del sistema se asumen como continuos, formulando el correspondiente modelo dinámico a través de ecuaciones diferenciales. Las simulaciones discretas se basan en estructuras espacio temporales discretas desde el comienzo, además de que los posibles estados del sistema se asumen discretos; en otras palabras, que son autómatas celulares. Esto quiere decir que el estado de una célula del sistema en un tiempo  $t_{i+1}$  proviene del estado de una célula vecina en el tiempo  $t_i$  de acuerdo a ciertas reglas (Hegselmann *et al.*, 1996).

#### 3.2.5 Aplicación de la modelación y la simulación en la acuicultura

Luego de la construcción de un modelo, el modelador puede realizar predicciones inteligentes acerca de las consecuencias de varias estrategias de administración en el sistema de acuicultura. La simulación de un modelo teórico es particularmente valiosa para sistemas complejos que involucran interacciones no lineales múltiples de variables con retroalimentación negativa y positiva (Cuenco, 1989).

Los modelos pueden ser utilizados para facilitar la operación día a día en la acuicultura como puede ser por ejemplo la determinación de densidades de cultivo o las tasas de alimentación (Piedrahita, 1988). Por otro lado el proceso de toma de decisiones implica el uso, explícito o implícito de modelos, debido a que las personas encargadas del mismo necesariamente poseen un modelo causa efecto en mente al tomar una decisión determinada (Karplus, 1977).

Eventualmente, los modelos de acuicultura deben ser desarrollados para convertirse en herramientas importantes para el diseño y la administración de los sistemas de acuicultura. La predicción de éxitos o fallas en el sistema bajo variadas condiciones usando un modelo propuesto, es más barato que la construcción del sistema en sí. Adicionalmente

los procesos en el mundo real pueden tardar meses o años, dependiendo del caso, mientras que la simulación en computadoras puede tardar segundos o minutos (Cuenco, 1989).

Los modelos en acuicultura también pueden ser utilizados como mecanismos para la identificación de los factores que no son conocidos a través de la organización de los factores que son conocidos en la estructura del modelo (Kitching, 1983). Los modelos son útiles para la extracción y la síntesis de información de diversas disciplinas en una estructura consistente, identificando así necesidades investigativas de la actividad clarificando ideas y conceptos (Cuenco, 1989).

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Enfoque metodológico utilizado**

La primera fase de la evaluación de estrategias de cultivo consiste en desarrollar un modelo de simulación dinámica que permita la flexibilidad de la simulación para la generación de distintos escenarios y estrategias sin la necesidad de definir modelos distintos para cada evaluación (Pelot & Zwicker, 2006).

El modelo debe identificar cada uno de los pasos del proceso de cultivo a los que se ven sometidos los individuos, desde la siembra de los individuos hasta la cosecha. Esto además debe considerar el fenómeno de que algunos individuos no presenten un crecimiento uniforme y deban permanecer tiempos adicionales en las etapas como debe también reflejar el crecimiento de los individuos a través del tiempo. Esta característica debe también tener la flexibilidad suficiente como para presentar variaciones a medida que transcurre el tiempo de simulación (Pelot & Zwicker, 2006).

El modelo además debe ser capaz de simular las decisiones del término para cada etapa del proceso de cultivo, para así reflejar el impacto de los criterios de decisión de cada estrategia en términos económicos al final de la simulación (Pelot & Zwicker, 2006).

El modelo debe ser capaz de entregar información acerca de los elementos necesarios para la operación del centro de cultivo. Esto incluye el requerimiento de semillas, unidades de cultivo, líneas, embarcaciones, superficie y mano de obra, entre otros (Pelot & Zwicker, 2006).

Finalmente el modelo debe ser capaz de señalar los costos e ingresos que se generan en el centro con el fin de generar una evaluación económica a través de un valor presente neto del total de los periodos (Pelot & Zwicker, 2006).

### **4.2 Modelo teórico**

#### **4.2.1 Modelo conceptual del sistema de cultivo**

La Figura 11 ilustra un diagrama causal de un cultivo de ostión del norte en sistema longline utilizando la nomenclatura propuesta por Kirkwood (1998), indicando, en grandes rasgos, la lógica de operación del sistema de cultivo y las variables que toman parte en su desarrollo.

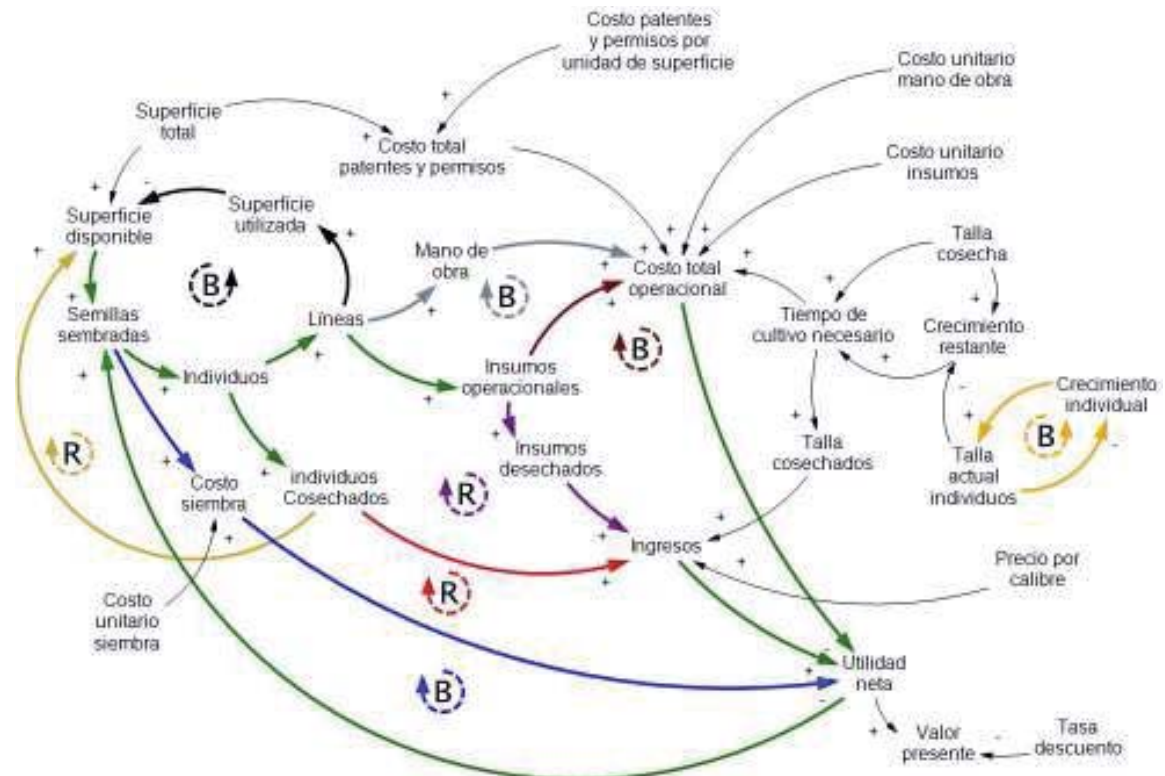


Figura 11: Diagrama causal genérico de un cultivo de ostiones en sistema longline  
Fuente: Elaboración propia.

Dada la condición de que existe una superficie total susceptible a ser utilizada en actividades de cultivo de ostión del norte, existe una superficie disponible para realizar la siembra de las semillas; mientras mayor número de semillas sean sembradas, mayor será el número de individuos en el centro. La cantidad de individuos determinará, de acuerdo a las políticas de cultivo en cuanto a densidad y unidades de cultivo a utilizar, la cantidad de líneas presentes en el centro. A medida que un mayor número de líneas sea instalado, menor será la superficie disponible para realizar siembras en el mismo periodo de tiempo (ciclo color negro)<sup>2</sup>; pero a medida que los individuos sean cosechados la superficie disponible para realizar siembras aumentará de forma directa (ciclo color oro).

De acuerdo a la cantidad semillas sembradas, se generará un costo por siembra, el cual disminuye la utilidad neta para cada periodo de tiempo (ciclo color azul). A su vez la cantidad de líneas presentes requerirá la adquisición de insumos operacionales los cuales adicionan al costo operacional total (ciclo color marrón). La cantidad de líneas también exige mano de obra para su mantenimiento, la cual es una fuente de costos que también adiciona al costo operacional total (ciclo color gris). Además de acuerdo a la legislación

<sup>2</sup> Los ciclos causales están identificados con la letra B y R para representar la retroalimentación negativa y positiva respectivamente. Las rutas de influencia compartidas por más de un ciclo causal están identificadas por un enlace causal de color verde.

chilena (Gobierno de Chile, 1989) las superficies destinadas a las actividades acuícolas están sujetas a un pago de patentes por unidad de superficie; esto genera entonces un costo total por patentes y permisos el cual está en función de la superficie total, donde dicho costo también adiciona a los costos operacionales totales. En consecuencia, el costo operacional total disminuye la utilidad neta para cada periodo de tiempo.

La talla de cosecha determina la longitud que los individuos deben poseer para ser extraídos del agua, dicha longitud es alcanzada por los individuos a medida que crecen en el tiempo, crecimiento que disminuye a medida que los individuos poseen una mayor talla (ciclo color amarillo) según indican Stotz y González (1997). Mientras mayor sea la talla que poseen los individuos, mayor será el tiempo de cultivo que han transcurrido los individuos bajo cultivo, y consecuentemente el costo operacional aumentará.

Finalmente, los ingresos están dados por la venta de insumos desechados (ciclo color púrpura) y por la venta de individuos cosechados (ciclo color rojo), donde a mayor talla, mayor es el valor por individuo a un precio por calibre determinado. Los ingresos finalmente, aumentarán la utilidad neta de un periodo de tiempo determinado. La utilidad neta de cada periodo determinará el valor presente de la operación a través del tiempo, y generará capital para nuevas siembras y la continuación del proceso productivo.

#### 4.2.2 Modelo matemático del sistema de cultivo

##### 4.2.2.1 Evaluación económica de la actividad

La evaluación económica medirá el comportamiento del valor económico de un centro de cultivo de ostión del norte. El valor económico de la actividad está dado por una expresión que considere los beneficios a través del tiempo para el centro de cultivo. Utilizando como referencia el diagrama de la Figura 11, el valor económico de la actividad se podría expresar en primera instancia de la siguiente forma:

$$VE = f(p, c, q, t) \quad (4.2.1)$$

Donde:

*VE*: Valor económico de la actividad.

*p*: Precio de los productos que se elaboran.

*c*: Costo de los productos que se elaboran.

*q*: Cantidad de productos elaborados.

*t*: Instante del tiempo en el cual se está analizando el valor económico.

Sapag y Sapag (2000) proponen que uno de los criterios de evaluación más adecuados para cualquier proyecto que involucre flujos de caja, es el denominado Valor Presente Neto (VPN). Un proyecto debiese aceptarse si su valor presente neto es igual o superior a cero, donde el VPN es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados

en moneda actual. La ecuación para un proceso continuo queda finalmente determinada por:

$$VPN = \int_1^n [IT(t) - CT(t)] e^{r(1-t)} dt \quad (4.2.2)$$

Donde:

$VPN$ : Valor presente neto.

$n$ : Número de periodos de tiempo en los cuales se realizará la evaluación.

$IT(t)$ : Ingresos totales en el instante de tiempo  $t$ .

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

$r$ : Tasa de descuento a la cual se evalúa el proyecto o la actividad.

Otro criterio para evaluar proyectos, es la relación beneficio-costos (Sapag & Sapag, 2000). La cual corresponde a un índice de relación entre el capital invertido y el capital ingresado a través del tiempo. Los índices mayores a 1 indican que el proyecto reporta beneficios en el tiempo. La expresión para la relación costo beneficio es la siguiente:

$$RBC = \frac{\int_1^n IT(t) e^{r(1-t)} dt}{\int_1^n CT(t) e^{r(1-t)} dt} \quad (4.2.3)$$

Donde:

$RBC$ : Relación beneficio-costos.

#### 4.2.2.2 Dinámica de los individuos

Zúñiga (2008) plantea que los individuos sujetos al proceso de cultivo son afectos a procesos dinámicos que determinan su sobrevivencia en el tiempo. Entonces la cantidad de individuos que permanecen vivos en el tiempo se explica en primera instancia mediante la siguiente expresión genérica:

$$N(t) = f(N_0, z, t) \quad (4.2.4)$$

Donde:

$N(t)$ : Número de individuos vivos en el instante de tiempo  $t$ .

$N_0$ : Número de individuos iniciales.

$z$ : Tasa de mortalidad a la que está sujeta la población.

De acuerdo a Zúñiga (2008) entonces, la sobrevivencia continua de una población a través del tiempo bajo condiciones de cultivo de acuicultura, tomando en consideración la población inicial, y la tasa de mortalidad inherente a la población queda finalmente determinada por:

$$\frac{d[N(t)]}{dt} = -z * N(t) \quad (4.2.5)$$

#### 4.2.2.3 Crecimiento individual

Los individuos al ser organismos biológicos presentan la propiedad de crecer en peso y longitud. Este crecimiento varía en el tiempo y depende de cada especie en particular (Villalejo Fuerte *et al.*, 2004); en general entonces el tamaño en el tiempo para un ostión tipo en términos de longitud podría explicarse, según, de una manera genérica mediante la expresión a continuación:

$$L(t) = f[L_0, L_\infty, g(t)] \quad (4.2.6)$$

Donde:

$L(t)$ : Longitud del individuo en el instante de tiempo  $t$ .

$L_0$ : Longitud inicial del individuo.

$L_\infty$ : Longitud asintótica o máxima que puede alcanzar un individuo tipo.

$g(t)$ : Crecimiento en longitud para un individuo tipo en el instante de tiempo  $t$ .

Para el caso del ostión del norte, la expresión de Von Bertalanffy puede describir el crecimiento individual en condiciones naturales (Stotz & González, 1997), y también en condiciones de cultivo suspendido para especies similares (Villalejo Fuerte *et al.*, 2004). La expresión que describe el crecimiento continuo de los individuos en términos de longitud queda expresada finalmente por el siguiente arreglo matemático a la expresión de Von Bertalanffy (Sparre & Venema, 1995):

$$\frac{d[L(t)]}{dt} = k[L_\infty - L(t)] \quad (4.2.7)$$

Donde:

$k$ : Parámetro “ $k$ ” de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy.

#### 4.2.2.4 Costos

De acuerdo al diagrama de la figura 11, los costos generados en la actividad responden a los volúmenes de producción como a la superficie total que posee el centro de cultivo. Esto quedaría explicado por la expresión genérica siguiente (Sapag & Sapag, 2000):

$$CT(t) = CV(q, t) + CF \quad (4.2.8)$$

Donde:

$CV(q, t)$ : Costos variables de la operación en el instante de tiempo  $t$ , susceptibles a cambios en los niveles de producción para cada instante de tiempo.

$CF$ : Costos fijos de la operación de cultivo no susceptibles a cambios ante diferentes volúmenes de producción en el tiempo.



En consecuencia, debido a que los principales productos generados en el centro de cultivo son los individuos como tal, los costos variables estarán determinados por la cantidad de insumos y factores productivos necesarios para mantener dicha cantidad de individuos. En forma genérica, esto queda determinado entonces por:

$$IP(t) = f[N(t), t] \quad (4.2.9)$$

Donde:

$IP(t)$ : Cantidad total necesaria de insumos y factores productivos en el instante de tiempo  $t$ .

Si los insumos y factores productivos difieren entre sí, la expresión (4.2.9) se puede modificar, para la inclusión de este supuesto, de la siguiente manera:

$$IP(m, t) = f[N(t), m, t] \quad (4.2.10)$$

Donde:

$m$ : Índice de referencia para el  $m$ -ésimo insumo o factor productivo.

$IP(t, m)$ : Cantidad total necesaria del  $m$ -ésimo insumo o factor productivo en el instante de tiempo  $t$ .

Finalmente los costos variables para cada instante de tiempo, asociados a la cantidad de insumos o factores productivos utilizados en el centro, están explicados por la cantidad total de éstos multiplicados por su valor unitario respectivo (Sapag & Sapag, 2000). Así la expresión para los costos variables en el centro de cultivo es la siguiente:

$$CV(t) = \sum_m [IP(m, t) * cv(m)] \quad (4.2.11)$$

Donde:

$cv(m)$ : Costo unitario en función de cada insumo o factor productivo.

#### 4.2.2.5 Ingresos

De acuerdo a lo presentado en la Figura 11, los ingresos generados en la actividad están en directa relación con los individuos vendidos en calidad de materia prima y su tamaño, como también de los insumos productivos desechados que posean un valor residual (Sapag & Sapag, 2000). En forma general entonces el ingreso total para el centro en un instante de tiempo se podría señalar como:

$$IT(t) = f[q(t), p, (t), D(t), vr, t] \quad (4.2.12)$$

Donde:

$q(t)$ : Cantidad de productos elaborados en el instante de tiempo  $t$ .

$p(t)$ : Precio de los productos elaborados en el instante de tiempo  $t$ .

$D(t)$ : Cantidad de insumos o factores productivos desechados susceptibles a venta en el instante de tiempo  $t$ .

$vd$ : Valor residual de los insumos o factores productivos desechados.

Los ingresos por venta de ostiones como materia prima están en relación con los individuos cosechados, que pueden ser utilizados como productos, y con el calibre en el que se pueden clasificar según su tamaño en longitud. En consecuencia con lo anterior, finalmente el ingreso por venta de ostiones queda explicado de forma general por las siguientes ecuaciones:

$$p(t) = f[L(t), t] \quad (4.2.13)$$

$$q(t) = f[N(t)] \quad (4.2.14)$$

$$IV(t) = p(t) * q(t) \quad (4.2.15)$$

Donde:

$IV(t)$ : Ingreso por venta de ostiones como materia prima en el instante de tiempo  $t$ .

Para el caso del ingreso debido a la venta de insumos o factores productivos desechados, dicho ingreso está directamente relacionado con el valor de los mismos, y con la cantidad de estos que se retiren del centro en cada instante de tiempo. El valor de desecho depende de cada insumo o factor productivo en particular, la cantidad desechada por otra parte, está en estricta relación con la vida útil de los mismos y con el tiempo que llevan adquiridos. Lo anterior, queda finalmente representado de manera general por las siguientes ecuaciones:

$$vr(m) = f[vc(m), vu(m), m] \quad (4.2.16)$$

$$D(m, t) = f[vu(m), tu(m, t), t] \quad (4.2.17)$$

$$ID(t) = \sum_m [D(m, t) * vr(m)] \quad (4.2.18)$$

Donde:

$vr(m)$ : Valor residual para el  $m$ -ésimo insumo o factor productivo.

$vc(m)$ : Valor de compra para el  $m$ -ésimo insumo o factor productivo.

$vu(m)$ : Vida útil para el  $m$ -ésimo insumo o factor productivo.

$D(m, t)$ : Cantidad desechada del  $m$ -ésimo insumo en el instante de tiempo  $t$ .

$tu(m, t)$ : Tiempo de utilización que posee el  $m$ -ésimo insumo o factor productivo en el instante de tiempo  $t$ .

Finalmente al reemplazar (4.2.15) y (4.2.18) en (4.2.12), la expresión general que describe los ingresos para un instante de tiempo queda de la siguiente forma:

$$IT(t) = IV(t) + ID(t) \quad (4.2.19)$$

#### 4.2.2.6 Estrategias y escenarios a evaluar

Tomando en consideración que el precio está en función del tamaño de los individuos, la evaluación tiene por objetivo presentar el impacto en términos económicos que pudiesen tener distintas estrategias de cosecha, esto en términos de tamaño de cosecha.

Las estrategias de cosecha a evaluar a través de la simulación dinámica serán las siguientes:

- i. Cosecha de individuos al calibre mínimo comercial de cosecha “C” (90 mm) (Espinoza, 2009) indiferente al tiempo requerido para alcanzar dicho tamaño (E1).
- ii. Cosecha de individuos al calibre medio comercial de cosecha “B” (110 mm) (Espinoza, 2009) indiferente al tiempo requerido para alcanzar dicho tamaño (E2).
- iii. Cosecha de individuos al calibre máximo comercial de cosecha “A” (130 mm) (Espinoza, 2009) indiferente del tiempo requerido para alcanzar dicho tamaño (E3).

Luego para poder ilustrar el comportamiento en términos económicos de las estrategias definidas anteriormente, estas se someterán a cuatro escenarios de precios distintos:

- I. Precios constantes por calibre a través del tiempo simulado.
- II. Precios variables por calibre dentro del periodo anual, pero con un patrón anual recurrente a lo largo del tiempo simulado.
- III. Precios constantes por calibre sujetos a alzas definidas dentro del periodo anual, pero con un patrón anual recurrente a lo largo del tiempo simulado. No incluye la condición de precio-dependencia
- IV. Precios constantes por calibre sujetos a alzas definidas dentro del periodo anual, pero con un patrón anual recurrente a lo largo del tiempo simulado. Incluye la condición de precio-dependencia

El término precio-dependencia hace referencia a la condición de cosechar los individuos sólo en los momentos en que el precio se encuentra en un momento de alza. Es decir en el escenario III, las estrategias cosecharán apenas los individuos alcancen el tamaño requerido para cada calibre (precio-independencia). Por el contrario en el caso del

escenario IV, las estrategias cosecharán sólo cuando los individuos hayan alcanzado el tamaño requerido y además exista un alza en los precios por calibre.

Para poder contrastar las diferentes estrategias, se evaluarán todas por un mismo horizonte de tiempo de 10 años, cada año compuesto de 52 semanas. La temporada de alza de precios se asume como los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero. El resumen de los escenarios y las condiciones aplicables a cada estrategia se presenta a continuación:

Tabla 1: Resumen de escenarios y condiciones para las estrategias de cosecha




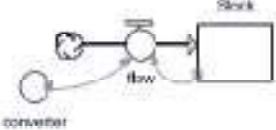
	<b>Escenario I</b>	<b>Escenario II</b>	<b>Escenario III</b>	<b>Escenario IV</b>
<b>Estrategia 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre C (90 mm).</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre C.</li> <li>• Precios variables con patrón anual a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre C.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre C.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Presenta precio dependencia.</li> </ul>
<b>Estrategia 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre B (110 mm).</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre B.</li> <li>• Precios variables con patrón anual a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre B.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre B.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Presenta precio dependencia.</li> </ul>
<b>Estrategia 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre A (130 mm).</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre A.</li> <li>• Precios variables con patrón anual a lo largo del tiempo.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre A.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Cosecha Precio independiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha a calibre A.</li> <li>• Precios constantes a lo largo del tiempo, con alzas definidas en el año.</li> <li>• Presenta precio dependencia.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Plataforma de programación y simulación

El modelo será desarrollado en el software especializado STELLA® versión 9.0.2 para la programación y simulación de modelos de carácter dinámico. El software opera utilizando la modelación gráfica propuesta por Forrester (1961), utilizando los 4 componentes básicos ilustrados en la Tabla 2, a los cuales se les asignan las relaciones en forma de ecuaciones y procesamientos de tipo lógico binario (Zuñiga, 2008).

Tabla 2: Componentes básicos de un sistema dinámico en Stella®

Explicación	Símbolo
Los montos son llamados stocks, y representan acumulaciones. Estos montos están influenciados por flujos de entrada y/o flujos de salida. Un ejemplo es el saldo en la cuenta bancaria.	
Los Flujos están definidos por una tasa (monto por unidad de tiempo). Los flujos influyen en los Stocks causando acumulaciones y/o agotamientos. Por ejemplo: el interés periódico que gana una cuenta bancaria.	
Los convertiers son usados para ingresar parámetros o constantes al sistema, o para hacer operaciones aritméticas, conversión de unidades, u otras necesidades matemáticas.	
Los connectors llevan flujos de información entre los componentes, y están representados por una flecha. En el ejemplo de la derecha, un flujo se acumula continuamente en un stock, y el stock usa como información un parámetro de entrada proporcionado por un converter, y la información del mismo stock.	

Fuente: Optimización económica de sistemas dinámicos con STELLA®: momento óptimo de cosecha en el cultivo del salmón de acuerdo a Zúñiga (2008).

#### 4.4 Datos requeridos

##### 4.4.1 Datos de estrategia de siembra

Corresponden a los datos que determinarán la distribución de siembras en el centro de cultivo a través de cada periodo anual. Estos datos incluyen la semana (Considerando que el año tiene 52 semanas) en que se realiza la siembra, y el número de semillas que se sembrará en cada evento de siembra (ANEXO I, Tabla 10).

##### 4.4.2 Datos de cultivo en el mar

Corresponden a los datos que identifican el proceso de cultivo en el mar como tal. Estos datos incluyen las mortalidades en promedio por cada etapa de cultivo (ANEXO I, Tabla 11), el porcentaje de rezagados que tiene cada etapa, las densidades de cultivo por cada unidad, y las densidades de unidades de cultivo por cada sistema de suspensión o línea (ANEXO I, Tabla 13).

##### 4.4.3 Datos de crecimiento y longitud

Corresponden a los datos que identifican los parámetros de crecimiento del ostión de acuerdo a la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (ANEXO I, Tabla 14). Además, también se requieren las longitudes que serán relevantes en el proceso de cultivo,

lo que incluye las longitudes que indican el término de las etapas de cultivo y las longitudes promedio de los individuos rezagados al final de cada desdoble (ANEXO I, Tabla 15).

#### 4.4.4 Datos para la estimación de requerimientos en el centro

Corresponden a los datos que indican la cantidad de embarcaciones y mano de obra necesarias para poder operar. Además, la especificación de la cantidad de líneas que es capaz de mantener un trabajador de planta en una semana, la cantidad de líneas que es capaz de mantener un trabajador temporal en una semana, y finalmente la cantidad de líneas que se pueden mantener con un bote en una semana (ANEXO I, Tabla 16).

#### 4.4.5 Datos para la estimación de costos

Corresponden a aquellos datos que señalan cuales serán los costos totales en el centro de cultivo. Estos incluyen los costos individuales de adquisición de insumos para el centro, lo que abarca el costo individual de las unidades de cultivo, sistemas de suspensión o líneas, semillas y embarcaciones (ANEXO I, Tabla 17).

Este tipo de datos también incluye los costos de operación del centro, donde se incluyen los salarios de la mano de obra de planta y temporal (ANEXO I, Tabla 18), los costos de operación de las embarcaciones (ANEXO I, Tabla 19), y los costos de almacenamiento de unidades de cultivo, sistemas de suspensión y embarcaciones (ANEXO I, Tabla 20). Además en esta categoría se incluyen los costos de operación anuales que generan otras actividades no relacionadas directamente con la operación del centro como lo pueden ser los costos administrativos y de pagos legales (ANEXO I, Tabla 21).

Por último se incluyen los datos de inversión inicial que consideran los costos de la tramitación de concesiones, adquisición de permisos, habilitación del centro, construcción de infraestructura, compra de terreno y estudios previos, entre otros (ANEXO I, Tabla 21).

Además se requieren los datos de vida útil de las inversiones, con el fin del cálculo de la depreciación como factor para el reflejo de la pérdida de productividad de los activos (Sapag & Sapag, 2000). Esto se aplica a la inversión inicial, las unidades de cultivo, los sistemas de suspensión y las embarcaciones (ANEXO I, Tabla 22).

#### 4.4.6 Datos para la estimación de ingresos

Corresponden a los datos necesarios para poder calcular los ingresos que se obtendrán en el centro de cultivo. Estos datos incluyen los precios que tendrán las unidades producidas por calibre, y la variación de los mismos ya sea en temporadas definidas (ANEXO I, Tabla 23) o a través de todo el año.

Por último se especifican los valores residuales que tendrán las inversiones que ya han cumplido su vida útil en la simulación, esto incluye unidades de cultivo, sistemas de suspensión y embarcaciones.

## 5. RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO

### 5.1 Evaluación económica

Para la evaluación de las estrategias de cultivo es necesario analizar el comportamiento a través del tiempo de las utilidades generadas por la misma. Esta evaluación se hace en primera instancia, a través del procedimiento del valor presente neto (Sección 4.2.2.1) utilizando la siguiente expresión:

$$UN(t) = IT(t) - CT(t) \quad (5.1.1)$$

Donde:

$t$ : Índice de referencia para el tiempo, donde  $t = \{1, 2, \dots, 520\}$ .

$UN(t)$ : Utilidad nominal total del centro en el instante de tiempo  $t$ .

$IT(t)$ : Ingreso total en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

$CT(t)$ : Costo total en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

Al reemplazar (5.1.1) en (4.2.1), la expresión final para el valor presente neto de la simulación queda determinada por:

$$VPN = \int_t UN(t)e^{r(1-t)} dt \quad (5.1.2)$$

Mientras más alto sea el resultado del valor presente neto, mayores serán las utilidades que presenta la estrategia en términos económicos. Por ende la estrategia que presenta un mayor valor presente neto será la que genere mayores beneficios al centro de cultivo.

En segunda instancia de acuerdo con lo planteado en la sección 4.2.2.1, la evaluación económica se hará a través de la relación beneficio costo, determinada por la ecuación (4.2.3) sin modificaciones. Mientras mayor sea el valor de la relación, mayor será la rentabilidad generada por la actividad, siempre y cuando el valor de este índice sea mayor que 1.

La representación gráfica de la evaluación económica mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 23 y Figura 24.

### 5.2 Dinámica de los individuos

#### 5.2.1 Siembra

El cultivo comienza con la siembra (Sección 3.1.2) y dependiendo de cómo se distribuyan las siembras, se generan distintos batches. El modelo como tal trabaja con seis



batch distintos, que poseen independencia entre ellos, pero que compiten por los recursos disponibles en el centro para un instante de tiempo determinado. Cada batch se distingue de los otros por la fecha de siembra y por la cantidad de semillas sembradas en el mismo (Figura 12).

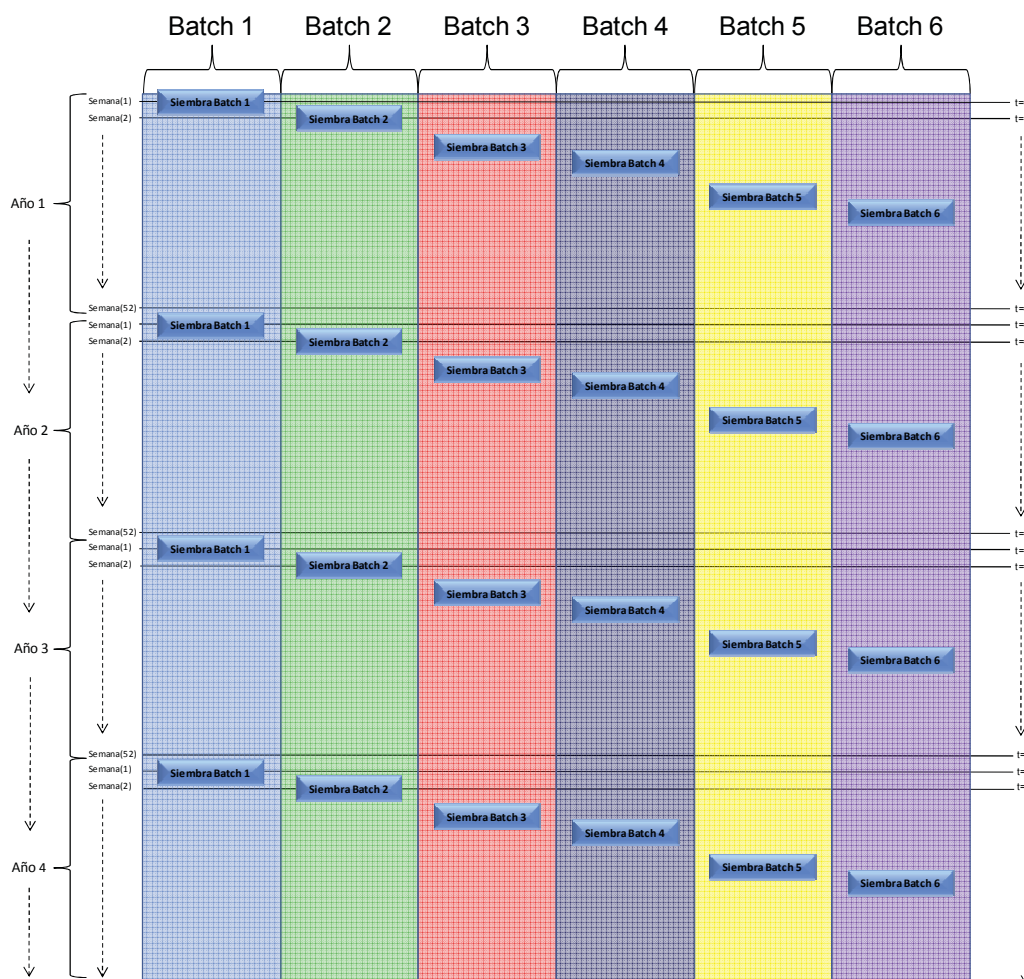


Figura 12: Representación gráfica del esquema de siembras para el modelo  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 entonces refleja el supuesto de que los distintos batches identifican las camadas que son sembradas en una semana en específico dentro del año, y no a una camada en específico. Esto quiere decir que el batch 1 por ejemplo (color celeste) corresponde a todas las camadas que serán sembradas en la semana 1 de cada año (el hito de la siembra para cada batch está identificado a través del rectángulo que indica la siembra respectiva); el batch 2 (color verde) a los individuos que serán sembrados en la semana 2 de cada año y así sucesivamente para cada batch dependiendo de la semana en la que se realicen las siembras en cada uno de ellos.

Las expresiones matemáticas que describen el comportamiento de la Figura 12 se presentan a continuación:

$$A_i(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } \text{Semana}(t) \neq S_i \\ Q_i & ; \text{ si } \text{Semana}(t) = S_i \end{cases}$$

$$S_i \in \mathbb{N}$$

$$Q_i \in \mathbb{N}$$
(5.2.1)

En conjunto con:

$$\text{Semana}(t) = \begin{cases} \text{Semana}(t-1) + 1 & ; \text{ si } \text{Semana}(t-1) \leq 52 \\ \text{Semana}(t-1) - 51 & ; \text{ si } \text{Semana}(t-1) > 52 \end{cases}$$

$$\text{Semana}(0) = 1$$
(5.2.2)

Donde:

$i$ : Índice de referencia para el  $i$ -ésimo batch, donde  $i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ .

$A_i(t)$ : Cantidad de semillas sembradas para el batch  $i$ -ésimo en el instante de tiempo  $t$ .

$\text{Semana}(t)$ : Semana del año en el instante de tiempo  $t$ .

$S_i$ : Semana en la cual se siembran los individuos que forman parte del batch  $i$ -ésimo.

$Q_i(t)$ : Cantidad de semillas sembradas en el batch  $i$ -ésimo en el instante de tiempo  $t$ .

### 5.2.2 Proceso de cultivo en el mar

De acuerdo con la sección 4.2.2.2, se considera que el stock  $N(t)$  corresponde al total de individuos vivos en un instante de tiempo  $t$ . La subdivisión del cultivo en distintos batches genera la siguiente modificación a (4.2.4):

$$N(t) = \sum_i O_i(t)$$
(5.2.3)

Donde:

$N(t)$ : Total de individuos presentes en el mar en el instante de tiempo  $t$ .

$O_i(t)$ : Total de individuos presentes en el mar que corresponden al batch  $i$ -ésimo en el instante de tiempo  $t$ .

La expresión que describe el cambio en el tiempo para el stock de cada batch está determinada por el flujo positivo de la siembra en cada instante de tiempo; y de forma negativa por los flujos de las mortalidades y las cosechas, ambos variables en el tiempo, para cada batch de forma individual. Lo anterior queda determinado de forma definitiva por:

$$\frac{d[O_i(t)]}{dt} = -z(t) * O_i(t) + A_i(t) - H_i(t)$$
(5.2.4)

Donde:

$z(t)$  : Coeficiente de mortalidad poblacional en el instante de tiempo  $t$ .

$H_i(t)$  : Cantidad de individuos cosechados en el  $i$ -ésimo batch en el instante de tiempo  $t$ .

La representación gráfica del proceso, en términos generales, del cultivo en el mar para cada batch mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 25.

De acuerdo con la sección 3.1.4 en el proceso de desdoble se retiran las mortalidades acumuladas de la etapa, y luego se determina la cantidad de individuos que pueden avanzar a la siguiente. Aquellos que no cumplan con la longitud mínima para avanzar de etapa deben permanecer por más tiempo en la anterior. Estos individuos se denominan rezagados y son identificados únicamente en el momento del desdoble.

Como supuesto de trabajo, al modelar se ha establecido que el fenómeno de los individuos rezagados se puede producir en ostiones que ya han sido clasificados como tal en etapas previas a la cual provienen al momento del desdoble. Así se crearon 4 grupos dentro de cada batch:

- Grupo normal.
- Grupo G1.
- Grupo G2.
- Grupo G3.

El grupo normal corresponde a aquellos individuos que tienen un crecimiento sin presentar retrasos en el proceso productivo. El grupo G1 corresponde a aquellos individuos que son rezagados durante el último desdoble del grupo normal, y son mantenidos por un periodo de tiempo mayor en las linternas iniciales.

El grupo G2 corresponde a aquellos individuos rezagados del grupo normal durante el primer desdoble, los cuales son mantenidos por un periodo de tiempo mayor en la etapa pearl net, Finalmente el grupo G3 corresponde a aquellos individuos rezagados del grupo G2 durante el último desdoble de éste, para ser mantenidos durante un periodo de tiempo mayor en las linternas iniciales. La representación esquemática de este proceso de división del batch se muestra en la Figura 13.

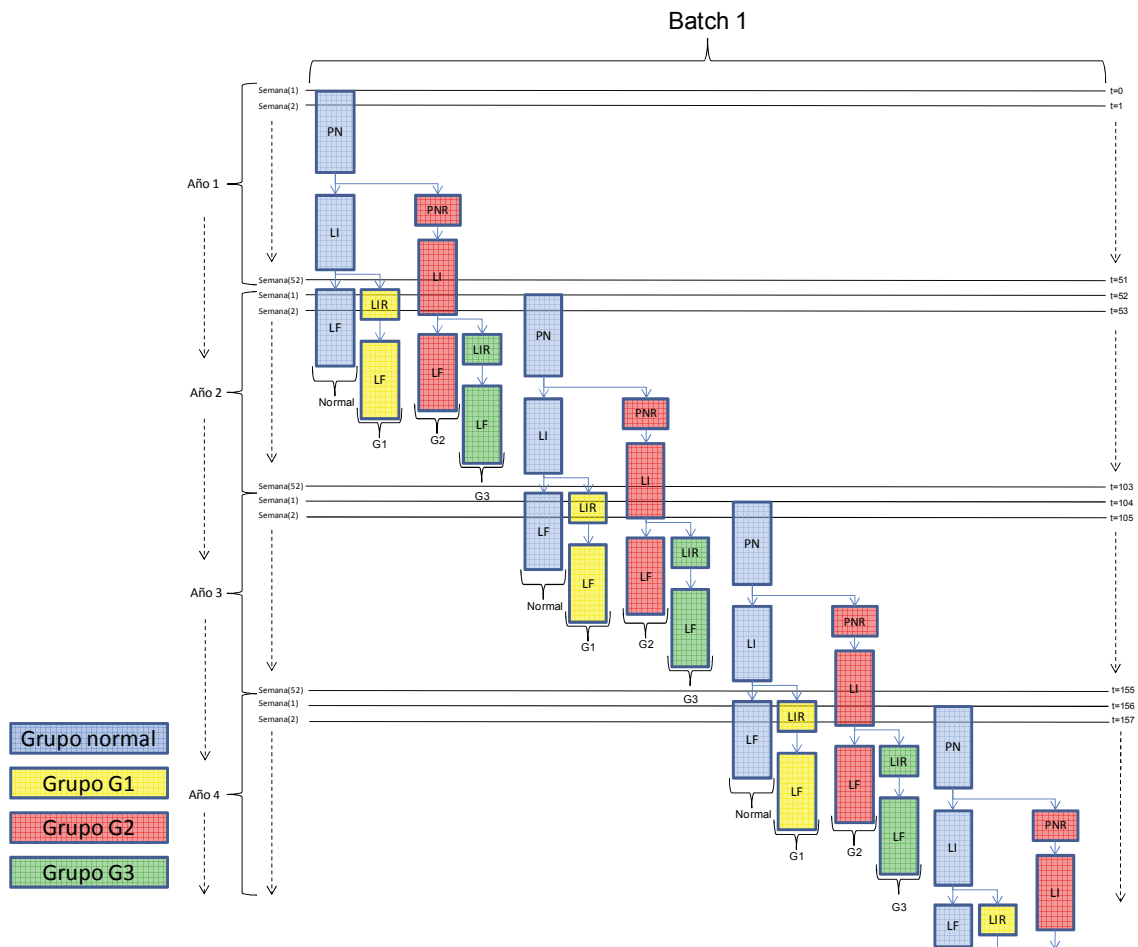


Figura 13: Esquema de la subdivisión de cada batch a medida que se produce el fenómeno del rezago de individuos en el proceso de cultivo  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 ilustra de manera gráfica la subdivisión en los cuatro grupos definidos a medida que se produce el fenómeno del rezago en los individuos. Con la siembra todos los individuos en la etapa de pearl net (PN) se encuentran en el grupo normal (cuadriláteros azules), con el primer desdoble una vez terminada la etapa de pearl net, habrán individuos que poseen la longitud necesaria para ser ingresados a las linternas iniciales (LI); por el contrario aquellos que no posean la longitud permanecerán en la etapa pearl net durante un tiempo adicional hasta alcanzar la longitud necesaria (PNR) conformando el grupo G3 (cuadriláteros rojos).

Los individuos que avanzaron a la etapa de linternas iniciales de forma regular (grupo normal), serán sometidos a un segundo desdoble al término de dicha etapa; los individuos que posean la longitud adecuada avanzarán a la etapa de linterna final (LF); por el contrario aquellos que posean una longitud menor serán mantenidos en la etapa de linterna inicial (LIR) hasta alcanzar la longitud necesaria conformando el grupo G2

(cuadriláteros amarillos). Los individuos que avanzaron a la etapa de linterna final serán finalmente cosechados todos por igual sin la presencia de rezagados<sup>3</sup>. Los individuos del grupo G2, una vez terminado el tiempo adicional que deben pasar en las linternas iniciales, avanzarán a la etapa de linterna final, para que una vez adquirido el tamaño necesario sean finalmente cosechados.

Para el caso del grupo G3, una vez han permanecido el tiempo necesario en las unidades de pearl net, avanzarán a la etapa de linterna inicial. Una vez terminada esta etapa, aquellos que posean el tamaño correspondiente continuarán a las linternas finales; en caso contrario permanecerán un tiempo adicional en la etapa de linterna inicial (LIR) conformando el grupo G4 (cuadriláteros verdes). Una vez adquirido el tamaño necesario los individuos en las linternas finales serán cosechados sin la presencia de rezagados al término de la etapa. Para el caso del grupo G4, una vez alcanzado el tamaño para avanzar a las linternas finales, avanzaran de etapa para posteriormente ser cosechados de la misma forma que el resto de los grupos anteriormente descritos.

Así en base al proceso ilustrado por la Figura 13, dado que pueden existir individuos en distintas etapas por batch en cada instante de tiempo, la cantidad de individuos presentes por batch queda representado por

$$O_i(t) = \sum_j G_{ij}(t) \quad (5.2.5)$$

Donde:

$j$ : Índice de referencia para la  $j$ -ésimo etapa de cultivo, donde  $j = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ .

$G_{ij}(t)$ : Cantidad de individuos del  $i$ -ésimo batch presentes en la  $j$ -ésima etapa de cultivo en el instante de tiempo  $t$ .

De manera específica, las etapas se clasifican de acuerdo a la expresión a continuación:

$$j = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Pearl net grupo normal} \\ \text{Pearl net grupo G2} \\ \text{Linterna inicial grupo normal} \\ \text{Linterna inicial grupo G1} \\ \text{Linterna inicial grupo G2} \\ \text{Linterna inicial grupo G3} \\ \text{Linterna final grupo normal} \\ \text{Linterna final grupo G1} \\ \text{Linterna final grupo G2} \\ \text{Linterna final grupo G3} \end{bmatrix} \quad (5.2.6)$$

<sup>3</sup> Se asume que la etapa de linterna final no tiene individuos rezagados.

El stock o cantidad de individuos presentes en cada etapa se ve afectada positivamente por los flujos de entrada, compuestos por la siembra (pearl net grupo normal), y por el avance de etapa y rezago de individuos al momento de realizar los desdobles. Por el contrario dicha variable de estado se ve afectada negativamente por las mortalidades<sup>4</sup>, los avances de etapa y las cosechas. Esto queda representado por la siguiente expresión

$$\frac{d[G_{ij}(t)]}{dt} = \begin{cases} A_i(t) - T_{ij}(t); \forall \{j = 1\} \\ Y_{ij}(t) - T_{ij}(t); \forall \{1 < j < 7\} \\ Y_{ij}(t) - H_{ij}(t); \forall \{j \geq 7\} \end{cases} \quad (5.2.7)$$

Donde:

$T_{ij}(t)$ : Corresponde a la cantidad de individuos en el  $i$ -ésimo batch que son retirados de la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ . Cantidad retirada por conceptos de mortalidad y de desdoble.

$Y_{ij}(t)$ : Corresponde a la cantidad de individuos en el  $i$ -ésimo batch que ingresan a la  $j$ -ésima etapa  $j$ -ésima en el instante de tiempo  $t$ .

$H_{ij}(t)$ : Corresponde a la cantidad de individuos en el  $i$ -ésimo batch que son retirados de la  $j$ -ésima etapa (sólo para linternas finales) en el instante de tiempo  $t$ . Cantidad retirada por conceptos de mortalidad y por conceptos de cosecha.

Las funciones presentadas en (5.2.7) quedan descritas individualmente a través de las expresiones a continuación:

Para la función  $T_{ij}(t)$ :

$$T_{ij}(t) = \begin{cases} 0; \text{ si } \lambda_{ij}(t) = 0 \\ [M_{ij}(t) + F_{ij}(t) + a_{ij}(t)]; \text{ si } \lambda_{ij}(t) = 1 \end{cases} \forall \{j < 7\} \quad (5.2.8)$$

Donde:

$\lambda_{ij}(t)$ : Variable de decisión para el  $i$ -ésimo batch de término de la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

$M_{ij}(t)$ : Mortalidad en el  $i$ -ésimo batch al final de la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

$F_{ij}(t)$ : Cantidad de individuos que se rezagan en el  $i$ -ésimo batch al término de la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

---

<sup>4</sup> Se asume que las mortalidades serán retiradas sólo al momento de realizar los desdobles y las cosechas. El resto del tiempo la mortalidad permanecerá en las unidades de cultivo hasta el momento en que se realice alguna de las dos operaciones.

$a_{ij}(t)$ : Cantidad de individuos en el  $i$ -ésimo batch de la  $j$ -ésima etapa que avanzan a la siguiente etapa en el proceso de cultivo sin rezagarse en el instante de tiempo  $t$ .

Para la función de mortalidad  $M_{ij}(t)$ :

$$\begin{aligned} M_{ij}(t) &\cong z_j * G_{ij}(t) \\ Dom : M_{ij}(t) &\{y \mid y \in \mathbb{N}\} \end{aligned} \quad (5.2.9)$$

Donde:

$z_j$ : Mortalidad poblacional para la  $j$ -ésima etapa.

Para la función de rezago  $F_{ij}(t)$ :

$$\begin{aligned} F_{ij}(t) &\cong [G_{ij}(t) - M_{ij}(t)] R_j \\ Dom : F_{ij}(t) &\{y \mid y \in \mathbb{N}\} \end{aligned} \quad (5.2.10)$$

Donde:

$R_j$ : Proporción promedio de los individuos sobrevivientes que se encuentran bajo la talla mínima para avanzar a la próxima etapa al término de la  $j$ -ésima.

Para la función de avance de etapa  $a_{ij}(t)$ :

$$a_{ij}(t) = G_{ij}(t) - M_{ij}(t) - F_{ij}(t) \quad (5.2.11)$$

Para la función de ingreso a una determinada etapa  $Y_{ij}(t)$ :

$$Y_{ij}(t) = \begin{cases} F_{i(j-1)}(t) \forall \{j = 2, 4, 6\} \\ a_{i1}(t) \forall \{j = 3\} \\ a_{i2}(t) \forall \{j = 5\} \\ a_{i(j-4)}(t) \forall \{j \geq 7\} \end{cases} \quad (5.2.12)$$

Sujeta a la siguiente restricción:

$$\left. \begin{aligned} F_{i2t} &= 0 \\ F_{i4t} &= 0 \\ F_{i6t} &= 0 \end{aligned} \right\} \forall \{t\} \quad (5.2.13)$$

La representación gráfica del proceso de cultivo en el agua de mar para el ostión del norte mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 26.

### 5.3 Crecimiento y longitud

El crecimiento de los individuos descrito en es una variable que modifica la longitud de un individuo a medida que avanza el tiempo, por lo que el crecimiento se puede representar como un flujo que afecta una variable de estado denominada longitud (Sección 4.2.2.3). A su vez la longitud que tengan todos los individuos no es factible expresarla de manera individual para cada uno de ellos, por lo que se asume una longitud promedio para todos los individuos que se encuentran en una etapa determinada, y un crecimiento homogéneo hasta el final de las etapas donde se identificarán los individuos con crecimientos anómalos o rezagados (todas consideradas en milímetros).

Es necesario también determinar cuáles son las longitudes que poseen los individuos al término de cada etapa con el fin de estimar si los tamaños son correctos para el avance de etapas y la separación de rezagados, las longitudes se diferencian por la etapa de cultivo en la que se encuentran los mismos. Es decir para cada etapa de cultivo en la fase marina, hay asociada una longitud promedio de los individuos en cada instante de tiempo. Así la modificación a la ecuación (4.2.7) queda como sigue:

$$\frac{d[L_{ij}(t)]}{dt} = K[L_{\infty} - L_{ij}(t)] \quad (5.3.1)$$

Donde:

$L_{ij}(t)$ : Longitud promedio de los individuos que pertenecen al  $i$ -ésimo batch y se encuentran en la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

De acuerdo a lo señalado en la sección 5.2.2, el proceso de cultivo se divide en distintas etapas, y a su vez los individuos sembrados en un mismo instante de tiempo se subdividirán en distintos grupos a medida que se produce el fenómeno del rezago. Por lo tanto se debe reflejar el avance de los individuos a través de las etapas en términos de longitud, y evitar que existan longitudes en las etapas donde no hay individuos en un instante de tiempo. Así el cambio en el tiempo para las longitudes en cada una de las etapas de cultivo queda finalmente expresado por:

$$\frac{d[L_{ij}(t)]}{dt} = \begin{cases} l_i(t) + g_{ij}(t) - W_{ij}(t) ; \forall \{j = 1\} \\ D_{ij}(t) + g_{ij}(t) - W_{ij}(t) ; \forall \{1 < j < 7\} \\ D_{ij}(t) + g_{ij}(t) - m_{ij}(t) ; \forall \{j \geq 7\} \end{cases} \quad (5.3.2)$$

Donde:

$l_i(t)$ : Longitud de semillas para el  $i$ -ésimo batch en el instante de tiempo  $t$ . Esta función es mayor a cero sólo cuando existen siembras en el  $i$ -ésimo batch.

$g_{ij}(t)$ : Crecimiento instantáneo para el  $i$ -ésimo batch en la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .



$W_{ij}(t)$ : Longitud promedio de los individuos en el  $i$ -ésimo batch al terminar la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ . Esta función es mayor a cero sólo cuando existen retiros de individuos en la  $j$ -ésima etapa.

$D_{ij}(t)$ : Longitud promedio de los individuos para el  $i$ -ésimo batch al comenzar la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ . Esta función es mayor a cero sólo cuando existen ingresos de individuos en la  $j$ -ésima etapa.

$m_{ij}(t)$ : Longitud promedio de los individuos cosechados para el  $i$ -ésimo batch (dependiendo del grupo que se trate) en el instante de tiempo  $t$ . Esta función es mayor a cero sólo cuando existen cosechas.

Las funciones presentadas en (5.3.2) quedan descritas individualmente a través de las expresiones a continuación:

Para la función de longitud de las semillas sembradas  $l_i(t)$ , utilizando (5.2.1) la expresión definitiva queda:

$$l_i(t) \begin{cases} 0 & ; \text{ si } A_i(t) = 0 \\ l_s & ; \text{ si } A_i(t) > 0 \end{cases} \quad (5.3.3)$$

$$l_s \in \mathbb{R} : l_s > 0$$

Donde:

$l_s$ : Tamaño promedio que poseen las semillas del ostión al entrar al proceso de producción en el mar.

Para la función de longitud de retiro de individuos de las etapas  $W_{ij}(t)$  por conceptos de desdoble y avance a etapas posteriores:

$$W_{ij}(t) \begin{cases} 0 & ; \text{ si } T_{ij}(t) = 0 \\ L_{ij}(t) & ; \text{ si } T_{ijt} > 0 \end{cases} \quad (5.3.4)$$

Para la función de longitud de ingreso de individuos a las etapas  $D_{ij}(t)$  por conceptos de desdoble y avance desde etapas anteriores:

$$D_{ij}(t) \begin{cases} 0 & ; \text{ si } Y_{ij}(t) = 0 \\ w_{ij}(t) & ; \text{ si } Y_{ijt} > 0 \end{cases} \quad (5.3.5)$$

Donde:

$w_{ij}(t)$ : Longitud inicial de los individuos que son traspasados en el  $i$ -ésimo batch a la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

Para la función binaria de término de etapas  $\lambda_{ij}(t)$  en base a lo descrito en las ecuaciones (5.2.8) y (5.4.1):

$$\lambda_{ij}(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } L_{ij}(t) < LTE_j \\ 1 & ; \text{ si } L_{ij}(t) \geq LTE_j \end{cases} \quad (5.3.6)$$

Donde:

$LTE_j$  : Longitud de término para la j-ésima etapa.

Para la función de longitud de cosecha de los individuos  $m_{ij}(t)$  :

$$m_{ij}(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } H_{ij}(t) = 0 \\ L_{ij}(t) & ; \text{ si } H_{ij}(t) > 0 \end{cases} \quad (5.3.7)$$

Finalmente el fenómeno de individuos rezagados en el proceso de cultivo, el cual se definió en la sección 5.2.2 como la existencia de individuos que no alcanzaban el tamaño necesario para avanzar a la etapa siguiente por no poseer la longitud mínima; se modeló asumiendo que los individuos rezagados poseen en promedio una talla proporcionalmente menor a la necesaria para avanzar de etapa normalmente. Esto queda descrito por la expresión a continuación:

$$Y_{ij}(t) = \begin{cases} \phi_{(j-1)} W_{i(j-1)}(t) & \forall j = \{2, 4, 6\} \\ W_{i1}(t) & \forall j = 3 \\ W_{i2}(t) & \forall j = 5 \\ W_{i(j-4)}(t) & \forall \{j \geq 7\} \end{cases} \quad (5.3.8)$$

Donde:

$\phi_j$  : Proporción de la longitud de término para la j-ésima etapa que poseen en promedio los individuos rezagados que deben permanecer en la misma por un período adicional de tiempo hasta alcanzar la longitud necesaria.

La representación gráfica del proceso de cultivo en el agua de mar para el ostión del norte mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 27.

#### 5.4 Estrategias de cosecha

Para la función  $H_{ij}(t)$ , que determina la cosecha que se realiza en cada instante de tiempo (Sección 5.2.2), se deben incluir los criterios de calibre y de alza de precios estipulados en la sección 4.2.2.6. Lo anterior que determinado por las siguientes ecuaciones:

Para la función de cosecha de los individuos presentes en las linternas finales:

$$H_{ij}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0 ; \text{ si } DC_{ij}(t) = 0 \\ [M_{ij}(t) + h_{ij}(t)] ; \text{ si } DC_{ij}(t) = 1 \end{array} \right\} \forall \{j \geq 7\} \quad (5.4.1)$$

Donde:

$DC_{ij}(t)$ : Variable de decisión de cosecha en el i-ésimo batch debido a que se cumplen todos los requisitos para realizar la retirar los individuos de las linternas finales.

$h_{ij}(t)$ : Cantidad de individuos que se cosechan para el i-ésimo batch en la j-ésima etapa (sólo linternas finales) en el instante de tiempo t.

La variable de decisión de cosecha  $DC_{ij}(t)$  debe tomar en cuenta si existe precio-dependencia en el caso de los escenarios III y IV:

$$DC_{ij}(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0 ; \text{ si } [\lambda_{ij}(t) + HTA(t)] < 2 \\ 1 ; \text{ si } [\lambda_{ij}(t) + HTA(t)] = 2 \end{array} \right\} \forall (j \geq 7) \quad (5.4.2)$$

Donde:

$HTA(t)$ : Variable de decisión que corresponde a la orden de cosechar debido a que el periodo del año en que se encuentra el instante de tiempo t es factible para cosechar.

La variable de decisión  $HTA(t)$  está definida por el supuesto de trabajo de si las cosechas serán o no precio-dependientes (Sección 4.2.2.6). Esto queda finalmente expresado por la ecuación a continuación:

$$HTA(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0 ; \text{ si } \left( \sum_k [TA_k(t)] + \mu \right) = 0 \\ 1 ; \text{ si } \left( \sum_k [TA_k(t)] + \mu \right) > 0 \end{array} \right.$$

$\mu = 0$  ; Estrategias precio-dependientes  
 $\mu = 1$  ; Estrategias normales

(5.4.3)

Donde:

$k$ : Índice de referencia para la k-ésima temporada de alza de precios.

$TA_k(t)$ : Variable binaria que indica si el instante de tiempo t corresponde a la k-ésima temporada de alza de precios.

$\mu$ : Variable de decisión que corresponde a la condición de precio-independencia.

Finalmente la identificación de las temporadas de alza en cada instante de tiempo queda definida por la siguiente ecuación:

$$TA_k(t) \left\{ \begin{array}{l} 0 ; \text{ si } (SITA_k \geq Semana(t) \geq STTA_k) \\ 1 ; \text{ si } (SITA_k \leq Semana(t) \leq STTA_k) \end{array} \right. \quad (5.4.4)$$

Donde:

$SITA_k$ : Semana de inicio de la k-ésima temporada de alza de precios.

$STTA_k$ : Semana de término de la k-ésima temporada de alza de precios.

## 5.5 Requerimientos del centro

### 5.5.1 Unidades de cultivo

Tal como se describió en la sección 3.1.2, las unidades de cultivo en el proceso productivo del ostión son los pearl net y las linternas, éstos se encuentran suspendidos en el agua mediante líneas de flote. El patrón que define la cantidad de unidades de cultivo necesarias está por consecuencia determinada por las densidades de cultivos y por la cantidad de pisos que poseen las linternas (Sección 4.4.4). Las ecuaciones que describen este patrón se presentan a continuación:

Para las unidades de cultivo pearl net:

$$PN_{ij}(t) \cong G_{ij}(t) / \rho_j \quad \forall \{j \leq 2\} \quad (5.5.1)$$
$$Dom: PN_{ij}(t) \{y | y \in \mathbb{N}\}$$

$$TPNC(t) = \sum_i [PN_{ij}(t)] \quad \forall \{j \leq 2\} \quad (5.5.2)$$

Donde:

$PN_{ij}(t)$ : Número de pearl net presentes en el i-ésimo batch en la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$\rho_j$ : Densidad de cultivo en para la j-ésima etapa en individuos por pearl net ó individuos por piso de linterna dependiendo de la etapa.

$TPNC(t)$ : Cantidad total de pearl net necesarios para el centro en el instante de tiempo t.

Para las unidades de cultivo internas iniciales:

$$LI_{ij}(t) \cong G_{ij}(t) / (\rho_j * PL) \quad \forall \{3 \leq j \leq 6\} \quad (5.5.3)$$
$$Dom: LI_{ij}(t) \{y | y \in \mathbb{N}\}$$

$$TLIC_t = \sum_i [LI_{ij}(t)] \quad \forall \{3 \leq j \leq 6\} \quad (5.5.4)$$

Donde:

$LI_{ij}(t)$ : Número de linternas iniciales presentes en el i-ésimo batch en la j-ésima etapa en el instante de tiempo t.

$PL$ : Número de pisos por linterna.

$TLIC(t)$ : Cantidad total de linternas iniciales necesarias para el centro en el instante de tiempo  $t$ .

Para las unidades de cultivo linternas finales:

$$LF_{ij}(t) \cong G_{ij}(t) / (\rho_j * PL) \quad \forall \{j \geq 7\} \quad (5.5.5)$$

$$Dom : LF_{ij}(t) \{y \mid y \in \mathbb{N}\}$$

$$TLFC(t) = \sum_i [LF_{ij}(t)] \quad \forall \{j \geq 7\} \quad (5.5.6)$$

Donde:

$LF_{ij}(t)$ : Número de linternas finales presentes en el  $i$ -ésimo batch en la  $j$ -ésima etapa en el instante de tiempo  $t$ .

$TLFC(t)$ : Cantidad total de linternas finales necesarias para el centro en el instante de tiempo  $t$ .

Para las linternas totales en el centro:

$$TLANC(t) = TLIC(t) + TLFC(t) \quad (5.5.7)$$

Donde:

$TLANC(t)$ : Cantidad total de linternas iniciales y finales necesarias para el centro en el instante de tiempo  $t$ .

### 5.5.2 Líneas

Las líneas que se utilizarán en el centro en un determinado instante de tiempo están en directa relación con la distribución que tienen las unidades de cultivo en el sistema de suspensión. Lo anterior queda explicado por las siguientes ecuaciones:

Para las líneas que soportan pearl net:

$$LPN_{ij}(t) \cong PN_{ij}(t) / (PR * RL) \quad \forall \{j \leq 2\} \quad (5.5.8)$$

$$Dom : LPN_{ij}(t) \{y \mid y \in \mathbb{N}\}$$

$$TLPN(t) = \sum_i [LPN_{ij}(t)] \quad \forall \{j \leq 2\} \quad (5.5.9)$$

Donde:

$LPN_{ij}(t)$ : Cantidad de líneas en el  $i$ -ésimo batch de las cuales penden reinales con pearl net en el instante de tiempo  $t$ .

$TLPN(t)$ : Total de líneas necesarias en el centro de cultivo para pearl net en el instante de tiempo  $t$ .

*PR* : Cantidad de pearl net que son distribuidos por reinal.

*RL* : Cantidad de reinales con pearl net que se distribuyen por línea.

Para las líneas que soportan linternas iniciales:

$$LLI_{ij}(t) \cong LI_{ij}(t) / LL \quad \forall \{3 \leq j \leq 6\} \quad (5.5.10)$$

$$Dom : LLI_{ij}(t) \{y | y \in \mathbb{N}\}$$

$$TLLI(t) = \sum_i [LLI_{ij}(t)] \quad \forall \{3 \leq j \leq 6\} \quad (5.5.11)$$

Donde:

$LLI_{ij}(t)$  : Cantidad de líneas utilizadas en el i-ésimo batch de las cuales penden linternas iniciales en el instante de tiempo t.

$LL$  : Cantidad de linternas que se distribuyen por línea.

$TLLI(t)$  : Total de líneas necesarias en el centro de cultivo para linternas iniciales en el instante de tiempo t.

Para las líneas que soportan linternas

$$LLF_{ij}(t) \cong LF_{ij}(t) / LL \quad \forall \{j \geq 7\} \quad (5.5.12)$$

$$Dom : LLF_{ij}(t) \{y | y \in \mathbb{N}\}$$

$$TLLF(t) = \sum_i [LLF_{ij}(t)] \quad \forall \{j \geq 7\} \quad (5.5.13)$$

Donde:

$LLF_{ij}(t)$  : Cantidad de líneas utilizadas en el i-ésimo batch de las cuales penden linternas finales en el instante de tiempo t.

$TLLF(t)$  : Total de líneas necesarias en el centro de cultivo para linternas finales en el instante de tiempo t.

Para las líneas totales del centro:

$$TLNC(t) = TLPN(t) + TLLI(t) + TLLF(t) \quad (5.5.14)$$

Donde:

$TLNC(t)$  : Total de líneas necesarias para el centro en el instante de tiempo t.

### 5.5.3 Existencias e inventarios de insumos

En relación con los requerimientos de unidades de cultivo y líneas en el centro en determinados instantes de tiempo (Secciones 5.5.1 y 5.5.2), estos son satisfechos a través de la compra de los insumos que se necesitarán. Además, de acuerdo a la cantidad de

individuos y a las etapas en las que estos se encuentran, los insumos pueden dejar de ser utilizados; lo anterior genera la posibilidad de almacenar cualquiera de los insumos mientras no está siendo utilizado, para volver a ser colocado en el agua cuando sea necesario.

La cantidad total de unidades de cultivo y líneas que hay en el centro corresponde tanto a las que están en el agua, como a las que están almacenadas, conformando los stocks de unidades de cultivo (pearl net y linternas) y líneas en existencia. Lo anterior se expresa a través de las siguientes ecuaciones:

Para la existencia total de las unidades de cultivo pearl net:

$$TPNE(t) = TPNU(t) + TPNA(t) \quad (5.5.15)$$

Donde:

$TPNE(t)$ : Cantidad total de pearl net en existencia en el instante de tiempo  $t$ .

$TPNU(t)$ : Cantidad total de pearl net utilizado en el instante de tiempo  $t$ .

$TPNA(t)$ : Cantidad total de pearl net almacenadas en el instante de tiempo  $t$ .

Para la existencia total de las unidades de cultivo linternas:

$$TLANE(t) = TLANU(t) + TLANA(t) \quad (5.5.16)$$

Donde:

$TLANE(t)$ : Cantidad total de linternas en existencia en el en el instante de tiempo  $t$ .

$TLANU(t)$ : Cantidad total de linternas utilizadas en el en el instante de tiempo  $t$ .

$TLANA(t)$ : Cantidad total de linternas almacenadas en el en el instante de tiempo  $t$ .

Para la existencia total de líneas de suspensión:

$$TLE(t) = TLU(t) + TLA(t) \quad (5.5.17)$$

Donde:

$TLE(t)$ : Total de líneas en existencia en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

$TLU(t)$ : Total de líneas utilizadas en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

$TLA(t)$ : Total de líneas almacenadas en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

Los stocks de existencia de unidades de cultivo y líneas se ven afectados en el tiempo por dos flujos dinámicos. El primero, es el flujo positivo que identifica la cantidad de unidades de cultivo y líneas que se adquiere mediante la compra. El segundo es el flujo negativo que refleja el término de la vida útil tanto de las unidades de cultivo como de las líneas. Esto queda expresado mediante las siguientes ecuaciones:

Para el cambio en el tiempo de las unidades de cultivo pearl net en existencia:

$$\frac{d[TPNE(t)]}{dt} = APN(t) - DPN(t) \quad (5.5.18)$$

Donde:

$APN(t)$  : Adquisición de pearl net en el instante de tiempo t.

$DPN(t)$  : Desecho de pearl net en el instante de tiempo t.

Para el cambio en el tiempo de las unidades de cultivo linternas en existencia:

$$\frac{d[TLANE(t)]}{dt} = ALAN(t) - DLAN(t) \quad (5.5.19)$$

Donde:

$ALAN(t)$  : Adquisición de linternas en el instante de tiempo t.

$DLAN(t)$  : Desecho de linternas en el instante de tiempo t.

Para el cambio en el tiempo de las líneas de suspensión en existencia:

$$\frac{d[TLE(t)]}{dt} = AL(t) - DL(t) \quad (5.5.20)$$

Donde:

$AL(t)$  : Adquisición de líneas en el periodo t.

$DL(t)$  : Desecho de líneas en el periodo t.

Las funciones de compra están determinadas por la necesidad instantánea de unidades de cultivo y líneas a medida que una cantidad menor a la requerida se encuentra en existencia<sup>5</sup>. Las funciones de desecho por otro lado, están determinadas por las vidas útiles, tanto de las unidades de cultivo como de las líneas<sup>6</sup>. Lo anterior queda descrito en el modelo a través de las siguientes ecuaciones:

Para la adquisición y desecho de las unidades de cultivo pearl net:

$$APN(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [TPNC(t) - TPNE(t)] \leq 0 \\ [TPNC(t) - TPNE(t)] & ; \text{ si } [TPNC(t) - TPNE(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.21)$$

<sup>5</sup> Se asume que la compra de unidades de cultivo y líneas es realizada sólo para la utilización inmediata de las mismas y no para su almacenamiento. Además no existe demora entre la compra de los insumos y su llegada al centro de cultivo.

<sup>6</sup> Se asume tanto que las unidades de cultivo y líneas tienen una vida útil definida sin importar si se encuentran en uso o almacenadas.



$$DPN(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } (t - VUPN) < 0 \\ APN(t - VUPN) ; \text{ si } (t - VUPN) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.22)$$

Donde:

$VUPN$  : Vida útil en semanas para la unidad de cultivo pearl net.

Para la adquisición y desecho de las unidades de cultivo linternas:

$$ALAN(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } [TLANC(t) - TLANE(t)] \leq 0 \\ [TLANC(t) - TLANE(t)] ; \text{ si } [TLANC(t) - TLANE(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.23)$$

$$DLAN(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } (t - VULAN) < 0 \\ APN(t - VULAN) ; (t - VULAN) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.24)$$

Donde:

$VULAN$  : Vida útil en semanas para la unidad de cultivo linterna.

Para la adquisición y desecho de las líneas de suspensión:

$$AL(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } [TLC(t) - TLE(t)] \leq 0 \\ [TLC(t) - TLE(t)] ; \text{ si } [TLC(t) - TLE(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.25)$$

$$DL(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } (t - VUL) < 0 \\ AL(t - VUL) ; \text{ si } (t - VUL) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.26)$$

Donde:

$VUL(t)$  : Vida útil en semanas para líneas.

Finalmente, la dinámica de la utilización y almacenamiento de líneas y unidades de cultivo existencia en el centro queda descrita por las siguientes ecuaciones:

Para la utilización de las unidades de cultivo pearl net:

$$\frac{d[TPNU(t)]}{dt} = [UPNA(t) + APN(t)] - [APNU(t) + DPNU(t)] \quad (5.5.27)$$

$$UPNA(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } (TPNC(t) - [TPNU(t) + APN(t)]) \leq 0 \\ (TPNC(t) - [TPNU(t) + APN(t)]) ; \text{ si } (TPNC(t) - [TPNU(t) + APN(t)]) > 0 \end{cases} \quad (5.5.28)$$

$$APNU(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } [TPNU(t) - TPNC(t)] \leq 0 \\ [TPNU(t) - TPNC(t)] ; \text{ si } [TPNU(t) - TPNC(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.29)$$

$$DPNU(t) = \begin{cases} 0 ; & \text{si } [DPN(t) - DPNA(t)] \leq 0 \\ [DPN(t) - DPNA(t)] ; & \text{si } [DPN(t) - DPNA(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.30)$$

Donde:

$UPNA(t)$ : Utilización de pearl net que se encontraban almacenados en el instante de tiempo t.

$APNU(t)$ : Almacenamiento de pearl net que se encontraba bajo utilización en el instante de tiempo t.

$DPNU(t)$ : Desecho de pearl net que se encontraba bajo utilización en el instante de tiempo t.

Para el almacenamiento de las unidades de cultivo pearl net:

$$\frac{d[TPNA(t)]}{dt} = APNU(t) - [UPNA(t) + DPNA(t)] \quad (5.5.31)$$

$$DPNA(t) = \begin{cases} DPN(t) ; & \text{si } DPN(t) \leq TPNA(t) \\ TPNA(t) ; & \text{si } DPN(t) > TPNA(t) \end{cases} \quad (5.5.32)$$

Donde:

$DPNA(t)$ : Desecho de pearl net que se encontraba almacenado en el instante de tiempo t.

Para la utilización de las unidades de cultivo linternas:

$$\frac{d[TLANU(t)]}{dt} = [ULANA(t) + ALAN(t)] - [ALANU(t) + DLANU(t)] \quad (5.5.33)$$

$$ULANA(t) = \begin{cases} 0 ; & \text{si } (TLANC(t) - [TLANU(t) + ALAN(t)]) \leq 0 \\ (TLANC(t) - [TLANU(t) + ALAN(t)]) ; & \text{si } (TLANC(t) - [TLANU(t) + ALAN(t)]) > 0 \end{cases} \quad (5.5.34)$$

$$ALANU(t) = \begin{cases} 0 ; & \text{si } [TLANU(t) - TLANC(t)] \leq 0 \\ [TLANU(t) - TLANC(t)] ; & \text{si } [TLANU(t) - TLANC(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.35)$$

$$DLANU(t) = \begin{cases} 0 ; & \text{si } [DLAN(t) - DLANA(t)] \leq 0 \\ [DLAN(t) - DLANA(t)] ; & \text{si } [DLAN(t) - DLANA(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.36)$$

Donde:

$ULANA(t)$ : Utilización de linternas que se encontraban almacenadas en el instante de tiempo t.

$ALANU(t)$ : Almacenamiento de linternas que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo t.

$DLANU(t)$ : Desecho de linternas que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo  $t$ .

Para el almacenamiento de las unidades de cultivo linternas:

$$\frac{d[TLANA(t)]}{dt} = ALANU(t) - [ULANA(t) + DLANA(t)] \quad (5.5.37)$$

$$DLANA(t) = \begin{cases} DLAN(t) & ; \text{ si } DLAN(t) \leq TLANA(t) \\ TLANA(t) & ; \text{ si } DLAN(t) > TLANA(t) \end{cases} \quad (5.5.38)$$

$DLANA(t)$ : Desecho de linternas que se encontraban almacenadas en el instante de tiempo  $t$ .

Para la utilización de líneas de suspensión:

$$\frac{d[TLU(t)]}{dt} = [ULA(t) + AL(t)] - [ALU(t) + DLU(t)] \quad (5.5.39)$$

$$ULA(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } (TLC(t) - [TLU(t) + AL(t)]) \leq 0 \\ (TILC(t) - [TLU(t) + AL(t)]) & ; \text{ si } (TLC(t) - [TLU(t) + AL(t)]) > 0 \end{cases} \quad (5.5.40)$$

$$ALU(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [TLU(t) - TLC(t)] \leq 0 \\ [TLU(t) - TLC(t)] & ; \text{ si } [TLU(t) - TLC(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.41)$$

$$DLANU(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [DLAN(t) - DLANA(t)] \leq 0 \\ [DLAN(t) - DLANA(t)] & ; \text{ si } [DLAN(t) - DLANA(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.42)$$

Donde:

$ULA(t)$ : Utilización de líneas que se encontraban almacenadas en el instante de tiempo  $t$ .

$ALU(t)$ : Almacenamiento de líneas que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo  $t$ .

$DLU(t)$ : Desecho de líneas que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo  $t$ .

Para el desecho de líneas de suspensión:

$$\frac{d[TLA(t)]}{dt} = ALU(t) - [ULA(t) + DLA(t)] \quad (5.5.43)$$

$$DLA(t) = \begin{cases} DL(t) & ; \text{ si } DL(t) \leq TLA(t) \\ TLA(t) & ; \text{ si } DL(t) > TLA(t) \end{cases} \quad (5.5.44)$$

Donde:

$DLA(t)$  : Desecho de líneas que se encontraban almacenadas en el instante de tiempo  $t$ .

La representación gráfica de la dinámica de las unidades de cultivo y de las líneas considerando la adquisición por compra, la utilización en el agua de mar, el almacenamiento y el desecho de las mismas mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 28, Figura 29, y Figura 30.

#### 5.5.4 Mano de obra

En el centro requiere de trabajadores que permitan el funcionamiento diario del mismo. Dichos trabajadores pueden ser contratados o despedidos dependiendo de las circunstancias, y durante el periodo que se encuentran contratados están sujetos al pago de sueldos. Se asume que la contratación de mano de obra está relacionada a la cantidad de líneas totales que posee el centro; es decir, una persona es capaz de mantener una determinada cantidad de líneas a la semana, y se contrata la cantidad de personas necesarias para mantener las líneas totales en el centro. Para el caso de los despidos, estos están relacionados al tiempo de duración de los contratos, es decir el trabajador es despedido al momento de término de su contrato.

Adicionalmente se considera que existen dos tipos de mano de obra, la mano de obra de planta, y la mano de obra temporal. Tomando en cuenta lo señalado anteriormente, ambos tipos de mano de obra pueden ser contratados y/o despedidos. Es decir la cantidad de empleados en instante de tiempo se ve influida positivamente por la contratación de personal<sup>7</sup>, y negativamente por el despido de los mismos. Lo anterior queda descrito por las siguientes ecuaciones:

Para la mano de obra de planta:

$$\frac{d[MOP(t)]}{dt} = CMOP(t) - DMOP(t) \quad (5.5.45)$$

Donde:

$MOP(t)$  : Mano de obra de planta trabajando en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

$CMOP(t)$  : Mano de obra de planta contratada en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

$DMOP(t)$  : Mano de obra de planta despedida en el instante de tiempo  $t$ .

Para la mano de obra de temporal:

---

<sup>7</sup> Se asume que las contrataciones de mano de obra de planta se realizarán exclusivamente a una proporción de los trabajadores temporales que han finalizado su contrato: a excepción de la contratación inicial de planta.

$$\frac{d[MOT(t)]}{dt} = CMOT(t) - DMOT(t) \quad (5.5.46)$$

Donde:

$MOT(t)$ : Mano de obra temporal trabajando en el centro para el periodo t.

$CMOT(t)$ : Mano de obra temporal contratada en el centro para el periodo t.

$DMOT(t)$ : Mano de obra temporal despedida para el periodo t.

Se trabaja bajo el supuesto de que los trabajadores de planta por experiencia adquirida poseen capacidades de trabajo mayores que las que poseen los trabajadores temporales. Finalmente las ecuaciones que describen la capacidad de trabajo total que posee el centro en cada instante de tiempo son las siguientes:

Para la mano de obra de planta:

$$WCP(t) = MOP(t) * CLP \quad (5.5.47)$$

Donde:

$WCP(t)$ : Capacidad de trabajo total en líneas por semana de la mano de obra de planta en el instante de tiempo t.

$CLP$ : Capacidad de mantención de líneas en número de líneas por semana para un trabajador de planta.

Para la mano de obra temporal:

$$WCT(t) = MOP(t) * CLT \quad (5.5.48)$$

Donde:

$WCT(t)$ : Capacidad de trabajo total en líneas por semana de la mano de obra temporal en el instante de tiempo t.

$CLT$ : Capacidad de mantención de líneas en número de líneas por semana para un trabajador temporal.

Para la capacidad de trabajo total:

$$TWC(t) = WCP(t) + WCT(t) \quad (5.5.49)$$

Donde:

$TWC(t)$ : Capacidad de trabajo total por mano de obra en líneas por semana del centro en el instante de tiempo t.

Finalmente la contratación de mano de obra, tanto de planta como temporal está determinada por los criterios de contratación adquiridos en el centro. Esto queda descrito por las siguientes ecuaciones:

Para la contratación de mano de obra de planta:

$$CMOP(t) \cong \begin{cases} CIMOP; & \text{si } t = 0 \\ DMOT(t) * \delta; & \text{si } t > 0; \end{cases} \quad (5.5.50)$$

$$Dom : CMOP(t) \{y | y \in \mathbb{N}_0\}$$

Donde:

*CIMOP*: Contratación inicial de mano de obra de planta al comenzar la operación del centro de cultivo.

$\delta$ : Corresponde a la proporción de mano de obra temporal que una vez terminado su contrato provisorio son contratados como mano de obra de planta.

Para el despido de mano de obra de planta:

$$DMOP(t) = \begin{cases} 0; & \text{si } (t - DCP) < 0 \\ CMOP(t - DCP); & \text{si } (t - DCP) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.51)$$

Donde:

*DCP*: Duración del contrato de mano de obra de planta en semanas.

Para la contratación de mano de obra temporal:

$$CMOT(t) \cong \begin{cases} 0; & \text{si } [TLNC(t) - TWC(t)] \leq 0 \\ \frac{[TLNC(t) - TWC(t)]}{CLT}; & \text{si } [TLNC(t) - TWC(t)] \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.52)$$

Para el despido de mano de obra temporal:

$$CMOT(t) = \begin{cases} 0; & \text{si } (TLNC(t) - TWC(t)) \leq 0 \\ (TLNC_t - TWC_t); & \text{Si } (TLNC_t - TWC_t) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.53)$$

Donde:

*DCT*: Duración del contrato de mano de obra temporal en semanas.

La representación gráfica de la dinámica de la mano de obra, incluyendo contrataciones y despidos, mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 31.

### 5.5.5 Embarcaciones de mantención

Debido a que las actividades del cultivo del ostión se realizan en un medio marino, se hace necesaria la utilización de embarcaciones. Dichas embarcaciones están sujetas a mantenciones y a costos de operación; y también poseen una vida útil determinada.

Además algunas embarcaciones pueden ser adquiridas a medida que pasa el tiempo de acuerdo a las necesidades que se puedan presentar en el centro.

En el caso de este modelo se asume que existen dos tipos de embarcaciones, las embarcaciones necesarias para la mantención de las líneas, y las embarcaciones necesarias para la cosecha de líneas. Donde ambas poseen distintas características y están determinadas por distintos criterios.

Las embarcaciones de mantención corresponden a aquellas embarcaciones necesarias para la operación diaria del centro de cultivo, y que facilitan las labores que se deben realizar en el mar. Dichas embarcaciones se pueden entonces considerar que no son altamente específicas y que proporcionan servicios de transporte y de operación básicos en el centro de cultivo; en adelante se referirá a éstas como botes.

La cantidad de botes necesarios para cada momento de tiempo se determina a través de la siguiente ecuación:

Para la cantidad de botes necesarios:

$$TBNC(t) \cong TLNC(t) / CLB \quad (5.5.54)$$

$$Dom : TBNC(t) \{y | y \in \mathbb{N}_0\}$$

Donde:

$TBNC(t)$ : Cantidad de botes de mantención necesarios en el centro para en el instante de tiempo  $t$ .

$CLB(t)$ : Capacidad de mantención de líneas para cada bote, en líneas por semana.

#### 5.5.6 Embarcaciones de cosecha

El proceso de cosecha será tratado de forma independiente a la mantención. Esto quiere decir que la mano de obra y las embarcaciones necesarias para la mantención no influyen en la capacidad de cosecha del centro. Se asume que las embarcaciones de cosecha son embarcaciones altamente especializadas para dicho fin, y que no pueden ser adquiridas fácilmente. En este caso a dichas embarcaciones se les denomina barcazas, y no pueden ser adquiridas durante el transcurso de la simulación.

Para los momentos de cosecha en el centro se asumirá que los individuos son inmediatamente cosechados una vez han cumplido con todos los requisitos de cosecha. Así se asume además que las embarcaciones determinadas el momento inicial, son consecuentes con los volúmenes de producción modelados.

Se considera que cada barcaza de cosecha posee todos los recursos necesarios para realizar la cosecha, no necesita contrataciones ni compra de embarcaciones de mantención adicionales. Lo anterior quiere decir entonces que el stock de embarcaciones de cosecha en

el centro de cultivo es una constante. Lo anterior se explica a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{d(BAE)}{dt} = 0 \quad (5.5.55)$$

Donde:

*BAE* : Número de barcasas en existencia, adquiridas al inicio de la evaluación.

### 5.5.7 Existencia e inventario de embarcaciones

Los botes al no ser altamente específicos en términos de la operación que pueden realizar, pueden ser adquiridos de una manera relativamente fácil. A su vez debido a que son bienes materiales poseen una vida útil y al cabo de un determinado tiempo deberían ser desechados (Asumiendo que no existen labores de mantención que prolonguen su vida útil).

Para el caso de los botes, existe una capacidad de mantención de determinadas líneas asignada a cada uno de estos, la cual se comporta en forma lineal; es decir, un bote permite la mantención de una determinada cantidad de líneas a la semana. Para el caso del desecho de los mismos, se aplica el concepto de la vida útil que poseen. Así el stock de botes presentes en cada instante de tiempo está determinado por el flujo positivo relativo a la compra, y por el flujo negativo del desecho de botes. Esto queda descrito en la siguiente ecuación:

$$\frac{d[TBEC(t)]}{dt} = AB(t) - DB(t) \quad (5.5.56)$$

Donde:

*TBEC(t)* : Total de botes en existencia en el centro en el instante de tiempo *t*.

*AB(t)* : Adquisición de botes en el centro en el instante de tiempo *t*.

*DB(t)* : Desecho de botes en el centro en el instante de tiempo *t*.

La capacidad de líneas que pueden mantener los botes en el centro depende de la capacidad individual de mantención de cada uno de los botes presentes en el centro para cada instante de tiempo. La adquisición de botes está determinada entonces por la necesidad de botes en relación a la cantidad de líneas que están en el agua en un determinado instante de tiempo. Las ecuaciones que describen lo anterior se presentan a continuación:

Para la adquisición de botes:

$$AB(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [TBNC(t) - TBE(t)] \leq 0 \\ [TBNC(t) - TBE(t)] & ; \text{ si } [TBNC(t) - TBE(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.57)$$



Para el desecho de botes:

$$DL(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } (t - VUB) < 0 \\ AL(t - VUB) & ; \text{ si } (t - VUB) \geq 0 \end{cases} \quad (5.5.58)$$

Donde:

$VUB$ : Vida útil en semanas para los botes.

De manera similar a lo presentado para las unidades de cultivo y líneas en la sección 5.5.3, la cantidad total de botes que hay en el centro corresponde tanto a los que están en el agua, como a los que están almacenados en cada instante de tiempo. Así lo anterior se describe a través de la siguiente ecuación:

$$TBEC(t) = TBU(t) + TBA(t) \quad (5.5.59)$$

Donde:

$TBU(t)$ : Cantidad total de botes utilizados en el instante de tiempo  $t$ .

$TBA(t)$ : Cantidad total de botes almacenados en el instante de tiempo  $t$ .

La dinámica de utilización de los botes en cada instante de tiempo está determinada de forma análoga a lo presentado en la sección 5.5.3 a través de las siguientes ecuaciones:

Para la utilización de botes:

$$\frac{d[TBU(t)]}{dt} = [UBA(t) + AB(t)] - [ABU(t) + DBU(t)] \quad (5.5.60)$$

$$UBA(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } (TBC(t) - [TBU(t) + AB(t)]) \leq 0 \\ (TBC(t) - [TBU(t) + AB(t)]) & ; \text{ si } (TBC(t) - [TBU(t) + AB(t)]) > 0 \end{cases} \quad (5.5.61)$$

$$ALANU(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [TBU(t) - TBC(t)] \leq 0 \\ [TBU(t) - TBC(t)] & ; \text{ si } [TBU(t) - TBC(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.62)$$

$$DBU(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } [DB(t) - DBA(t)] \leq 0 \\ [DB(t) - DBA(t)] & ; \text{ si } [DB(t) - DBA(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.5.63)$$

Donde:

$UBA(t)$ : Utilización de botes que se encontraban almacenados en el instante de tiempo  $t$ .

$ABU(t)$ : Almacenamiento de botes que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo  $t$ .

$DBU(t)$ : Desecho de botes que se encontraban bajo utilización en el instante de tiempo  $t$ .

Para el almacenamiento de botes:

$$\frac{d[TBA(t)]}{dt} = ABU(t) - [UBA(t) + DBA(t)] \quad (5.5.64)$$

$$DBA(t) = \begin{cases} DB(t) & ; \text{ si } DB(t) \leq TBA(t) \\ TBA(t) & ; \text{ si } DB(t) > TBA(t) \end{cases} \quad (5.5.65)$$

Donde:

$DLANA(t)$ : Desecho de botes que se encontraban almacenados en el instante de tiempo  $t$ .

La representación gráfica de la dinámica de los botes considerando la adquisición por compra, la utilización en el agua de mar, el almacenamiento y el desecho de los mismos mediante los diagramas de Forrester (1961) se presenta en ANEXO II, Figura 32.

### 5.5.8 Superficie

En relación con la sección 4.2.1, y de acuerdo al diagrama presentado en la Figura 11, la superficie disponible para realizar actividades de acuicultura es limitada y está sujeta a la cantidad de líneas que están siendo ocupadas en el centro en cada instante de tiempo. El área necesaria para la realización del proceso de cultivo se define por la siguiente expresión:

$$THU(t) = TLNC(t) / LH \quad (5.5.66)$$

Donde:

$THU(t)$ : Total hectáreas utilizadas en el centro de cultivo en el periodo  $t$ .

$LH(t)$ : Cantidad de líneas que se distribuyen por hectárea.

Sujeto a la siguiente restricción de superficie total disponible:

$$THU(t) < HD \quad (5.5.67)$$

Donde:

$HD$ : Cantidad de hectáreas disponibles al inicio del cultivo.

## 5.6 Costos

### 5.6.1 Costos operativos

Los costos operativos del modelo de simulación corresponden a los costos asociados a la operación diaria del centro. Esto incluye los costos por contratación, despido, salarios; y costos de operación de embarcaciones.

## Contratación y despido de mano de obra

Los costos de contratación y despido son costos instantáneos en el tiempo y dependen de la cantidad de personal que se contrate. Así los costos de contratación y despido están explicados por las siguientes ecuaciones:

Para la contratación de mano de obra:

$$CCMO(t) = [CMOP(t) * CCMOP] + [CMOT(t) * CCMOT] \quad (5.6.1)$$

Donde:

$CCMO(t)$  : Costo de contratación de mano de obra en el centro en el instante de tiempo t.

$CCMOP$  : Costo del contrato para mano de obra de planta en el instante de tiempo t

$CCMOT$  : Costo del contrato para mano de obra temporal en el instante de tiempo t.

Para el despido de mano de obra:

$$CDMO(t) = [DMOP(t) * CDMOP] + [DMOT(t) * CDMOT] \quad (5.6.2)$$

Donde:

$CDMO(t)$  : Costo de despido de mano de obra en el centro en el instante de tiempo t.

$CDMOP$  : Costo del finiquito para mano de obra de planta en el instante de tiempo t.

$CDMOT$  : Costo del finiquito para mano de obra temporal en el instante de tiempo t.

## Salarios

Los costos de salario para la mano de obra también se consideran como costos instantáneos, lo cuales varían dependiendo de la cantidad de mano de obra que exista en el centro, y de la categoría a la que pertenezca (planta o temporada). Utilizando entonces las definiciones de la sección 5.5.4 se tiene la siguiente ecuación que determina los costos de salario para la mano de obra:

$$CSMO(t) = [MOP(t) * SMOP] + [MOT(t) * SMOT] \quad (5.6.3)$$

Donde:

$CSMO(t)$  : Costos por salario de mano de obra en el centro en el instante de tiempo t.

$SMOP$  : Salario semanal de la mano de obra de planta.

$SMOT$  : Salario semanal de la mano de obra temporal.

## Operación de embarcaciones

Los costos de operación de las embarcaciones de mantenimiento del centro se asumen lineales y de manera similar a los salarios de la mano de obra se aplican sólo a las embarcaciones que están operando en el agua. La ecuación que determina el costo de operación de las embarcaciones de mantenimiento es la siguiente:

$$CTOB(t) = TBU(t) * COB \quad (5.6.4)$$

Donde:

$CTOB(t)$ : Costo total por operación de botes en el instante de tiempo t.

$COB$ : Costo de operación semanal para un bote.

Los costos de operación de las barcazas están directamente relacionados con la cosecha, ya que si no existen cosechas en un determinado instante de tiempo, las barcazas se encuentran almacenadas y por ende no están operando; por otro lado si existen cosechas las barcazas deben operar. Lo anterior se representa a través de las siguientes ecuaciones:

$$CTOBA(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ si } \sum_i \sum_j [h_{ij}(t)] = 0 \\ (BAE * COBA) & \text{ si } ; \sum_i \sum_j [h_{ij}(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.6.5)$$

Donde:

$CTOBA(t)$ : Costo total por operación de barcazas en el instante de tiempo t.

$COBA$ : Costo de operación semanal para una barcaza.

### Costos de operación totales

Finalmente, los costos por operación del centro están determinados al adicionar los cuatro costos señalados anteriormente. Esto queda determinado por la siguiente ecuación:

$$COT(t) = CCMO(t) + CDMO(t) + CSMO(t) + CTOB(t) + CTOBA(t) \quad (5.6.6)$$

Donde:

$COT(t)$ : Costo total de operación en el centro en el instante de tiempo t.

### 5.6.2 Costos de insumos y embarcaciones

Los costos de insumos corresponden a los gastos incurridos para la adquisición de materiales necesarios para la operación del centro, lo que incluye semillas, unidades de cultivo, y líneas de suspensión. Lo anterior en adición también a los gastos incurridos en la adquisición de embarcaciones de mantención o botes.

#### Semillas

Las semillas que se adquieren a medida que transcurre el tiempo dependen de la cantidad que se siembre en cada batch. El costo de las semillas y su respectiva siembra cada instante de tiempo se explica por la siguiente ecuación:

$$CTS(t) = CS * \sum_i [A_i(t)] \quad (5.6.7)$$

Donde:

$CTS(t)$ : Costo total por semillas y siembra en el instante de tiempo  $t$ .

$CS$ : Costo semilla. Este valor incluye el costo individual de la semilla, y el costo de sembrar la misma.

### Unidades de cultivo

Las unidades de cultivo generan costos al ser adquiridas, donde dicha adquisición depende de las unidades de ostión que estén presentes en el centro. En relación con la cantidad de unidades de cultivo adquiridas, los costos generados se representan a través de las ecuaciones a continuación:

Para las unidades de cultivo pearl net

$$CAPN(t) = APN(t) * CPN \quad (5.6.8)$$

Donde:

$CAPN(t)$ : Costo total por adquisición de pearl net en el instante de tiempo  $t$ .

$CPN$ : Costo de adquisición por cada unidad de cultivo pearl net.

Para las unidades de cultivo linternas:

$$CALAN(t) = ALAN(t) * CLAN \quad (5.6.9)$$

Donde:

$CALAN(t)$ : Costo total por adquisición de linternas en el instante de tiempo  $t$ .

$CLAN$ : Costo de adquisición por cada unidad de cultivo linterna.

Para el total de unidades de cultivo en el centro:

$$CAUC(t) = CAPN(t) + CALAN(t) \quad (5.6.10)$$

Donde:

$CAUC(t)$ : Costo de total por adquisición de unidades de cultivo en el instante de tiempo  $t$ .

### Líneas

Las líneas generan costos al ser adquiridas, donde dicha adquisición depende de las unidades de cultivo y su distribución en las líneas del centro de cultivo. En relación con la cantidad de líneas adquiridas, los costos generados se representan a través de la siguiente ecuación:

$$CAL(t) = AL(t) * CL \quad (5.6.11)$$

Donde:

$CAL(t)$ : Costo total por adquisición de líneas en el instante de tiempo  $t$ .

$CL$ : Costo de adquisición por cada línea.

## Botes

Los botes generan costos al ser adquiridos, donde dicha adquisición depende de las líneas que se encuentran en el agua en un determinado instante de tiempo. En relación con la cantidad de botes adquiridos, los costos generados se representan a través de la siguiente ecuación:

$$CAB(t) = AB(t) * CB \quad (5.6.12)$$

Donde:

$CAB(t)$  : Costo total por adquisición de botes en el instante de tiempo t.

$CB$  : Costo de adquisición por cada bote.

## Costo de insumos y embarcaciones

El costo total en cada instante de tiempo para la adquisición de insumos y embarcaciones, sin incluir las semillas está dado por la ecuación a continuación:

$$CAI(t) = CAUC(t) + CAL(t) + CAB(t) \quad (5.6.13)$$

Donde:

$CAI(t)$  : Costo de adquisición de insumos en el instante de tiempo t.

### 5.6.3 Costos fijos

Para el caso de aquellos costos fijos que son periódicos y no varían con los volúmenes de producción en el centro, se consideran dos tipos. El primer tipo de costos es aquel relativo al pago anual de un monto por hectárea, costo que puede ser asociado con el costo de patente por hectárea de concesión acuícola (Sección 4.2.1). El segundo tipo corresponde al costo anual por la actividad del centro, es decir costos anuales que no están relacionados con la cantidad de hectáreas, pero que de todas formas son afectos al comienzo de cada año. Lo anterior se representa a través de las siguientes ecuaciones:

Para el pago anual por unidad de superficie:

$$CAS(t) = \begin{cases} HD * PH & ; \text{ si } Semana(t) = 1 \\ 0 & ; \text{ si } Semana(t) \neq 1 \end{cases} \quad (5.6.14)$$

Donde:

$CAS(t)$  : Costo anual total de actividad por superficie en el instante de tiempo t.

$PH$  : Pago anual por hectárea.

Para el pago anual por actividad sin relación a la superficie:

$$CAA(t) = \begin{cases} PA(t) & ; \text{ si } Semana(t) = 1 \\ 0 & ; \text{ si } Semana(t) \neq 1 \end{cases} \quad (5.6.15)$$

Donde:

$CAA(t)$  : Costo anual total de actividad en el instante de tiempo t.

$PA$  : Pago anual por actividad en el centro.

Finalmente, los costos fijos totales quedan expresados en la siguiente expresión:

$$CFT(t) = CAS(t) + CAA(t) \quad (5.6.16)$$

Donde:

$CTA(t)$  : Costos fijos totales en el instante de tiempo t.

#### 5.6.4 Costos por inventario

Los costos por inventario corresponden a los costos por mantener insumos para el cultivo almacenados sin utilización efectiva. Esto considera todos los gastos por almacenamiento de unidades de cultivo, líneas y embarcaciones en el centro de cultivo.

##### **Inventario de unidades de cultivo**

Las unidades de cultivo que aún no han cumplido su vida útil, pero que no necesitan ser utilizadas en un determinado periodo son almacenadas en inventario, para luego ser vueltas a utilizar en el caso de que así lo requiera el centro. El almacenamiento de las unidades de cultivo genera un costo mientras las unidades se encuentren en dicho estado y puede ser representado a través de las siguientes ecuaciones:

Para las unidades de cultivo pearl net:

$$CIPN(t) = TPNA(t) * CPNI \quad (5.6.17)$$

Donde:

$CIPN(t)$  : Costo total por inventario de pearl net en el instante de tiempo t.

$CPNI$  : Costo semanal por mantener un pearl net en inventario.

Para las unidades de cultivo linternas:

$$CILAN(t) = TLANA(t) * CLANI \quad (5.6.18)$$

$CILAN(t)$  : Costo total por inventario de linternas en el periodo t.

$CLANI$  : Costo semanal por mantener una linterna en inventario.

##### **Inventario de líneas**

De la misma forma que las unidades de cultivo, las líneas son almacenadas en el inventario de acuerdo a los requerimientos del centro de cultivo, generando costos por dicha acción. Estos costos explican a través de la siguiente ecuación:

$$CIL(t) = TLA(t) * CLI \quad (5.6.19)$$

Donde:

$CIL(t)$ : Costo total por inventario de líneas en el instante de tiempo  $t$ .

$CLI$ : Costo semanal por mantener una línea en inventario.

### **Inventario de embarcaciones**

Las embarcaciones de mantención o botes, al comportarse de manera similar a las unidades de cultivo y las líneas, generan gastos al ser retiradas del agua para su almacenamiento. Dichos costos se explican a través de la ecuación a continuación:

$$CIB(t) = TBA(t) * CBI \quad (5.6.20)$$

Donde:

$CIB(t)$ : Costo total por inventario de botes en el centro para el periodo  $t$ .

$CBI$ : Costo semanal por mantener un bote en inventario. Este valor se puede modificar a medida que transcurre el tiempo en el modelo de simulación, en su defecto se mantiene constante en el tiempo.

Para el caso de las barcazas, se asume que las mismas son almacenadas cuando no existen labores de cosecha en el centro, esto considerando que cuando si existen dichas labores, todas las barcazas del centro están realizando la operación. Luego los costos causados al almacenar las barcazas se explican por la ecuación a continuación:

$$CIBA(t) = \begin{cases} 0 ; \text{ si } \sum_i \sum_j [h_{ij}(t)] = 0 \\ BAE * CBAI ; \text{ si } \sum_i \sum_j [h_{ij}(t)] = 0 > 0 \end{cases} \quad (5.6.21)$$

Donde:

$CIBA(t)$ : Costo total por inventario de barcazas en el instante de tiempo  $t$ .

$CBAI$ : Costo semanal por mantener una barcaza en inventario.

### **Costos totales por inventario**

Finalmente el costo total por inventarios corresponde a la adición de los costos señalados anteriormente en esta sección. La ecuación que resume los costos totales del centro de cultivo es la siguiente:

$$CIT(t) = CIPN(t) + CILAN(t) + CIL(t) + CIB(t) + CIBA(t) \quad (5.6.22)$$

Donde:

$CIT(t)$ : Costo total por almacenamiento en inventarios en el instante de tiempo  $t$ .



### 5.6.5 Costos por depreciación

Los costos por depreciación corresponden a la representación económica del desgaste de los insumos y de la inversión inicial reflejando su pérdida de rentabilidad en el tiempo. Este costo también es utilizado para el cálculo del costo de capital presentado en la sección siguiente. Para su estimación deben tomarse en cuenta la vida útil y sus respectivos precios.

#### Unidades de cultivo

La depreciación de las unidades de cultivo corresponde a la depreciación de pearl net y linternas en cada instante de tiempo. Esto se refleja a través de las siguientes ecuaciones:

Para las unidades de cultivo pearl net:

$$CDPN(t) = (CPN / VUPN) * TPNE(t) \quad (5.6.23)$$

Donde:

$CDPN(t)$  : Costo semanal de depreciación de pearl net en el instante de tiempo t.

Para las unidades de cultivo linternas:

$$CDLAN(t) = (CLAN / VULAN) * TLANE(t) \quad (5.6.24)$$

Donde:

$CDLAN(t)$  : Costo semanal de depreciación de linternas en el instante de tiempo t.

#### Líneas

Las líneas al igual que las unidades de cultivo son afectas a depreciación en cada instante de tiempo. Esta depreciación queda representada por la ecuación a continuación:

$$CDL(t) = (CL / VUL) * TLE(t) \quad (5.6.25)$$

Donde:

$CDL(t)$  : Costo semanal de depreciación de líneas en el instante de tiempo t.

#### Embarcaciones

Las embarcaciones se deprecian en el tiempo al igual que las unidades de cultivo y las líneas. Esta depreciación depende de la vida útil del tipo de embarcación y su valor individual. La depreciación para los dos tipos de embarcaciones se representa a través de las siguientes ecuaciones:

Para los botes:

$$CDB(t) = (CB / VUB) * TBE(t) \quad (5.6.26)$$

Donde:

$CDB(t)$  : Costo semanal de depreciación de botes en el instante de tiempo  $t$ .

Para las barcazas:

$$CDBA(t) = CBA / VUBA * BAE \quad (5.6.27)$$

Donde:

$CDBA(t)$  : Costo semanal de depreciación de barcazas en el instante de tiempo  $t$ .

$CBA$  : Costo de adquisición de barcazas (para el inicio del periodo de simulación).

$VUBA$  : Vida útil de las barcazas utilizadas en el centro (igual al tiempo total de simulación).

### **Inversión inicial**

La inversión inicial corresponde al capital necesario para la iniciación del cultivo (no incluyendo insumos ni embarcaciones de mantenimiento). Estos costos incluyen la infraestructura necesaria, la adquisición de medios de transporte no marítimos, la adquisición de barcazas y la adquisición de aquellos materiales no directamente relacionados con la operación misma del centro. Esta inversión está en función de la cantidad de hectáreas que posee el centro como medida de asociación a los volúmenes de producción potenciales que éste posee. Esta inversión inicial se ve afecta a depreciación de manera similar a lo señalado en los puntos anteriores.

En primer lugar, la inversión inicial está determinada por la cantidad de hectáreas que posee el centro, y se realiza sólo al comienzo de la operación del centro de cultivo. Esto queda descrito por la siguiente ecuación:

$$CIA(t) = \begin{cases} I * HD & ; \text{ si } t = 0 \\ 0 & ; \text{ si } t > 0 \end{cases} \quad (5.6.28)$$

Donde:

$CIA(t)$  : Costo de iniciación de actividades del centro.

$I$  : Costo de iniciación de actividades por hectárea.

La adquisición de barcazas es también considerada como una inversión inicial al no ser posible la adquisición de las mismas una vez iniciado el paso del tiempo. Así la ecuación que describe esta situación se presenta a continuación:

$$CIBA(t) = \begin{cases} BAE * CBA & ; \text{ si } t = 0 \\ 0 & ; \text{ si } t > 0 \end{cases} \quad (5.6.29)$$

Donde:

$CIBA(t)$  : Costo inicial por adquisición de barcazas.

$CBA$  : Costo de adquisición por cada barcaza.

Finalmente, los costos totales por inversión inicial quedan representados en la siguiente expresión:

$$CII(t) = CIA(t) + CIBA(t) \quad (5.6.30)$$

Donde:

$CII(t)$  : Costos totales de inversión inicial.

Finalmente la ecuación que describe la depreciación de la inversión inicial es la siguiente:

$$CDIN(t) = \int_0^t CII(t) / VUI \quad (5.6.31)$$

Donde:

$CDIN(t)$  : Costo semanal de depreciación de la inversión inicial.

$VUI$  : Vida útil en semanas de la inversión inicial.

### Costos totales por depreciación

Finalmente los costos totales generados por la depreciación de los bienes están conformados por la adición de las cuatro categorías de depreciaciones señaladas anteriormente. Estos costos también son considerados además para el cálculo del costo de oportunidad de la inversión realizada. La ecuación que representa la depreciación total en cada instante de tiempo es la siguiente:

$$CDT(t) = CDPN(t) + CDLAN(t) + CDL(t) + CDB(t) + CDBA(t) + CDIN(t) \quad (5.6.32)$$

Donde:

$CDT(t)$  : Corresponde al costo total por depreciación de bienes en el instante de tiempo t.

### 5.6.6 Costo de oportunidad del capital

El costo de oportunidad del capital refleja la ganancia de invertir el dinero en una actividad sin riesgos, lo anterior se realiza a través del descuento del capital invertido en cada momento de tiempo sujeto a la depreciación correspondiente y a una tasa de interés de referencia para una cuenta de ahorro (Sapag & Sapag, 2000).

El capital invertido total afecto a depreciación para cada momento de tiempo, se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$CI(t) = \int_0^t [CAI(t) + CII(t) - CDT(t)] \quad (5.6.33)$$

Donde:

$CI(t)$ : Capital total invertido hasta el instante de tiempo  $t$ .

Así el costo de oportunidad del capital invertido queda expresado finalmente por la ecuación a continuación:

$$CC(t) = CI(t) * u \quad (5.6.34)$$

Donde:

$CC(t)$ : Costo de oportunidad del capital en el instante de tiempo  $t$ .

$u$ : Tasa de interés generada por una actividad de bajo riesgo.

### 5.6.7 Costo total

El costo total corresponde a la adición de los costos que se producen en el centro en cada instante de tiempo. Esto considera los costos operativos (Sección 5.6.1), de las semillas (Sección 5.6.2), de actividad (Sección 5.6.3), de inventario (Sección 5.6.4), de depreciación (Sección 5.6.5) y el costo de oportunidad del capital (Sección 5.6.6). Esto queda representado por la ecuación a continuación:

$$CT(t) = COT(t) + CTS(t) + CFT(t) + CIT(t) + CDT(t)CC(t) \quad (5.6.35)$$

Donde:

$CT(t)$ : Costo total en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

## 5.7 Ingresos

### 5.7.1 Ingreso por venta de individuos cosechados

Estos ingresos corresponden a la venta de individuos cosechados una vez obtenida la talla de cosecha. Este ingreso se compone en base de la cantidad de individuos, y del precio que se paga por cada individuo (Sección 4.2.2.5).

#### Venta de la cosecha

El ingreso está dado por la cantidad de individuos que se están cosechando en cada instante de tiempo, y el precio pagado por cada individuo en función de su longitud. La ecuación que describe este proceso es la siguiente:

$$IV(t) = \left( \sum_i \sum_j [h_{ij}(t)] \right) * P(L_{ij}(t)) \quad (5.7.1)$$

Donde:

$IV(t)$ : Ingreso total por venta de individuos en el instante de tiempo  $t$ .

$P(L_{ij}(t))$ : Precio de venta en función de la longitud de los individuos cosechados.

### **Precio por calibre**

Debido a que el precio no es igual para todas las tallas de individuos que se cosechan (Sección 3.1.5), si no que posee variaciones en función del tamaño de los individuos que se están vendiendo, los individuos son clasificados en calibres; y su precio está en función del calibre en el cual están clasificados.

De acuerdo a la información entregada por Espinoza (2009) se asume que existen tres calibres distintos denominados de mayor a menor tamaño A, B y C respectivamente. Cada calibre tiene un límite inferior, en términos de longitud, y para el caso del calibre A y B, también un límite superior.

La ecuación que determina el precio en función del calibre de los individuos cosechados es la siguiente:

$$P(L_{ij}(t)) = \begin{cases} PA(t) ; \text{ si } LLA \leq L_{ij}(t) \\ PB(t) ; \text{ si } (LLB \leq L_{ij}(t) < ULB) \\ PC(t) ; \text{ si } (LLC \leq L_{ij}(t) < ULC) \end{cases} \quad (5.7.2)$$

Donde:

$PA(t)$ : Precio de venta de los individuos de calibre A en el instante de tiempo t.

$LLA$ : Límite inferior de longitud para el calibre A.

$PB(t)$ : Precio de venta de los individuos de calibre B en el instante de tiempo t.

$LLB$ : Límite inferior de longitud para el calibre B.

$ULB$ : Límite superior de longitud para el calibre B.

$PC(t)$ : Precio de venta de los individuos de calibre C en el instante de tiempo t.

$LLC$ : Límite inferior de longitud para el calibre C.

$ULC$ : Límite superior de longitud para el calibre C.

### **Escenarios de precio**

De acuerdo a la sección 4.2.2.6 los precios por calibre pueden tener variaciones en el tiempo. Además se señaló que las cosechas pueden esperar a que los precios sufran modificaciones en base a una temporada de alza de precios en el mercado.

En consecuencia, existen cuatro posibles escenarios de precios; precios constantes por calibre a través del tiempo simulado (Escenario I), precios variables por calibre dentro del periodo anual pero con un patrón recurrente a lo largo del tiempo simulado (Escenario II), precios constantes por calibre sujetos a alzas definidas dentro del periodo anual pero con un patrón recurrente a lo largo del tiempo simulado con precio-independencia (Escenario III), y finalmente precios constantes por calibre sujetos a alzas definidas dentro

del periodo anual pero con un patrón recurrente a lo largo del tiempo simulado con precio-independencia (Escenario IV).

Al agrupar los escenarios en dos grupos, el primero correspondiente a los escenarios con cambios de precio a través del año, y el tercero correspondiente a los escenarios sin cambios de precio a través del año; donde los cambios de precio pueden ser sólo en la temporada o a través de todo el año, las ecuaciones que determinan esto son las siguientes:

Para el calibre A:

$$PA(t) = \begin{cases} PCA & ; \text{ si } \pi = 0 \\ PVA(t) & ; \text{ si } \pi = 1 \end{cases} \quad (5.7.3)$$

Donde:

$PCA(t)$  : Precio constante para el calibre A.

$PVA(t)$  : Precio variable a través del año en el instante de tiempo t para el calibre A.

$\pi$  : Variable binaria de decisión para definir si los precios presentan o no variaciones durante el transcurso de cada año durante el tiempo de simulación.

Para el calibre B:

$$PB(t) = \begin{cases} PCB & ; \text{ si } \pi = 0 \\ PVB(t) & ; \text{ si } \pi = 1 \end{cases} \quad (5.7.4)$$

Donde:

$PCB$  : Precio constante para el calibre B.

$PVB(t)$  : Precio variable a través del año en el instante de tiempo t para el calibre B.

Para el calibre C:

$$PC(t) = \begin{cases} PCC & ; \text{ si } \pi = 0 \\ PVC(t) & ; \text{ si } \pi = 1 \end{cases} \quad (5.7.5)$$

Donde:

$PCC$  : Precio constante para el calibre C.

$PVC(t)$  : Precio variable a través del año en el instante de tiempo t para el calibre C.

La diferenciación entre los escenarios que varían durante el periodo anual, para los precios que varían durante todo el año (escenario II), y los precios que sufren alzas sólo en las temporadas de alza de precios (escenario III y IV), se define por las siguientes ecuaciones:

Para el calibre A:

$$PVA(t) \begin{cases} PVSA(Semana(t)) ; \text{ si } \sigma = 0 \\ PVT A(t) ; \text{ si } \sigma = 1 \end{cases} \quad (5.7.6)$$

Donde:

$PVSA(Semana(t))$ : Precios para el calibre A en función de la semana del año en que se encuentre el instante de tiempo t.

$PVT A(t)$ : Precios para el calibre A con variaciones en los precios exclusivamente en las temporadas de alza de precios.

$\sigma$ : Variable binaria de decisión para definir si los precios varían a través de todo el año, o poseen temporadas de alza definidas dentro del periodo anual.

Para el calibre B:

$$PVB(t) = \begin{cases} PVSB(Semana(t)) ; \text{ si } \sigma = 0 \\ PVTB(t) ; \text{ si } \sigma = 1 \end{cases} \quad (5.7.7)$$

Donde:

$PVSB(Semana(t))$ : Precios para el calibre B en función de la semana del año en que se encuentre el instante de tiempo t.

$PVTB(t)$ : Precios para los individuos del calibre B con variaciones en los precios exclusivamente en las temporadas de alza de precios.

Para el calibre C:

$$PVC(t) \begin{cases} PVSC(Semana(t)) ; \text{ si } \sigma = 0 \\ PVT C(t) ; \text{ si } \sigma = 1 \end{cases} \quad (5.7.8)$$

Donde:

$PVSC(Semana(t))$ : Precios para el calibre C en función de la semana del año en que se encuentre el instante de tiempo t.

$PVT C(t)$ : Precios para los individuos del calibre C con variaciones en los precios exclusivamente en las temporadas de alza de precios.

La variación de precios en el periodo de alza de precios (escenario III) es dependiente de las semanas del año y de la cantidad de temporadas de alzas que puedan manifestarse a lo largo del año. Esto queda descrito a través de las siguientes ecuaciones:

Para el calibre A:

$$PVT A(t) \begin{cases} PCA ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] = 0 \\ PTA ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.7.9)$$

Donde:

$PTA(t)$ : Precio de temporada de alza para el calibre A.

Para el calibre B:

$$PVT B(t) \begin{cases} PCB ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] = 0 \\ PTB ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.7.10)$$

Donde:

$PTB(t)$ : Precio de temporada de alza para el calibre B.

Para el calibre C:

$$PVT C(t) \begin{cases} PCC ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] = 0 \\ PTC ; \text{ si } \sum_k [TA_k(t)] > 0 \end{cases} \quad (5.7.11)$$

Donde:

$PTC(t)$ : Precio de temporada de alza para el calibre C.

### 5.7.2 Ingreso por venta de insumos desechados

Los ingresos por venta de insumos desechados corresponden a los posibles ingresos generados al término de la vida útil de estos. En este caso se consideran los insumos de cultivo como pearl net, linternas, líneas y botes, los cuales generaran ingresos en base a su valor de desecho y a la cantidad de insumos desechados en cada instante de tiempo.

#### Unidades de cultivo

El ingreso por el desecho de las unidades de cultivo está determinado por su valor de desecho y la cantidad de unidades de cultivo que se desechan. Lo anterior queda expresado por las siguientes ecuaciones:

Para las unidades de cultivo pearl net:

$$IDPN(t) = DPN(t) * VDPN \quad (5.7.12)$$



Donde:

$IDPN(t)$  : Ingreso por desecho de pearl net en el instante de tiempo t.

$VDPN$  : Valor de desecho para cada pearl net al final de su vida útil.

Para las unidades de cultivo linternas:

$$IDLAN(t) = DLAN(t) * VDLAN \quad (5.7.13)$$

Donde:

$IDLAN(t)$  : Ingreso por desecho de linternas en el instante de tiempo t.

$VDLAN$  : Valor de desecho para cada linterna al final de su vida útil.

### **Líneas**

El ingreso por el desecho de las líneas está determinado, de forma similar a las unidades de cultivo, por su valor de desecho y la cantidad de líneas que se desechan. Lo anterior queda expresado por la siguiente ecuación:

$$IDL(t) = DL(t) * VDL \quad (5.7.14)$$

Donde:

$IDL(t)$  : Ingreso por desecho de líneas en el instante de tiempo t.

$VDL$  : Valor de desecho para cada línea al final de su vida útil.

### **Embarcaciones**

El ingreso por el desecho de los botes está determinado también, de forma similar a las unidades de cultivo y las líneas, por su valor de desecho y la cantidad de botes que se desechan. Lo anterior queda expresado por la siguiente ecuación:

$$IDB(t) = DB(t) * VDB \quad (5.7.15)$$

Donde:

$IDB(t)$  : Ingreso por desecho de botes en el instante de tiempo t.

$VDB$  : Valor de desecho para cada bote al final de su vida útil.

Para el caso de las embarcaciones de cosecha o barcasas, debido a que no se reemplazan con facilidad, se asume que se encuentran durante toda la evaluación en el centro, y por ende no son desechadas.

### **Ingresos totales por desecho de insumos**

Finalmente, los ingresos totales por desecho se obtienen mediante la adición de los tres componentes definidos anteriormente. Lo anterior determinado en la ecuación a continuación:

$$IDI(t) = IDPN(t) + IDLAN(t) + IDL(t) + IDB(t) \quad (5.7.16)$$

Donde:

$IDI(t)$ : Ingreso total por venta de insumos desechados en el instante de tiempo  $t$ .

### 5.7.3 Ingreso total

El ingreso total corresponde a la adición de los ingresos que se producen en el centro en cada instante de tiempo. Esto considera los ingresos por venta de individuos cosechados (Sección 5.7.1) y los ingresos por venta de insumos desechados (Sección 5.7.2). Esto queda representado por la siguiente ecuación:

$$IT(t) = IV(t) + IDI(t) \quad (5.7.17)$$

Donde:

$IT(t)$ : Ingreso total en el centro en el instante de tiempo  $t$ .

## 6. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MODELO

Cada estrategia fue evaluada en términos económicos a través de los dos indicadores señalados en la sección 4.2.2.1, valor presente neto y relación beneficio-costos a través de la simulación en el software Stella®. Además se incluyen los requerimientos de insumos para cada una de las estrategias. Los resultados respectivos se presentan en las secciones a continuación.

### 6.1 Indicadores económicos

#### 6.1.1 Valor presente neto

El resultado del valor presente neto definido en la sección 5.1, se presenta de forma transversal para los distintos escenarios a los que se sometió el modelo. Se incluyen además las semanas en las cuales el valor presente neto comienza a reportar valores positivos en la simulación.

#### Escenario I

El primer escenario de en la simulación, el cual considera precios constantes en todos los periodos anuales a través del tiempo simulado, presenta el comportamiento de valor presente neto ilustrado en la Figura 14 para las tres estrategias consideradas.

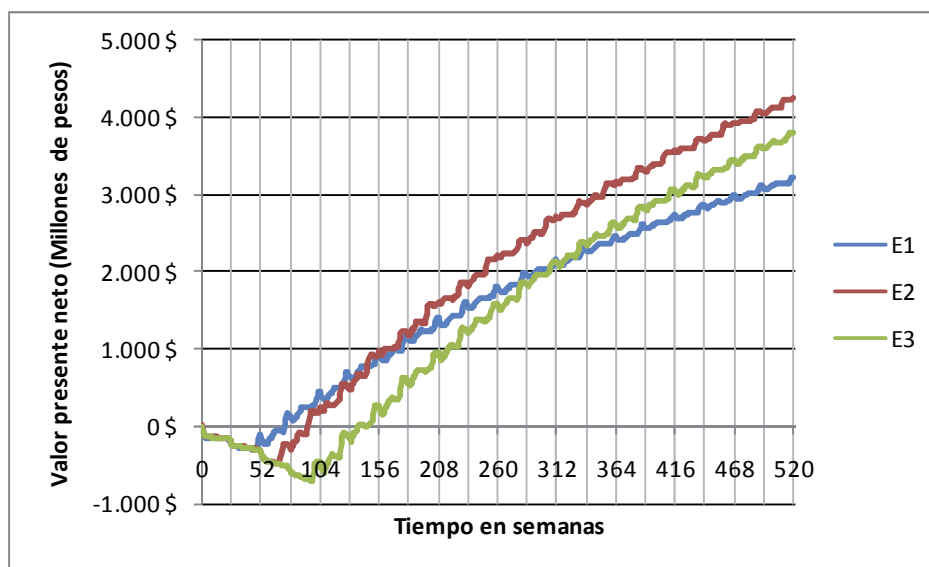


Figura 14: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario I  
Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 (Cosecha de los individuos al alcanzar los 90 mm) obtuvo un valor presente neto final de \$3.229 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10

años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 73.

La estrategia E2 (Cosecha de los individuos al alcanzar los 110 mm) obtuvo un valor presente neto final de \$4.249 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 94.

La estrategia E3 (Cosecha de los individuos al alcanzar los 130 mm) obtuvo un valor presente neto final de \$3.796 millones de pesos al final del periodo de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 138.

## Escenario II

El segundo escenario en la simulación, el cual considera precios variables dentro del periodo anual a través del tiempo simulado, presenta el comportamiento ilustrado en la Figura 15 para las tres estrategias consideradas.

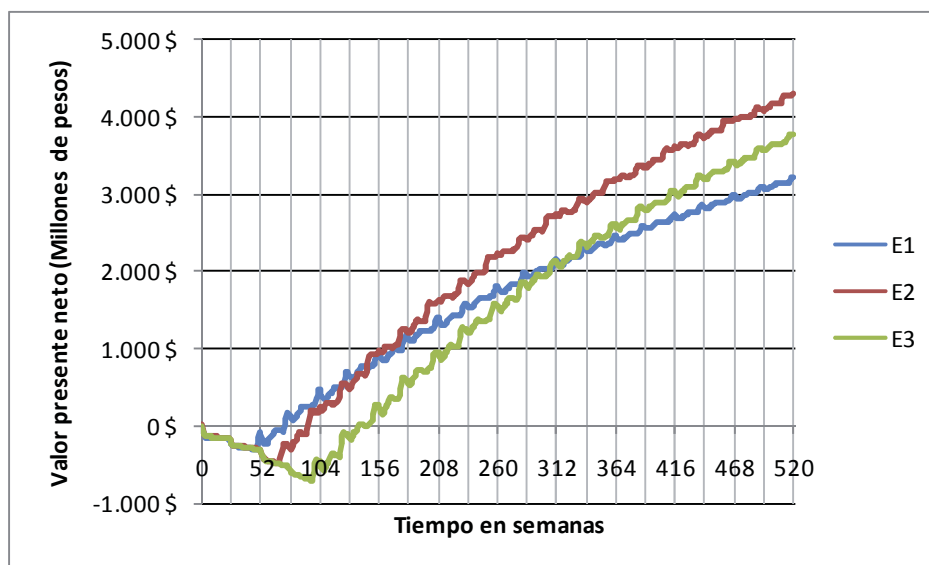


Figura 15: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario II

Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor presente neto final de \$3.229 millones de pesos al final del periodo evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 73.

La estrategia E2 obtuvo un valor presente neto final de \$4.298 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 94.

La estrategia E3 obtuvo un valor presente neto final de \$3.773 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 138.

### Escenario III

El tercer escenario en la simulación, el cual considera precios sujetos a temporadas de alzas dentro del periodo anual a través del tiempo simulado sin la condición de precio-dependencia, presenta el comportamiento de valor presente neto ilustrado en la Figura 16 para las tres estrategias consideradas.

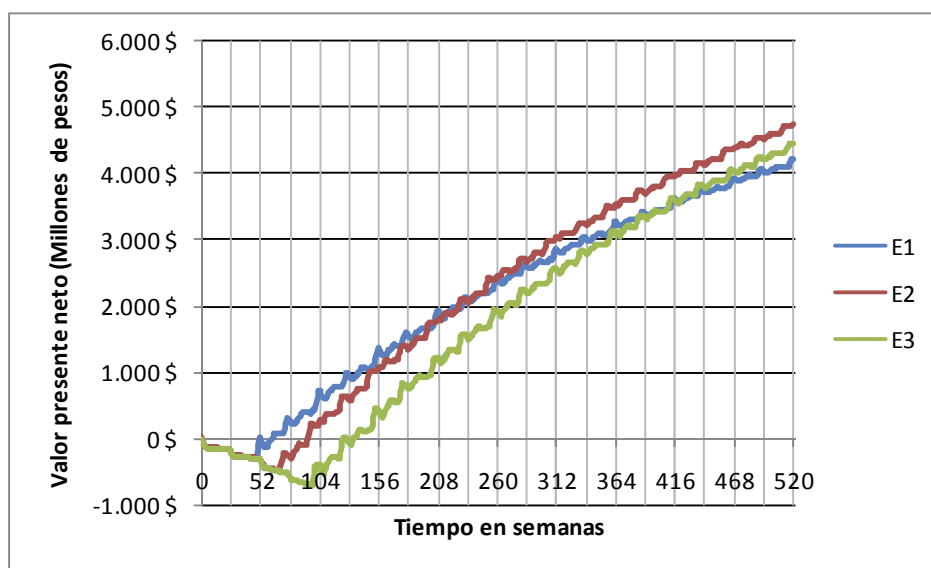


Figura 16: Valor presente neto de las distintas estrategias para el escenario III

Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor presente neto final de \$4.203 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 61.

La estrategia E2 obtuvo un valor presente neto final de \$4.757 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 94.

La estrategia E3 obtuvo un valor presente neto final de \$4.458 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 134.

## Escenario IV

El cuarto escenario en la simulación, el cual considera precios sujetos a temporadas de alzas dentro del periodo anual a través del tiempo simulado con la condición de precio-dependencia, presenta el comportamiento de valor presente neto ilustrado en la Figura 17 para las tres estrategias consideradas.

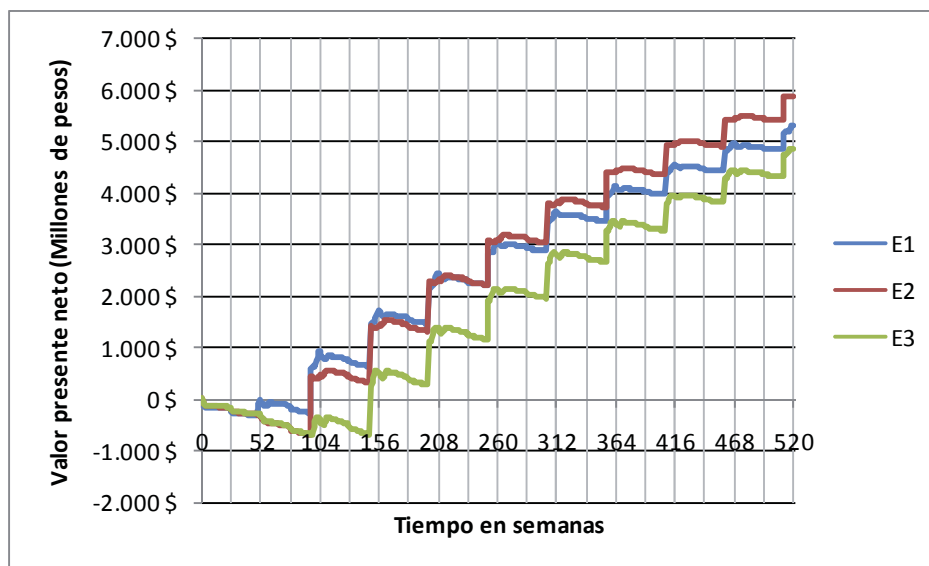


Figura 17: Valor presente neto de las distintas estrategias en el escenario IV  
Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor presente neto final de \$5.302 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 96.

La estrategia E2 obtuvo un valor presente neto final de \$5.863 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 96.

La estrategia E3 obtuvo un valor presente neto final de \$4.861 millones de pesos al final del periodo de evaluación de 10 años. El valor presente neto de esta estrategia cruza el umbral de los valores positivos a partir de la semana 148.

### Resumen valor presente neto para los distintos escenarios

Los resultados de la evaluación de las estrategias en los distintos escenarios, en términos de valor presente neto, se resumen en la Tabla 3. Se aprecia que para los todos los escenarios, la estrategia que posee los mayores valores de VPN final, es la estrategia E2.

Tabla 3: Resumen de resultados de valor presente neto

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2 Relación beneficio-costos

El resultado de la relación beneficio-costos definida en la sección 5.1, se presenta de forma transversal para los distintos escenarios a los que se sometió el modelo.

#### Escenario I

El primer escenario en la simulación, el cual considera precios constantes en todos los periodos anuales a través del tiempo simulado, presenta el comportamiento de relación beneficio-costos ilustrado en la Figura 18 para las tres estrategias consideradas.

La estrategia E1 obtuvo un valor final para la relación beneficio-costos de 2.38 en el periodo de evaluación de 10 años. La estrategia E2, obtuvo un valor final para la relación beneficio costo de 2.6 en el mismo periodo de tiempo. Finalmente la estrategia E3, bajo las mismas condiciones que las dos anteriores, obtuvo un valor final para la relación beneficio-costos de 2.18.

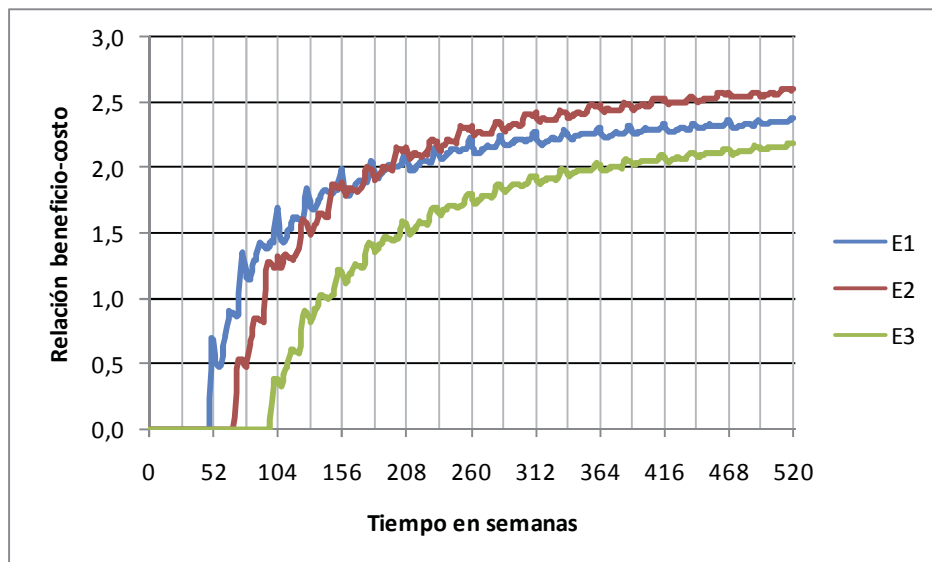


Figura 18: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario I  
Fuente: Elaboración propia.

## Escenario II

El segundo escenario de precios en la simulación, el cual considera precios variables dentro del periodo anual a través del tiempo simulado, presenta el comportamiento de relación beneficio-costos ilustrado en la Figura 19 para las tres estrategias consideradas.

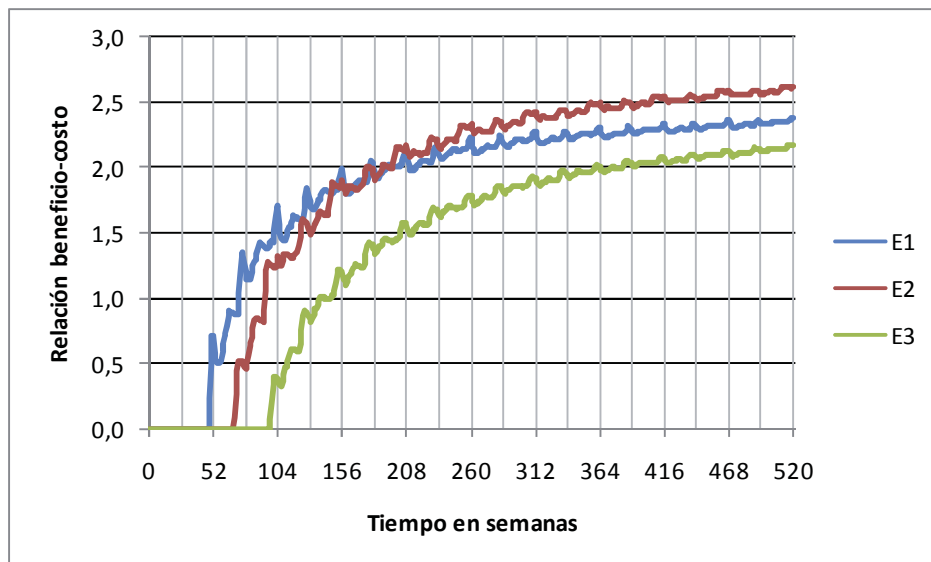


Figura 19: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario II  
Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor final para la relación beneficio-costos de 2.38 en el periodo de evaluación de 10 años. La estrategia E2, obtuvo un valor final para la relación beneficio costo de 2.62 en el mismo periodo de tiempo. Finalmente la estrategia E3, bajo las mismas condiciones que las dos anteriores, obtuvo un valor final para la relación costo beneficio de 2.17.

## Escenario III

El tercer escenario en la simulación, el cual considera precios sujetos a temporadas de alzas dentro del periodo anual a través del tiempo simulado sin la condición de precio-dependencia, presenta el comportamiento de relación beneficio-costos ilustrado en la Figura 20 para las tres estrategias consideradas.



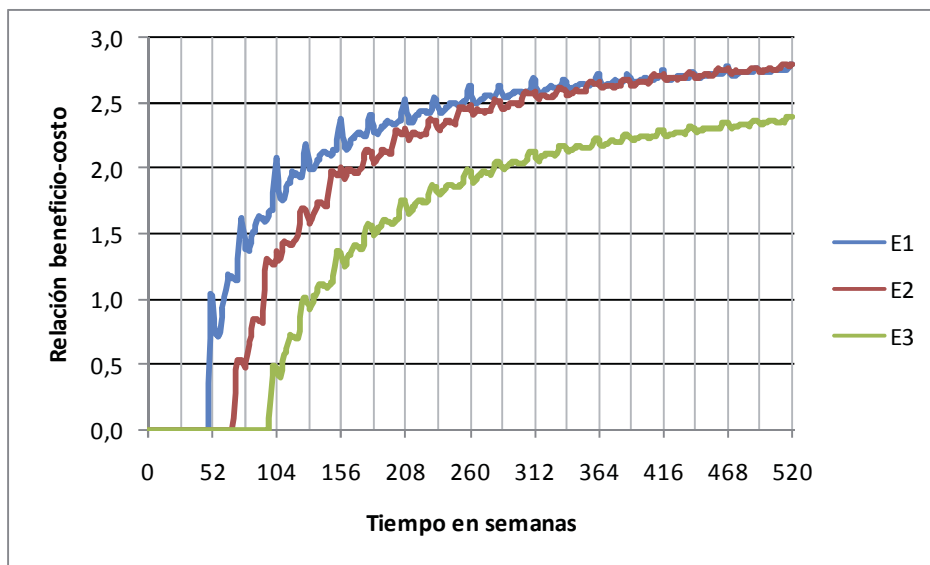


Figura 20: Relación beneficio-costo de las distintas estrategias en el escenario III  
Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor final para la relación beneficio-costo de 2.79 en el periodo de evaluación de 10 años. La estrategia E2, obtuvo un valor final para la relación beneficio costo de 2.79 en el mismo periodo de tiempo. Finalmente la estrategia E3, bajo las mismas condiciones que las dos anteriores, obtuvo un valor final para la relación costo beneficio de 2.39.

#### Escenario IV

El cuarto escenario en la simulación, el cual considera precios sujetos a temporadas de alzas dentro del periodo anual a través del tiempo simulado con la condición de precio-dependencia, presenta el comportamiento de relación beneficio-costo ilustrado en la Figura 21 para las tres estrategias consideradas.

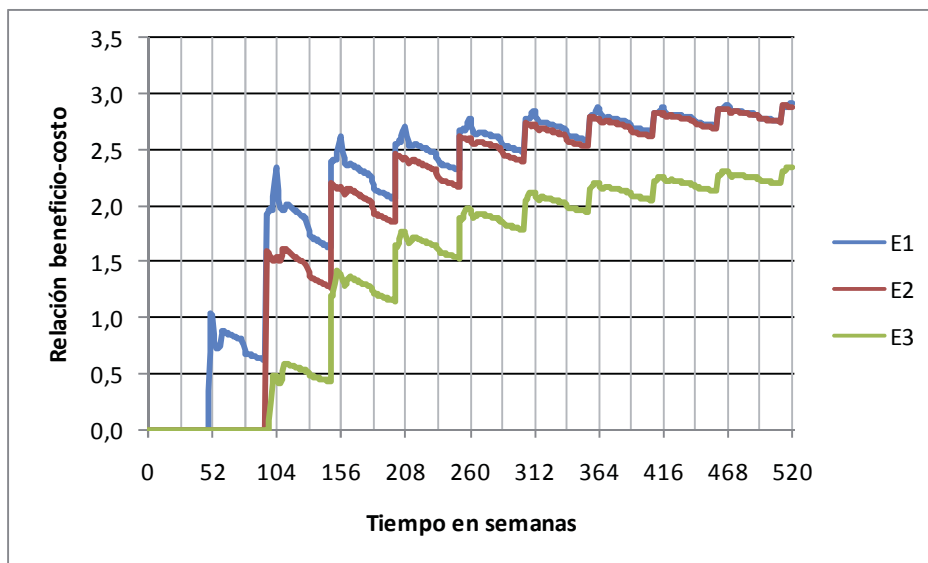


Figura 21: Relación beneficio-costos de las distintas estrategias en el escenario IV  
Fuente: Elaboración propia.

La estrategia E1 obtuvo un valor final para la relación beneficio-costos de 2.91 en el periodo de evaluación de 10 años. La estrategia E2, obtuvo un valor final para la relación beneficio costo de 2.89 en el mismo periodo de tiempo. Finalmente la estrategia E3, bajo las mismas condiciones que las dos anteriores, obtuvo un valor final para la relación costo beneficio de 2.33.

### Resumen relación beneficio-costos neto para los distintos escenarios

Los resultados de la evaluación de las estrategias en los distintos escenarios de precios, en términos de relación beneficio-costos se resumen en la Tabla 4. Se aprecia que para los escenarios I y II, la estrategia que posee los mayores valores de relación beneficio-costos, es la estrategia E2. Para el caso del escenario III, las estrategias E1 y E2 presentan el mismo valor de 2.79. En el caso del escenario IV, la estrategia que presenta el mayor valor de relación beneficio-costos, es la estrategia E1.

Tabla 4: Resumen de resultados de relación beneficio-costos

Relación beneficio-costos				
Estrategia	Escenario			
	I	II	III	VI
E1	2,38	2,38	2,79	2,91
E2	2,60	2,62	2,79	2,89
E3	2,18	2,17	2,39	2,33

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 Indicadores productivos y sociales

Cada una de las estrategias evaluadas posee un patrón de utilización de insumos productivos dependiendo de la cantidad de individuos presentes en cada instante de tiempo. Debido a que el patrón de utilización de los insumos se modifica para las estrategias al existir la condición de precio-dependencia, los resultados se dividirán en las estrategias sin la condición de precio-dependencia, y las estrategias con la condición de precio-dependencia.

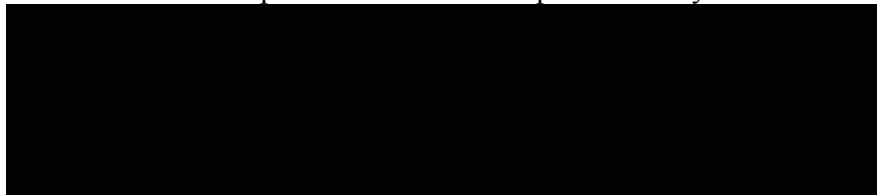
### 6.2.1 Sin condición de precio-dependencia

Para el caso de las líneas, las estrategias presentan un patrón de utilización de líneas promedio de 251 líneas para la estrategia E1, 444 líneas para la estrategia E2 y 713 líneas para la estrategia E3 (Tabla 5). En general se aprecia que a medida que se aumenta el tiempo que los individuos permanecen en el agua para la obtención de mayores calibres, se produce asimismo un aumento en la cantidad de líneas promedio que se utilizan por cada estrategia. El patrón de utilización de líneas en el tiempo para las estrategias precio-sin la condición de precio-dependencia se presenta en el ANEXO III, Figura 33.

La utilización de hectáreas en el centro indica la cantidad promedio de superficie que se utiliza en el mar como resultado de la instalación de líneas. El patrón de utilización promedio es de 5 hectáreas para E1, 8,8 hectáreas para E2 y de 14,9 hectáreas para la estrategia E3 (Tabla 5). En general, la utilización de hectáreas presenta una relación similar con las líneas, aumentando de forma proporcional al aumento de calibres de cosecha. El patrón de utilización de hectáreas en el tiempo se presenta en el ANEXO III, Figura 34.

Finalmente la cantidad de trabajadores que están presentes en cada instante de tiempo, se compone de la mano de obra de planta y de la mano de obra temporal. De acuerdo a las capacidades de trabajo especificadas, la estrategia E1 no contrata personal de planta adicional ni tampoco mano de obra temporal. Por el contrario, E2 y E3 presentan una contratación adicional promedio de 3 y 11 individuos de planta sobre los estipulados al inicio de la simulación respectivamente; y una contratación promedio de 1 y 2 trabajadores temporal en el mismo orden (Tabla 5). El patrón de la mano de obra utilizada por las estrategias en el tiempo se presenta en el ANEXO III, Figura 35 y Figura 36.

Tabla 5: Utilización promedio de insumos productivos y mano de obra



Fuente: Elaboración propia.

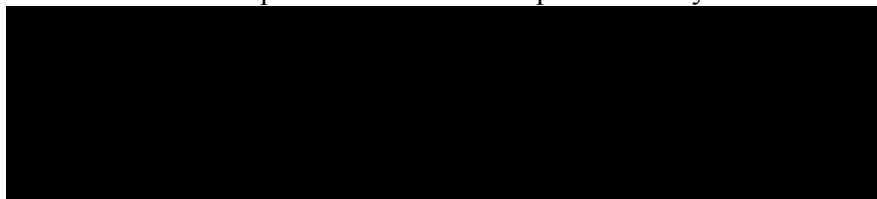
## 6.2.2 Con condición de precio-dependencia

Bajo la condición de precio-dependencia, los resultados presentan diferencias en la utilización de insumos en comparación a los resultados presentados en la sección 6.2.1. Para el caso de las líneas, las estrategias presentan un patrón de utilización de líneas promedio de 386 líneas para la estrategia E1, 547 líneas para la estrategia E2 y 838 líneas para la estrategia E3 (Tabla 6). En general se aprecia que a medida que se espera a la obtención de mejores precios de mercado, se produce un aumento adicional en la cantidad de líneas promedio que se utilizan por cada estrategia. El patrón de utilización de líneas en el tiempo para las estrategias con la condición de precio-dependencia se presenta en el ANEXO III, Figura 37.

La utilización de hectáreas de manera similar al comportamiento observado con las líneas sufrió alteraciones respecto a los resultados anteriores. El patrón de utilización promedio es de 7.8 hectáreas para E1, 10.9 hectáreas para E2 y de 16.9 hectáreas para la estrategia E3 (Tabla 6). En general, la utilización de hectáreas presenta continúa presentando una relación similar con las líneas, aumentando de forma proporcional al aumento de calibres de cosecha y a la espera por las temporadas de alzas de precios. El patrón de utilización de hectáreas en el tiempo se presenta en el ANEXO III, Figura 38.

Para la utilización de mano de obra, bajo la condición de precio-dependencia, todas las estrategias presentan contratación de mano de obra temporal a través del tiempo. La estrategia E1 presenta, en promedio, una contratación adicional de 3 trabajadores de planta y un requerimiento de 2 trabajadores temporales. La estrategia E2 utiliza en promedio 17 trabajadores de planta, y 2 trabajadores temporales. Finalmente la estrategia E3, utiliza en promedio 26 trabajadores de planta y 6 temporales (Tabla 6). El patrón de mano de obra utilizada por las estrategias bajo la condición de precio-dependencia se presenta en el ANEXO III, Figura 39 y Figura 40.

Tabla 6: Utilización promedio de insumos productivos y mano de obra



Fuente: Elaboración propia.

## 6.3 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad al modelo se realizó para el escenario IV, donde los precios están sujetos a temporadas de alzas definidas dentro de los periodos anuales y las estrategias son sometidas a la condición de precio dependencia (Sección 4.2.2.6). Los

parámetros sensibilizados fueron el costo de las semillas, el precio, y el parámetro de mortalidad poblacional (ANEXO III, Figura 41).

A pesar de que sólo se han sensibilizado tres parámetros, este análisis puede ser aplicado a cualquier componente del modelo descrito en la sección 5, y a cualquier estrategia y escenario de los descritos en la sección 4.2.2.6.

### 6.3.1 Variación del costo de las semillas

La sensibilidad que tiene el modelo al costo de las semillas se ha evaluado a través de la respuesta del valor presente final frente al aumento y la disminución del valor de adquisición de las semillas en un 20% del valor base.

Ambas variaciones tuvieron un efecto similar en términos porcentuales, presentando una relación indirectamente proporcional con la variación en el VPN final, donde el rango de variación, tanto para la disminución como para el aumento del costo de las semillas, está entre  $\pm 3,6$  y  $\pm 4,4$  puntos porcentuales (Tabla 7).

Tabla 7: Resumen de la sensibilidad del costo de semillas

Estrategia	Costo semilla	
	-20%	+20%
E1	+4,07%	-4,08%
E2	+3,68%	-3,69%
E3	+4,44%	-4,45%

Fuente: Elaboración propia.

En específico, la disminución de 1 punto porcentual del costo por semilla produce aumentos en el VPN final del orden de un 0,2% para la estrategia E1, de 0,18% para la estrategia E2, y de 0,22% para la estrategia E3. Por otro lado, el aumento en 1 punto porcentual del precio de las semillas genera disminuciones en el VPN final del orden de un 0,2% para la estrategia E1, de 0,23% para la estrategia E2, y de 0,22% para la estrategia E3. Lo anterior aplicable sólo a la situación del escenario IV.

### 6.3.2 Variación del precio

La sensibilidad que tiene el modelo al precio por calibre se ha evaluado a través de la respuesta del valor presente final frente al aumento y la disminución del precio de cada calibre en un 20% del valor base. Esta variación se aplicó tanto a los precios normales como a los precios de la temporada de alza relativos al escenario IV.

Ambas variaciones tuvieron un efecto similar en términos porcentuales, presentando una relación directamente proporcional con la variación en el VPN final, donde el rango de

variación, tanto para la disminución como para el aumento del precio de cada calibre, está entre  $\pm 30,4$  y  $\pm 35$  puntos porcentuales (Tabla 8).

Tabla 8: Resumen de la sensibilidad del precio por calibre

Estrategia	Precio por calibre	
	-20%	+20%
E1	-30,43%	+30,42%
E2	-30,48%	+30,48%
E3	-34,9%	+34,9%

Fuente: Elaboración propia

En específico, la disminución de 1 punto porcentual del precio por calibre produce disminuciones en el VPN final del orden de un 1,52% para la estrategia E1, de 1,52% para la estrategia E2, y de 1,74% para la estrategia E3. Por otro lado, el aumento en 1 punto porcentual del precio por calibre genera aumentos en el VPN final del orden de un 1,5% para la estrategia E1, de 1,5% para la estrategia E2, y de 1,75% para la estrategia E3.

### 6.3.3 Variación de las mortalidades

La sensibilidad que tiene el modelo a la mortalidad al final de cada una de las etapas de cultivo se ha evaluado a través de la respuesta del valor presente neto final frente al aumento y la disminución del factor de mortalidad en un 20% del valor base de manera homogénea para todas las etapas de cultivo.

En este caso ambas variaciones no tuvieron un efecto similar en términos porcentuales, si no que presentaron una relación indirectamente proporcional con la variación en el VPN final de manera diferenciada.

La disminución en los factores de mortalidad generó aumentos del VPN final de cada estrategia entre 8,98 y 20,34 puntos porcentuales. Por el contrario, el aumento de los factores de mortalidad generó disminuciones de VPN final en el rango de -8,22 y -17,8 puntos porcentuales (Tabla 9).

Tabla 9: Tabla resumen de la sensibilidad de los factores de mortalidad

Estrategia	Mortalidad	
	-20%	+20%
E1	+8,98%	-8,22%
E2	+12,48%	-11,71%
E3	+20,34%	-17,80%

Fuente: Elaboración propia.

En específico, la disminución de 1 punto porcentual de los factores de mortalidad produce aumentos en el VPN final del orden de un 0,44% para la estrategia E1, de 0,62%

para la estrategia E2, y de 1% para la estrategia E3. Por otro lado, el aumento en 1 punto porcentual de los factores de mortalidad genera disminuciones en el VPN final del orden de un 0,41% para la estrategia E1, de 0,58% para la estrategia E2, y de 0,89% para la estrategia E3.

## 7. DISCUSIÓN

En general, el modelo presenta un comportamiento adecuado, en comparación con otros trabajos realizados en la materia, como por ejemplo el modelo de simulación de cultivo de ostiones en Canadá realizado por Pelot y Zwicker (2006), los modelos de acuicultura sugeridos por Cuenco (1989) y los modelos de producción animal presentados por Hannon y Ruth (1994). Esto, tomando en cuenta las características de crecimiento para el ostión del norte presentadas por Stotz y González (1997), las características y proceso de cultivo presentadas por Cabrera (2000) y Moreno (1998), el comportamiento de precios sugerido por Espinoza (2009); y las características económicas y financieras presentadas por Sapag y Sapag (2000) y Zuñiga (2008).

A continuación se presenta una discusión, primero respecto de los resultados obtenidos de las corridas del modelo y segundo, del comportamiento del modelo en base al análisis de sensibilidad.

### 7.1 Resultados

Se evaluaron tres estrategias de cosecha bajo cuatro escenarios alternativos cuyos detalles se presentan en Tabla 1 (Sección 4.2.2.6): La evaluación se realizó en términos de un conjunto de indicadores económicos, y un conjunto de indicadores productivos y sociales. A continuación se discuten los resultados para los indicadores económicos y los indicadores productivos y sociales utilizados.

#### 7.1.1 Indicadores económicos

Los resultados obtenidos indican que la estrategia E2 es la mejor debido a que presenta el mayor VPN final para todos los escenarios. Esto ya que el mayor precio para el calibre B compensa, en términos de beneficio neto, los costos generados durante el tiempo adicional para alcanzar la talla de cosecha respecto al calibre mínimo. Por el contrario, el aún mayor precio del calibre A no compensa los costos generados por el tiempo adicional requerido para alcanzar la talla de cosecha. Lo anterior se traduce finalmente en un mayor valor presente para la estrategia de cosechar los individuos al calibre B bajo un horizonte de evaluación de 10 años.

Lo anterior se explica debido a que la curva de crecimiento utilizada presenta un comportamiento asintótico a medida que la longitud actual se acerca a la longitud máxima de la especie. Es decir, los individuos más pequeños presentan un crecimiento mayor que los individuos de talla adulta, y para alcanzar calibres mayores se requiere de tiempos mayores que no están afectos a un comportamiento lineal en base al tiempo (Bjørndal, 1990).



Respecto a los escenarios, el que presenta los mayores ingresos para todas las estrategias es el escenario IV. Esto principalmente debido a que el aumento en los precios se traduce en un alza de un 50% en el ingreso por cada individuo del calibre C, un aumento del 33% para los individuos del calibre B, y de un 25% de aumento en el ingreso por cada individuo cosechado de calibre A. Y de manera general para todas las estrategias, el aumento del precio en las temporadas de alza, compensa los costos adicionales generados al esperar dichos periodos para realizar las cosechas.

Para el caso de la relación beneficio-costos, la estrategia E2 presenta el valor más alto para los escenarios I y II. Para el escenario III, tanto E1 como E2 presentan el mayor valor igualadas en 2,79. Para el caso del escenario IV, la estrategia E1 presenta el mayor valor de todas las estrategias. La estrategia E3 presenta en todos los escenarios el menor valor de la relación beneficio-costos.

Lo anterior se traduce en que la cosecha del calibre más pequeño y el calibre medio presentan mayores retornos en relación con el capital invertido por cada una de las estrategias. Este comportamiento tomando en consideración la variación del dinero en el tiempo. Es necesario notar que este patrón está dado principalmente debido a que los ingresos en horizontes más cortos de tiempo poseen mayor importancia al momento de ser evaluados; esto de forma similar al valor presente neto al considerar que los flujos en periodos futuros poseen un menor peso en términos de capital (Sapag & Sapag, 2000).

Finalmente, el horizonte de tiempo en el que se realizan las evaluaciones juega un papel fundamental ya que tal como se aprecia en todos los resultados, una evaluación con un horizonte de tiempo de corto plazo (2 a 3 años) favorecería claramente a la estrategia E1, a pesar de que ésta no posee los mayores valores VPN al largo plazo para cada uno de los escenarios evaluados. Es relevante considerar, al momento de preferir una estrategia de cosecha, los objetivos del centro de cultivo en términos de cómo medir su eficiencia productiva; a través del valor presente neto final, a través del beneficio obtenido por cada unidad de capital invertida o en el tiempo en que se recupera la inversión.

#### 7.1.2 Indicadores productivos y sociales

El uso total de líneas en el centro presenta un patrón creciente a medida que se aumenta la talla de cosecha. Este comportamiento se debe a que el aumento en los tiempos del ciclo de cultivo generan traslapes entre las camadas que se siembran durante el año.

La utilización de superficie indica además, que las estrategias E1 y E2 presentan un patrón de utilización más eficiente al requerir una cantidad de espacio menor y presentar mayores ingresos relativos. Se puede observar, en comparación a lo propuesto por Bjørndal (1990) en relación a la rotación de cultivos, que el cultivo del ostión posee requerimientos de superficie variables en relación a las tallas de cosecha, además de estar sujeto a la estacionalidad en las que se realizan las cosechas. La superficie utilizada presenta también gran dependencia de la ocurrencia de mortalidades y rezagos en cada etapa de cultivo.

La estrategia E1, que utiliza la menor cantidad de hectáreas tanto en su variante precio-dependiente como en la precio-independiente, posee el mayor potencial para aumentar su valor presente neto final en directa proporción con el aumento de la cantidad de semillas sembradas. Por el contrario la estrategia E3, es la más intensiva en términos de superficie e insumos limitando la utilización la viabilidad de la misma por restricciones de disponibilidad de superficie, inversión y capital de trabajo.

En cuanto a mano de obra, se aprecia que las estrategias E1 y E2 son relativamente poco intensivas en términos de sus requerimientos de trabajadores a medida que transcurre el tiempo. La estrategia E3 por el contrario proporciona en promedio entre 11 y 16 plazas de trabajo de planta adicionales, generando un mayor nivel de empleo.

## **7.2 Análisis de sensibilidad**

El comportamiento del modelo se observó a través de un análisis de sensibilidad aplicado a todas las estrategias en el escenario IV. El objetivo de este análisis es observar el efecto en el nivel de beneficio neto (VPN) final, producto de cambios en el costo de las semillas, el precio por calibre y la mortalidad poblacional.

En síntesis, en base al análisis de sensibilidad realizado, se puede apreciar que tanto el precio como la mortalidad son factores que tienen impactos relevantes en el comportamiento y resultados de las estrategias al ser sensibilizados (1 punto porcentual sensibilizado produce más de un punto porcentual de alteración); aunque esto en diferentes medidas dependiendo de la estrategia que se esté estudiando. Se aprecia en términos de sensibilidad de VPN final, que la estrategia más sensible para todos los análisis es la estrategia E3; mientras que la menos sensible, para dos de los tres análisis es la estrategia E1.

De acuerdo al análisis realizado, los parámetros de alimentación del modelo que en mayor medida pudiesen afectar el comportamiento de cuál es la mejor estrategia de cosecha son el de precio por calibre, incluyendo las variaciones que éste posee a través del año y durante las temporadas de alza en los periodos anuales. A esto se suma también el comportamiento de mortalidades a través del tiempo, y en función del tiempo que llevan los individuos en una determinada etapa y a sus respectivas densidades. Se hace necesaria, por tanto, la realización de estudios acerca del comportamiento de las mortalidades para diferentes densidades de cultivo que tomen en cuenta otros factores como por ejemplo, el tiempo total que los individuos han sido sometidos a cultivo.

En adición a lo anterior, dada la importancia que tiene el crecimiento en el valor de cada una de las estrategias, pudiese ser importante la determinación de la diferenciación de crecimientos por zona y época del año tal como lo sugiere Pelot (2006). Esto podría provocar cambios tanto en los valores como en las relaciones beneficio-costos para cada una de las estrategias.

### **7.3 Del aporte a la toma de decisiones**

El aporte de esta herramienta en el proceso de toma de decisiones se refleja en la capacidad de análisis de distintos criterios relevantes para el beneficio económico de un centro de cultivo de ostión. Al poder comparar las distintas estrategias bajo situaciones similares, se pueden identificar las distintas ventajas y desventajas que éstas poseen. Esto permite al tomador de decisiones poder establecer los criterios con los que se desarrolla el proceso de cultivo.

En el caso específico de los resultados obtenidos durante la evaluación realizada, se pueden comparar criterios de cosecha en relación con las expectativas del centro de cultivo en términos de beneficios totales, tiempos de recuperación de inversión, beneficios esperados y requerimientos para la producción. Además de la ilustración del impacto que tendría por ejemplo la negociación de los costos de insumos y de los precios de venta de la materia prima, o mejoras tecnológicas que permitan reducir las mortalidades de los individuos.

A pesar de que en este trabajo sólo se evaluó el impacto económico de cosechar a distintos calibres, se pueden realizar evaluaciones respecto a variados criterios como lo podrían ser la distribución de las unidades de cultivo y líneas en el mar, las políticas de contratación de mano de obra, el efecto de la capacitación y tecnología en el proceso diario, el impacto que tendría un fenómeno del niño o el impacto que tendría en los precios la sobre-oferta de materia prima.

### **7.4 Observaciones generales.**

Una posible desventaja para el modelo, podría ser la rigidez en relación a la estructura y secuencia de cultivo, ya que la forma en que está construido no permite realizar modificaciones al proceso productivo (secuencia de etapas de cultivo) de forma expedita sin tener que modificar la arquitectura del mismo. Otra desventaja probable es el supuesto de trabajo de un modelo determinístico para la ocurrencia de rezagados, mortalidades, crecimiento y precio.

Finalmente, es de importancia la futura incorporación de funciones que describan el comportamiento de mortalidades y rezagos en relación con las densidades de cultivo, crecimientos específicos por zona y época del año, y efectos de los volúmenes de cosecha en los precios de venta. En conjunto con lo anterior, es también necesario el estudio de las distintas distribuciones que pudiesen describir el comportamiento independiente de estos parámetros, con el fin de poder desarrollar modelos estocásticos con un mayor nivel de generalidad y validez real.

## 8. CONCLUSIONES

Se concluye que el modelo conceptual, matemático y el modelo de simulación programado, presentan una estructura y funcionamiento coincidente con lo planteado por otros autores que han desarrollado modelos similares. Lo anterior tomando en cuenta las recomendaciones y observaciones, consideradas relevantes, que han hecho variados autores respecto al cultivo de ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) en Chile.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación económica realizada en un horizonte de diez años, se concluye que en términos de valor presente neto final, la estrategia que presenta los mejores resultados en todos los escenarios es la estrategia de cosechar al calibre medio (110 mm). Para el caso de la relación beneficio-costos, se concluye que las estrategias que presentan mayores índices de retorno, son las de cosechar al calibre mínimo (90 mm) y también la de cosechar al calibre medio.

De acuerdo al análisis de sensibilidad realizado, se puede concluir en primer lugar que la estrategia más sensible a los cambios en el valor de los factores sensibilizados, es la de cosechar al calibre máximo (130 mm). En segundo lugar, de los parámetros sensibilizados, el que presenta una mayor influencia en los resultados de la evaluación económica es el del precio, seguido por la mortalidad y en menor medida el costo de la semilla.

Se puede concluir por último, en relación a los resultados obtenidos y al comportamiento observado, que este tipo de modelos puede ser utilizado como herramienta para la generación de información al proceso de cultivo de ostión del norte, y donde dicha información puede ser relevante en el proceso de toma de decisiones para el aumento de competitividad de la industria.

## 9. REFERENCIAS

- APOOCH, Asociación de Productores de Ostiones de Chile. 2003.** *Acuerdo de producción limpia, sector de cultivadores de ostión del norte.* Agencia de Desarrollo Económico de Chile, Gobierno de Chile. Santiago, Chile : s.n., 2003. pág. 39, Informe público.
- Aquanoticias Internacional. 1998.** *Compendio de Acuicultura.* Santiago : TechnoPress, 1998. pág. 244.
- Banco Central de Chile. 2009.** Bases de datos estadísticos. *Indicadores económicos.* [En línea] Diciembre de 2009. [Citado el: 5 de Marzo de 2010.] [http://si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos/951\\_portada.asp?idioma=E](http://si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos/951_portada.asp?idioma=E).
- Bjørndal, Trond. 1990.** *The Economics of Aquaculture.* Primera Edición. London : Blackwell Scientific Publications , 1990. pág. 108. ISBN: 0-632-02704.
- Cabrera, Eliana. 2000.** *Evaluación económica de la elaboración de ostión del norte (Argopecten purpuratus) congelado, proveniente de dos sistemas de cultivo destinado al mercado francés.* Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso : s.n., 2000. pág. 58, Tesis para la obtención del título de Ingeniero Pesquero.
- Coll, Julio. 1991.** *Acuicultura marina animal.* Tercera edición. Madrid : Mundi-Prensa, 1991. pág. 670. ISBN: 84-7114-339-9.
- Cuenco, M. L. 1989.** *Aquaculture systems modeling: an introduction with emphasis on warmwater aquaculture.* International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila : ICLARM, 1989. págs. 19-46, Studies and Reviews. ISSN: 0115-4389.
- Diario el Día. 2009.** Crisis del Ostión. *Diario el Día Online.* [En línea] 10 de Febrero de 2009. [Citado el: 9 de Noviembre de 2009.] [http://www.diarioeldia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22506&Itemid=8](http://www.diarioeldia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=22506&Itemid=8).
- Espinoza, David. 2009.** *Datos relevantes acerca de los precios para el ostión del norte.* [entrev.] Renato Molina. Valparaíso, 10 de Noviembre de 2009.
- Forrester, J. W. 1961.** *Industrial Dynamics.* Massachusetts Institute of Technology Press. 1961.
- Gobierno de Chile. 1989.** Ley N° 18.892 de 1989, Ley General de Pesca y Acuicultura. Valparaíso : Diario Oficial de la República de Chile, 1989, Artículo 2, Párrafo 10.
- Hannon, Bruce y Ruth, Mathias. 1994.** *Dynamic Modeling.* First Edition. New York : Springer, 1994. pág. 388. ISBN: 0-387-94287-4.

- Hegselmann, R., Mueller, U. y Troitzsch, K. G., [ed.]. 1996.** *Simulation and Modeling in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht : Kluwer Academics Publishers, 1996. págs. 77-100. ISBN: 0-7923-4125-1.
- IFOP. 1994.** *Diagnóstico de pesquerías bentónicas. SGI 94/1*. Instituto de Fomento Pesquero. Valparaíso : s.n., 1994. págs. 74-97, Informe Técnico.
- IFOP. 1997.** *Estado de situación y perspectiva de la acuicultura en Chile. Cultivo de ostiones*. Instituto de Fomento Pesquero. Valparaíso : s.n., 1997. págs. 63-87, Informe Técnico.
- Illanes, J. 1990.** *Cultivo del ostión del norte, Argopecten purpuratus*. Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina, CIID-Canadá. Bogotá : s.n., 1990. págs. 211-230, Memorias Segunda Reunión de Trabajo Técnico, Ancud, Chile.
- Karplus, Walter J. 1977.** *The spectrum of mathematical modeling and system simulation*. Los Angeles : Elsevier Ltd., 1977. págs. 3-10. ISSN: 03784754.
- Kirkwood, C. W. 1998.** *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Tempe : College of Business, Arizona State University, 1998. pág. 117.
- Kitching, R. L. 1983.** *System ecology: an introduction to ecological modelling*. St. Lucia : University of Queensland Press, 1983. págs. 191-208. ISBN: 0702218138.
- Moreno, C. 1998.** *Factibilidad económica de un centro productor de semilla de ostión del norte (Argopecten purpuratus) en ambiente controlado y natural*. Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso : s.n., 1998. pág. 86, Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero.
- Olivari, R., Arratia, M. y Paredes, M. O. 1998.** *Evaluación técnica del cultivo del ostión del norte en la Bahía Yal, X Región*. Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso : s.n., 1998. Estudios y documentos
- Pacheco, E. 1979.** *Determinación de la edad en ostiones de la zona de Valparaíso (Chlamys purpurata Lamarck 1819) un análisis comparativo de diferentes metodologías para la identificación de anillos de crecimiento*. Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso : s.n., 1979. pág. 94, Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero.
- Pavez, David. 2009.** Trabajadores del ostión advierten crisis en la industria y de inminente cierre de plantas. *Diario el Día Online*. [En línea] 23 de Junio de 2009. [Citado el: 9 de Noviembre de 2009.]  
[http://www.diarioeldia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22423&Itemid=26](http://www.diarioeldia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=22423&Itemid=26).

- Pelot, R. P. y Zwicker, W. 2006.** *Simulation for Scallop Aquaculture Inventory Management*. Department of Industrial Engineering, Dalhousie University. Halifax : s.n., 2006. pág. 6, 19th International Conference on Production Research.
- Piedrahita, R. H. 1988.** *Introduction to computer modeling for aquaculture ponds ecosystems*. 1988. págs. 1-12.
- Sapag, Nassir y Sapag, Reinaldo. 2000.** *Preparación y evaluación de proyectos*. [ed.] Patricia Ortega. Cuarta edición. Santiago : McGraw Hill, 2000. pág. 408. ISBN: 978-9562782067.
- SERNAPESCA. 2009.** Publicaciones, Anuarios Estadísticos de pesca. [En línea] 22 de Diciembre de 2009. [Citado el: 3 de Marzo de 2010.] [http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com\\_remository&Itemid=54&func=select&id=2](http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=54&func=select&id=2).
- Sparre, Per y Venema, Siebren C. 1995.** *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. [ed.] Patricio Arana. [trad.] Patricio Arana. Documento técnico de pesca FAO. 306/1. Valparaíso : Editorial Universitaria, 1995. págs. 47-52. Vol. 1. ISBN: 92-5-303122-0.
- Stotz, W. y González, S. 1997.** *Abundance, growth, and production of the sea scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819): bases for sustainable exploitation of natural scallop beds in north-central Chile*. s.l. : ELSEVIER, 1997. págs. 137-183. ISSN: 0165-7836.
- Sturla, L. 1993.** *Materiales y costos de producción*. s.l. : Universidad Católica del Norte, 1993. págs. 477-493, Memoria IV Curso Internacional en Cultivo de Moluscos.
- SUBPESCA. 2010.** *Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura*. Departamento de Análisis Sectorial, Subsecretaría de Pesca, Ministerio de Economía, Gobierno de Chile. Valparaíso, Chile : s.n., 2010. pág. 22, Económico.
- Villalejo Fuerte, Marcial; Arellano Martinez, Marcial; Robles Mungaray, Miguel; Ceballos Vásquez, Bertha Patricia otros. 2004.** *Notes on the Growth, survival, and reproduction of the lion's paw scallop (*Nodipecten subdonosus*) maintained in a suspended culture*. Iztapalapa : Universidad Autónoma Metropolitana, Noviembre de 2004, Hidrobiológica, Vol. 14, págs. 161-165. ISSN: 0188-8897.
- Wadsworth, J. 1997.** *Análisis de sistemas de producción animal - Tomo 2: Las herramientas básicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma : s.n., 1997. págs. 8-20, Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 140/2. ISBN: 92-5-304088-2.
- Zuñiga, Sergio. 2008.** *Optimización económica de sistemas dinámicos con Stella®. Momento óptimo de cosecha en el cultivo del salmón*. La Serena : Universidad Católica del Norte, 2008, Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica del Norte, Vol. XI, págs. 78-84.

## **ANEXOS**



**ANEXO I**  
**Datos utilizados para la simulación del modelo**

Tabla 10: Tabla de datos de entrada para la estrategia de siembra

Semana siembra Batch 1	1
Semana siembra Batch 2	2
Semana siembra Batch 3	3
Semana siembra Batch 4	25
Semana siembra Batch 5	26
Semana siembra Batch 6	27
Cantidad de semillas a sembrar	2.500.000

Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 11: Constantes de mortalidad para el proceso de cultivo

Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 12: Constantes de densidad de cultivo y porcentaje de rezagados por etapa

<b>Etapa</b>	<b>Densidad de cultivo</b>	<b>Unidades</b>	<b>% Rezagados por etapa</b>
Pearl net	500	ostiones/pearlNet	35%
Linterna inicial	50	ostiones/piso	35%
Linterna final	25	ostiones/piso	0%

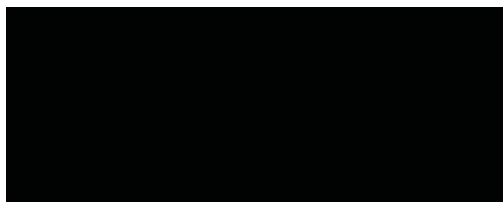
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 13: Distribución de las unidades de cultivo en el sistema de suspensión

Unidad de cultivo	Cantidad	Unidades
<b>Pearl net</b>		
Pearl net	10	pearlnet/reinal
Reinales	99	reinal/línea
<b>Linterna inicial</b>		
Pisos	10	pisos/linterna
Linternas	99	linterna/línea
<b>Linterna final</b>		
Pisos	10	pisos/linterna
Linternas	99	linterna/línea
<b>Líneas</b>		
líneas	99	línea/hectárea

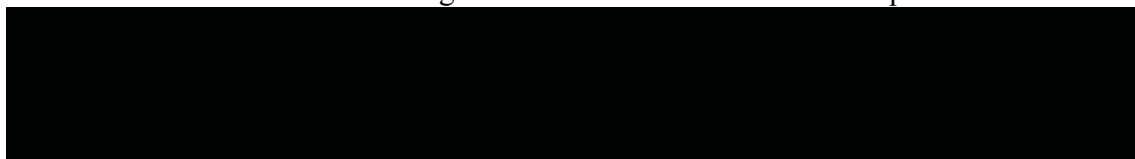
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 14: Parámetros de la función de crecimiento de Von Bertalanffy



Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000), Moreno (1998), y Stotz y González (1997).

Tabla 15: Parámetros de longitud asociados al término de las etapas de cultivo



Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 16: Datos de operación del centro de cultivo

Item	Unidades	Cantidad
Contratación inicial mano de obra	personas	10
Porcentaje de reclutamiento de temporeros		5%
Duración contrato de planta	semanas	530
Duración contrato de temporada	semanas	12
Líneas mantenidas por trabajador de planta	línea/persona/semana	35
Líneas mantenidas por trabajador de temporada	línea/persona/semana	20
Embarcaciones de cultivo iniciales	bote	0
Líneas mantenidas por embarcación de cultivo	línea/bote/semana	100
Barcazas existentes	barcaza	3
Hectáreas disponibles	hectárea	20

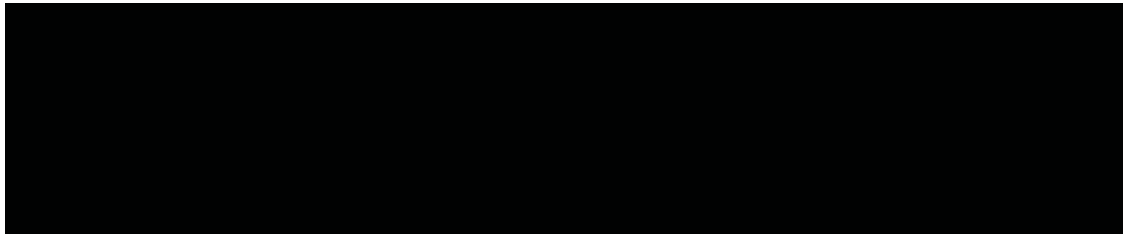
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 17: Datos de costos para la adquisición de insumos productivos



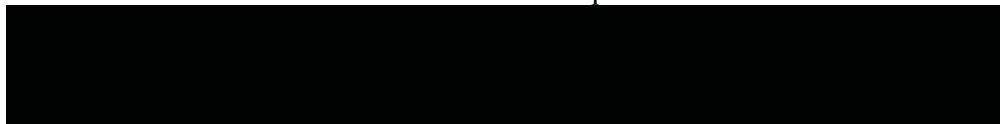
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 18: Datos de costos relativos a la mano de obra



Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 19: Datos de costos relativos a la operación de embarcaciones



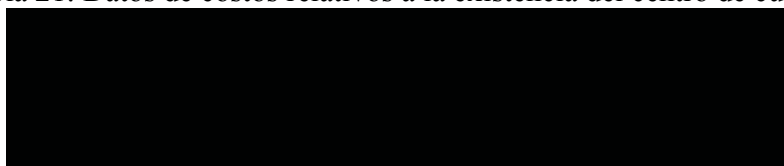
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 20: Datos de costos relativos al almacenamiento de material y embarcaciones

Item	Costo UF	Costo pesos
Almacenamiento líneas	0.001	\$ 20.00
Almacenamiento pearl net	0.001	\$ 20.00
Almacenamiento linternas	0.001	\$ 20.00
Almacenamiento botes	0.005	\$ 100.00
Almacenamiento barcazas	0.006	\$ 120.00

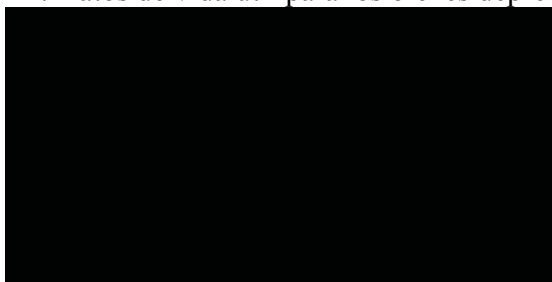
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 21: Datos de costos relativos a la existencia del centro de cultivo



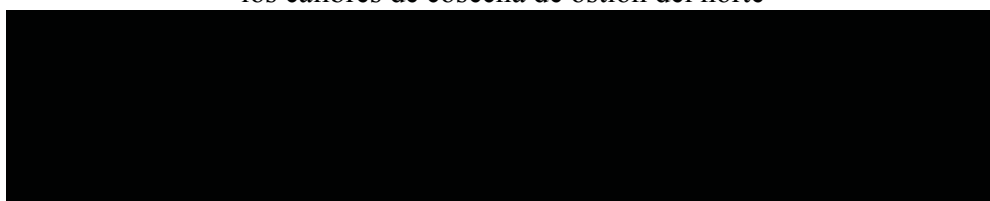
Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 22: Datos de vida útil para los bienes depreciables



Fuente: Elaborado en base a los datos de Cabrera (2000) y Moreno (1998).

Tabla 23: Datos de longitud de corte y de precios constantes y de temporadas de alza para los calibres de cosecha de ostión del norte



Fuente: Elaborado en base a la información otorgada por Espinoza(2009).

La Tabla 23 fue elaborada en función a los datos suministrados por un integrante de la Asociación Gremial de Acuicultores y Profesionales de la Acuicultura de Atacama (ACUPRAT) en una entrevista telefónica en Noviembre del 2009. En esta se señaló que en temporadas específicas el precio del ostión podía alcanzar alzas definidas de \$50 pesos para el precio de cada calibre (Espinoza, 2009).

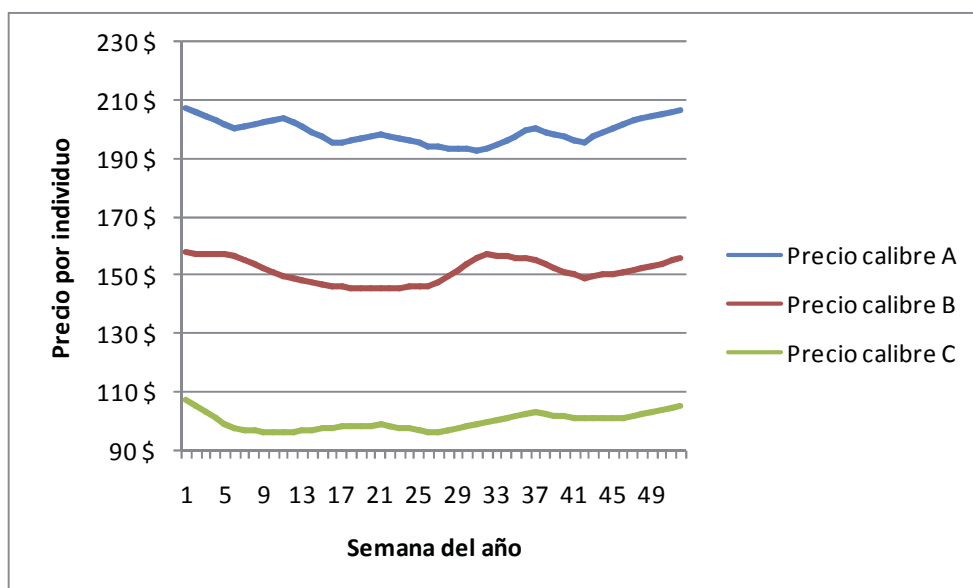


Figura 22: Variación anual de los precios para los calibres de cosecha de ostión del norte  
Fuente: Elaborado en base a la información otorgada por Espinoza(2009).

La Figura 22 representa el comportamiento de los precios para el escenario II, dentro de los periodos anuales. Esto en base a la información obtenida a la entrevista al miembro de ACUPRAT. Este señaló que la variación normal de precios para los calibres se daba aproximadamente en  $\pm$ \$10 pesos del precio normal de los calibres (Espinoza, 2009).

Tabla 24: Constantes para el valor del dinero en el tiempo

Item	Valor	Unidades
Valor UF	\$ 20.017,00	pesos
Tasa de interés	0,04%	anual
Tasa de descuento	0,40%	anual

Fuente: Elaborado en base a la información del Banco Central (2009)

**ANEXO II**  
**Diagramas de Forrester (1961) para el modelo en Stella®**

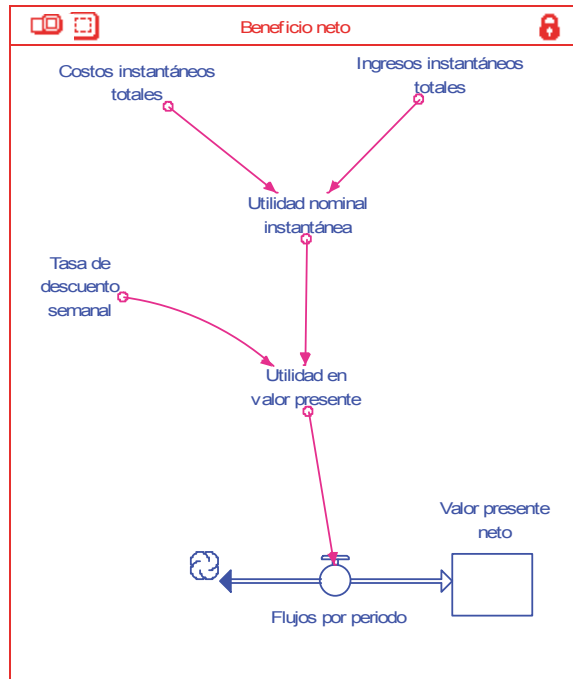


Figura 23: Diagrama dinámico para el cálculo de valor presente neto  
 Fuente: Elaboración propia.

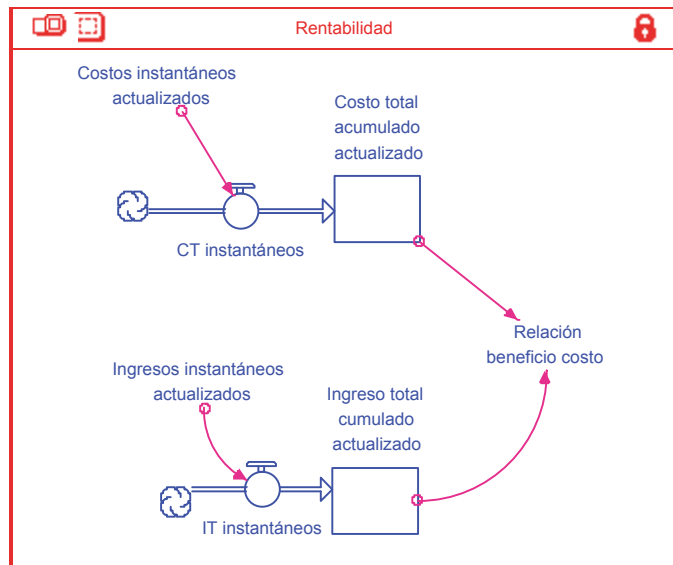


Figura 24: Diagrama dinámico para el cálculo de la rentabilidad  
 Fuente: Elaboración propia.

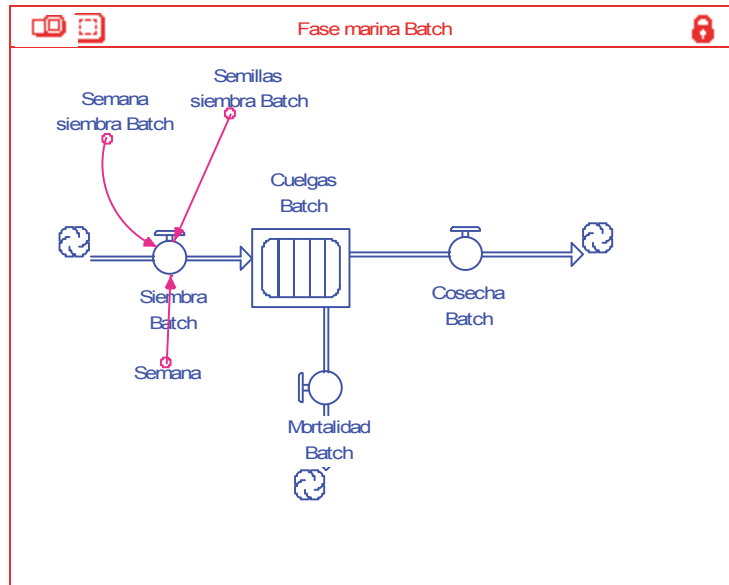


Figura 25: Diagrama dinámico para la representación del stock por cada batch en la etapa de cultivo en agua de mar  
Fuente: Elaboración propia

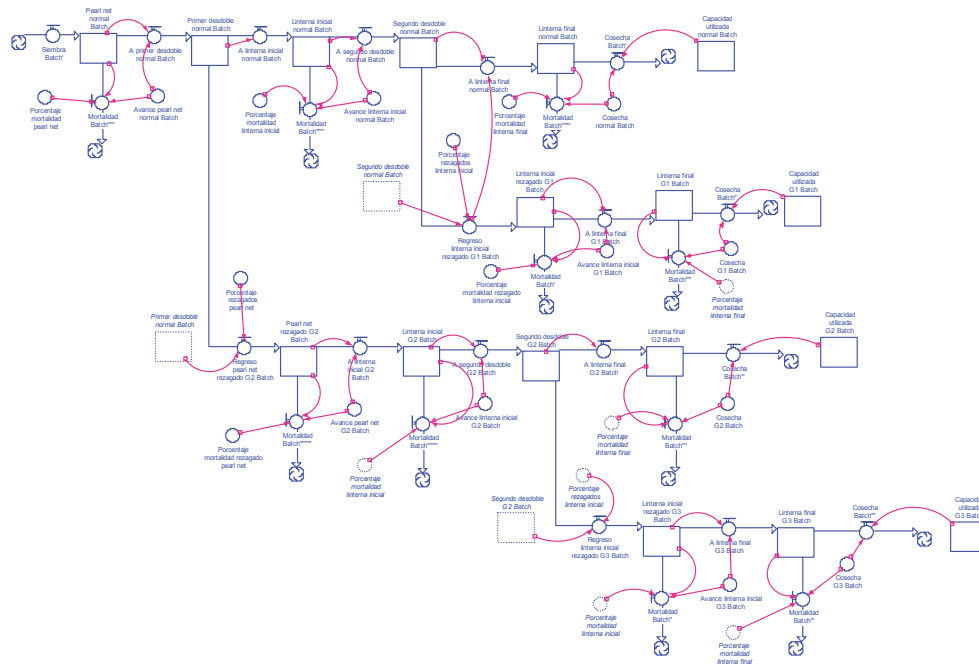


Figura 26: Diagrama dinámico para la producción en agua de mar  
Fuente: Elaboración propia.

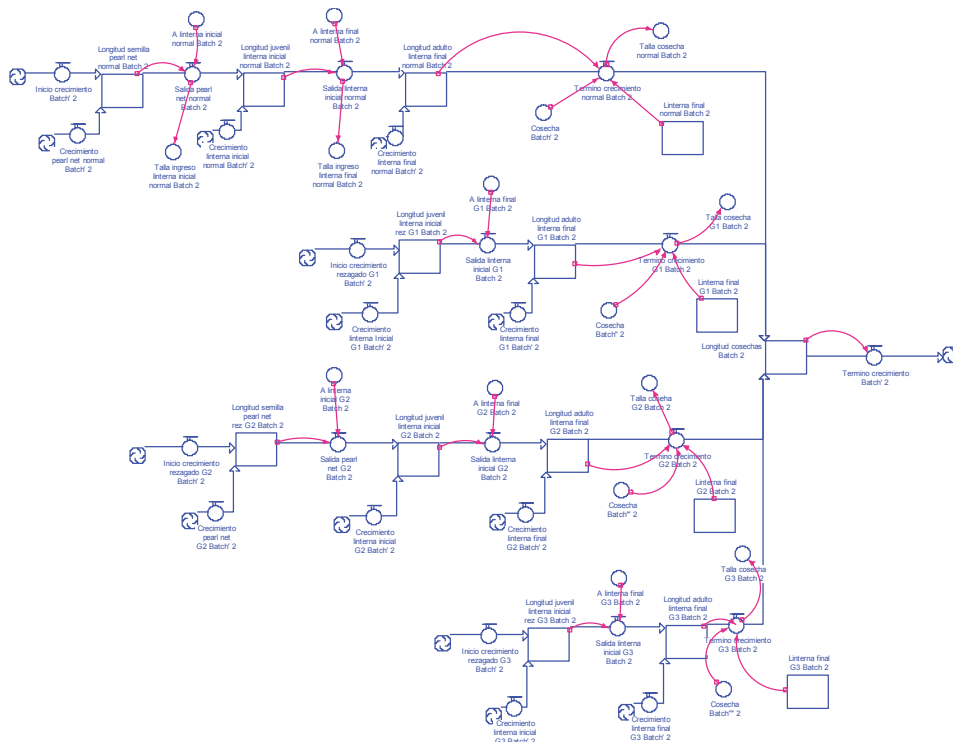


Figura 27: Diagrama dinámico para el crecimiento en el modelo

Fuente: Elaboración propia

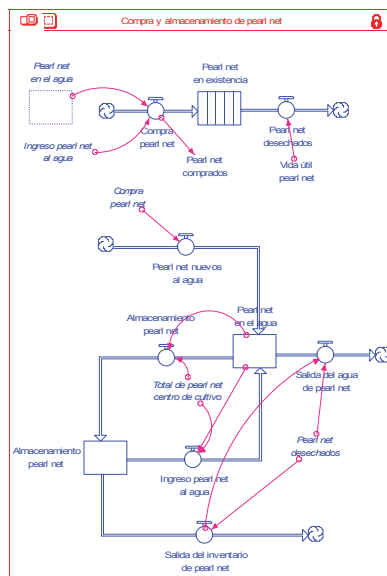


Figura 28: Diagrama dinámico para el stock de pearl net en el modelo

Fuente: Elaboración propia.



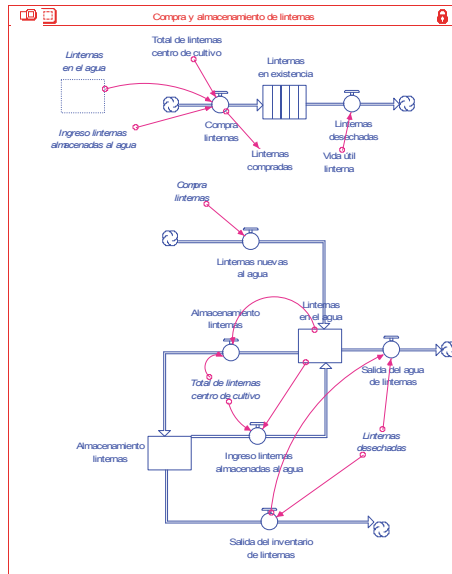


Figura 29: Diagrama dinámico para el stock de linternas en el modelo  
Fuente: Elaboración propia.

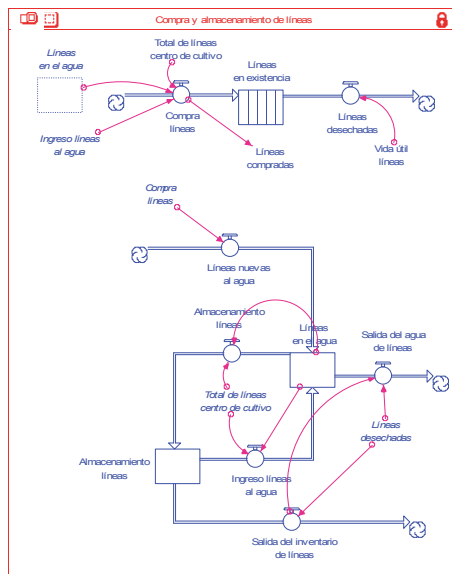


Figura 30: Diagrama dinámico para el stock de líneas en el modelo  
Fuente: Elaboración propia.

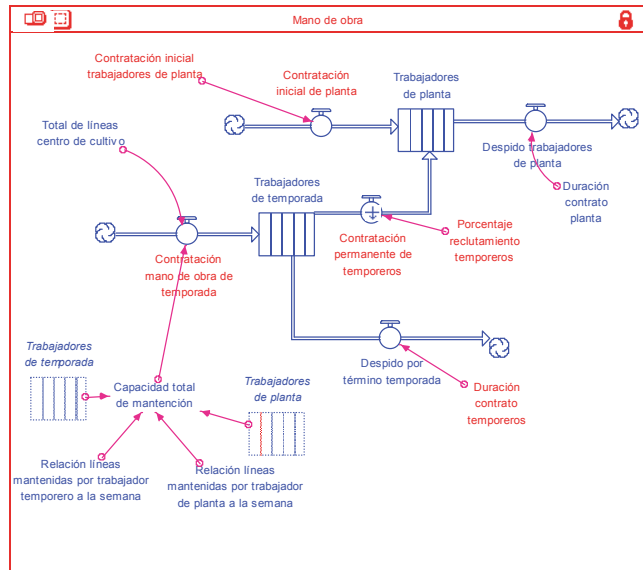


Figura 31: Diagrama dinámico para la mano de obra en el modelo  
Fuente: Elaboración propia.

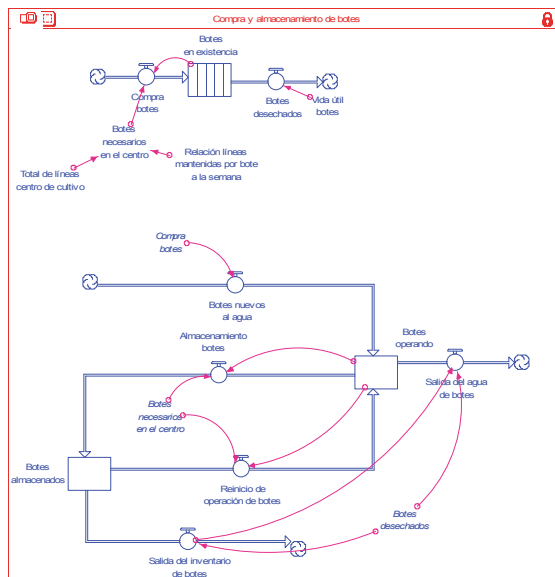


Figura 32: Diagrama dinámico para las embarcaciones de mantenimiento en el modelo  
Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO III**  
**Resultados de la simulación de estrategias**

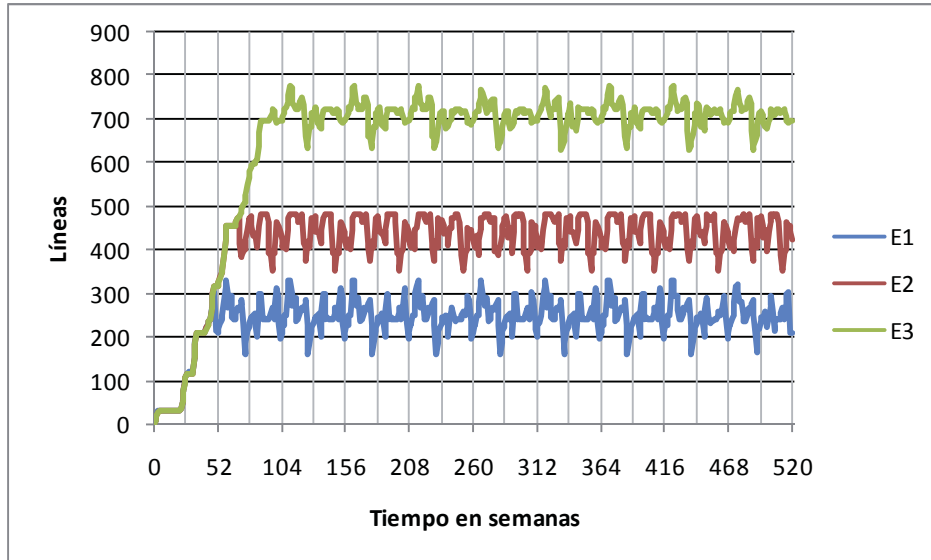


Figura 33: Utilización de líneas para cada estrategia  
sin condición de precio-dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

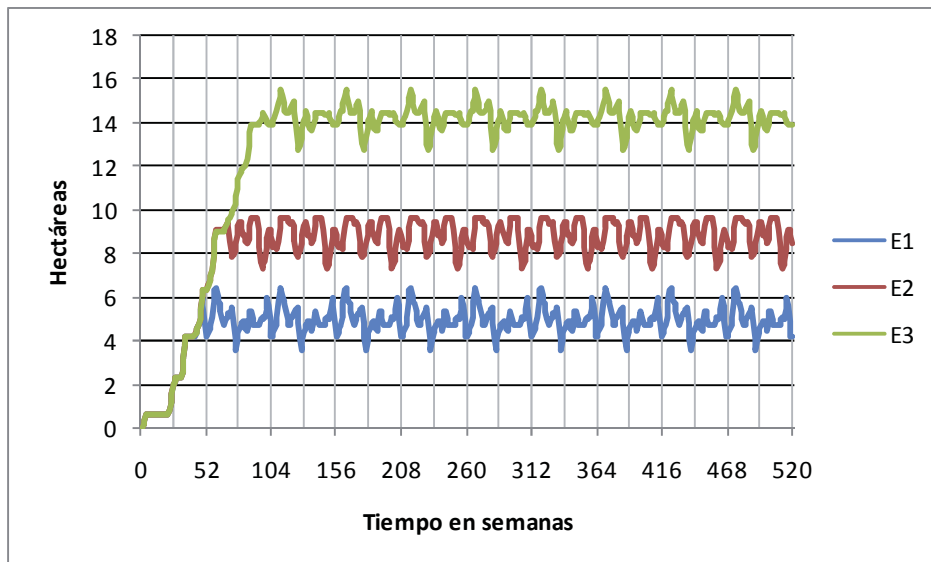


Figura 34: Utilización de hectáreas para cada estrategia  
sin condición de precio-dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

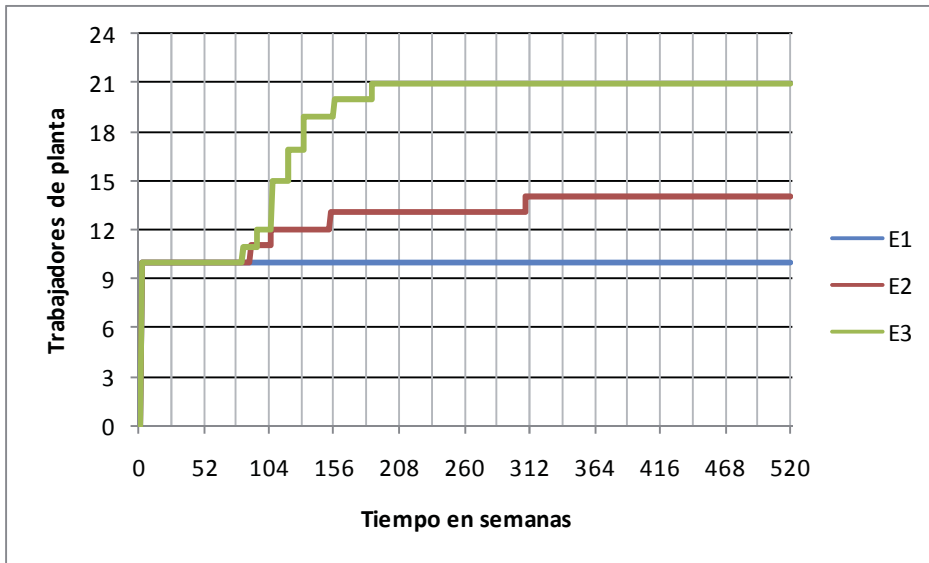


Figura 35: Mano de obra de planta utilizada por las estrategias sin condición de precio dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

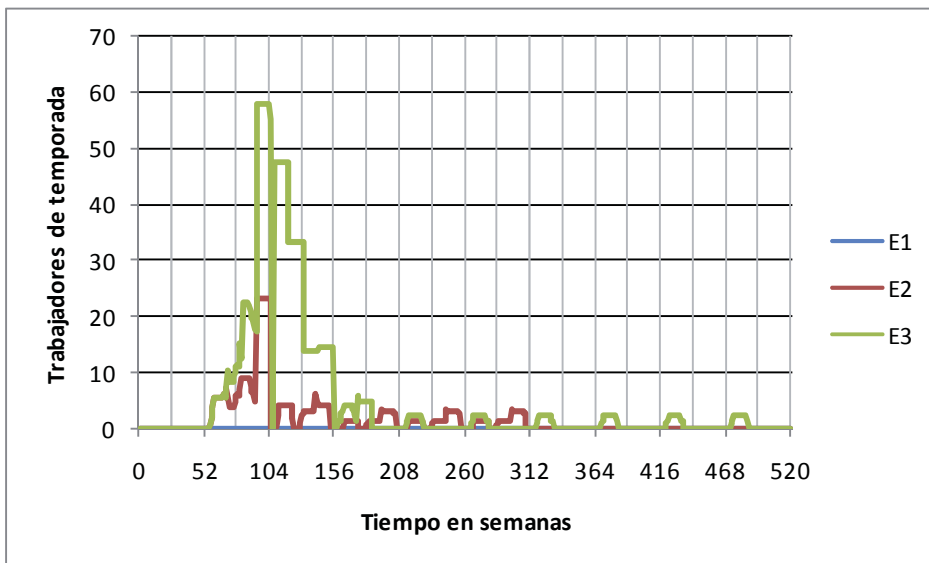


Figura 36: Mano de obra temporal utilizada por las estrategias sin condición de precio dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

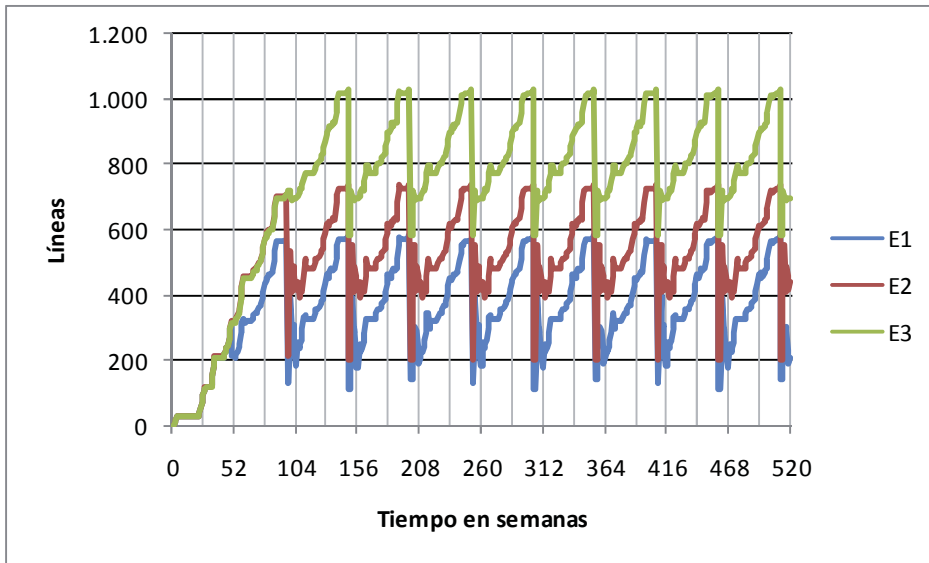


Figura 37: Utilización de líneas para cada estrategia con condición de precio-dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

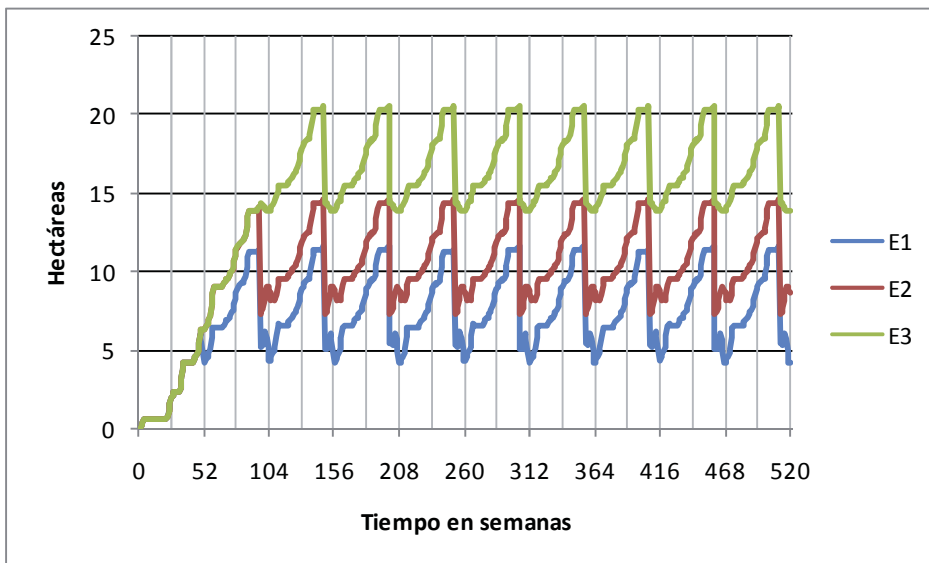


Figura 38: Utilización de hectáreas para cada estrategia con condición de precio-dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

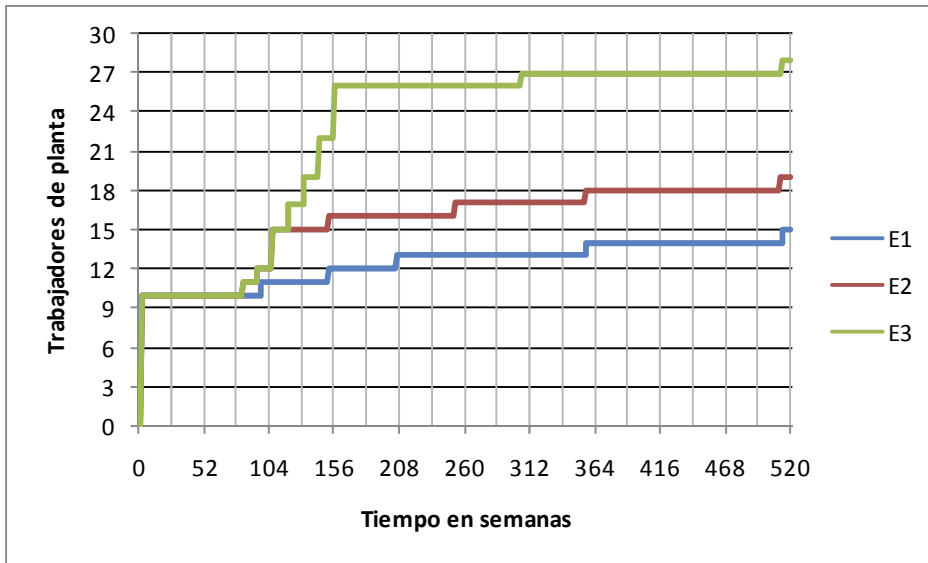


Figura 39: Mano de obra de planta utilizada por las estrategias con condición de precio dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

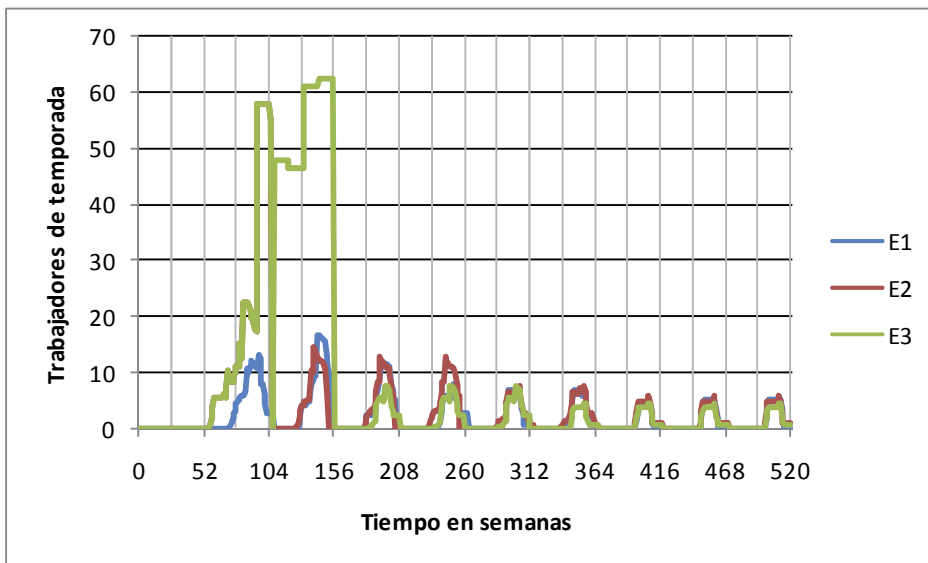


Figura 40: Mano de obra temporal utilizada por las estrategias con condición de precio dependencia  
Fuente: Elaboración propia.

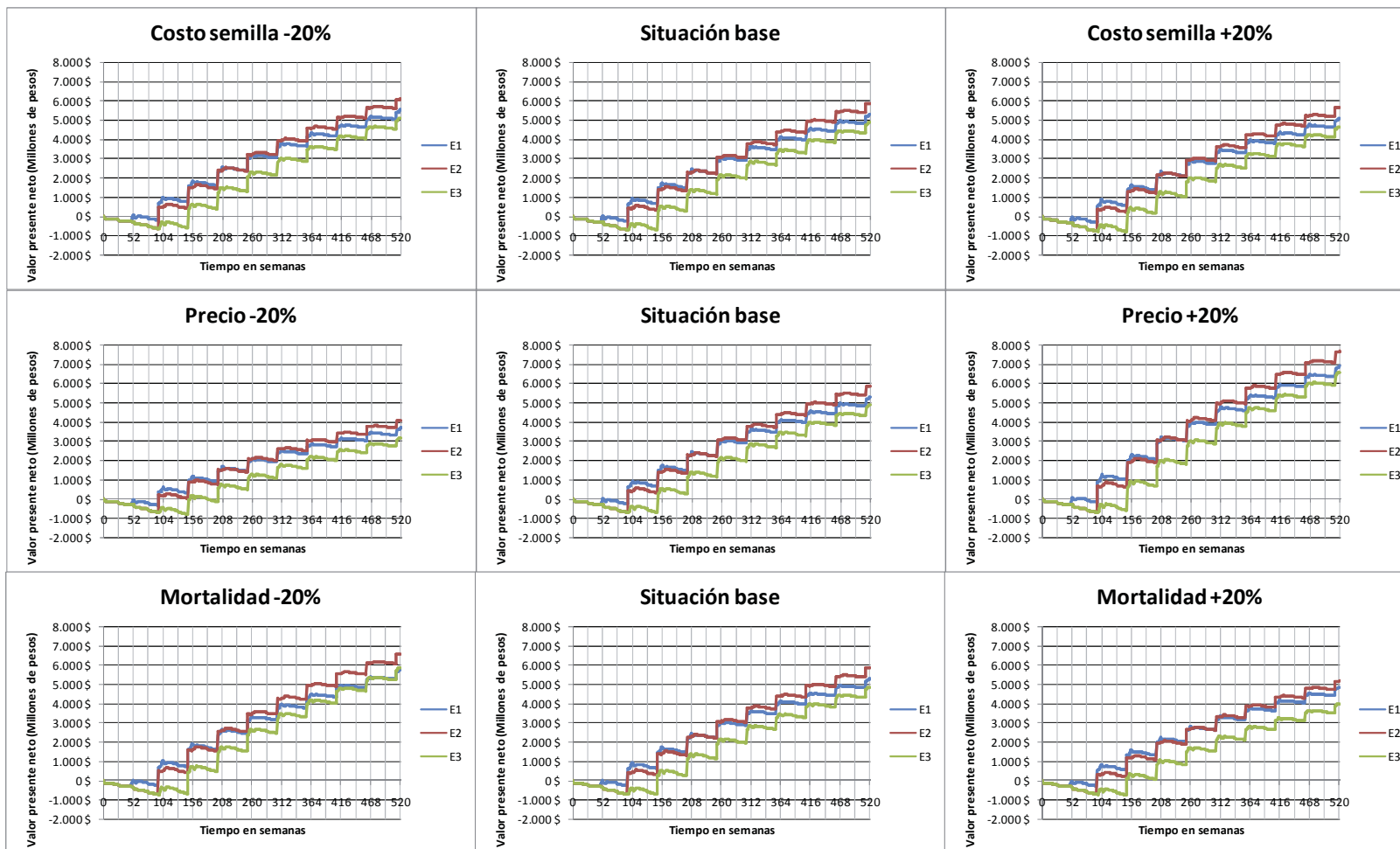


Figura 41: Resultados del análisis de sensibilidad para los distintos parámetros  
Fuente: Elaboración propia.