

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

**BIOECONOMÍA DEL CULTIVO DE DORADA (SPARUS
AURATA)**

JOSÉ FRANCISCO EUCARIO GASCA LEYVA

Las Palmas de Gran Canaria, julio de 1999

59/1998-99

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
UNIDAD DE TERCER CICLO Y POSTGRADO

Reunido el día de la fecha, el Tribunal nombrado por el Excmo. Sr. Rector Magfco. de esta Universidad, el/a aspirante expuso esta TESIS DOCTORAL.

Terminada la lectura y contestadas por el/a Doctorando/a las objeciones formuladas por los señores miembros del Tribunal, éste calificó dicho trabajo con la nota de Juan Antonio Cruz Lende

Las Palmas de Gran Canaria, a 7 de julio de 1999.

El/a Presidente/a: ~~Dr. D. Eladio Sartaella Alvarez,~~

El/a Secretario/a: ~~Dra. Dña. María Sole~~

El/a Vocal: Dr.D. Ginés de Rus Mendoza,

El/a Vocal: Dr.D. Ramón ~~Franquesa~~ Artes,

El/a Vocal: Dr.D. Daniel ~~Montero~~

El Doctorando: D. José Francisco E. Gasca Leyva,

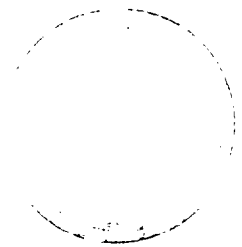
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

TESIS DOCTORAL

BIOECONOMIA DEL CULTIVO DE DORADA
(*Sparus aurata*)

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003



JOSE FRANCISCO EUCARIO GASCA LEYVA

1999

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DOCTORADO EN BIOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA EN ACUICULTURA

BIOECONOMIA DEL CULTIVO DE DORADA
(*Sparus aurata*)

Tesis Doctoral presentada por D. José Francisco Eucario Gasca Leyva.
Codirigida por el Dr. D. José Manuel Vergara Martín, Dr. D. Carmelo León
González y Dr. D. Juan Hernández Guerra.

Los Directores

El Doctorando

Las Palmas de Gran Canaria, a de julio de 1999.

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

A los doctores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria José Manuel Vergara Martín del Departamento de Biología, por tener la confianza para iniciar este estudio; Juan María Hernández Guerra del Departamento de Métodos Cuantitativos, por su dirección en las técnicas utilizadas; y a Carmelo León González del Departamento de Análisis Económico por su confianza, optimismo de que esto era posible, y la ilusión puesta en este trabajo que me animó en todo momento a continuar hasta el final. A los tres que me han transmitido su gran rigor científico, y su decidida colaboración multidisciplinaria aceptada para realizar este trabajo.

A D. Hipólito Fernández-Palacios y Dr. Octavio Llinás González del Instituto Canario de Ciencias Marinas por brindarme sus instalaciones y apoyo técnico.

A mis compañeros y personal del Instituto Canario de Ciencias Marinas y de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria por su amistad y compañerismo.

A Mireya y Eu Esteban por su motivación, paciencia y cariño permanente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la concesión de una beca que me ha permitido la realización de esta tesis doctoral, y en especial al personal, con su voluntad y afán en solucionar todos los inconvenientes que se presentan en la vida de un becario.

INDICE

<u>Resumen</u>	vi
<u>1. Introducción</u>	1
1.2. Objetivos del estudio	5
<u>2. Antecedentes</u>	8
2.1. El ciclo de vida de dorada en cultivo	9
2.2. Decisiones en las empresas de acuicultura	12
2.2.1. Estrategia de Mercado	13
2.2.2. Tamaño de la granja	15
2.2.3. Tecnología	17
2.2.3.1. Costes de producción	20
2.2.4. Ubicación del sistema de producción	22
2.3 Decisiones de operación a corto plazo	23
2.3.1 La temperatura del agua	24
2.3.2. Algunos parámetros de calidad del agua	25
2.3.3. Alimentación	27
2.3.3.1. Calidad de los peces	29
2.3.4. Densidad en los sistemas de producción	31
2.4. Crecimiento y supervivencia	33
2.5. La modelización	37
2.5.1. Modelización bioeconómica	38
2.5.1.1. Los modelos biológicos	40
2.5.1.2. Los modelos económicos	44

2.6. Resumen de modelos bioeconómicos	47
2.6.1. Dos ejemplos de modelos de optimización en acuicultura	54
2.7. Economía del cultivo	63
2.7.1. La función de producción	63
2.7.2. La optimización económica del sistema	64
2.7.3. Economías de escala	67
2.7.4. El análisis económico	69
 <u>3. Material y Métodos</u>	 73
3.1. El modelo conceptual	74
3.2. Origen de la información	75
3.3. El sistema de cultivo en jaulas y las variables en el modelo del sistema	76
3.4. El modelo matemático	81
3.4.1. Submodelo biológico	81
3.4.1.1. El modelo de crecimiento	82
3.4.1.1.1. La función de peso	83
3.4.1.1.1.1. Elección de los parámetros para f_1	83
3.4.1.1.2. La función térmica	85
3.4.1.1.3. La función de alimentación	86
3.4.1.1.3.1. Elección empírica del índice de conversión	90
3.4.1.1.4. Transformación del índice de conversión de alimento	93
3.4.1.2. Mortalidad	94
3.4.1.3. Requerimientos de oxígeno	95
3.4.2. Submodelo de manejo de las jaulas	96

3.4.2.1. Número de peces	96
3.4.2.2. Siembra	97
3.4.2.3. Cosecha	98
3.4.2.4. Biomasa	99
3.4.2.5. Densidad	99
3.4.3. Submodelo económico	100
3.4.3.1. Evaluación económica de la producción	100
3.4.3.2. Ingresos brutos	101
3.4.3.3. Ingresos netos	101
3.4.3.4. Valor presente neto	102
3.4.3.5. Depreciación	102
3.4.4. Submodelo ambiental	103
3.5. La incertidumbre en el modelo	104
3.6. Análisis coste beneficio del sistema de producción	105
3.7. Elementos de análisis del sistema bioeconómico empresarial	105
3.7.1. Análisis de sensibilidad	106
3.7.2. Costes de inversión según el tamaño de la granja	107
3.7.3. Efecto de la capacidad de la granja	107
3.7.4. Optimización del cultivo	109
3.7.5. Competitividad en Canarias	109
<u>4. Resultados y Discusión</u>	110
4.1. El escenario de Canarias	112
4.1.1. Costes de inversión del sistema de producción	113

4.1.2. El análisis bioeconómico	116
A) El modelo de producción y sus resultados	118
B) Análisis económico	125
4.1.3. Análisis de sensibilidad	129
4.1.4. Efecto de la capacidad de la planta	133
4.1.4.1. Costes de inversión según el tamaño de la granja	134
4.1.4.2. Producción única de talla Selecta	136
4.1.4.3. Producción conjunta de Selecta y Super	139
4.1.4.4. Coste medio	143
4.1.4.5. Optimización del cultivo	146
A) Incremento de la densidad de cultivo	146
B) Escala de granja óptima	148
C) Estrategias de manejo	150
4.2. Efecto de la localización: El escenario del Mediterráneo	160
4.2.1. Análisis económico	167
4.2.2. El coste medio	171
4.2.3. Análisis de sensibilidad	174
4.2.4. Racionamiento al 90%	180
4.2.5. Incremento de la mortalidad	182
4.2.6. Escala de granja óptima	184
4.3. Competitividad en Canarias	186
 <u>5. Síntesis y conclusiones</u>	 195
 <u>6. Referencias bibliográficas</u>	 203
 <u>7. Lista de figuras</u>	 220
 <u>8. Lista de tablas</u>	 224

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló un modelo bioeconómico para la evaluación económica y de la producción de dorada en jaulas flotantes. Este modelo de sistema incluye a su vez cuatro submodelos: biológico, ambiental, de gestión de la producción y económico. El primero de ellos contiene un modelo dinámico de crecimiento que se fundamentó en la fisiología de esta especie, y en datos comerciales y experimentales de su cultivo. Este modelo constituye una parte medular del modelo bioeconómico, y genera resultados diarios de crecimiento, alimento consumido e índices de conversión de alimento de acuerdo a la temperatura del agua, la ración y el peso inicial de los peces, hasta tallas comerciales. El modelo de crecimiento así desarrollado junto al resto de los modelos y submodelos que forman parte del modelo bioeconómico, permitió estudiar escenarios diversos de producción, incluyendo diferentes decisiones técnicas de producción, mercadotecnia, cambios de factores ambientales, biológicos y de mercado, así como diferentes tamaños de empresas.

El modelo bioeconómico se implementó en un programa informático para la modelización y simulación de sistemas dinámicos, utilizando el método de integración de Euler, con intervalos temporales diarios. Se realizaron diversos análisis para dos áreas geográficas diferentes donde se cultiva comercialmente esta especie: Las Islas Canarias y el Mediterráneo. Para estas dos áreas se simularon diferentes tamaños de granja, incluyendo aquéllos más frecuentes en la realidad actual de ambos sitios. De esta forma, se obtuvo el tamaño de granja óptimo para cada una de estas áreas geográficas. En cuanto a los análisis relacionados con mercadotecnia, los resultados sugieren diferentes productos a obtener para el área canaria, que se contrastan con los costes extras derivados de la insularidad, obteniéndose en algunos casos beneficios significativos. Se estudio la sensibilidad de estos sistemas de cultivo y se compararon con análisis de base, así como los rendimientos para las diferentes escalas, observándose que la producción es más sensible a cambios técnico-biológicos, de mercado y ambientales en el Mediterráneo. Sin embargo, en los dos lugares se obtuvieron rendimientos de escala crecientes. Finalmente, se estudiaron diferentes estrategias de cultivo, buscando su optimización, y se determinó en qué condiciones las diferentes escalas óptimas resultaron más y menos rentables.

1. INTRODUCCION

Mucho ha cambiado la tecnología del cultivo de dorada y lubina (*Dicentrarchus labrax*) desde los primeros sistemas que se desarrollaron para producir estas especies. El número de empresas de engorde es en la actualidad alrededor de 500 (Figura 1.1) y las cifras de producción han pasado de 2200 a 76000 Tm/anuales de 1985 a 1998 (JOSUPEIT, 1995; FEAP: www.feap.org), lo que en buena parte se debe al desarrollo técnico de dichos cultivos. La producción de estas dos especies en España en 1998 fue de 6900 Tm de dorada y de 1200 Tm de lubina. La producción de estas dos especies siempre ha estado ligada, debido a las similares características de las técnicas empleadas para su cultivo. En nuestro estudio, cuya orientación económica se concentra en la dorada, algunas veces aludimos a ambas, debido a que las referencias así lo hacen.

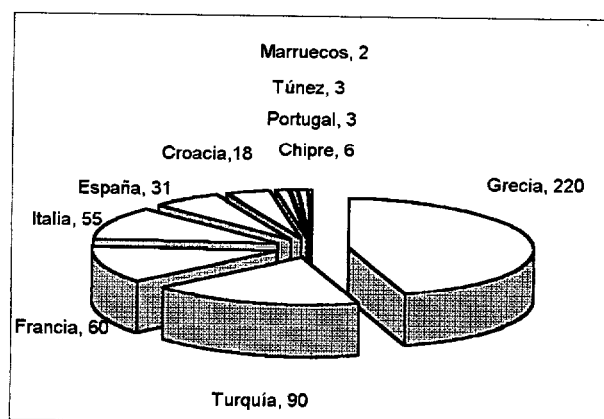


Figura 1.1. Empresas de dorada y lubina esparcidas en el mar Mediterráneo (STEPHANIS, 1996).

La dorada se ha cultivado básicamente en países que tienen costas en el mar Mediterráneo, siendo muy difícil representar acertadamente la diversidad de sistemas de producción que actualmente operan, pues toda la gama de

condiciones ambientales, mercados en que estas empresas operan y factores geográficos, confieren combinaciones de características únicas a estas empresas. El desarrollo se inicia en forma extensiva en lagunas costeras donde se confinaban a los peces en estados juveniles y se pescaban en tallas comerciales (ARIAS, 1976). El cultivo semi-intensivo en jaulas rústicas, instalándose en zonas protegidas, no producía lo suficiente para satisfacer la demanda, lo que aunado con la poca circulación del agua en estos sitios, no permitió el paso a la intensificación de estos sistemas (RAYNER *et al.*, 1977; BERMUDEZ *et al.*, 1989). En Francia se ha puesto énfasis en el desarrollo del cultivo en tanques, pero este sistema resulta hoy en día poco rentable (BLAKSTAD *et al.*, 1996), aunque en países con características ambientales particulares han tenido que buscar soluciones técnicas no siempre de menor coste (DE LA POMELIE, 1995).

La innovación de sistemas para el cultivo de dorada y lubina ha sido impulsada por diversos factores, siendo uno de ellos la competencia por el uso del litoral (i.e. la industria turística) (BARBATO *et al.*, 1993), por lo que la tendencia ha sido la de desplazarse hacia lugares en mar abierto. Actualmente existen en experimentación sistemas muy sofisticados, controlados por ordenador, que se mantienen sumergidos en mar abierto y que son re-flotados para la siembra y la cosecha. Estos sistemas ya se han comenzado a utilizar para dorada y lubina (DEGUARA, 1998), pero son muy costosos, y con el descenso constante en los precios comerciales de estas especies (JOSUPEIT, 1995), habrá que calcular correctamente los costes y los beneficios para su empleo (MUIR, 1997).

La producción actual de dorada está basada en una gran proporción en

jaulas flexibles flotantes -una tecnología reciente- que se practica en lugares semi-expuestos, con mayor rentabilidad que otro tipo de sistemas intensivos basados en tierra (BLAKSTAD *et al.*, 1996). Esta tecnología tiene sus orígenes en las jaulas rústicas que se utilizaban en Asia y en ciertos esteros, siendo las exigencias del mercado (la demanda), el turismo y las condiciones ambientales del Mediterráneo, algunos de los factores que han impulsado su desarrollo en esta área.

La naturaleza diversa del cultivo de dorada y la dificultad para obtener datos de las empresas de este ramo, han contribuido a que existan pocos estudios de origen económico (GASCA-LEYVA *et al.*, 1998). Los pocos trabajos que existen se enfocan en una o dos tecnologías de producción, ofrecen resultados preliminares, son para tamaños particulares de operación y predeterminadas estrategias de mercado (DE LA POMELIE, 1995; STEPHANIS, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996).

Por otro lado, la modelización de sistemas de acuicultura para estudiar la industria del cultivo acuícola ha tenido un desarrollo apreciable en los últimos años. Básicamente se ha centrado en especies con alto potencial de mercado, como los penéidos y los salmónidos (LEUNG y SHANG, 1989; BJORNDAL, 1990), cuya tecnología está mucho más desarrollada que la de las especies Mediterráneas. La optimización de estrategias de cultivo ha sido foco de interés en muchos de estos trabajos, poniendo particular atención en la alimentación y la cosecha (ARNASON, 1992; BJORNDAL, 1988; HEAPS, 1993). La técnica de simulación utilizada en estos sistemas ha contribuido a estudiar también las economías de escala y la comercialización de productos piscícolas (SHIGEYAWA y LOGAN, 1986; LOGAN *et al.*, 1995), el efecto económico de la

producción conjunta de peces, pollos y semillas (BACON *et al.*, 1994), y la calidad y cantidad de la alimentación en el cultivo de peces (CACHO *et al.*, 1990).

El crecimiento de dorada ha sido escasamente modelado (PORTER *et al.*, 1986; HIDALGO Y SIERRA, 1993; GINES, 1997) y en la actualidad no se ha reportado ningún modelo bioeconómico para el cultivo de esta especie. MULLER-FEUGA (1990) ha presentado un interesante modelo de crecimiento para la trucha arco iris, recomendando para dorada la utilización de algunos parámetros relacionados con el crecimiento y la temperatura del agua.

Para modelar el crecimiento de dorada con una base fisiológica y biológica, de acuerdo con el avance en diferentes aspectos técnicos del cultivo que se ha producido en años recientes, son necesarios datos actualizados de diferentes factores que afectan a este organismo. Aunque un modelo de crecimiento no representa una herramienta directamente utilizable para estudiar el cultivo de una especie (debido a que no considera todos los aspectos biológicos, de operación, y económicos), se considera indispensable para estudiar un modelo de sistema en acuicultura.

Los modelos que se han presentado en la literatura relacionados con las diferentes especies, presentan diferencias significativas en estructura y complejidad, y ninguno de ellos es directamente utilizable para estudiar el cultivo de dorada y la economía de la producción de esta especie.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

En vista de la diversidad en la información del cultivo de dorada y lo

incipiente de los estudios económicos, los objetivos generales planteados son los siguientes:

1. Realizar una revisión bibliográfica de la economía del cultivo de dorada, para los diferentes sistemas en que se ha desarrollado esta actividad.
2. Desarrollar, por primera vez, un modelo bioeconómico del cultivo de dorada en jaulas flotantes, que pretende ampliar el conocimiento de este sistema de producción, determinando la importancia de diferentes factores biológicos, técnicos y económicos en la obtención de una producción o un beneficio determinado, y sus combinaciones posibles.
3. Estudiar la economía de la producción del cultivo de dorada en jaulas flotantes, bajo diferentes escalas y escenarios.

Objetivos particulares:

1. Desarrollar un modelo de crecimiento dinámico, que relacione el peso del pez, la alimentación y la temperatura del agua.
2. Obtener un modelo bioeconómico para evaluar y estudiar el cultivo de dorada en jaulas flotantes, integrando diferentes modelos y la incertidumbre que representen más acertadamente dicho sistema de cultivo.
3. Integrar el análisis coste-beneficio en el sistema de producción.
4. Integrar los elementos necesarios al modelo bioeconómico, para estudiar los efectos de las economías de escalas en el cultivo de esta especie.
5. Determinar el grado de sensibilidad del sistema de producción con respecto a varios factores (biológicos, ambientales, técnicos, económicos y de mercado).

6. Evidenciar la o las escalas de granja óptima bajo diferentes escenarios.
7. En la escala de granja óptima, estudiar las estrategias de manejo en el cultivo y optimizarlas.

2. ANTECEDENTES

2.1. EL CICLO DE VIDA DE DORADA EN CULTIVO.

El ciclo de vida de esta especie en cultivo se puede dividir básicamente en cultivo larvario y engorde. El primero incluye la gestión de los reproductores, incubación y desarrollo larvario; y el segundo el engorde de los peces hasta tallas comerciales. Frecuentemente se diferencia una fase intermedia: el preengorde, que generalmente se lleva a cabo en tanques al igual que el cultivo larvario. Esta fase se realiza indistintamente en criaderos o en las granjas de engorde. El engorde se puede realizar en sistemas extensivos, semiintensivos e intensivos (el primero exige pocos gastos para una gran superficie, mientras que el último mayores y se esperan iguales rendimientos).

Los reproductores pueden provenir del medio natural o de cultivo. Estos peces son hermafroditas protándricos, de manera que la mayoría de los individuos son primero machos durante uno o dos años mientras alcanzan tallas de 20 a 30 cm, y posteriormente se invierten a hembras hacia la edad de dos a tres años, llegando en este tiempo a tallas de 33 a 40 cm (BARNABE, 1991).

La reproducción de esta especie en forma natural tiene lugar en la época invernal (diciembre - abril), pero la maduración gonadal se puede inducir por diferentes medios, incluyendo hormonas, control de temperatura y fotoperíodo. La inducción hormonal se practica poco, pues ocasiona efectos secundarios. La inducción por fotoperíodo es la más practicada por ser la más económica y con buenos resultados, y se inicia sometiendo a los reproductores a un incremento artificial de horas de luz diaria, en proporción a las horas de

oscuridad, y con ello se consigue retrasar la puesta hasta seis meses, con lo que en la práctica se pueden obtener huevos fecundados todo el año.

La relación de sexos óptima en los tanques de reproducción suele ser de dos hembras por un macho, y la alimentación a base de piensos secos se complementa con alimento fresco, para obtener mejor calidad de puestas.

El tiempo de incubación suele ser de 45 a 50 h según la temperatura del agua. Los huevos de dorada son esféricos y transparentes, y en su interior se observa una gota de grasa que los hace flotar, en ésta se observan 5 o 6 cromatóforos cuando están próximos a eclosionar.

El desarrollo larvario dura alrededor de un mes y medio, desde la eclosión hasta el destete (peces de 1 a 1.5 g), comenzando entonces la fase de preengorde. Algunos datos biotécnicos del cultivo larvario se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Características biotécnicas del cultivo larvario de dorada.

Parámetros	Intervalo
Supervivencia	50 – 60%
Recambios de agua/día	4% inicial 50% final
Densidad	100 larvas/ l
Temperatura del agua	15 - 18 °C

El crecimiento y alimentación durante este período se pueden observar en la Figura 2.1. El “destete” o inicio de la alimentación con pienso se realiza

entre los días 37 y 45 de vida, y a partir de entonces la alimentación continua exclusivamente con pienso seco.

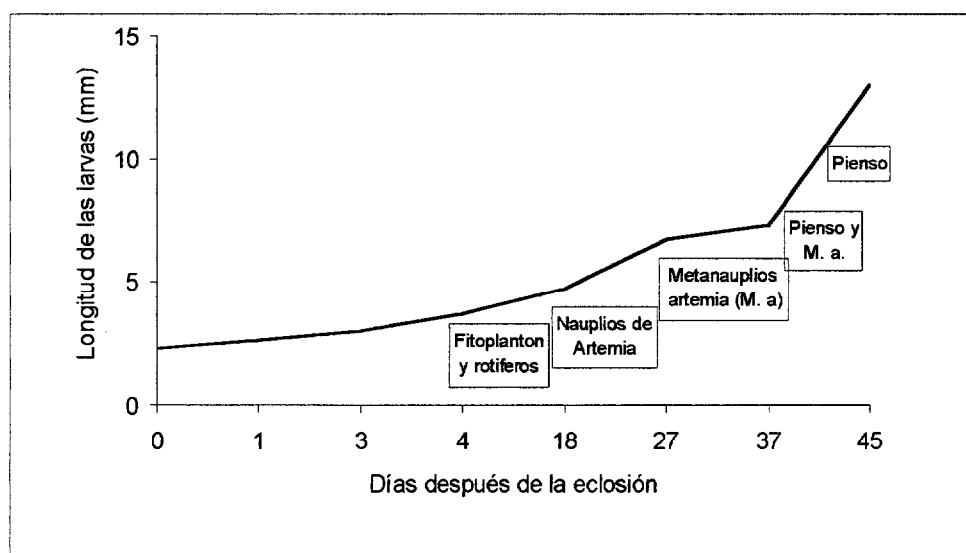


Figura 2.1. Crecimiento y alimentación secuencial de la larva de dorada (HERNANDEZ-CRUZ, com. pers.).

El preengorde sigue al desarrollo larvario, pudiendo llevarse a cabo en los criaderos o las granjas que se dedican al engorde, y para ello se emplean tanques de recirculación o flujo abierto, donde se alimentan los peces con pienso. En esta etapa de desarrollo los peces crecen desde 1,5 cm hasta 10 o 15 cm, y el peso de éstos cambia de 1 g hasta 15 a 30 g, con una duración de entre 3 y 4 meses. Las densidades de cultivo en esta etapa van de 10 a 40 kg/m³, y la mortalidad es de un 15 o 20 %.

El engorde, que aún cuando se practica en todo tipo de sistemas, hoy en día se realiza fundamentalmente en tanques y jaulas, de forma intensiva. La talla comercial de 400 g se puede alcanzar en un intervalo de tiempo de 12 a

18 meses según la temperatura. En los siguientes apartados se tratará este tema con más detalle.

2.2. DECISIONES EN LAS EMPRESAS DE ACUICULTURA.

Las decisiones del empresario o gestor de granjas de acuicultura se pueden dividir en la planificación a **largo plazo**, que comprende el establecimiento de la granja, y las de **corto plazo**, que son las relacionadas con la operación diaria de la granja. Las preguntas que para el **largo plazo** se plantean son, ¿qué producto o productos serán vendidos por la empresa?, ¿la granja producirá y venderá solo huevos, larvas, juveniles, adultos (y de qué tallas) de peces, o todos estos productos conjuntamente?, ¿en proporciones fijas o variables?, ¿dónde estará localizada la granja?, ¿cuál será la capacidad de producción de la granja?, ¿qué tecnología empleará la empresa (jaulas, tanques de recirculación o tanques de flujo de agua rápida, alimentadores automáticos, etc.)?, ¿Cómo será la organización de las operaciones que se llevarán a cabo internamente (por ejemplo: ¿serán los peces desdoblados a partir de la jaula inicial, o se quedarán en ésta todo el ciclo de engorde?)?. Algunas de las decisiones de operación a **corto plazo** son: las densidades de cultivo, la calidad y cantidad de alimento y la frecuencia de éste, con respecto al agua: el control de la temperatura, la recirculación y los procesos relacionados con los tratamientos.

2.2.1. ESTRATEGIA DE MERCADO.

Muchas de las decisiones en el manejo de una granja de peces marinos están interrelacionadas, y las decisiones respecto a los productos finales afectarán a la forma de producción.

La dorada tiene mercado para varios de sus productos, pero los principales son: alevines vivos y diferentes tallas de peces adultos.

Los productores de dorada disponen de varias estrategias de producción, y las principales son: (a) sistema de semillero y producción única de alevines, (b) sistema de semillero y a la vez instalaciones de engorde, pudiendo producir alevines y peces con tallas de mercado para consumo, (c) únicamente sistemas de engorde, comprando alevines y/o juveniles, para llegar a las tallas comerciales. La decisión de abarcar todas las alternativas permite una cierta flexibilidad para retener o comercializar los diferentes productos, de acuerdo a las necesidades y condiciones del mercado.

Por otro lado, los mercados varían de acuerdo a las necesidades y deseos de los consumidores, y se pueden ofrecer varios productos diferentes de dorada en fresco y congelado, desde 0,1 hasta 6 Kg, proveniente tanto de acuicultura como de pesca. Generalmente se prefiere el producto fresco y entero, y tallas mayores de 1000 g se venden frecuentemente como filetes. La dorada tiene diferentes formas de preparación para su consumo final (frita, al horno o cocida, y con diferentes salsas y recetas).

En Italia, al irse homogeneizando los requerimientos y necesidades del mercado de dorada de acuicultura, las tallas y denominaciones de mercado en la actualidad son: Picollo de 100/200 g, Pequeña ("Small") de 200/300 g,

Normal de 400/600 g, Extra 450/600 g, Extra grande ("Extra large") 600/800 g y Super de 800/1000 g (DATSOLOPOULOS, 1996).

En las Islas Canarias, gracias a las temperaturas cálidas de sus aguas, se ha diversificado el producto, pudiéndose obtener tallas mayores de 600 g en menos de dos años, siendo tamaños de gran preferencia por los consumidores españoles, italianos y franceses.

Cuando existía poca oferta de dorada y lubina, las tallas pequeñas y grandes tenían los mismos precios, hasta que las tallas pequeñas han ido haciéndose abundantes en el mercado. Entonces el precio ha experimentado una rápida y progresiva disminución, mientras que las tallas grandes han mantenido su precio.

En el mercado Europeo, y de acuerdo a un estudio publicado por RIERA y LENSÍ (1996), se observó que los diferentes países no estaban comprando el mismo producto al mismo precio. Inicialmente Alemania, Inglaterra, Francia y España no compraban grandes cantidades, e Italia estaba adquiriendo el 80% de la producción francesa, no sólo porque los italianos demandaban el producto, sino porque estaban dispuestos a pagar más altos precios. En estas fechas la oferta era más pequeña que la demanda, y tanto dorada como lubina eran vendidas por subasta. Este hecho provocó que los mercados italianos absorbieran casi toda la producción mediterránea. Sin embargo, esto no significaba necesariamente que los mercados franceses y españoles tuvieran una demanda inferior.

El mercado más grande de pescados y mariscos en el mundo es el de Japón, seguido por el de España; en éste, los productores de dorada y lubina tienen la experiencia de que los mayoristas prefieren estas especies cuando

vienen de la pesca. La principal razón de esto es que pueden ofertar menores precios a los pescadores, ya que saben que la frescura del producto se pierde al retenerlo, y tienen un coste agregado para el pescador en el caso de congelarlo y eviscerar. No sucede lo mismo cuando vienen de acuicultura, pues el productor puede retener los peces en las instalaciones, haciendo llegar su producto con una mejor calidad y homogeneidad de talla.

2.2.2. TAMAÑO DE LA GRANJA.

Pocos estudios se han hecho sobre el efecto del tamaño o escala de la granja sobre el coste por kilogramo de dorada producido. Las economías de escala describen una situación en la cual grandes sistemas de producción obtienen más bajos costes por unidad de peso producido que sus equivalentes pequeñas. Esto puede deberse a diversas situaciones, pero unos primeros factores asociados a ésto son las inversiones de capital, el coste de los factores de producción y la productividad de los empleados.

El tamaño crítico de una granja basada en el sistema de mar abierto de dorada y lubina, depende del tipo de jaula utilizada, las características de fondeo y el lugar. Para el caso de Francia, específicamente en Córcega, el coste de producción por unidad, es siempre decreciente cuando se incrementa la producción desde 10 toneladas hasta 150 toneladas. Por encima de 150 toneladas, parece que ya no son afectados los costes de producción (RIERA y LENSI, 1996).

Grecia es el mayor productor de dorada y lubina de acuicultura europea desde 1994 (JOSUPEIT, 1994). Las economías de escala en este país para el

engorde de estas especies por categorías de producción revelan que los costes medios decrecen conforme se incrementa el tamaño de la granja, obteniéndose el mínimo coste para una escala de producción de 500 Tm/año (STEPHANIS, 1995).

El número de trabajadores que debe tener una granja está directamente relacionado con la escala y la tecnología con la cual se está trabajando. Sin embargo, existe poca información al respecto, siendo otra importante característica de las empresas, directamente relacionada con la productividad. La productividad en Grecia varía con relación a la producción de la granja. Así, tenemos que un trabajador produce desde 11 hasta 26 Tm/año cuando la producción es de 50 a 500 (o más) Tm/año, respectivamente (STEPHANIS, 1995).

Muchas granjas de jaulas del Mediterráneo que producen entre 100 y 200 Tm operan con una eficiencia de producción menor de 20 Tm por hombres/año, la cual es significativamente baja en comparación con los niveles alcanzados en la industria del salmón en Escocia, donde la eficiencia de la producción de las granjas de la misma capacidad de producción fue 23 Tm en 1993 y 31 Tm por hombre/año en 1995. En Noruega, la eficiencia de la producción también es alta, pero muchos granjeros sub-contratan algunas de las actividades que también ejecutan los trabajadores en Escocia y el Mediterráneo, tales como limpieza, alimentación y cosecha; por lo que no son enteramente comparables (PRICKETT y IAKOVOPOULOS, 1996).

El número de trabajadores y su productividad tiene gran impacto en los costes de producción de esta especie. Incluso se han detectado diferenciales en el Mediterráneo noroeste respecto a países más al sur de este mar, pues el

coste de mano de obra en Francia es mayor que en un país como Malta, por ejemplo.

2.2.3. TECNOLOGIA.

El cultivo de dorada y lubina es el de mayor auge de peces marinos en el área Mediterránea y se cultiva en sistemas extensivos, intensivos en tierra y en jaulas flotantes en lugares protegidos. Más recientemente, se ha iniciado el cultivo intensivo en jaulas en mar abierto, en lugares más expuestos, en regiones que no ofrecen lugares con protección, pero que tienen buenas características ambientales para la biología de dorada (LISAC, 1989).

España e Italia inician el cultivo de dorada en forma extensiva, para pasar posteriormente a jaulas; Francia se ha concentrado en el cultivo de lubina, apostando por instalaciones intensivas de flujo de agua rápido (del inglés "raceway"), dejando de lado la acuicultura extensiva.

El cultivo de dorada desde sus inicios ha estado ligado al de lubina, y aún cuando existen diferencias en su manejo y biología, las estructuras que se usan pueden servir para las dos especies, e incluso coexistir ambas en el mismo sistema de cultivo.

En el Mediterráneo el cultivo de dorada, así como el de lubina, no está generalizado. Las características de los distintos lugares de cultivo (disponibilidad de terrenos costeros, de agua, temperatura, etc.) hacen que cada instalación sea diferente, no siendo comparables desde ningún punto de vista (BARNABE, 1991).

Las granjas intensivas de peces marinos han aparecido como una de las actividades de mayor desarrollo en muchos países Mediterráneos, en la última década. Un denominador común entre los diferentes operadores en este campo es la predominancia de dos especies: lubina y dorada, las cuales constituyen más del 90% de la producción total de la zona. Las tecnologías de producción, no obstante, difieren significativamente entre los diferentes países, en función de la geografía, condiciones socioeconómicas, configuración de las líneas de costa, costes de la energía y tradiciones (BLAKSTAD *et al.*, 1996).

Las características sociales que se relacionan con las tecnologías han sido poco publicadas, si bien éstas están íntimamente ligadas a los desarrollos tecnológicos. Como ejemplo, tenemos que los sistemas extensivos casi siempre están asociados a grupos o familias que tienen acceso a terrenos con características apropiadas para estos sistemas de cultivo, lo que hace que los costes de producción se reduzcan, no sólo por esta característica, sino también porque la misma familia se hace cargo de estas granjas durante casi todo el proceso de producción.

Es imprescindible relacionar la tecnología con el ambiente en el cual se localizará la granja. Por ejemplo, Francia necesita de instalaciones de tanques en tierra, para que en los meses fríos se eleve la temperatura en estos sistemas, y en algunos casos combinar la producción al pasarla a jaulas en mar en la época cálida.

En Francia se han utilizado sistemas de jaulas en lugares protegidos. Las hay rotativas, de 8 a 10 m³ de capacidad, para el engorde de dorada. La ventaja que supone el uso de estas jaulas es que evita la fijación de algas y mejillones a las mallas (del inglés "fouling"), al poder girar la jaula

periódicamente y alterar la superficie de red sumergida. En este tipo de instalaciones la talla comercial de 300 g se consigue al segundo año de cultivo, con el problema de que en el primer invierno gran cantidad de peces muere, además de crear una mayor variación en tallas en los supervivientes (ESTEVEZ, 1992). No obstante, hoy en día no se emplean.

Los precios de las jaulas para sitios semiexpuestos oscilan entre 10 a 30 dólares USA (DUSA) por m³ de volumen para engorde. Las jaulas para sitios expuestos entre 25 y 55 (DUSA) y 75 a 100 (DUSA) por m³ (multi unidades). Estos son precios aproximados con redes, sin contar transporte, montaje, fondeos etc. Aún cuando los costes de inversión son mayores para el engorde en lugares expuestos que en los protegidos, son en todos los casos menores que los de las unidades en tierra (LISAC, 1989).

El cultivo en jaulas está en plena expansión, sobre todo en el sur y en el este del Mediterráneo (Grecia, Turquía y Yugoslavia), así como en la Costa Azul francesa, cuyas temperaturas invernales son de 12 a 14 °C (BARNABE, 1991).

En la Martinica se ha cultivado lubina y dorada experimentalmente, en jaulas flotantes (con temperaturas del agua de 26 a 39 °C), iniciando con 1 g y alcanzando la talla de 300 g en 13 meses (RENE, 1984).

Los sistemas extensivos en el Mediterráneo son pocos y en éstos se practica el policultivo, junto con dorada y lubina, entre otras especies. España es de los países que cuentan con estos sistemas, y son muchas las variaciones en parámetros físico-químicos, biológicos y humanos que interactúan a lo largo del proceso. La superficie total de una granja de este tipo oscila entre 9 y 75

ha, con una producción entre 200 y 7900 kg./granja/año, llegando el 70 % de los peces a tamaño comercial (ARIAS *et al.*, 1984).

En Italia, la acuicultura extensiva se conoce como vallicultura, y para producir un kilogramo se suelen sembrar entre 10 y 12 alevines de 2 cm, para obtener supervivencias del 70% hacia el segundo año. En el norte de Italia, la dorada alcanza el peso de 130 a 140 g el primer año y 300 g en el segundo año, en el sur de 200 g y 500 g respectivamente, con una productividad de 15 a 30 kg./ha/año (RAVAGNAN, 1984).

2.2.3.1. COSTES DE PRODUCCION.

Los gerentes de las empresas de acuicultura pueden decidir el sistema físico de producción (la tecnología), el equipo y la estructura financiera necesaria para iniciar y mantener las operaciones de producción, así como los procedimientos de operación sujetos a las respuestas biológicas del pez. Los costes de producción en las granjas de cultivo de peces integran componentes técnicos y biológicos. De la relación entre costes y beneficios de la producción dependerá el éxito o fracaso económico de la granja (LOGAN y JOHNSTON, 1992).

La mayoría de la producción de dorada hoy en día proviene de jaulas, y Grecia es el mayor productor. Los países en el área Mediterránea han incrementado la producción, la cual inevitablemente genera presión en los productores para reducir costes y en el mercado bajando el precio de este producto, lo que se puede observar en la Figura 2.2.

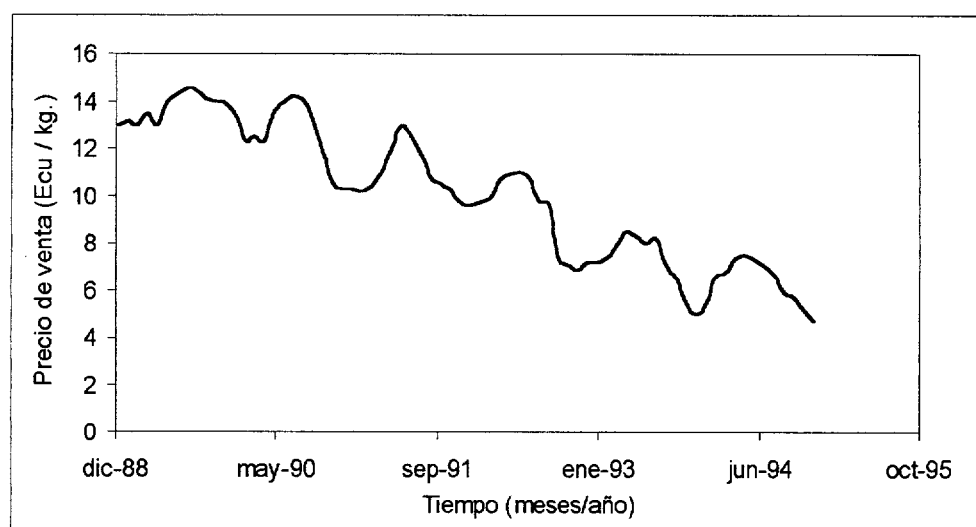


Figura 2.2. Evolución del precio de dorada en Grecia (STEPHANIS, 1995).

En el futuro es posible para los granjeros el reducir costes de producción, pero es necesario adoptar nuevas tecnologías y prácticas de manejo, principalmente en semillero y en jaulas para engorde (PRICKETT y IAKOVOPOULOS, 1996). El desglose de los costes para estos sistemas en los diferentes países del Mediterráneo los podemos observar en la Tabla 2.2. El alimento y los alevines suponen alrededor del 50% de los costes de producción y los costes de personal alrededor del 15%.

Tabla 2.2. Desglose de costes de producción (%) de dorada en diferentes países del Mediterráneo.

Concepto/autor y país	BOURGEOIS y AQUILINAR (1995). Malta	SAHIN (1995). Turquía	STEPHANIS (1995). Grecia	DE LA POMELIE (1995). Francia	ABOUHALA (1995). Marruecos	BENDAG (1995). Túnez
Alevines		25.6	22	16		28
Alimento	22	34	31	28		27
Personal	9	14.5	12	17		11
Depreciación	8	6.8	8	13	12.9	5.7
Sanitarios		1.1		2		
Mantenimiento	7					2.4
Seguros	3		4			
Otros	2		9	7.5	12.2	5.7
Intereses de la deuda			12		10.7	12.1
Consumibles		10.9	2			
Miscelánea		3.6				
Energía				0.5		5.7
Investigación					3.1	
Costes directos					61.1	
Vehículos		3.5				
Comercialización				16		
Oxígeno						2.4
Beneficios netos		10.1				
Total	100	100	100	100	100	100

2.2.4. UBICACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION.

La acuicultura, en su forma extensiva, es una actividad tradicional en el área Mediterránea, mientras que las técnicas semi e intensivas, flujo de agua rápido, jaulas, etc., han ido siendo introducidas más recientemente. Un clima favorable, la presencia de una importante masa de agua salobre o las ventajas del mar abierto, constituyen ventajas físicas para el desarrollo de la acuicultura. Como consecuencia de lo dicho, la acuicultura Mediterránea se caracteriza por una gran heterogeneidad en las técnicas usadas (CHARBONIER, 1997).

La necesidad de una buena calidad del agua es imprescindible para la dorada, y el lugar es determinante en este aspecto, pues aún cuando en fechas recientes se ha visto que el sistema de cultivo en jaulas en mar abierto (del inglés "off shore") es más rentable que en tierra (LISAC, 1989; BARBATO *et al.*, 1993), no todos los sitios cumplen los requisitos para este fin, pues por ejemplo, a veces las corrientes no son suficientes para mantener determinadas cargas de peces, por lo que antes de situar las jaulas es necesario hacer estudios bióticos y abióticos del lugar preseleccionado.

Por otra parte, la temperatura es otro factor determinante para elegir el lugar de cultivo, y así, se ha visto que en lugares como Italia, la dorada presenta crecimientos que varían significativamente entre el norte y el sur del mismo país, con diferencias en las tasas de crecimiento superiores a 0.3 g/día (PORTER *et al.*, 1986).

Si los mercados locales no ofrecen demanda para los productos que se van a producir, el lugar debe ser evaluado en términos de los costes que causa hacer llegar los productos a los potenciales consumidores. En este contexto, se

debe analizar la posible relación entre los costes de producción y gastos de comercialización, cuando se determina el lugar para el cultivo de la especie (LOGAN y JOHNSTON, 1992).

La localización geográfica de algunas empresas puede ser privilegiada por la temperatura de sus aguas, la proximidad a los mercados, y sus facilidades logísticas de infraestructura, y estos factores son del todo indispensables para tener éxito. En cuanto a los costes de producción derivados de la mano de obra, donde aspectos tales como el grado de desarrollo económico de diferentes países, o diferentes niveles de productividad tienen una influencia directa, parece que se aprecia una clara tendencia hacia la progresiva automatización de las labores propias de la producción, comenzando por las implicadas en la distribución de alimento.

2.3. DECISIONES DE OPERACION A CORTO PLAZO.

Las decisiones de operación del día a día son las relacionadas con el control de la calidad del agua, temperatura y flujo de ésta, tratamiento de metabolitos, densidades, y decisiones de calidad y prácticas de alimentación. Estas son decisiones que tienen un impacto en las tasas de conversión de alimento, crecimiento y supervivencia. Hay varios estudios que informan acerca de estos efectos y que a continuación serán desglosados de la forma más explícita posible. Otras decisiones como fechas y ciclos de producción, organización de la mano de obra en las tareas de rutina de la granja, incluyendo mantenimiento de las instalaciones, si bien son de igual

importancia, no han sido tan estudiadas como las anteriores en cuanto a su relación con la economía de la empresa.

2.3.1. LA TEMPERATURA DEL AGUA.

La temperatura es de vital importancia para el crecimiento de los animales poiquiloterms, pues dependiendo de ésta, el metabolismo se reducirá ó incrementará con el consiguiente efecto en el consumo y asimilación de alimento.

Los datos publicados para dorada indican que esta especie se alimenta activamente en temperaturas comprendidas entre 14 y 30°C, siendo sus óptimos entre 25 y 26°C (RAVAGNAN, 1984). "Las temperaturas en Mar abierto (Mediterráneo) son más favorables que las de las lagunas (mínimo invernal del orden de 12 a 14 ° C) y sin duda éste es el parámetro que primeramente condiciona el éxito económico de los criadores". Esta afirmación hecha por BARNABE (1991) para lubina, se puede extrapolar para dorada.

En Italia, para temperaturas de agua comprendidas entre 8,3 y 11,9 °C, se observaron pérdidas de peso en doradas cultivadas, no pasando lo mismo con peces que se mantenían en condiciones similares, pero elevando la temperatura en 4°C. Las observaciones fueron hechas para todo el ciclo de crecimiento en los dos casos. Los grupos mantenidos en agua con mayor temperatura mostraron un incremento en el peso promedio mayor (CARRIERI *et al.*, 1990).

Según lo observado por RAVAGNAN (1984), cuando la temperatura llega a 33°C ocurre una mayor mortalidad, siendo ésta una de las principales

causas de muerte para dorada en tanques semi-intensivos (KROM *et al.*, 1985).

2.3.2. ALGUNOS PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Los Espáridos se han engordado en sistemas extensivos, semiextensivos, e intensivos, siendo en todos los casos el flujo de renovación de agua el determinante para mantener las cargas de biomasa que soportará cada tipo de sistema. Las densidades de cultivo se suelen expresar en kg./ha en sistemas extensivos y semiextensivos, y kg./m³ para sistemas intensivos.

En sistemas extensivos, donde se ha cultivado dorada únicamente y junto a otras especies (monocultivo y policultivo), se han obtenido productividades entre 15 y 30 kg./ha/año y entre 40 y 430 kg./ha/año, respectivamente. Los flujos de agua en estos sistemas son dependientes frecuentemente de los niveles de marea. Los niveles de oxígeno disuelto reportados indican una gran variación, oscilando entre 0 y 9 mg/l (ARIAS *et al.*, 1984, RAVAGNAN, 1984), sugiriendo una pobre calidad del agua en estas instalaciones de forma periódica.

En sistemas de flujo de agua rápido, las tasas de recambio se pueden establecer en función de la tasa de oxígeno disuelto a la salida del sistema, manteniendo como mínimo 3 mg/l, para mantener una carga final de 30 kg./m³, renovando el total del agua 4 veces por hora (DOSDAT, 1984).

La descarga de nutrientes al medio que se da en los sistemas con jaulas en mar abierto, tiene una relación directa con los flujos de agua como consecuencia del régimen de corrientes, y éstos a su vez con la carga de

peces que el sistema puede soportar (siendo el nitrógeno y el fósforo los nutrientes más relevantes a considerar en relación a un posible impacto ambiental).

En estudios realizados en Canarias con jaulas para engorde de dorada, aproximadamente un 81% del nitrógeno y un 69% del fósforo (del 100%) ingerido por los peces a través del pienso, es liberado de nuevo al ambiente, tanto en forma disuelta como materia sólida excretada (MOLINA *et al.*, 1997). Este estudio muestra que una instalación que soporta una biomasa media de 250 Tm no parece ejercer un efecto ambiental negativo a causa de la liberación de estos nutrientes, debido al régimen de corrientes local, que acelera la dispersión e incrementa la capacidad de carga de la zona estudiada.

En algunas lagunas costeras con bajo nivel de contaminación y buen intercambio de agua, se ha cultivado dorada en jaulas. En estos ecosistemas sensibles y con riesgos de eutrofización hay que tener en cuenta los flujos del agua entre mar y la laguna, siendo a veces necesario disponer de equipo para oxigenación y/o bombeo de agua en casos extremos (BARBATO *et al.*, 1996).

La salinidad óptima para esta especie es de 33 a 35 ‰ para el engorde, de 30 a 50 ‰ para la puesta y de 15 a 25 ‰ para los huevos y larvas (FREDDI *et al.*, 1981; BARNABE, 1991).

Los resultados de estudios realizados para conocer la toxicidad del amonio y los niveles óptimos de concentración de oxígeno en dorada han mostrado que cuando los niveles de oxígeno son bajos, se producen más muertes en tallas de 0,4 a 3,2 g. WAJSBROT *et al.* (1991) sugieren que son necesarios más estudios en los cuales se considere el amonio en concentraciones crónicas. Estos autores sugieren que el nivel máximo

aceptable podría ser 1,2 mg/l de amonio-nitrógeno total (ANT). Cuando el contenido de ANT en plasma sanguíneo llega por encima del nivel de 30 mg/l ocurren mortalidades significativas en dorada (PERSON-LE RUYET *et al.*, 1995).

También se ha calculado la tasa del 50 % de mortalidad (LC50) para diferentes niveles de amonio-nitrógeno desionizado (AND) en el agua, para dorada de entre 6 y 150 g de peso, observándose que esta especie es relativamente resistente a cortos tiempos de exposición de muy altas concentraciones de amonio, y el intervalo aproximado que puede ejercer efectos letales en menos de 48 h es de 1 a 3 mg l⁻¹ de AND en el agua (23-79 mg l⁻¹ ANT).

Los parámetros óptimos y tolerables para la fase de engorde de dorada se presentan de forma resumida en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros fisicoquímicos del agua para el engorde de dorada.

Parámetros del agua	Intervalo tolerable	Óptimo
Temperatura	12 - 32 °C	25 - 26 °C
Oxígeno disuelto	3 - 9 mg / l	varia según el estado metabólico de los peces (ver LEMARIE <i>et al.</i> (1992))
Salinidad	15 - 50 ‰	33 - 35 ‰
Amonio – nitrógeno	1,2 mg / l	menor de 1 mg / l

2.3.3. ALIMENTACION.

El pienso representa uno de los mayores componentes de los costes de operación en la producción de dorada, encontrándose frecuentemente por encima del 25% del total. ABOUHALA (1995) calculó que estos costes suponen alrededor del 60%. SAHIN (1995) y STEPHANIS (1995) sitúan los costes de

piensos en 34 y 31%, respectivamente; BENDAG (1995) en 27 %; DE LA POMELIE (1995) y BOURGEOIS (1995) en 25.5 y 22%, respectivamente.

Por otro lado, proveer alimento a los peces de cultivo es probablemente el factor que en última instancia está más directamente relacionado con su crecimiento (BROWN, 1957), mientras otros factores abióticos o bióticos lo hacen en forma indirecta (KLAUDATOS y APOSTOLOPOULOS, 1986).

Estudios experimentales han mostrado que el consumo de alimento y la eficiencia de conversión del mismo dependen en gran medida de diferentes factores, tales como temperatura, salinidad, calidad y flujo del agua, alimento, así como de factores específicos, por ejemplo: edad, tamaño de los peces, heredabilidad y también la historia ambiental de los peces, especialmente en estados iniciales de su vida (KINNE, 1960 en BRETT, 1979).

Por otro lado, los productores no persiguen generalmente óptimos biológicos, sino económicos (CACHO *et al.*, 1991; LOGAN y JOHNSTON, 1992). Idealmente, los beneficios generados por una unidad adicional de alimento deberían coincidir con el incremento del coste de la unidad de alimento.

El índice de conversión de alimento (IC), ó cantidad del mismo requerida para producir 1 kg. de biomasa para dorada, se ha reducido sustancialmente durante las últimas dos décadas, debido al avance que se ha experimentado en el conocimiento de los requerimientos nutricionales de esta especie. Para finales de los 70 los valores medios eran de 4,4 (RAYNER *et al.*, 1977); para finales de los 80 eran de 3 (BERMUDEZ *et al.*, 1989); y para los 90 se han publicado valores entre 2,88 y 1,5 (ESTEVEZ, 1992; BARBATO *et al.*, 1993; GARCIA-ALCAZAR *et al.*, 1994; MOLINA *et al.*, 1997). ROSENLUND *et al.*

(1996) ha afirmado que los valores del IC de 1 son posibles para dorada y lubina.

Es necesario comentar que alrededor del 5 al 10% del alimento ofrecido a los peces en instalaciones de jaulas, se pierde al medio sin ser consumido (MOLINA *et al.*, 1997).

Por último, las raciones diarias son suministradas por lo general por los granjeros de acuerdo a las tablas de alimentación o racionamiento que recomiendan los productores de pienso, que se presentan relacionando el peso de los peces y la temperatura del agua. No obstante, los productores de pienso recomiendan que se observe el comportamiento de los peces y junto a factores bióticos y abióticos, cada granjero produzca y obtenga tablas específicas para cada granja, de acuerdo a su propia experiencia de gestión y características del sistema. Las raciones diarias publicadas con relación al peso de la dorada para el preengorde oscilan entre 4 y 8% (GARCIA *et al.*, 1987; BERMUDEZ *et al.*, 1989; GARCIA-ALCAZAR *et al.*, 1994); y para el engorde de 1,8 a 3% (ESTEVEZ, 1992 y GARCIA-ALCAZAR *et al.*, 1994).

2.3.3.1. CALIDAD DE LOS PECES.

La calidad de los peces está relacionada en primera instancia con el aspecto externo de éstos, y es el primer criterio visual que el mercado demanda.

En acuicultura intensiva del Mediterráneo, los problemas morfo - anatómicos causantes de deformidades fueron muy importantes durante los 70 y 80, cuando las prioridades de investigación y desarrollo estaban más enfocadas a la cantidad más que a la calidad de la producción. De esta forma,

más del 90% de la producción fue muchas veces descartada. Los recientes progresos en métodos de crianza, nutrición y control de enfermedades, han resuelto muchos de los problemas antes citados, aunque sólo es posible encontrar soluciones para pocas anomalías morfo-anatómicas (DIVANACH *et al.*, 1996).

La integración morfo-anatómica y morfométrica en dorada se ha correlacionado con algunas características de forma y algunas clases de anomalías del esqueleto, tales como un ancho pedúnculo caudal asociado con anomalía en la vértebra hemal e irregularidad en vértebras caudales, así como deformaciones características postcraiales y regiones del tronco fueron relacionadas con lordosis y fusiones vertebrales en la misma región (LOY, 1996; LOY *et al.*, 1996).

Algunos de los mayores problemas relacionados con muchas especies de peces que se cultivan en granjas en el Mediterráneo son anomalías en color y deformaciones de los huesos/cuerpos. La Tabla 2.4 muestra algunas anomalías observadas en la dorada y la causa de éstas.

Las anomalías en los peces de acuicultura del Mediterráneo son complejas y con muchos factores causales, y en algunos casos, las causas permanecen aún desconocidas (DIVANACH *et al.*, 1996).

Tabla 2.4. Factores causales de anomalías en peces de cultivos marinos en el Mediterráneo.

Autor	Efecto	Causa
KOUMOUNDOURUS <i>et al.</i> (1994).	diferencias alométricas en crecimiento	diferentes condiciones de crianza
ANDRADES <i>et al.</i> (1996).	deformación de la columna (lordosis)	factores desconocidos
MENU (1994).	anomalías cefálicas	deficiencias alimentarias
SPANIO (1996).	fusión de vértebras	falta de vitamina c
CATAUDELLA <i>et al.</i> (1996).	anomalías en opérculo	manipulación y altas densidades

Por otro lado, la calidad de la dorada se ha estudiado en diferentes sistemas de producción, como son: cultivo tipo industrial, extensivo y de pesca, con intervalos de pesos entre 225 - 425 g, donde se ha evaluado morfología, color externo, composición bioquímica en general, calidad de carne y contenido en grasas. SAÑUDO *et al.* (1993) informan que en un estudio realizado, peces procedentes de cultivos industriales presentaron una mejor morfología que los procedentes de la pesca, siendo intermedios los de sistemas extensivos. El color fue significativamente diferente en los peces, pero no hubo diferencias en la fracción de carne consumible, aún cuando se encontraron grandes diferencias en la composición química en los diferentes tipos de sistemas estudiados.

2.3.4. DENSIDAD EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCION.

La densidad en el cultivo de peces es una variable muy importante, pues afecta la eficiencia de la alimentación. El efecto combinado de calidad de agua y densidad pueden mejorar o empeorar las tasas de crecimiento, según sea el caso.

Los estanques de tierra son sistemas empleados básicamente para trabajar con bajas densidades. Tamaños intermedios de tanques y jaulas pueden ser utilizados con más densidad y son más económicos en cuanto a empleo del espacio, pero necesitan un más rápido recambio de agua. Los sistemas de recirculación, generalmente sofisticados y caros, son sólo económicamente viables cuando son mantenidos en muy altas densidades.

Las densidades publicadas para el cultivo de dorada son muy variables, además de difícilmente comparables, pues se presentan como número de peces por hectárea, kilogramos por m², m³, etc. La densidad está relacionada con el tipo de sistema o tecnología y a su vez con el flujo o recambio de agua, así como con la frecuencia de alimentación.

PORTER *et al.*, (1986) realizaron experimentos para comparar los efectos de la calidad del agua en jaulas marinas y estanques de tierra para cultivo de dorada, éstos últimos con recambios de agua de 3 m³/h, con aireación suplementaria y presumible óptima alimentación. En los estanques, la densidad fue de 32.000 peces/ha, con un peso inicial de 1,2 a 2,05 g. En las jaulas la densidad fue de 120 peces/m³, no encontrándose diferencias significativas en las tasas de crecimiento entre los peces de los diferentes sistemas.

Cuando el sistema no es excesivamente intensivo y en tanques, la densidad para peces menores de 5 g debe ser de 3 a 6 kg/m³, y para peces mayores, densidades de 10 a 15 kg/m³. En sistemas de mayor intensidad, con altas tasas de renovación de agua, estos valores pueden llegar hasta 25 kg/m³ (ESTEVEZ, 1992).

En Italia, se experimentó con jaulas en lagunas costeras, sembrándose peces de 6,9 g de peso a razón de 35 a 50 individuos por m³, llegando a cosecharse con tallas de 280 g después de entre 7 y 9 meses, con menos del 10% de mortalidad. Después de 15 meses se alcanzaron los 540 g de peso medio, con 17,7 % de mortalidad (BARBATO *et al.*, 1993).

Cuando la temperatura del medio es fría, el preengorde en Francia se suele hacer en el semillero, engordando peces de 0,5 hasta 3 g, y

posteriormente sembrando los peces con densidades de 3 - 4 kg/m³ en jaulas. En tanques de flujo de agua rápido se suele llegar hasta 40 kg/m³ (BARNABE, 1991).

En experimentos bajo diferentes densidades de cultivo con dorada, se engordaron peces de 22 g hasta llegar a 85 g, con densidades finales de 10 kg/m³ y hasta 34 kg/m³, no observándose diferencias de crecimiento entre las diferentes densidades probadas en sistemas de circuito abierto (MONTERO, 1996).

TORT *et al.* (1996), con peces entre 150-190 g, probaron densidades de cultivo de 7 y 22 kg/m³, observando que en alta densidad, la respuesta al estrés muestra una fase de inmunodepresión, pero finalmente en este experimento se restablecían todos los niveles de indicadores de este estado.

Como se observa en general, la densidad puede oscilar entre 0,290 hasta 40 kg/m³ para el engorde, según sea el tipo de sistema de cultivo. Experimentalmente, se han conseguido hasta 34 kg/m³, y no se ha publicado que en estas densidades se frene el crecimiento o aumente la mortalidad en los sistemas trabajados. Como factores limitantes se encuentran el nivel de oxígeno disuelto y la concentración de metabolitos de excreción (amonio), ambos relacionados con la tasa de renovación del agua.

2.4. CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA.

Las decisiones de gestión tienen una efectividad limitada y necesitan de las relaciones biológicas que se han presentado anteriormente. El crecimiento y

supervivencia de los peces condicionarán los costes de producción en última instancia, y determinarán la viabilidad económica de las granjas.

El gestor de las empresas quiere engordar sus peces en el menor tiempo y de la forma más rentable posible. Mucha de la literatura citada anteriormente, relaciona tasas de crecimiento con una gran variedad de factores.

PORTER *et al.* (1986) hacen una comparación de las medias de las tasas de crecimiento (g/día) de peces cultivados con diferentes tecnologías (Figura 2.3), lo que proporciona una idea acerca de la variación del crecimiento en diferentes sistemas y su relación directa con la calidad del agua.

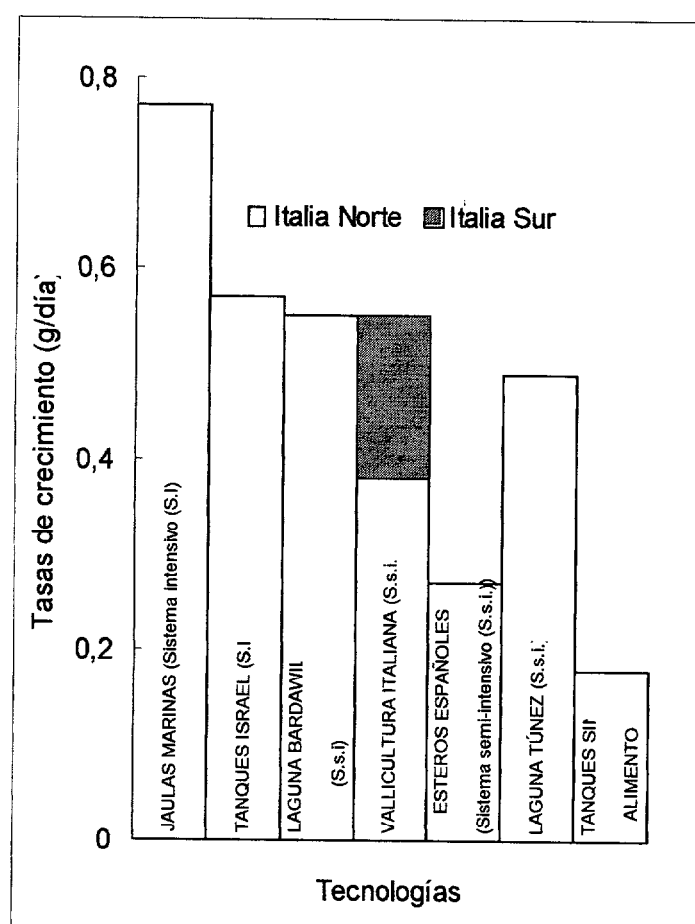


Figura 2.3. Tasas de crecimiento (g/día) para diferentes tecnologías en el cultivo de dorada (PORTER *et al.*, 1986).

Por otro parte, el crecimiento diario como porcentaje del peso del cuerpo, varía en esta especie de 4 a 0,2% en peces de 2 a 500 g, respectivamente y las tasas de crecimiento declinan con la talla de los peces, según modelo de HIDALGO y SIERRA (1993).

La modelización del crecimiento para dorada hasta ahora ha sido escasa y de acuerdo a condiciones muy específicas, por ejemplo, KLAUDATOS y APOSTOLOPOULOS (1986) realizaron una serie de experimentos para relacionar el crecimiento de acuerdo al alimento consumido y la eficiencia en la conversión del mismo, con peces de 10 meses y tallas iniciales de 13,2 a 16 cm. Estos autores estudiaron las relaciones entre la tasa diaria de alimentación, la tasa diaria de crecimiento y la eficiencia en la conversión de alimento, apreciando un incremento en la tasa diaria de alimentación después de 20 días de estudio, lo que produjo un incremento en la tasa diaria de crecimiento.

Los modelos de crecimiento para las fases completas de pre- engorde y engorde, considerando tasa de alimentación, temperatura del agua, densidades, etc., han sido poco estudiados. HIDALGO y SIERRA (1993), modelizan el crecimiento de dorada (Figura 2.4) utilizando datos bibliográficos y obtenidos por ellos mismos en condiciones de cría intensiva (temperaturas de 15 a 25 °C), estableciendo relaciones del peso corporal hasta 500 g para producir mediante cálculo recurrente, la correspondiente modelización de la evolución temporal de este parámetro.

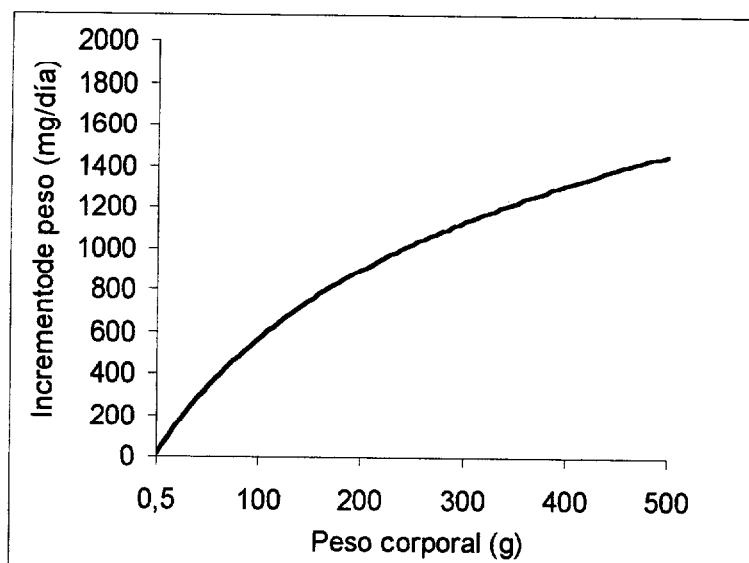


Figura 2.4. Relación entre peso corporal y crecimiento diario de dorada en sistemas intensivos (HIDALGO y SIERRA, 1993).

En una de las curvas de crecimiento de dorada publicada más recientemente para sistemas intensivos de jaulas flotantes en las Islas Canarias (Figura 2.5), los pesos medios iniciales son de 70,5 g y llegan a tallas de 750 g en 14 meses (MOLINA *et al.*, 1997).

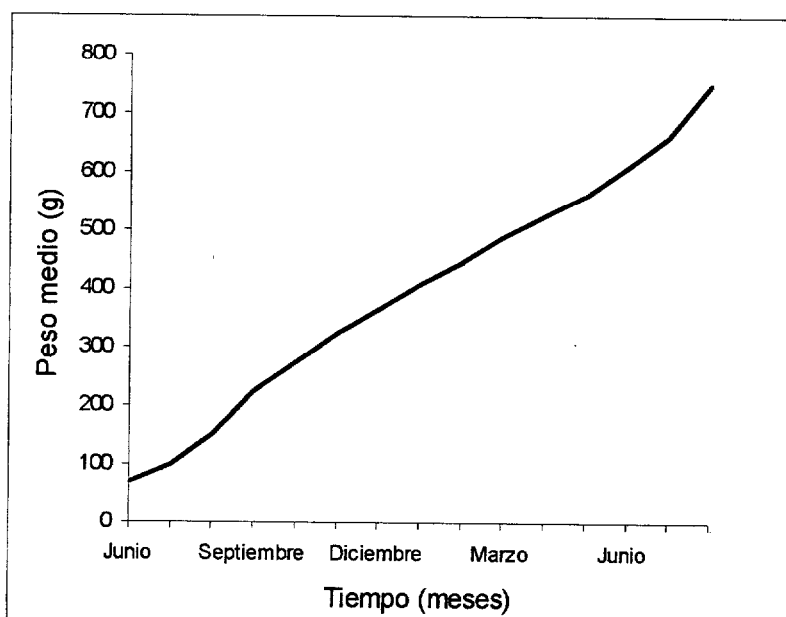


Figura 2.5. Crecimiento de dorada en jaulas intensivas en Gran Canaria, España (MOLINA *et al.*, 1997).

2.5. LA MODELIZACION.

La modelización de las actividades de extracción pesquera tienen un largo historial, pues constituyen un recurso que se explota desde hace siglos. La acuicultura en cambio, es una forma de explotación acuícola mucho más reciente, por lo que son mucho menos los trabajos publicados sobre su modelización matemática.

Desde un punto de vista matemático, los procesos en una granja de peces pueden ser descritos como un sistema dinámico de múltiples estados, donde cada fase representa un período del proceso (BRISO y HO, 1975, en RIZZO y SPAGNOLO, 1996).

La modelización de sistemas de acuicultura permiten integrar información técnica, biológica, económica y de las ciencias sociales, pudiendo hacer hincapié en cualquiera de las disciplinas antes citadas.

Por otra parte, los modelos pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios, dependiendo del sistema o fenómeno que están describiendo, y de la manera en que éstos estén definidos, desarrollados y gestionados.

Por lo tanto, dependiendo de su nivel de complejidad, podemos clasificar estos modelos en: simplistas.- representan simplificadamente la realidad, y se resuelven analíticamente; holísticos.- describen un sistema en detalle, aunque frecuentemente no pueden ser resueltos analíticamente. En cuanto a las ecuaciones del modelo, éstos se dividen en: empíricos.- tienen por objetivo predecir; y mecanicistas.- su objetivo es descriptivo. En lo que concierne al tiempo: estáticos.- no contemplan al tiempo como variable; y dinámicos.-

incluyen el tiempo explícitamente, y su uso es en forma de ecuaciones diferenciales y/o en diferencias, describiendo el cambio a través de las variables del sistema. Dependiendo de cómo son tratados los eventos aleatorios: deterministas.- ignoran la posibilidad de variabilidad; y estocásticos.- contienen elementos aleatorios o distribuciones probabilísticas, reflejando la incertidumbre del mundo real (CACHO, 1997).

La bioeconomía es una disciplina de reciente aplicación en el área de la acuicultura, y se inicia en los años setenta. Se vale de la modelización para conocer las respuestas de los sistemas desde diferentes puntos de vista.

2.5.1. MODELIZACION BIOECONOMICA.

La modelización bioeconómica puede ser vista como una forma particular de investigación o como un componente de la investigación en sistemas.

La modelización bioeconómica ha sido definida por ALLEN *et al.* (1984) como el uso de modelos matemáticos para relacionar el comportamiento biológico de los organismos en un sistema de producción, incluyendo los aspectos técnicos y económicos del sistema. CLARK (1985) define la modelización bioeconómica de las pesquerías como las interrelaciones entre las fuerzas económicas que afectan a la industria de la pesca, y los factores biológicos que determinan la producción y suministro de peces procedentes del mar.

Por lo tanto, la bioeconomía en acuicultura puede ser definida como la relación, mediante modelos matemáticos, entre los componentes técnico-biológicos y económicos de un sistema de producción. Estos componentes se verán afectados por las variables de origen técnico-biológico, económico y ambiental que en los modelos se representen.

Por otra parte, la investigación biológica desde un punto de vista de modelización se puede basar en partes o componentes del sistema o en el sistema completo. Los componentes del sistema pueden incluir desde estudios celulares en un organismo, hasta el comportamiento de éste como un todo. En contraste, la investigación de los sistemas tiene por objetivo caracterizar las interacciones que ocurren entre los componentes de los diferentes niveles del sistema de producción.

BYWATER y CACHO (1994) han afirmado que la principal diferencia en la investigación entre los componentes y los sistemas es que éstos últimos tienden a utilizar aproximaciones globales del sistema, mientras la investigación de las partes utiliza aproximaciones reducidas de éste.

En la acuicultura, una actividad de carácter productivo y con intereses económicos, no se puede dejar de lado la gestión y la investigación en este campo. La gestión pertenece en principio a una categoría diferente a la de la investigación biológica, y la bioeconomía utiliza los resultados de los sistemas de investigación biológica para cuantificar los diferentes efectos de la gestión, para conocer cómo afectan las variables a los sistemas y para obtener los mejores resultados de éste.

Los resultados de los estudios sobre gestión pueden ser medidos en términos técnicos, de beneficios o de pérdidas financieras, y también en

términos de riesgo para ambientes diferentes. El objetivo de la investigación de la gestión no es el comprender el por qué ocurre algo, sino el utilizar los resultados disponibles para mejorar la gestión.

La simulación, una técnica analítica que cuantifica y describe la conducta de sistemas económicos complejos (BACON *et al.*, 1994), es considerada como una herramienta apropiada para el estudio de la gestión en acuicultura, y también para análisis de viabilidad económica de sistemas complejos de producción.

A continuación se estudian los componentes más importantes de los modelos bioeconómicos, como son los modelos biológicos y económicos.

2.5.1.1. LOS MODELOS BIOLOGICOS.

En bioeconomía, los sistemas de producción acuícola han sido representados con diferentes niveles de complejidad, dependiendo de las necesidades u objetivos y la información técnica - biológica que de las especies se tenga. Así, los diferentes modelos pueden representarse bien como agregaciones en un solo nivel, o como una gran variedad y complejidad de éstos.

Por citar un ejemplo, GRIFFIN *et al.* (1984) presentan un modelo bioeconómico que incluye varios sub-modelos o niveles (Figura 2.6), representando cada uno de éstos los componentes que afectan al sistema de cultivo, tanto en aspectos biológicos, como económicos. El modelo de producción incluye parámetros como el crecimiento de la población, número de supervivientes, crecimiento en peso individual, densidades, tasas de

alimentación y producción total, incluyendo en diferentes niveles desde el organismo como individuo, hasta la granja completa.

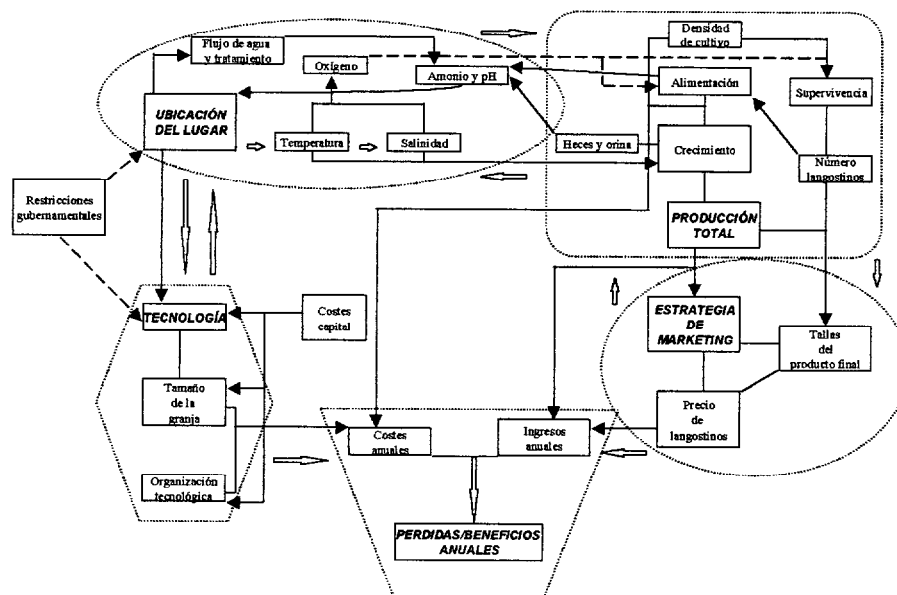


Figura 2.6. Modelo bioeconómico conceptual del cultivo de langostino (GRIFFIN *et al.*, 1984).

CACHO (1997) ha recomendado trabajar en tres niveles: el organismo individual, el contenedor o tanque, y la granja (Figura 2.7), permitiendo así enfocar diferentes problemas con diferentes niveles de detalle. El argumento es que el crecimiento individual del organismo es frecuentemente influenciado por factores físicos, dietéticos, y del estado fisiológico individual del mismo. El alimento, probablemente uno de los factores más importantes para el crecimiento, interactúa a su vez con la calidad del agua y de la dieta, afectando al peso del pez y a su composición corporal.

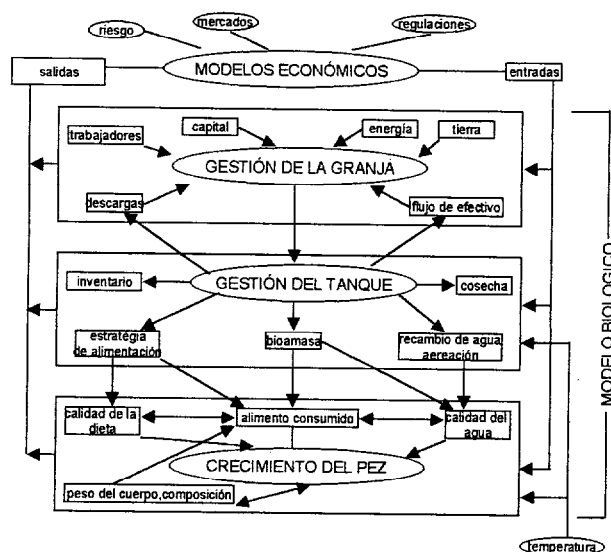


Figura 2.7. Modelo (bioeconómico) conceptual para una granja de peces (CACHO, 1997).

Dependiendo del nivel de detalle empleado en los modelos bioeconómicos, se pueden llegar a representar gran cantidad de variables que afectan al desarrollo de los peces. MASSER *et al.* (1991) han presentado un modelo de crecimiento donde se pueden estudiar los efectos de la energía dietética, contenido de proteína, temperatura del agua, y sus interacciones con el crecimiento del pez.

Siguiendo con la recomendación de CACHO (1997), el modelo de gestión de los contenedores de los organismos en cultivo se verá afectado por las decisiones que día a día se toman respecto a las densidades de los organismos, alimentación y la calidad del agua. La densidad de cultivo y ciclos de cosecha son decisiones que toma el gestor, y que a su vez afectan a la

biomasa en el tanque, mientras que diferentes estrategias de alimentación, aireación y recambios de agua afectarán la capacidad de carga del tanque y al potencial de crecimiento de los organismos.

A nivel global de la granja, todos los tanques o jaulas pueden considerarse como un único recurso. El hecho que la decisión de gestión sea individual o en conjunto de los contenedores se fija por el modelador, dependiendo de las condiciones preestablecidas y objetivos que se planteen.

Como un ejemplo del por qué en algunos casos suele ser necesario considerar cada jaula o contenedor como un único recurso, tenemos que en las granjas de cultivo de peces con jaulas flotantes algunas veces se aprovecha el agua que sirve para refrigeración de centrales eléctricas. Al llegar a las jaulas el agua en estos sitios, tiene diferentes gradientes de temperatura, resultando en crecimientos variables para los organismos, lo cual hace necesario modelar cada jaula en forma individual.

De esta manera, las necesidades de manejo de cada jaula o en su conjunto pueden ser modeladas de varias formas, CACHO (1993) ha recomendado se modelen tanques o sistemas individuales en forma de matrices y vectores.

Las simplificaciones de la dinámica de los contenedores y sus ecosistemas, así como en el crecimiento, tienen por objeto el conocer cómo se comportan éstos desde varios puntos de vista, como una unidad, como grupo, y como conjunto.

2.5.1.2. LOS MODELOS ECONOMICOS.

En el estudio de los recursos pesqueros, todo modelo económico se fundamenta en un modelo biológico (MUNRO y SCOTT, 1985). Así, sería prácticamente imposible hablar de crecimiento, producción sostenible o inversión en un recurso determinado, si no se especificase la dinámica de comportamiento biológico de la población objetivo de explotación (DAVILA, 1996).

Con respecto a la acuicultura, podemos aplicar de forma homóloga las afirmaciones hechas para la pesca por los autores citados anteriormente, pues sin un modelo biológico, el modelo económico para la producción acuícola quedaría sin fundamentos. Y sería imposible hablar de producción acuícola sin considerar el crecimiento de la especie cultivada y la dinámica del comportamiento biológico en los tanques de la granja.

Una vez diseñado el modelo biológico, pueden ser producidos diferentes tipos de modelos económicos. El modelo económico puede ser diseñado para interactuar con el modelo biológico a cierto nivel de agregación, dependiendo del problema a ser analizado. Un modelo económico también puede ofrecer las interrelaciones entre el mercado y el sistema de producción.

En el modelo económico se integran las repercusiones de las decisiones de producción en los costes y por tanto en los beneficios de la empresa. Cada ciclo de decisiones de gestión produce una tabla completa de resultados, ó las respuestas sobre los resultados económicos, entendidos éstos como la diferencia entre los ingresos y los gastos.

Para analizar las interacciones entre las decisiones de producción y los resultados económicos existen dos metodologías. La primera es la **simulación**, que ya ha sido definida anteriormente y como ejemplos tenemos los modelos de simulación desarrollados por: GRIFFIN *et al.* (1984), SHIGEKAWA y LOGAN (1986), CACHO *et al.* (1990), LOGAN y JOHNSTON (1992), y LOGAN *et al.* (1995). Todos estos modelos tienen como finalidad observar el efecto de las decisiones de producción en los resultados económicos obtenidos para un período de tiempo determinado.

Dado un periodo de tiempo y condiciones de producción establecidas, se obtienen unos productos de características determinadas que son vendidos según la oferta y la demanda del mercado.

Mediante la simulación, se pueden observar los efectos de los parámetros del sistema de producción (crecimiento del pez, cantidad y calidad de alimento, densidad de cultivo, producción, etc.) en los beneficios económicos, determinándose la tasa interna de rendimiento de proyectos alternativos si los hubiere. La dinámica del sistema se puede estudiar observando su evolución para diferentes períodos temporales.

Otra metodología con mayor complejidad matemática es la **optimización**, que se basa en la "Teoría del Control Optimo", como una extensión del cálculo de variaciones estándar, y que fue aplicada inicialmente a la teoría del crecimiento económico, posteriormente a la pesca y más recientemente a la acuicultura. Las primeras aplicaciones de esta teoría al análisis económico de las pesquerías fueron llevadas a cabo por PLOURDE (1970, 1971).

La teoría del control óptimo se basa en técnicas de optimización y programación dinámica sobre relaciones de tipo biológico y físico, al igual que los modelos de simulación. El problema a resolver es conocer la decisión óptima para cada período de tiempo, previamente discretizado a tomar sobre algún aspecto del sistema, por ejemplo, cosecha, calidad de alimentación, ración, densidad, etc. Esta decisión óptima puede ser aquella que maximiza los beneficios económicos o minimiza los costes en cada período del tiempo. El resultado es una trayectoria óptima para la "variable de control", definida como el aspecto concreto del sistema de producción a optimizar.

Se han publicado diversos trabajos sobre la optimización de variables de control, como: programas de alimentación y cosecha (KARP *et al.*, 1986; BJORN DAL, 1988; ARNASON, 1992; HEAPS, 1993); el racionamiento alimentario y calidad de la dieta (CACHO *et al.*, 1990); la cosecha dependiente de la densidad, que a su vez es dependiente del crecimiento (HEAPS, 1995); nutrición, densidad y tecnología (KAZMIERCZAK y CAFFEY, 1995). También se han elaborado modelos de simulación y óptimo manejo para los salmónidos (BJORN DAL, 1990), y para lubina (RIZZO y SPAGNOLO, 1996).

La técnica de optimización en acuicultura empieza a difundirse entre la comunidad científica a partir de los setenta. Los modelos de simulación aparecen en la segunda mitad de los años setenta, aunque al ser técnicas muy nuevas para acuicultura, existen relativamente pocos trabajos y por lo mismo han sido sólo aplicadas a unas pocas especies con un alto interés económico.

A continuación se realiza una revisión histórica de los modelos de simulación, para posteriormente finalizar con dos ejemplos de la teoría del control óptimo aplicados a la acuicultura.

2.6. RESUMEN DE MODELOS BIOECONOMICOS.

Los modelos bioeconómicos se han desarrollado principalmente para especies con alto interés económico y que generalmente tienen una demanda importante en el mercado, así pues, son especies cuyo cultivo se encuentra muy desarrollado, o con un gran potencial. En la Tabla 2.5 se presenta un resumen de algunos de los modelos bioeconómicos que han sido aplicados a la acuicultura. Se puede observar que los grupos principalmente estudiados son los peces y crustáceos. De los primeros destacan el esturión, la trucha y el pez gato; de los crustáceos, la langosta, los peneidos (langostinos) y Cherax.

Se presenta a continuación una breve descripción de los trabajos y un intento de agrupación por familias. Uno los trabajos pioneros en la bioeconomía es el publicado por ALLEN y JOHNSTON (1976) para la langosta. En éste se ilustran la respuestas de los costes a cambios en ciertos parámetros y variables, relacionando la tecnología de la granja con el valor de las especies por su demanda y precio en el mercado. Estos autores hacen una evaluación previa de la tecnología para el cultivo de langosta (*Homarus americanus*), quedando patente el importante papel que el desarrollo de la modelización bioeconómica puede jugar en la evaluación de éxito o fracaso de los cultivos comerciales.

Otros modelos bioeconómicos que se han publicado están relacionados con un grupo importante de crustáceos, como es el de los peneidos (langostinos), con gran demanda en países como Estados Unidos de América (E.U.A.), Japón y algunos otros de Europa. Los siguientes párrafos presentan algunas características de modelos de simulación para este grupo.

Tabla 2.5. Resumen de algunos trabajos de investigación bioeconómicos aplicados a acuicultura.

Autor(es)/año	Especie	Ecuaciones importantes	Técnica de análisis	Variable de decisión	Objetivos
ALLEN y JOHNSTON (1976)	Langosta (<i>Homarus americanus</i>)	de crecimiento empírico	presupuesto	tamaño de planta, peso de la langosta, temperatura, recirculación de agua	establecer prioridades de investigación, y diseño de la granja
GRIFFIN <i>et al.</i> (1984)	Langostino (<i>Penaeus vanamei</i>)	multiecuaciones	experimentos estocásticos	cosecha, densidad, demanda de oxígeno, temperatura, salinidad	identificar áreas críticas (económicas)
HANSON <i>et al.</i> (1985)	Langostino	funciones de densidad de probabilidad empíricas multivariadas	simulación	temperatura, huracanes y precios	analizar tres tamaños de sistema y cuatro de tanques
LEUNG (1986)	especies de <i>Macrobrachium</i>	procesos de Markov (distribución de tallas)	programación dinámica	inventarios y cosecha	maximizar beneficios
SHIGEKAWA y LOGAN (1986)	Esturión (<i>Acipenser transmontanus</i>)	exponenciales	simulación	tamaño de granja, estrategia de mercado y densidades en cultivo	analizar el impacto de los costes y tasas de retorno a la inversión
STANIFORD (1989)	<i>Cherax destructor</i>	distribuciones de probabilidad triangulares y exponenciales	simulación	precio de venta y producción de cherax	efectos de la producción y variabilidad de precio en la factibilidad económica de cultivo
BOSCH y SHABAM (1990)	Ostras	función exponencial de factores ambientales (empírica)	simulación	establecer prioridades de investigación	disminuir el riesgo
CACHO <i>et al.</i> (1990)	Pez gato (<i>Ictalurus punctatus</i>)	de crecimiento bioenergético	simulación, optimización estática	calidad y cantidad de alimento, duración de la cosecha	explorar relaciones bioeconómicas
LOGAN y JOHNSTON (1992)	Trucha	distribuciones de probabilidad triangulares	simulación	producción de huevos bajo control de fotoperíodo	analizar la economía de remplazamiento de reproductores
BACON <i>et al.</i> (1994)	Trucha	distribuciones de probabilidad acumulativa	presupuesto de capital y simulación	diversificar con producción de trucha, bajo dos estructuras financieras	evaluar el riesgo e ingresos asociados al diversificar la producción de maíz, soja y pollos
LOGAN <i>et al.</i> (1995)	Esturión	función spline de crecimiento- edad, mortalidad, logística	simulación	tamaño de planta, densidad de cultivo, edad-venta	análisis de costes, beneficios y retorno a la inversión

GRIFFIN *et al.* (1984) estudian los efectos de la densidad, fecha de cosecha, salinidad y oxígeno disuelto en el agua en los costes de producción de peneidos, e introducen en su modelo bioeconómico un modelo ambiental completo con una conducta estocástica.

En los modelos bioeconómicos se han utilizado diferentes metodologías para desarrollar los aspectos biológicos importantes en acuicultura. LEUNG (1986) utiliza un modelo de programación dinámica para el cultivo de langostino (*Penaeus* sp.). El modelo biológico de la población cultivada se basa en procesos de Markov, actualizando la distribución de tallas de los langostinos cada dos semanas, mientras el modelo económico determina la cosecha parcial y período óptimo de ejecución.

HANSON *et al.* (1985) desarrollan un modelo (denominándole MARISM) para analizar tres diferentes tamaños de sistema y cuatro tamaños de tanques de cultivo de *Penaeus* sp. El modelo ofrece valores aleatorios para el crecimiento y supervivencia de los langostinos. Se emplean funciones de probabilidad multivariada para la temperatura del agua, incidencia de huracanes y precios. Los resultados mostraron altas tasas de rendimiento y rápidos reembolsos económicos asociados con granjas grandes y tanques grandes. Las variaciones en precios, producción, temperatura y huracanes, resultaron ser factores críticos que afectan los retornos a la inversión y la perduración de las granjas.

Otro modelo bioeconómico desarrollado para crustáceos, corresponde a la llamada langosta de agua dulce, que se ha cultivado principalmente en Australia y E.U.A. Por ejemplo, STANIFORD (1989) utiliza un modelo de simulación para examinar la viabilidad económica de la producción de *Cherax*

destructor. El modelo provee estimaciones de retornos esperados, teniendo en cuenta la variabilidad esperada del precio y la producción. La variabilidad potencial en la producción y precio reducen las tasas esperadas de retorno a la inversión del 23,7% al 15,3%.

Los modelos desarrollados para crustáceos han sido generalmente modelizados en forma estocástica, pues son cultivos que presentan un alto grado de incertidumbre o riesgo, ya que la biología de estos organismos es compleja y el medio ambiente que los rodea presenta una gran variabilidad. Además, el constante aumento de la producción, con tecnologías cada vez mejores y la feroz competencia entre los productores, provoca también gran volatilidad de los precios, incrementando considerablemente el riesgo de esta actividad comercial, que debe ser también considerada en la modelización.

De gran importancia comercial son también los peces producidos en acuicultura. La carpa y la tilapia se cultivan desde hace miles de años por los chinos, quienes se han alimentado de estos peces tradicionalmente desde entonces. Actualmente estos dos grupos de peces se cultivan en muchos países del mundo con gran éxito.

SHIGEKAWA y LOGAN (1986) desarrollan un modelo de producción comercial de cría de esturión (*Acipenser trasmontanus* Richardson) para varios tamaños de granja, con el objetivo de estimar los costes de producción bajo diferentes estrategias de gestión. Los autores enfocan los efectos de variables como mortalidad, crecimiento, consumo de alimento, densidad de los peces en los tanques, tamaño de la granja y venta de pescado (diferentes tallas) sobre los costes y tasas internas de rendimiento. Sus resultados muestran economías de escala y obtienen el menor precio de producción de alevines cuando la

dimensión de la granja se sitúa en una operación capaz de mantener 15 reproductores.

Más recientemente, utilizando algunos modelos de SHIGEKAWA y LOGAN (1986), LOGAN *et al.* (1995) desarrollan un nuevo modelo bioeconómico para analizar costes, ingresos netos y tasas de retorno a la inversión en la producción de esturión, con productos que incluyen carne, y hueva de caviar para tres tamaños de granja. Las relaciones biológicas como crecimiento, consumo de alimento, madurez sexual y mortalidad se interrelacionan con decisiones de gestión como densidad, edad a la cual los peces son vendidos, y tamaño de granja, para obtener el comportamiento económico de estas empresas bajo diferentes escenarios. Observaron que cuando el precio de la hueva de caviar es menor que \$331 por kg, la empresa recibe grandes retornos en la inversión, vendiendo además toda la producción de peces a la edad de 18,5 meses.

En Estados Unidos de América, el cultivo del pez gato (*Ictalurus punctatus*) es de gran importancia, siendo el pez más cultivado en este país. Es una especie de agua dulce muy estudiada a nivel económico, pudiéndose citar los modelos bioeconómicos desarrollados por CACHO *et al.* (1990), quienes se concentraron en las respuestas del pez gato alimentado con diferentes dietas. La bioeconomía es utilizada en este caso para relacionar el análisis de la economía de la producción, con resultados experimentales de nutrición. Los autores discuten los efectos de la calidad y cantidad de la dieta en los beneficios y cantidad de cosecha obtenida.

Otro pez de gran importancia para la acuicultura de países de zonas frías y semifrías, y que se ha cultivado desde formas extensiva hasta super-

intensiva, es la trucha. LOGAN y JOHNSTON (1992) utilizan un modelo para representar la producción de huevos de este pez, que se lleva a cabo mediante la inducción de la maduración de los reproductores bajo control de fotoperíodo. Los autores asignan distribuciones probabilísticas para el número, tamaño y calidad de los huevos producidos, así como para el crecimiento y mortalidad de los peces, condicionados a la edad de éstos. Se evaluaron diferentes alternativas de manejo, entre las que se encuentra la de mantener los reproductores en la granja, de una hasta cuatro puestas. Así, para 10 meses de ciclo de inducción a la reproducción con fotoperíodo, dos puestas ofrecieron las mejores contribuciones a los ingresos netos, seguido de tres, una y cuatro puestas.

Los peces se han cultivado no sólo en monocultivo, sino también como bicultivo y policultivo, además de haberse llevado a cabo cultivos integrales (principalmente los chinos han desarrollado este tipo de granjas). Para una granja de producción de pollos, maíz y soja, BACON *et al.* (1994) estudian la inclusión del cultivo adicional de trucha, y observan cómo se pueden mejorar los beneficios en estas granjas de tipo integral. Observaron cómo afectan las variables de precios y cantidades de peces para venta, costes de insumos, tasas de mortalidad e índices de conversión alimenticia de la trucha, en la economía de la granja. Las variables pueden ser utilizadas fortuitamente y son representadas como probabilidades triangulares de distribución no simétrica (como primera aproximación de situaciones donde hay pocos datos). El resultado es un incremento de los ingresos esperados y una reducción del riesgo al combinar agricultura con acuicultura. El uso de capital como deuda externa mejora valores actualizados netos y las tasas internas de rendimiento

después de los impuestos, aunque los ingresos de efectivo neto de la granja se ven sólo ligeramente incrementados.

Los modelos bioeconómicos empleados para los sistemas de peces son muy variados y con diferentes grados de complejidad, y es muy importante introducir elementos que produzcan incertidumbre al sistema para conseguir una mejor cercanía con la realidad.

El cultivo de moluscos no solo tiene importancia para países como Japón, Francia y España, aunque en ellos su relevancia comercial es muy significativa. BOSCH y SHABMAN (1990) utilizan un modelo representativo de una granja de ostras en Virginia (E.U.A.), para estudiar los beneficios que causaría el desarrollar programas alternativos de investigación para estos moluscos. Encuentran que mejoras en la tecnología de la cosecha de las semillas y un mejor conocimiento del intervalo de salinidad del agua, proporcionaría el mayor potencial para incrementar la rentabilidad de la producción de estos organismos.

Se han publicado algunos resultados a partir de simulaciones en trabajos relacionados con bioeconomía donde se hace poca referencia a los modelos, lo que parece sugerir que algunas veces se han realizado ligeras adaptaciones a estos estudios, tal y como se expone a continuación en dos ejemplos:

GEMPESAW *et al.* (1992) estudian el crecimiento de "striped bass" (*Morone saxatilis*, *Morone chrysops*) en ocho tamaños de estanques, entre 0,5 y 30 acres, bajo tres escenarios de eficiencia en conversión de alimento y tasas de supervivencia. Utilizan un modelo de simulación (denominándole AQUASIM) para presupuestar y obtener la óptima rentabilidad del tamaño del tanque y crecimiento. Se utiliza la técnica "Monte-Carlo", siendo las funciones

de tipo estocástico. Los autores encontraron un tamaño óptimo de estanque de cultivo dentro de un intervalo de 2,5 a 10 acres.

LAMBREGTS *et al.* (1993) simulan quince granjas de *Penaeus vannamei* para evaluar las economías de escala y comparar tres estrategias de producción: semi-intensiva, intensiva y super intensiva. Las estimaciones de costes y datos biológicos fueron estudiados utilizando el modelo MARISM (HANSON *et al.*, 1985). En los tamaños de granja considerados, los costes de inversión por hectárea decrecen aproximadamente 50%, y los costes de producción un 25%, cuando la inversión es mayor de \$ 0,75 millones. La estrategia intensiva provee mejores retornos a la inversión que la estrategia semi-intensiva o super intensiva, y cuando la inversión es menor de \$0,75 millones, la estrategia semi-intensiva provee mayores tasas internas de rendimiento.

Los modelos bioeconómicos parecen pues, una herramienta de gran importancia empresarial y aun cuando es una técnica muy nueva, ha resultado relevante para estudiar los cultivos desde diferentes puntos de vista, particularmente para conocer más acerca de la economía de la producción. Por último se presentan dos ejemplos de otra técnica utilizada en bioeconomía, para optimizar algunas de las variables de control en los cultivos.

2.6.1. DOS EJEMPLOS DE MODELOS DE OPTIMIZACION EN ACUICULTURA.

Como ejemplos de modelos de optimización, se presenta, el de CACHO *et al.* (1991), por ser de los pocos modelos que se han publicado con relación a

la alimentación, e incluyendo específicamente el contenido en proteínas, grasas y tamaño de ración. El otro ejemplo publicado que se revisa es el de RIZZO y SPAGNOLO (1996), sobre cultivo de lubina, debido a que esta especie se cultiva frecuentemente en forma conjunta con dorada en el área Mediterránea.

CACHO *et al.* (1991) presentan un modelo diseñado para determinar la trayectoria óptima entre la calidad y cantidad de la dieta; calculan las isocuantas entre estas dos variables, y utilizan la tasa de alimentación como variable de control en tanques con control de temperatura. El objetivo es el de minimizar costes en el cultivo del pez gato.

La variable de control es relevante, pues el alimento no consumido entra en un proceso rápido de descomposición que se añade a los desechos sólidos de la granja, generando problemas para la calidad del agua. La acumulación de residuos conlleva una reducción de oxígeno disuelto, reduciendo el apetito de los peces entre otros efectos primarios. Como consecuencia, resultan también afectados negativamente el crecimiento y la tasa de supervivencia. La aireación puede paliar estos problemas, pero se incurre en mayores costes de producción. Por lo tanto, la gestión de la alimentación encuentra restricciones de tipo biológico que han de añadirse a las restricciones de tipo económico.

Las variables de calidad y cantidad de alimento son consideradas a corto plazo, esto es, sólo se trata la minimización de los costes variables. Los costes e ingresos se expresan por hectárea de superficie utilizada en la producción. La calidad del agua se mide por la concentración de oxígeno disuelto. El objetivo de la empresa es maximizar los beneficios, definidos como:

$$\pi = Y P_Y - (C_F + C_A + C_L) \quad (2.1)$$

donde Y es la cantidad de peces producidos (kg/ha), P_Y es el precio de venta del pez gato (ptas/kg), C_F es el coste de la alimentación (ptas/ha), C_A es el coste de la aireación (ptas/ha), y C_L es el coste total de los alevines (ptas/ha).

La función de producción es:

$$Y = W_H S \quad (2.2)$$

donde S es la densidad de cultivo (peces /ha), y W_H es el peso de la cosecha (kg/pez), el cual se define por la función de crecimiento:

$$W_H = w_0 + \int_{t_0}^{t_H} \omega_t dt \quad (2.3)$$

donde W_0 es el peso inicial de los alevines, t_0 es el día del comienzo de la cría, t_H es el día de la cosecha, y ω_t es la tasa de crecimiento en el día t (kg/día).

Los costes de producción se definen de la siguiente forma:

$$C_F = P_F S \int_{t_0}^{t_H} R(t) F_t dt, \quad 0 \leq R(t) \leq 1 \quad (2.4)$$

$$C_A = P_K \int_{t_0}^{t_H} A_t dt \quad (2.5)$$

$$C_L = P_L S \quad (2.6)$$

donde P_F es el coste de la alimentación (ptas/kg), P_k es el coste de la energía eléctrica (ptas/kw/h), P_L es el coste del alevín (ptas/pez), R es el tamaño de la ración (relacionado con el apetito), F_t es el apetito en el día t (kg/pez día), A_t es la energía utilizada en la aireación (kW/h/ha/día).

El apetito, la tasa de crecimiento, y la energía utilizada para la aireación tienen las siguientes expresiones:

$$F_t = \frac{dF}{dt} = f[W(t), T(t)] \quad (2.7)$$

$$\omega_t = \frac{dW}{dt} = g[W(t), T(t), R(t), D] \quad (2.8)$$

$$A_t = \frac{dA}{dt} = h[W(t), T(t), R(t), D, S] \quad (2.9)$$

donde ω es el peso del pez (kg), T es la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), y D es la composición proteica de la dieta. Las funciones de apetito y tasa de crecimiento representan los inputs y outputs diarios del pez, y se modelizan a partir de un sistema de quince ecuaciones no lineales.

Las ecuaciones de comportamiento se definen a partir de parámetros estimados en experimentos biológicos. Se introducen en el modelo: una ecuación que relaciona el apetito con el peso del pez y la temperatura; una ecuación de energía utilizada para el mantenimiento del pez a partir de los contenidos en dieta de proteína y lípidos; una ecuación de temperatura del agua dependiendo de la estación del año; y una ecuación que depende de la relación entre el oxígeno disuelto en agua y el oxígeno transferido al estanque, que tiene una expresión que depende de la temperatura.

La sustitución de las ecuaciones de comportamiento en la función de beneficios resulta en una ecuación con nueve variables. Las variables endógenas $W(t)$ y $DO(t)$ junto a la variable exógena $T(t)$ definen el estado del sistema en cualquier momento del tiempo t . Las variables de decisión son t_0 , t_H , $R(t)$, A_t , D , S . El nivel de oxígeno disuelto en agua se fija al nivel 5 ppm a través del ajuste de A_t . $T(t)$ no se puede hacer variar, dado que su trayectoria desde t_0 hasta t_H está predeterminada.

Uno de los problemas es elegir la combinación óptima de $R(t)$, D , y t_H . Dado que el pez se alimenta una vez al día, el tiempo se divide en intervalos discretos. La complejidad de la solución óptima de este problema se deriva de la obtención de $2 + (t_H - t_0)$ condiciones de primer orden no lineales del tipo:

$$\frac{d\pi}{dx_i} = P_F \frac{dY}{dW_H} \frac{dW_H}{dx_i} - \left(\frac{dC_F}{dx_i} + \frac{dC_A}{dx_i} \right) = 0 \quad (2.10)$$

$$i=1,2,\dots,n;$$

donde $x_1 = D$, $x_2 = t_H$, $x_3 = R(t_0), \dots, X_n = R(t_H)$. La obtención de una sola solución numérica se descompone en dos pasos: primero, se resuelve un problema de control de minimización de costes eligiendo la ración $R(t)$, suponiendo diversos valores de D y t_H , y diferentes valores de $W(t_H)$. En el segundo paso se obtiene la solución que maximiza el beneficio a través de la simulación.

Otro problema consiste en encontrar la trayectoria óptima de $R(t)$ que minimiza los costes de producción de un pez de peso W_H en el momento de la cosecha t_H . El objetivo es minimizar el coste de alimentar un pez desde el período de cría hasta la cosecha:

$$\text{Min} \quad J = P_F \int_{t_0}^{t_H} R(t) F_t dt \quad (2.11)$$

sujeto a:

$$F_t = f [W(t), t] \quad (2.12)$$

$$W_t = g [W(t), R(t), t] \quad (2.13)$$

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

$$W(t_0) = W_0 \quad (2.14)$$

$$W(t_H) = W_H \quad (2.15)$$

Los resultados del análisis de CACHO *et al.* (1991) utilizando datos del pez gato sugieren que la solución óptima de $R(t)$ implica que debe restringirse la alimentación del pez en los períodos en los que la temperatura es alta, éstos es, en los meses de verano. Ello mejoraría la eficiencia de conversión de alimento en crecimiento sin poner en peligro la salud del pez, contribuyendo al mantenimiento de la calidad del agua. Por otro lado, el óptimo económico difiere del óptimo biológico, esto es, la trayectoria de minimización de costes difiere de la trayectoria de maximización de crecimiento (saciación) en lo que se refiere a las decisiones sobre calidad de alimentación (ración y proteína). La primera trayectoria genera unos beneficios netos 27% superiores. Estas diferencias se reducen a medida que aumenta el peso de cosecha del pez, lo que implica que la elección entre la estrategia económica y biológica es menos relevante para mercados donde se prefieren peces de gran tamaño. El contenido proteico óptimo varía entre el 32% y el 36,5%, y la decisión depende de los precios de los nutrientes.

Otro ejemplo es el trabajo de RIZZO y SPAGNOLO (1996), quienes desarrollan un modelo para la simulación y óptimo manejo de una granja de lubina. Los autores consideran el crecimiento y la mortalidad como procesos Markovianos, incluyendo los efectos de temperatura del agua, nivel de alimentación, contenido de oxígeno y renovación de agua. Es un modelo interesante, pues puede tener también en cuenta efectos estocásticos en el crecimiento y la mortalidad, relacionándolos con diferencias genéticas. El objetivo es maximizar beneficios respecto a la máxima densidad en los tanques.

Las estrategias de manejo pueden ser optimizadas determinando la distribución de las variables de decisión que maximizan los beneficios en un tiempo dado, respecto a la máxima densidad en los tanques. Un problema clásico concerniente a la optimización no lineal es definido por:

$$\min_u F(u) \quad (2.16)$$

$$C(u) \geq 0 \quad i = 1, M \quad (2.17)$$

donde la variable de decisión (u) representa las estrategias de biomasa de peces y cosecha, F la suma de los beneficios (π_k) en un cierto período, y el posible valor residual al final del tiempo (como horizonte):

$$F(u) = -RV - \sum \pi_k \quad (2.18)$$

La desigualdad, expresa la condición de que la densidad del tanque puede ser inferior a un máximo valor:

$$c_i = d_{\max} - d \quad (2.19)$$

El problema de no-linealidad ha sido resuelto utilizando la aproximación aumentada lagrangiana.

El análisis de optimización (RIZZO y SPAGNOLO 1996), que tiene por objetivo maximizar los beneficios, utiliza la estrategia de cosecha (porcentaje de biomasa cosechada, para la talla de clases de 16 a 20) y existencia de peces, obteniendo entre otras como conclusiones:

1.- Por cada combinación de condiciones ambientales y económicas (al articular las estrategias de cosecha y número de peces que permanecerán en los sistemas como existencias) maximizan la utilización de la planta dentro del límite máximo de densidad, admitiendo relevantes incrementos en las ganancias.

2.- El nivel de cosecha es aumentado cuando el precio crece en el período esperado. Es evidente que el manejo de los beneficios depende de la certidumbre en la predicción de las tendencias de las variables exógenas, especialmente los precios de venta. También es claro que debido a las complejas interacciones de las muchas variables que afectan al proceso, el manejo de estrategias óptimas no puede ser visto como simples relaciones estáticas.

Los resultados obtenidos por estos autores en cuanto al modelo de simulación son:

1.- Cuando la temperatura del agua se incrementa, la producción e ingresos también lo hacen, ocurriendo lo opuesto con los costes. Entre 18 y

24°C, los beneficios se incrementan alrededor de 1600 millones de Liras Italianas (Lit), y el índice de conversión alimentaria pasa de 3,93 a 2,31.

2.- La estrategia de la densidad de cultivo puede ser variada, incrementando la biomasa total. Cuando la biomasa total en la granja cambia de 0,3 a 0,9 toneladas, un incremento en producción, ingresos, densidad y costes es generada. Los beneficios son máximos cuando la biomasa total es de 0,6 toneladas, ya que para valores más bajos no se aprovecha la capacidad total de la granja, y para valores mayores de 0,6 toneladas, son necesarios costes excesivos de oxígeno.

En otro análisis de simulación, una biomasa total dada de 0,5 toneladas ha sido inventariada en períodos variables de uno a dieciséis meses. Los máximos beneficios son alcanzados a los 10 meses, lo que permite una reducción de la máxima densidad (de 20 a 10 kg/m³) acompañada de costes más bajos de oxígeno, respecto al caso base.

3.- La reducción de niveles de alimentación de 100% a 60% causa un incremento en el tiempo de crecimiento de 16 a más de 24 meses, y hay una reducción en los beneficios y la producción. Los bajos costes de alimentación no compensan los altos costes de energía eléctrica y oxígeno, debido al largo proceso de crecimiento y los correspondientes efectos financieros negativos.

4.- Al elevar la temperatura del agua, el incremento de producción e ingresos alcanzados, no compensan el alto coste de energía resultante.

2.7. ECONOMIA DEL CULTIVO.

2.7.1. LA FUNCION DE PRODUCCION.

Para producir pescado, el empresario combina factores o insumos (inputs del inglés) de producción de acuerdo a una determinada prescripción. Siendo los factores la mano de obra, los alevines, el pienso y en acuicultura en especial, factores ambientales como temperatura del agua, oxígeno disuelto, salinidad, etc. La prescripción que se sigue se denomina formalmente "función de producción" y algebraicamente sería:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.20)$$

Es necesario notar que la función de producción es una relación física (o técnica) entre factores y producto y no es una relación económica, ya que no se incluye el precio de los factores en el concepto. La función de producción también puede ser expresada como:

$$Q = f(x_1/x_2, \dots, x_n) \quad (2.21)$$

lo que significa que Q depende de $x_1, x_2, \dots, x_n$, pero varía x_1 y el resto de los factores permanecen constantes. Cuando un insumo es incrementado (permaneciendo los demás factores constantes), el producto que resulta aumentará al inicio en una cantidad más que proporcional, seguirá aumentando cada vez en una mayor proporción llegando a decrecer para un cierto nivel de insumo. Esta relación es denominada "Ley de Rendimientos Decrecientes" (SHANG, 1981; ALLEN *et al.*, 1984).

Un concepto importante resulta a partir de la explicación anterior: producto físico marginal (PFM), que se define como la variación en la producción que resulta de una variación unitaria de un insumo cuando los otros insumos permanecen constantes. Expresada matemáticamente sería:

$$PFM_{x_i} = \frac{dQ}{dx_i} \quad (2.22)$$

Un producto puede ser producido por una serie de vías, dependiendo de las combinaciones de técnicas e insumos utilizados. La función de producción física no proporciona información para la toma de decisiones, si queremos determinar la combinación más conveniente de insumos o productos. Se hace necesario introducir consideraciones de tipo económico que analizaremos a continuación.

2.7.2. LA OPTIMIZACION ECONOMICA DEL SISTEMA.

Dada una función de producción, para determinar el nivel adecuado de factores es necesario considerar el coste de estos factores y el precio del producto. Los beneficios serán maximizados cuando el rendimiento añadido de la última unidad de un factor iguale el precio de éste. La función de beneficios en forma algebraica sería:

$$B = P_q Q - \sum P_{x_i} x_i \quad (2.23)$$

donde:

P_q = precio del producto

P_{x_i} = precio del insumo i

los beneficios serán maximizados cuando:

$$P_q \frac{dQ}{dx_i} - P_{x_i} = 0 \quad \text{es decir:} \quad \frac{dQ}{dx_i} = \frac{P_{x_i}}{P_q} \quad (2.24)$$

Así la condición de maximización, para el caso de una única variable x_1 donde el nivel de los otros insumos se mantiene constante, puede también escribirse como:

$$PFM_{x_i} = \frac{P_{x_i}}{P_q} \quad (2.25)$$

Estas condiciones de maximización de beneficios indican que hay tres factores primordiales que influyen sobre el nivel de máximos beneficios de recursos: (1) el precio del producto, (2) el precio de los insumos y (3) las relaciones de producción física que afectan al producto físico marginal.

Cabe señalar que los precios, tanto de los productos como de los insumos, están sujetos a variaciones continuas, lo cual influye considerablemente en la determinación del nivel máximo de beneficios.

El nivel máximo de producción dependerá de los costes de producción y de los ingresos. En este sentido, el beneficio es maximizado cuando el incremento total de los costes, que resulta de un aumento unitario del producto, iguala el correspondiente aumento en los ingresos totales. El beneficio será maximizado cuando el coste marginal (C_{Ma}) iguale al ingreso marginal (IM).

Una disminución en el precio del producto, reduce el ingreso marginal y por tanto, el nivel óptimo del producto. De la misma forma, un aumento en el precio del producto incrementa el ingreso marginal y el nivel de más provecho del producto.

Los costes involucrados en el proceso de producción pueden ser clasificados en fijos y variables. Para una empresa, el corto plazo se define como un período de tiempo durante el cual no se varían ciertos factores, considerados fijos, con sus correspondientes costes fijos. Los costes variables de esta manera fluctúan de acuerdo al nivel de producción; en el largo plazo todas las cantidades de los factores y sus costes tienden a ser variables (BLAIR y KENNY, 1983). Se definen así otros conceptos, como costes fijos (CF), costes totales medios (CTMe), coste marginal (CMa), coste medio (CMe) y coste variable medio (CVMe) (ALLEN *et al.*, 1984):

$$CF = \text{Costes fijos/Producción}$$

$$CTMe = \text{Costes totales medios/Producción}$$

$$CMa = \Delta \text{coste total} / \Delta \text{de la producción}$$

$$CMe = \text{Costes totales/producción}$$

$$CVMe = \text{Costes variables totales/producción}$$

cuyas curvas típicas se muestran en la Figura 2.8.

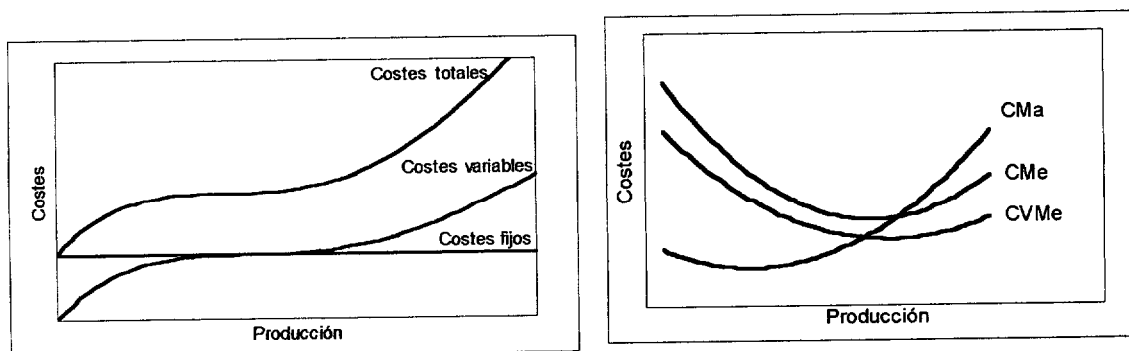


Figura 2.8. Curvas típicas que relacionan los costes con la producción: coste marginal (CMa), coste medio (CMe) y coste variable medio (CVMe) (ALLEN, *et al.*, 1984).

2.7.3. ECONOMIAS DE ESCALA.

La teoría de los rendimientos a escala está relacionada con los costes medios de producción a largo plazo (CMeL), e implica ciertos beneficios a largo plazo, cuando todos los factores empleados en el proceso de producción son variados en la misma proporción. Al incrementar la producción en una cierta proporción, los costes medios de producción tienden a disminuir en una fase inicial, debido a que los costes fijos se distribuyen entre más unidades de producción y los factores utilizados se ajustan más eficientemente. Sin embargo, si esta producción aumenta hasta un nivel en que algunos factores se convierten en limitantes, los costes medios tienden a incrementarse, debido a que la ley de rendimientos decrecientes actuará en este sentido. Por lo que cada tamaño de empresa en el corto plazo tiene una curva de coste medio (CMeC) como la presentada en la Figura 2.8. En el largo plazo existe una curva de coste medio (CMeL) que envuelve las diferentes curvas de CMeC (Figura 2.9) (BLAIR y KENNY, 1983; ALLEN *et al.*, 1984).

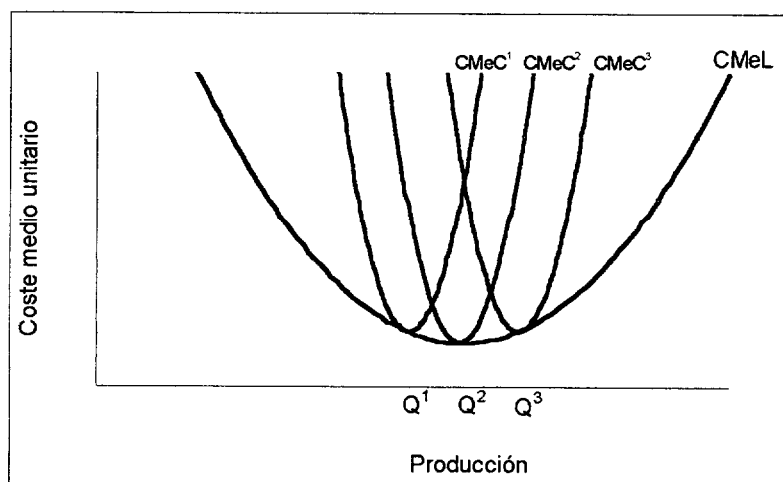


Figura 2.9. La curva de coste medio a largo plazo (CMeL) es la envoltora de las curvas de coste medio a corto plazo (CMeC).

Los costes marginales a largo plazo (CMaL), están formados por los segmentos correspondientes de las curvas de coste marginal a corto plazo (Figura 2.8). Esto es válido independientemente del número de tamaños de planta que haya. El CMaL está formado por dos partes: la variación que experimentan los costes cuando se mantiene fijo el tamaño de la planta, más la variación que experimentan los costes cuando se ajusta. Pero si el tamaño elegido es el óptimo, el último término tiene que ser cero y, por lo tanto, los costes marginales a largo y corto plazo tienen que ser iguales. Matemáticamente sería:

$$c(y) \equiv c_s(y, k(y)) \quad (2.26)$$

donde c son los costes, y un nivel de producción y $k(y)$ un tamaño de planta para ese nivel. Derivando con respecto a y , tenemos que:

$$\frac{dc(y)}{dy} = \frac{\delta c_s(y, k)}{\delta y} + \frac{\delta c_s(y, k)}{\delta k} \frac{\delta k(y)}{\delta y} \quad (2.27)$$

Si evaluamos esta expresión en un nivel específico de producción y^* y su tamaño de planta óptimo correspondiente $k^* = k(y^*)$, sabemos que:

$$\frac{\delta c_s(y^*, k^*)}{\delta k} = 0 \quad (2.28)$$

Por lo tanto, los costes marginales a largo plazo (CMaL) correspondientes a y^* son iguales a los costes marginales a corto plazo (CMaC) correspondientes a (y^*, k^*) .

2.7.4. EL ANALISIS ECONOMICO.

El análisis económico se realiza básicamente en dos puntos en el tiempo: el primero antes de iniciar operaciones y el segundo al estar en marcha la empresa. La intención de evaluar inicialmente las operaciones está relacionado con la viabilidad de la futura empresa, mientras que el realizar una inspección económica posterior, significa conocer si está siendo eficiente la empresa o puede ser mejorada o si es necesario pasar a una escala mayor.

Cuando se instala una empresa, es con el propósito de obtener beneficios durante cierto tiempo, por lo que un análisis económico debe de ser capaz de representar situaciones futuras, como conocer el equivalente actual de futuros estados financieros.

Las herramientas para el análisis económico son divididas según SHANG (1981) en análisis coste – beneficio, análisis de flujo de efectivo y análisis de viabilidad de la inversión.

El análisis coste-beneficio, determina el coste de producir un bien y los beneficios de tal producción. Este método es usual en la evaluación de la viabilidad económica o conducción de una granja en acuicultura. Implica la estimación de los costes de producción, beneficios, etc., utilizando estimadores como ingresos netos, tasa interna de rendimiento, etc. en la evaluación.

El análisis de flujo de efectivo se utiliza cuando la empresa está en operación, para evaluar la potencialidad de la granja, para cumplir con sus compromisos financieros. Adelantándose a períodos de obligación y disponibilidad de efectivo, para programar actividades como adquisiciones de equipos, insumos o préstamos, etc. Este análisis no es para estimar el rendimiento de la inversión, únicamente indica el flujo de efectivo de la empresa.

El análisis de viabilidad de la inversión es el estudio que ayuda a tomar decisiones sobre las propuestas de inversión que se están considerando, utilizando costes de inversión y de producción (STEWART, 1996). Los procesos de inversión se caracterizan por tres parámetros básicos (ROMERO, 1997) y son:

- El pago de la inversión, que es el valor (en pesetas) que el empresario debe desembolsar para conseguir que la granja comience a funcionar.
- La vida de la inversión, que representa el tiempo que la empresa estará funcionando y generando rendimientos, de acuerdo a las previsiones del empresario.
- Los rendimientos generados por la inversión durante el tiempo de vida del proyecto. Estos rendimientos se miden como beneficios (ingresos menos costes).

La evaluación de la viabilidad de la inversión puede ser llevada a cabo por diferentes métodos y algunos de ellos son:

- a) Recuperación de la inversión (tiempo), que se calcula con el cociente entre los costes de inversión y los beneficios anuales.

- b) Valor capital de la inversión, que incorpora una tasa de interés en el cálculo de efectivo. Esta también es llamada valor actual neto (VAN) y la forma de cálculo es:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - K \quad (2.29)$$

donde:

n = tiempo de vida de la inversión

R_j = rendimientos

i = tasa de descuento

K = costes de inversión.

- c) Relación beneficio/inversión. Este estimador informa sobre la rentabilidad relativa de la inversión y la forma de obtenerlo es dividir el VAN generado por la inversión, por la inversión inicial.
- d) Tasa interna de rendimiento (TIR). La rentabilidad relativa de la inversión también puede plantearse como una especie de préstamo. El granjero que es el prestatario se compromete a devolver al prestamista, al final de cada año, ciertos rendimientos que se generan de la inversión. Planteada la inversión en estos términos, resulta muy útil determinar el interés que se obtiene por el préstamo. Este tipo de interés constituirá un indicador de la eficacia que ha tenido la inversión para el acuicultor. Si este tipo de interés fuera ϕ , deberá de satisfacer la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+\phi)^j} \quad (2.30)$$

Si sustituimos el interés ϕ por la tasa de descuento i en la ecuación del VAN, tiene la propiedad de hacer cero el valor que se obtiene de dicha ecuación. Es decir, si se procede a actualizar los flujos de caja generados por la inversión a razón de un ϕ por uno, el VAN se hace nulo.

3. MATERIAL Y METODOS

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente, este estudio fue llevado a cabo siguiendo el proceso de desarrollo de modelos bioeconómicos aplicados a granjas de peces. El desarrollo de un modelo bioeconómico se inicia con la descripción conceptual del modelo, donde se identifican los componentes y sus interacciones. Seguidamente viene la descripción matemática del modelo, donde se estructura la forma general y funcional de éste. Posteriormente se debe evaluar su representatividad razonable, y hacer un análisis de sensibilidad para localizar los parámetros que más influyen en el sistema. Por último, se deben identificar aplicaciones y desarrollar simulaciones.

3.1. EL MODELO CONCEPTUAL.

La Figura 3.1 presenta el modelo conceptual. El modelo está definido por cuatro submodelos, que son: el biológico, el ambiental, el de manejo de las jaulas y el económico. Se puede observar cómo los submodelos interactúan con entradas y salidas de información. Las funciones biológicas (de crecimiento y alimentación) responden a escenarios ambientales (temperatura del agua). A la vez, se determinan los costes en el submodelo económico. En el submodelo de manejo de la producción, de acuerdo al crecimiento de los peces, se define cuándo se siembran y se cosechan las cantidades de organismos necesarios para cumplir los objetivos de marketing y producción. Las funciones son descritas en detalle en el siguiente apartado, y determinan los más importantes requerimientos y los costes asociados a la empresa.

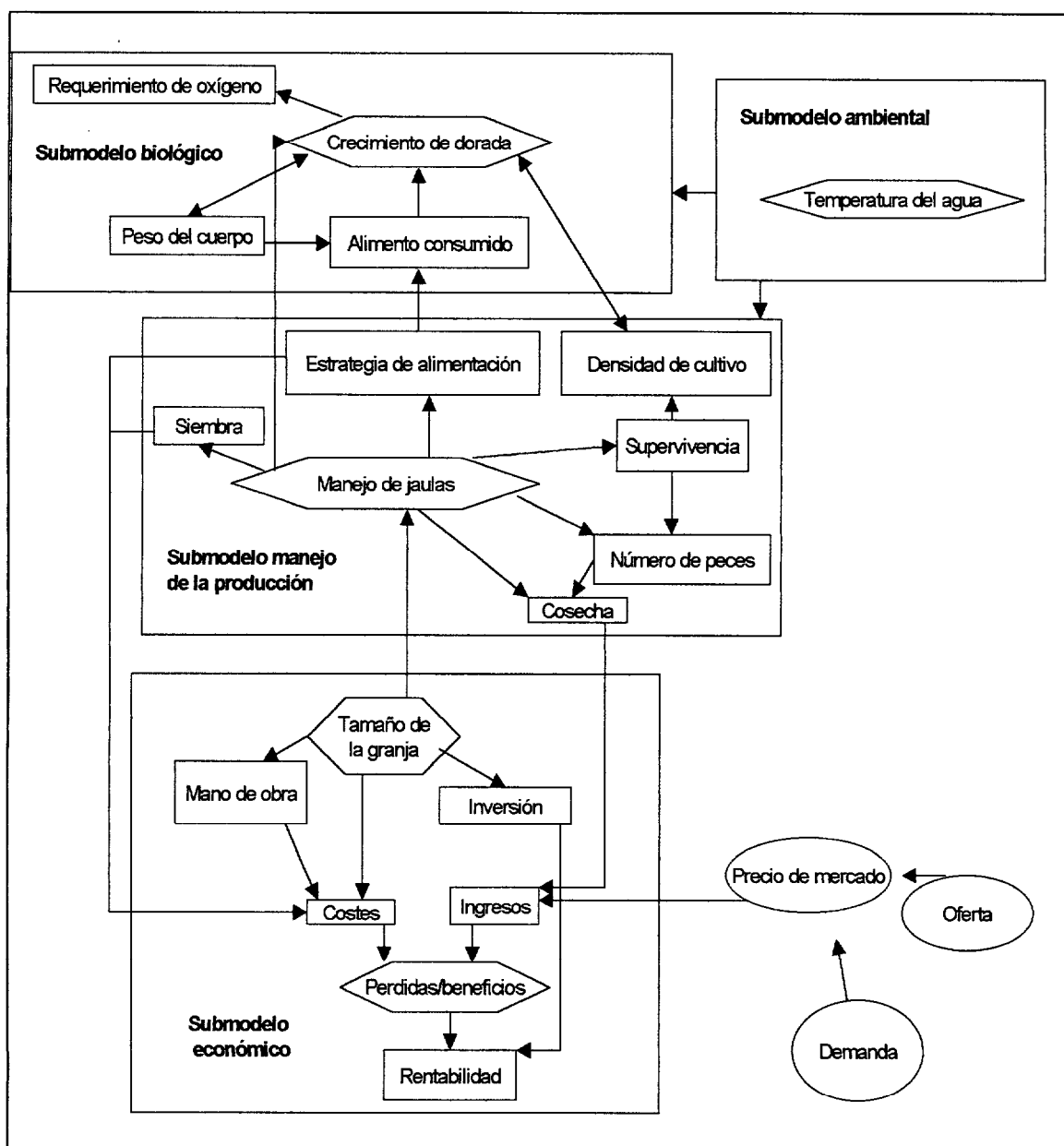


Figura 3.1. Modelo conceptual de engorde de dorada en jaulas marinas.

3.2. ORIGEN DE LA INFORMACION.

El modelo bioeconómico requiere estimaciones de parámetros y variables para cada submodelo; para obtener éstos nos hemos basado en datos facilitados por la empresa de engorde de dorada "Alevines y Doradas S.A." (ADSA) ubicada en Gran Canaria, España. Los datos biológicos, técnicos y económicos corresponden a jaulas flotantes, que operaron de 1994 a 1996.

Esta granja ha mantenido una producción exitosa de dorada en jaulas desde julio de 1994 hasta 1998, alcanzando una producción de 200 Tm/año en 1997, aspecto que le permite al modelo bioeconómico obtener muy buenas aproximaciones a situaciones reales de cultivo, lo cual significa que la simulación será representativa de un sistema que ha sido puesto en funcionamiento para el cultivo de dorada en jaulas. Además, el modelo fue complementado con datos adicionales de trabajos de investigación de dorada obtenidos por el grupo de investigación en acuicultura "GIA" (formado por profesores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y el Instituto Canario de Ciencias Marinas) en el área de nutrición y alimentación en sistemas de jaulas y tanques de tipo industrial intensivo. Asimismo, se realizó una investigación bibliográfica en áreas de economía, biología y técnicas de cultivo de esta especie. Las especificaciones para el modelo fueron completadas por proveedores de equipo de acuicultura.

3.3. EL SISTEMA DE CULTIVO EN JAULAS Y LAS VARIABLES EN EL MODELO DEL SISTEMA.

Como una introducción previa a la especificación de las funciones que conforman el modelo, es conveniente proceder a la descripción general que da estructura al sistema de cultivo a modelar, y presentar las líneas de gestión que permiten conducir la producción de esta especie.

La mayoría de las granjas de dorada y lubina en España utiliza jaulas fabricadas por la empresa española CORELSA (especializada en el equipamiento integral de acuicultura). Las jaulas son circulares y de diferentes

diámetros, desde 5 hasta 30 m, siendo comunes las de 12 y 16 m. Están formadas por dos coronas concéntricas de tubos de polietileno, apto para uso alimentario, y una corona superior que sirve de baranda de operación. Las dos coronas se encuentran rellenas por poriestireno, lo que incrementa su flotabilidad. Las redes son de material sintético (100% poliamida) protegidas con un material contra rayos UV, sin nudos para no dañar a los peces. La profundidad de las redes es variable y oscila entre 7 y 10 m, dependiendo de la columna de agua que tienen las granjas en el área de concesión, siendo frecuente 10 m. Las redes llevan pesos para mantener y dar forma cilíndrica a la jaula. Los sistemas de anclaje son flexibles, para resistir olas hasta de 7 metros y vientos de 120 Km./h, además de que se pueden ir incrementando su dimensión si las necesidades son de incrementar la producción. Para una granja de 200 Tm/año, son necesarias alrededor de 8 a 12 jaulas, según el tamaño de las mismas, con capacidad de 16000 m³ y generalmente se encuentran juntas formando un rectángulo. El equipo suplementario como barcos, maquinas lava redes, contadores de peces, clasificadores y bombas etc. es necesario para desempeñar correctamente las tareas de la granja. Por ejemplo la bomba se emplea conjuntamente con el clasificador para facilitar el transporte o trasvase de peces vivos. Los clasificadores trabajan a la vez en combinación con el contador de peces, que controla el número de peces presentes en la granja. Esto garantiza una alimentación más fiable y por tanto una reducción del coste de producción. Las redes necesitan ser lavadas cada determinado tiempo, dependiendo del lugar y la productividad que en éste exista, pues algas y moluscos se adhieren ("fouling" del inglés), reduciendo la renovación del agua.

El ciclo de cultivo en jaulas de mar abierto tiene dos fases, una de preengorde y una segunda de engorde, aunque en algunos casos esta última es exclusiva. El preengorde se puede llevar a cabo en tanques, y existen granjas de engorde que tienen instalaciones en tierra a tal efecto, así como semilleros (hatchery) que también producen peces de estas tallas a partir de reproductores adultos, y cuyo producto son alevines para engorde. En las jaulas también se puede realizar preengorde, se pueden alojar jaulas pequeñas de 5,5 m de diámetro en el interior de las de engorde, y cuando los peces alcanzan la talla suficiente se liberan en la o las unidades más grandes.

Los alevines son transportados hasta las instalaciones de cultivo y se siembran repartidos o distribuidos en lotes que se alojan en las diferentes jaulas. La distribución en las jaulas es función del tamaño de los peces, las características del agua, la capacidad de la jaula y la talla final a la que se deseen comercializar. Las densidades al inicio del cultivo oscilan entre <1 y 3 kg/m^3 (BARNABE, 1991).

La velocidad del crecimiento de los peces determina el tiempo medio de duración de un ciclo completo de cultivo. El crecimiento oscila dependiendo de las condiciones ambientales de la zona concreta donde se ubique la granja. La variable ambiental que está íntimamente relacionada con el crecimiento es la temperatura del agua. Por lo tanto, el crecimiento de la población de dorada en cultivo estará fuertemente influenciado por el intervalo de temperatura donde habiten los peces, incrementando la velocidad del crecimiento al estar en temperaturas favorables por períodos más prolongados y disminuyéndola en caso contrario.

Es importante tener en cuenta la dispersión de las tallas de los peces al realizar los controles de crecimiento. Cuando sea necesario se debe proceder a la clasificación para reagruparlos en aras de una mayor homogeneidad en los tamaños. La clasificación debe de mejorar el crecimiento, impedir el comportamiento de territorialidad y canibalismo ante dispersiones del tamaño de los peces, y así poder incrementar la densidad de cultivo.

Los peces inician el preengorde alrededor de 1,5 g y lo finalizan con la primera clasificación o desdoble de tallas entre 10 y 15 g, siendo necesaria una segunda (primera si es únicamente engorde) clasificación cuando los peces alcanzan los 80 g y una tercera a los 120 g. Una vez alcanzada esta última talla, el crecimiento es más homogéneo en comparación con las tallas anteriores y pocas veces es necesaria una nueva clasificación, pero se debe realizar un seguimiento de la dispersión en los controles periódicos de peso. Si las condiciones lo permiten, una estrategia de cultivo consiste en incrementar la densidad de siembra inicial, de manera que en la primera clasificación se tengan peces y tallas suficientes para desdoblar en dos jaulas, pudiéndose hacer lo mismo en sucesivas clasificaciones.

Con respecto a la alimentación de esta especie, ésta es totalmente artificial, compuesta por piensos secos, extruídos y/o granulados, que se proporcionan a los peces en unas cantidades diarias proporcionales al peso de estos basándose en tablas de alimentación que proveen las empresas productoras de estos piensos. Los criterios para su confección se basa en la calidad de estos, el peso de los organismos y la temperatura del agua. La alimentación se ajusta así mensualmente de acuerdo a éstas. Cuando se

presentan mortalidades considerables y/o cosechas en las jaulas, se realiza inmediatamente una nueva estimación de alimento.

El peso ó talla final de mercado de los peces que se cosecharan dependerá de los planes y estrategia de comercialización. Esta especie se suele comercializar en un intervalo de tallas que oscila entre 100 y 1000 g, cuando proviene de acuicultura, siendo las tallas intermedias las más comúnmente encontradas en el mercado. La decisión del tamaño para la comercialización dependerá en gran medida del lugar de localización de la granja, pues el intervalo de temperatura del agua determinará si es posible producir tallas mayores o menores de forma rentable. Las decisiones de mercadotecnia serán dependientes de la demanda de los diferentes productos. Las densidades finales en el momento de la cosecha varían entre 10 y 20 kg/m³ (BARNABE, 1991).

La simulación del sistema bioeconómico permite al usuario variar los parámetros de diferentes variables, y por lo tanto determinar los efectos de tales cambios en la producción de dorada. Las variables mencionadas en los párrafos anteriores son las que se han considerado para este sistema en este estudio. Con el fin de cumplir con los objetivo previstos inicialmente, a lo largo de este estudio se han modificado diferentes parámetros biológicos, técnicos, económicos y de mercado. Además de las variables citadas anteriormente también es posible modificar el tamaño de la granja, lo cual nos permitirá estudiar la economía de la producción en diferentes escalas.

A lo largo de este trabajo, el estudio de las principales variables que inciden en el cultivo de dorada y con los supuestos considerados, nos ha permitido evaluar el comportamiento del sistema desde un punto de vista

bioeconómico, así como la economía de la producción bajo diferentes escenarios alternativos, susceptibles de ser aplicados en situaciones reales de este tipo de empresas.

3.4. EL MODELO MATEMATICO.

El modelo matemático es la base del modelo bioeconómico, ya que es confiere una estructura general y funcional a éste. El modelo matemático relaciona las entradas y salidas (inputs, outputs) de forma específica entre los diferentes submodelos.

Este modelo de sistema de cultivo se desarrolló usando el planteamiento de Dinámica de Sistemas (FORRESTER, 1961), que consiste en representar en forma gráfica los sistemas dinámicos. La estructura básica para su desarrollo son los bucles causales de realimentación positiva o negativa, que representan una dependencia cíclica entre las variables, de forma similar a lo que ocurre en la naturaleza (ARACIL, 1992).

3.4.1. SUBMODELO BIOLOGICO.

Está integrado por las funciones biológicas y éstas no necesariamente representan condiciones óptimas o máximas de cultivo (por ejemplo, la mejor tasa de crecimiento o la mínima mortalidad de los peces), ya que en el caso de este trabajo fueron desarrolladas a partir de datos provenientes de cultivo comercial.

3.4.1.1. EL MODELO DE CRECIMIENTO.

En el presente trabajo se presenta, por primera vez, un modelo desarrollado específicamente para el crecimiento de la dorada –que se utiliza para un modelo de sistema de cultivo en jaulas- donde asumimos la hipótesis de que la tasa de crecimiento puede ser descompuesta en forma de tres funciones independientes (peso, temperatura del agua y alimentación), así como que el catabolismo y el anabolismo son procesos no agregados, lo que permite simular pérdidas de peso en determinadas situaciones de gestión (STAUFFER, 1973; BRETT, 1979; MULLER-FEUGA, 1990). Cabe aclarar que en este capítulo se presentan los resultados del modelo de crecimiento referidos a los parámetros y las funciones que hemos utilizado. En el capítulo de resultados y discusión se presentarán las respuestas del modelo respecto al crecimiento, al índice de conversión de alimento y a la temperatura del agua. Después de puntualizar lo anterior pasamos a desarrollar el modelo, basándonos en la ecuación:

$$\frac{dp}{dt} = \Gamma f_1(p) f_2(\theta) f_3(r) \quad (3.1)$$

donde:

dp/dt = incremento del peso respecto al tiempo

Γ = parámetro de corrección

$f_1(p)$ = función de peso

$f_2(\theta)$ = función térmica

$f_3(r)$ = función de alimentación

p = peso

θ = temperatura

r = ración

3.4.1.1.1. LA FUNCION DE PESO.

La función de peso $f_1(p)$ se aplica en continuo a lo largo de la vida de los organismos. El peso individual de los peces ha sido clasificado como un factor que determina el crecimiento, que tiene una cierta influencia en el metabolismo (conjunto de reacciones bioquímicas), determinando el peso de los organismos (STAUFFER, 1973; BRETT, 1979). La expresión que se ha seleccionado para la función de peso, como se sugiere por varios autores (PARKER y LARKIN, 1959 en RICKER, 1979; BRETT, 1979) es:

$$f_1(p) = b \cdot p^m \quad (3.2)$$

donde:

b y m = parámetros.

El parámetro m ejerce un efecto positivo en el crecimiento en forma decreciente.

3.4.1.1.1.1. ELECCION DE LOS PARAMETROS PARA LA FUNCION DE PESO.

El crecimiento, expresado en forma de tasa instantánea de crecimiento relativo (TCI), denominado también crecimiento específico, se obtuvo a partir de los datos empíricos y se define como $dp/dt \cdot 1/dt$ (RICKER, 1979). En la Tabla 3.1 se muestran los diferentes valores de TCI, de acuerdo a los diferentes intervalos de temperatura del agua según datos proporcionados por la granja antes mencionada.

Tabla 3.1. Tasas instantáneas de crecimiento relativo (TCI) de dorada para diferentes pesos y temperaturas del agua.

Pesos(g)	Temperatura (°C)		
	17/18 a 21	22 a 23/24	17/18 a 23/24
	TCI	TCI	TCI
12	-	1,500	1,500
30	-	1,166	1,166
56	0,382	0,640	0,511
85	0,237	0,524	0,380
100	0,329	0,459	0,394
136	0,255	0,264	0,259
165	0,191	0,238	0,215
200	0,193	0,248	0,221
240	0,136	0,170	0,153
275	0,163	0,150	0,157
310	0,130	0,129	0,129
350	0,130	0,145	0,138
400	0,093	0,183	0,138
450	0,096	0,123	0,110
500	0,068	0,089	0,079

Para estimar el parámetro m se realizaron regresiones logaritmo – lineales a partir de los datos de la Tabla 1. En la Tabla 3.2 se presentan las estimaciones de los parámetros de la ecuación (3.2) en forma lineal ($\log dp/dt = \log(b) + m \log p$). Obsérvese el elevado valor del coeficiente de correlación (R^2), sugiriendo una adecuada elección de $f_1(p)$. El valor medio de $m = 0,23$ es el que se ha seleccionado para la función f_1 .

Tabla 3.2. Parámetros de los modelos de tasas instantáneas de crecimiento relativo.

Temperatura (°C)	m	Log (b)	R^2
17/18 a 21	0,2915	1,9757	0,9065
22 a 23/24	0,2252	2,5996	0,9542
17/18 a 23/24	0,2135	2,5535	0,9746

3.4.1.1.2. LA FUNCION TERMICA.

El lento crecimiento de los peces en latitudes nórdicas respecto a aquellas situadas más al sur no es inesperado. Como en otros procesos fisiológicos, el crecimiento es afectado por la temperatura corporal, que en la mayoría de los peces es cercana a la temperatura del agua donde habitan.

La temperatura del agua óptima para el crecimiento de dorada está considerada alrededor de 24 - 26 °C (RAVAGNAN, 1984; MULLER-FEUGA, 1990; BARNABE, 1991). Por encima y por debajo de esta temperatura hay una disminución progresiva del crecimiento, hasta anularse a temperatura mínima de 12 °C y máxima de 32,9 °C.

La función de la temperatura del agua seleccionada tiene en cuenta el efecto descrito en el párrafo anterior. Este efecto de la temperatura del agua sobre el crecimiento de dorada, expresado de forma exponencial sería:

$$f_2(\theta) = D (e^{\alpha(\theta_M - \theta)} - e^{\beta(\theta_M - \theta)}) \quad (3.3)$$

donde:

D = parámetro de corrección

α , β = parámetros térmicos

θ = temperatura del agua durante
el período de crecimiento

θ_M = temperatura máxima que los peces pueden soportar.

Para determinar los parámetros α y β son necesarios datos experimentales, de los que no disponemos, por lo que utilizamos los parámetros expresados en la literatura: $\alpha = -0,12$, $\beta = -0,15$ y $\theta_M = 32,9$ °C (MULLER-FEUGA, 1990). Introducimos el parámetro D con un valor de 4,93 siendo el que mejor ajusta la función térmica a los datos proporcionados.

La Figura 3.2 muestra el efecto de la función de la temperatura en el crecimiento (crecimiento específico en función de la temperatura). Se observa una parte lineal que se encuentra entre el punto de cese de crecimiento (temperatura mínima) y un punto de inflexión, situado poco antes de llegar a la temperatura óptima.

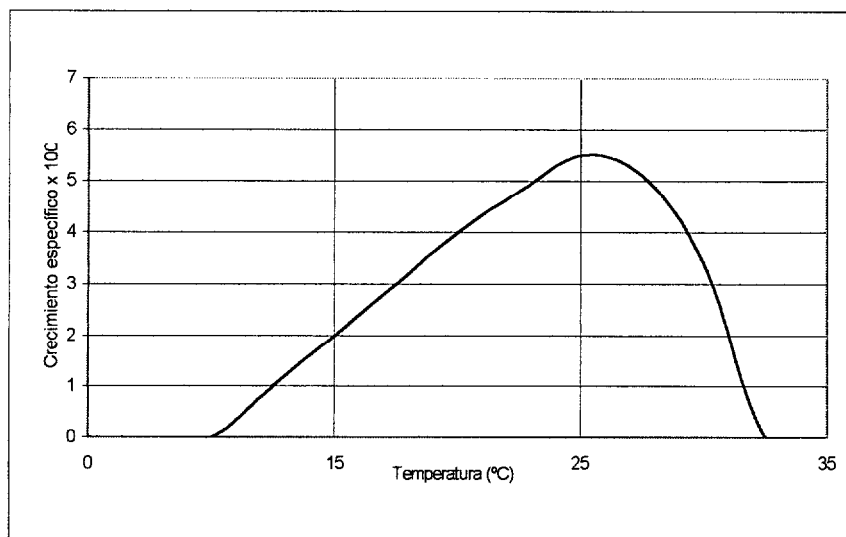


Figura 3.2. Crecimiento específico en función de la temperatura (MULLER-FEUGA, 1990).

3.4.1.1.3. LA FUNCION DE ALIMENTACION.

La ración alimentaria es un factor que obviamente afecta el crecimiento de los peces. La dieta, tanto en calidad como en cantidad, influirá en la evolución del peso de los organismos a lo largo del tiempo. La ración ha sido explicada como una medida relativa del apetito, oscilando entre el ayuno y la saciedad. El apetito del pez está primeramente influenciado por los requerimientos de energía, que a su vez dependen de los diferentes estados de desarrollo, estación y condiciones ambientales (CHO *et al.*, 1982; CACHO,

1990). La composición bioquímica del cuerpo del pez cambia con la calidad y la cantidad de la ración, alterando el contenido en proteínas, grasas y agua, lo cual afecta relativamente al peso y al contenido de energía corporal.

En este modelo se decidió normalizar el racionamiento con su correspondiente crecimiento, lo que permite de una forma más sencilla establecer los intervalos de valores estandarizados comprendidos entre el ayuno y la saciedad.

Para describir esta relación en términos generales, es necesario introducir el tamaño de la ración (R) que es el peso del alimento ofrecido a los peces durante un espacio de tiempo determinado. Cuando el racionamiento es cero se puede llegar a obtener un decrecimiento del pez o crecimiento negativo. R_M representará aquél racionamiento que corresponde a un crecimiento máximo. Entre 0 y R_M se encontraran los racionamientos de mantenimiento (R_m), óptimo (R_o), y el de cultivo (R_c). R_m corresponde a un crecimiento cero; con R_o se obtiene la máxima relación entre la ración y el crecimiento, o mínimo índice de conversión alimenticia; R_c es un racionamiento teórico que se corresponde con el recomendado por las tablas de alimentación (que proveen los productores de pienso) (BRETT, 1979; TALBOT y HOLE, 1994).

El racionamiento normalizado (r) es el cociente entre la variación de la ración distribuida en una unidad de tiempo (dR/dt) sobre la variación de la máxima ración en esa misma unidad de tiempo (dR_M/dt), y queda expresado como:

$$r = \frac{dR/dt}{dR_M/dt} \quad (3.4)$$

Esta ración normalizada varía entre 0 y 1, la correspondiente al racionamiento máximo (r_M).

La normalización del racionamiento para dorada se llevo a cabo mediante el índice de conversión de alimento y su relación con el crecimiento, según la expresión:

$$Y(r) = \frac{r}{Z(r)} \quad (3.5)$$

donde:

$Y(r)$ = índice de conversión normalizado

$Z(r)$ = crecimiento normalizado

El crecimiento normalizado es el cociente entre la tasa de crecimiento y la tasa de crecimiento máximo, y se define como:

$$Z(r) = \frac{dp/dt}{dp_M/dt} \quad (3.6)$$

donde:

dp/dt = tasa de crecimiento

dp_M/dt = tasa de crecimiento máxima

Entonces, la función de ración f_3 se define como:

$$f_3(r) = \frac{Z(r)}{Z(r_c)} \quad (3.7)$$

donde:

$Z(r_c)$ = crecimiento de cultivo normalizado.

La ración de cultivo normalizada (r_c) para la mayoría de las especies de peces se encuentra alrededor de 0,8, cuando han sido estudiadas y ya se producen en cantidades significativas (MULLER-FEUGA, 1990). En este modelo se emplea este mismo valor.

La expresión correspondiente al comportamiento del índice de conversión normalizado $Y(r)$, debe tener ciertas características para satisfacer la relación con $Z(r)$ (Figura 3.3). Nosotros hemos escogido:

$$Y(r) = r \left[1 + \frac{c(1-r)^2}{r_m(1-r_m)^2(r-r_m)} \right] \quad (3.8)$$

donde:

r_m = nivel de racionamiento de mantenimiento
 c = parámetro que interviene en el arqueo de las curvas y el valor en abscisas correspondientes al mínimo valor de Y

La función (3.8) depende de dos parámetros, la ración de mantenimiento (r_m) y el parámetro c , este último interviene en el arqueo de las curvas y el valor en abscisas del mínimo valor de Y . En este trabajo consideramos el valor de $r_m = 0,12$. Para la ración óptima, que es el valor en la abscisa para el mínimo valor de Y , se considera a la mitad del nivel de máxima ración (0,5), lo cual corresponde a un valor de $c = 0,06$ (Figura 3.3). Estos parámetros han sido obtenidos para lubina y otras especies por MULLER-FEUGA (1990).

El nivel de racionamiento de cultivo ($r_c = 0,8$) no se corresponde con el óptimo valor de conversión alimentaria ($r_o = 0,5$), para el cual la eficiencia de

alimentación es máxima aunque la velocidad de crecimiento sea insuficiente. Tampoco se corresponde con el valor de máxima velocidad de crecimiento ($r_M=1$). La curva de ganancia de peso normalizada (Figura 3.3) muestra que el crecimiento evoluciona de una forma casi lineal respecto al nivel del racionamiento, hasta un nivel que coincide con un valor óptimo del índice de conversión de alimento (IC), y a partir del cual la función se hace cóncava. Una vez sobrepasado este punto, se encuentra la ración de cultivo. La pendiente sigue disminuyendo y se anula para la ración máxima, para niveles de racionamiento mayores el alimento no produce ningún beneficio adicional sobre el crecimiento.

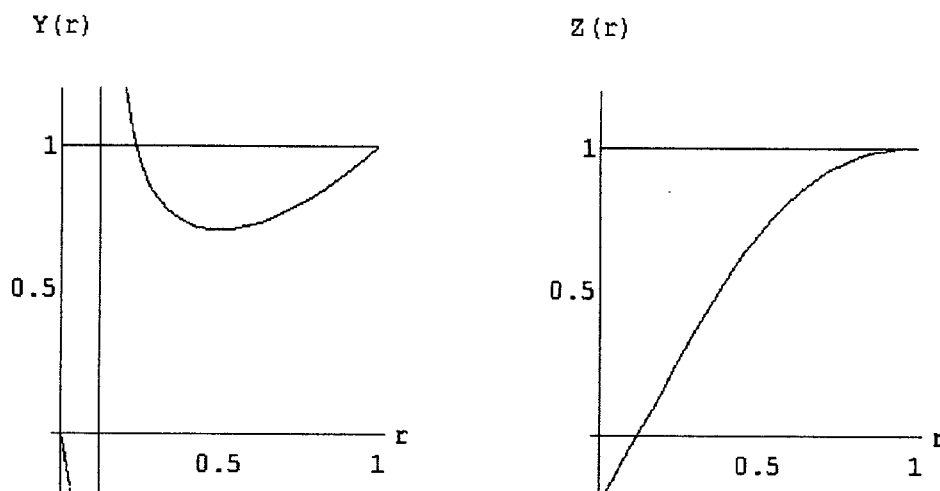


Figura 3.3. Índice de conversión ($Y(r)$) y de ganancia de peso ($Z(r)$) normalizados.

3.4.1.1.3.1. ELECCION EMPIRICA DEL INDICE DE CONVERSION.

El modelo de crecimiento debe ser utilizado para calcular el alimento que requieren los peces desde que se siembran en las jaulas, hasta alcanzar la talla comercial. En primer lugar, hemos de obtener unos índices de conversión

empíricos. Estos índices de conversión de alimento (IC), se calcularon según la siguiente expresión:

$$IC = \frac{dR/dt}{dp/dt} \quad (3.9)$$

donde:

dR/dt = variación de la ración que consume un pez en un instante del tiempo.

dp/dt = incremento del peso del pez para ese mismo período.

Los índices de conversión de alimento empíricos con sus correspondientes pesos se presentan en la Tabla 3.3, y éstos fueron agrupados de acuerdo a las diferentes temperaturas del agua de la bahía de Melenara (Gran Canaria).

Tabla 3.3. Índices de conversión de alimento (IC) frente a peso (g), para diferentes temperaturas del agua (°C).

Temperatura del agua (°C)									
17/18		19		21		22		23/24	
p (g)	IC	p (g)	IC	p (g)	IC	p (g)	IC	p (g)	IC
180	1,46	138	1,45	99	1,29	80	1,39	30	1,30
206	2,04	170	1,36	141	1,68	86	1,44	65	1,17
208	2,26	177	1,71	173	2,15	101	1,40	79	1,00
218	1,88	203	1,57	275	1,89	104	1,54	92	1,36
244	2,37	280	2,60	326	2,11	136	1,60	120	1,17
245	2,23	324	1,83	385	2,69	149	1,82	135	1,15
260	2,03	329	2,19	390	2,86	172	1,40	150	1,50
260	1,63	334	2,07	-	-	235	1,59	188	1,29
285	2,39	365	1,52	-	-	276	2,09	213	1,50
298	1,95	377	2,04	-	-	469	1,62	224	1,20
349	2,10	488	2,53	-	-	338	1,68	269	1,24
393	2,00	306	2,50	-	-	-	-	550	1,59
407	2,74	214	1,50	-	-	-	-	-	-
445	3,03	349	1,84	-	-	-	-	-	-
-	-	387	2,32	-	-	-	-	-	-
-	-	437	2,49	-	-	-	-	-	-

Se observó que los índices de conversión de la Tabla 3.3 presentaban una relación de la forma:

$$IC = C \cdot p^{\gamma} \quad (3.10)$$

donde:

C y γ = parámetros

El parámetro γ determina el aumento del IC que corresponde con el incremento del peso (p).

A continuación se realizó un análisis de regresión para estimar los parámetros (C y γ) de esta expresión, para cada una de las temperaturas contempladas. Los resultados se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Resultados de las regresiones de índice de conversión de alimento frente al peso individual de los peces.

Temperatura (°C)	17/18	19	21	22	23/24
log C	-0.703	-0.783	-0.764	-0.069	0.065
γ	0.421	0.434	0.454	0.121	0.080
R ² (correlación)	0.621	0.720	0.892	0.568	0.455

Al observar que el parámetro γ (Tabla 3.4) parecía formar dos grupos diferenciados, realizamos un test de Chow (JONHSTON, 1984) para discriminar modelos diferentes por medio de variables binarias. Los resultados mostraron que los valores de los parámetros γ no presentaban diferencias significativas entre sí para temperaturas del agua de 17/18 a 21 °C, y tampoco para valores de 22 a 23/24 °C, con un 99 % de confianza, lo que corroboró

este doble agrupamiento. Esto también indicó que la temperatura del agua influye en los índices de conversión de alimento.

Una vez probado que el índice de conversión de alimento se comporta de forma similar para temperaturas de 17/18 a 21 °C y de 22 a 23/24 °C, se procedió a obtener dos regresiones para cada uno de los grupos. Los parámetros se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Regresiones de índice de conversión frente a peso.

Parámetros	Temperatura (°C)	
	18 – 21	22 -23
log C	-0.743	-0.102
γ	0.433	0.116
R^2 (correlación)	0.748	0.469

3.4.1.1.4. TRANSFORMACION DEL INDICE DE CONVERSION DE ALIMENTO.

Los índices de conversión normalizados $Y(r)$ han de ser transformados, de manera que permita calcular el alimento que ha de ser ofrecido a un pez desde la siembra hasta la cosecha, observándose el IC para diferentes valores de r , con el fin de que la simulación sea aplicable en situaciones reales de cultivo. Para realizar esta transformación, se considera que los datos empíricos representan una tasa de crecimiento máximo, y por lo tanto se racionaron a un nivel máximo. La relación entre IC e $Y(r)$ es:

$$IC = \frac{Y(r)}{dp_M/dt dR_M/dt} \quad (3.11)$$

En la Tabla 3.6 se presentan los cocientes entre crecimiento máximo para raciones máximas ($dp_M/dt/dR_M/dt$) (obtenidos a partir de datos reales de índices de conversión y extrapolaciones), y las ecuaciones de los índices de conversión (3.10) con sus parámetros (Tabla 3.5). Dichos cocientes nos permitirán calcular el índice de conversión para cualquier valor de peso, temperatura del agua y ración.

Tabla 3.6. Cocientes entre crecimientos máximos y raciones máximas para la transformación del índice de conversión.

Peso (g)	Temperatura (°C)					
	12 – 14	15 – 17	18 – 21	22 – 23	24 – 25	26 – 28
27.4	1.022	1.083	1.316	0.750	0.752	0.721
47.4	0.820	0.876	1.096	0.714	0.717	0.682
69.9	0.617	0.667	0.865	0.670	0.673	0.635
114.9	0.505	0.550	0.731	0.640	0.644	0.604
199.9	0.390	0.429	0.590	0.605	0.608	0.566
374.9	0.292	0.325	0.464	0.567	0.570	0.527
499.9	0.211	0.237	0.354	0.527	0.531	0.486
649.9	0.182	0.206	0.312	0.510	0.513	0.468
799.9	0.158	0.180	0.279	0.494	0.498	0.452
949.9	0.142	0.163	0.255	0.483	0.486	0.440

3.4.1.2.- MORTALIDAD (M).

Generalmente, los valores más elevados de mortalidad de los peces se presentan cuando éstos están recién sembrados y a lo largo de los primeros 7 días, debido básicamente a la manipulación propia de su transporte, y a los tratamientos previos que han podido realizarse para prevenir diversas

patologías. Posteriormente, existe una mortalidad menor a lo largo del ciclo de cultivo. Teniendo en cuenta estas especificaciones, se empleó la siguiente ecuación para reflejar este parámetro en el modelo:

$$\frac{dM}{dt} = TM(t) \cdot NP \quad (3.12)$$

$$TM(t) = \begin{cases} 0,00064 & t \leq 7 \\ 0,0000106 & t > 7 \end{cases}$$

donde:

TM (t) = tasa de mortalidad

NP = número de peces en las jaulas

La mortalidad ha sido modelizada en base a los datos proporcionados de cultivo de dorada en jaulas en Gran Canaria.

3.4.1.3. REQUERIMIENTOS DE OXIGENO.

Típicamente, la tasa metabólica de la dorada, expresada en términos de consumo de oxígeno por unidad de peso, decrece conforme se incrementa la talla (LEMARIE *et al.*, 1992). El modelo del sistema de producción puede calcular los requerimientos de oxígeno de dorada para diferentes estados metabólicos (ayuno, actividad normal y natación forzada). La demanda de oxígeno para dorada viene dada por:

$$DO = a P^b 10^{c\theta} \quad (3.13)$$

donde:

a, b, c = parámetros definidos por ajuste estadístico

Los parámetros a, b, y c, varían de acuerdo a la temperatura del agua, el estado metabólico en que se encuentren los peces y el peso de los peces. Los parámetros se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Parámetros de consumo de oxígeno para la ecuación (15), según diferentes estados metabólicos (LEMARIE *et al.*, 1992).

Consumo ($\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de biomasa)/intervalo de peso (kg.)	Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)	Parámetros		
		a	b	c
En ayuno/0.001 – 0.55	10 – 26	155,56	-0,2869	0,024
Medio diario/0.001 – 0.55	14 – 22	1,41142	-0,2812	2,1228
	22 – 28	300,81	-0,2829	0,0232
En natación forzada/0.04– 0.55	14 – 28	346,74	-0,2479	0,0263

3.4.2. SUBMODELO DE MANEJO DE LAS JAULAS.

La estrategia de producción de dorada está determinada en gran medida por la demanda y viabilidad de comercialización de los productos. Esto implica que no existe una estrategia única de producción. En el presente trabajo hemos supuesto una producción continua, y unos objetivos específicos ($T_m/\text{año}$), dependientes del tamaño de la granja y basándonos en el supuesto de que existe una demanda suficiente para absorber toda la producción. Las variables utilizadas en este submodelo son:

3.4.2.1. NUMERO DE PECES (NP).

El número de peces disponibles en las jaulas en un instante determinado dependerá del número de peces que se siembran inicialmente (S), de la

mortalidad (TM) y del número de peces que se cosechan (H) en un determinado periodo de tiempo, y viene definido por:

$$\frac{dNP}{dt} = S - TM \cdot NP - H \quad (3.16)$$

3.4.2.2. SIEMBRA (S).

La siembra o distribución inicial de alevines o juveniles en las jaulas es una actividad que requiere de unas tareas específicas, y que supone una fase crítica en el inicio del ciclo de cultivo, debido a la manipulación y cambio de medio que van a sufrir los animales, lo que resultará, como ya se ha mencionado antes, en unos índices de mortalidad más altos que la media. El número de peces que se siembra debe adaptarse a una densidad inicial pre-determinada y a las cantidades que esperamos cosechar. En este modelo del sistema la siembra viene definida por:

$$S(t) = \begin{cases} Na & \text{si } t = t_h^k; k = 1, 2, 3, \dots, h \\ 0 & \text{si } t \neq t_h^k \end{cases} \quad (3.15)$$

donde:

Na = número inicial de alevines

t_h^k = es el periodo de tiempo hasta la cosecha k ($k=1, 2, 3, \dots$)

El número inicial de alevines depende del tamaño de la granja y las tallas Selecta y/o Super (400 y 700 g/pez, respectivamente) (Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR)) que se vayan a

producir. Por simplificación, suponemos una sola cohorte en todos los ciclos de producción, de modo que al final de cada cosecha se repone el número de alevines.

3.4.2.3. COSECHA (H).

La dinámica de la cosecha es dependiente de los planes de producción. Basándose en el supuesto de una demanda que permite que se venda toda la producción, la cosecha fue determinada utilizando la ecuación:

$$H(t) = \begin{cases} P_n \cdot NP - PS_n \cdot P_n \cdot NP & p(t) = 400 \\ NP - PS_E \cdot NP & p(t) = 700 \end{cases} \quad (3.16)$$

donde:

P_n = porcentaje de la producción que se cosecha de talla Selecta
 PS_n = peces sin calidad de talla Selecta
 PS_E = peces sin calidad de talla Super

Los pesos para Selecta y Super son 400 y 700g , respectivamente. El porcentaje de la producción que se cosecha de talla Selecta (P_n) varía de acuerdo con la demanda de los productos de Selecta y Super. Hemos partido del supuesto que cuando se produce una talla en la misma granja sea de Selecta (100%), y las dos tallas, un 80% sea Selecta y un 20% Super, cada año.

En cada cosecha existe un cierto porcentaje o número de peces que no alcanza el mínimo nivel estándar de calidad (PS_n y PS_E), debido a las

malformaciones del cuerpo. Este número está directamente relacionado con el aspecto externo de éstos, siendo la impresión visual el primer criterio de discriminación en el mercado. La lordosis tiene unas importantes consecuencias económicas y es difícil eliminarla (DIVANACH *et al.*, 1996), si bien los progresos recientes en nutrición y gestión de granjas ha reducido significativamente su incidencia en los últimos años.

3.4.2.4. BIOMASA (B).

La biomasa o peso total de la población de peces aumenta día a día conforme éstos van creciendo. La biomasa puede ser un indicador del estado de salud de la población, y está definida por la siguiente ecuación:

$$B(t) = p(t) \cdot NP(t) \quad (3.17)$$

3.4.2.5. DENSIDAD (D).

La densidad de los peces en cultivo tiene una dependencia muy estrecha con el oxígeno disuelto disponible en el agua. Los peces más pequeños consumen más oxígeno que los de mayor tamaño. La función para determinar la densidad de los peces en cultivo es la siguiente:

$$D(t) = B(t)/v \quad (3.18)$$

donde:

v = volumen de las jaulas (m^3)

3.4.3. SUBMODELO ECONOMICO.

Antes de entrar en detalle con las especificaciones que utilizaremos en el presente submodelo, es necesario definir tres fases en la vida de las empresas de engorde de dorada. La primera coincide con la inversión inicial, durante la cual se lleva a cabo la compra e instalación de las jaulas, así como la adquisición de equipos necesarios. Supone unos costes sin ingresos. La segunda fase es de crecimiento, y corresponde al inicio de la producción, donde aparecen los costes de operación y los ingresos por ventas (la diferencia entre éstos sigue una línea ascendente). Por último, la fase de maduración se alcanza cuando la diferencia entre los costes y los ingresos se estabilizan, también se conoce como estado estacionario.

3.4.3.1. EVALUACION ECONOMICA DE LA PRODUCCION.

La evaluación económica de la producción se realizó atendiendo a tres criterios:

- a) Volumen total de producción de dorada e ingresos obtenidos por su venta
- b) Valor presente neto de la inversión (VPN). Expresa en forma numérica la viabilidad de la inversión, el criterio de realizar o no la inversión o conocer si la inversión es viable es que VPN tiene que ser >0
- c) Tasa interna de rendimiento (TIR). La inversión será rentable cuando la TIR excede el tipo de interés (i) al cual el inversor puede conseguir recursos financieros. En el presente trabajo, un valor de la TIR mayor a 6% (tipo

actual de interés para prestamos a la inversión) indicará una inversión rentable.

Las funciones que se utilizaron para evaluar la producción son:

3.4.3.2. INGRESOS BRUTOS.

Los ingresos brutos (IB) se calculan de acuerdo a los precios de venta de productos de talla Selecta y/o Super (según el caso), los costes de operación y los de comercialización. Los ingresos brutos que resultan por las ventas están definidos por:

$$\frac{dIB}{dt} = IV - CO - CC \quad (3.19)$$

donde:

IV = ingresos por venta

CO = Costes de operación

CC = costes de comercialización

3.4.3.3. INGRESOS NETOS.

Los ingresos netos (IN) resultantes en cada ciclo de producción están definidos por:

$$\frac{dIN}{dt} = IB - D \quad (3.20)$$

donde:

D = costes de depreciación

3.4.3.4. VALOR PRESENTE NETO (VPN).

Para realizar el estudio económico de la producción para cada uno de los diferentes escenarios que se plantearán, es necesario considerar los costes y los precios de ventas de los productos finales. El valor presente neto nos actualiza los beneficios obtenidos durante la vida del proyecto y viene dado por:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=TV} \frac{IV(t) - CO(t) - CC(t)}{(1+i)^t} - I \quad (3.21)$$

donde:

TV= tiempo de vida del proyecto
i = tasa de descuento, indicando el
 coste de oportunidad del capital
I = inversión inicial

3.4.3.5. DEPRECIACION (D).

Se utilizó el método de depreciación lineal directa para equipamiento considerando un valor de venta igual a cero al final de su vida útil, de acuerdo a:

$$D = \frac{CI}{v} \quad (3.22)$$

donde:

CI = coste inicial del equipo, unidad
v = vida estimada del equipo

3.4.4. SUBMODELO AMBIENTAL.

Debido a que la temperatura del agua tiene un efecto considerable en el crecimiento y utilización del alimento para los peces (BRETT, 1979), resulta ser el factor más representativo del submodelo ambiental. La temperatura del agua es una variable externa que afecta el crecimiento de los peces y por consiguiente al sistema productivo, ya que incide directamente en el volumen de producción.

Para cada sitio específico, la temperatura del agua sigue un ciclo anual con un comportamiento similar anualmente, y cuyas variaciones en un cierto intervalo resultan predecibles. Utilizando datos de la temperatura del agua mensual (Figura 3.4) de la bahía de Melenara, en Gran Canaria, se desarrolló un vector temporal aleatorio para el submodelo ambiental.

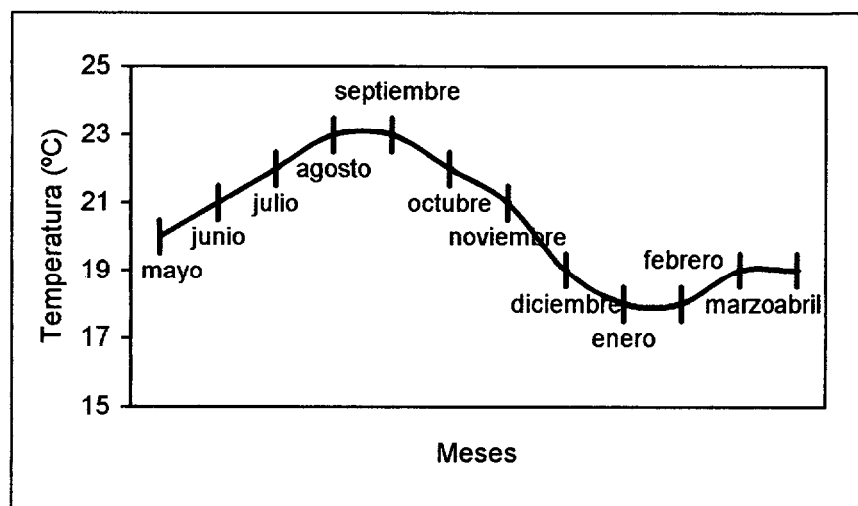


Figura 3.4. Temperatura media del agua en la bahía de Melenara, Gran Canaria.

El vector que simula el comportamiento de la temperatura del agua en el modelo del sistema, sigue el ciclo anual que se presenta para la bahía de Melenara, generando valores al azar, bajo una distribución uniforme mensual.

El submodelo proporciona de este modo el comportamiento de un parámetro que habrá de influir directamente en el crecimiento y alimentación de los peces. La Figura 3.5 muestra una representación gráfica de la temperatura del agua generada para el escenario de Canarias.

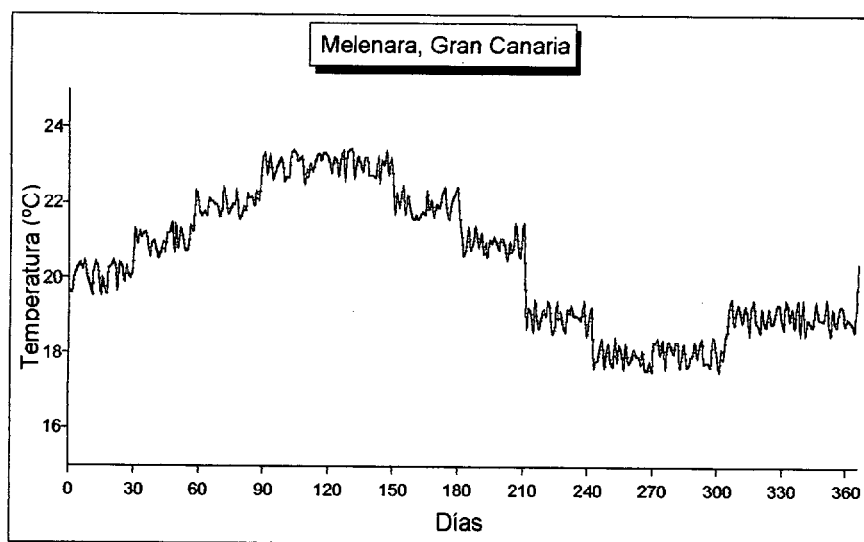


Figura 3.5. Temperatura del agua calculada según el submodelo ambiental para aguas del litoral de Gran Canaria.

3.5. LA INCERTIDUMBRE EN EL MODELO.

Además de reflejar la incertidumbre que existe con la temperatura del agua, también para los precios comerciales de los productos se generaron variables aleatorias, lo que produce el comportamiento estocástico en el modelo del sistema. Se asumió la uniformidad en la distribución de ambas variables. La temperatura del agua afecta directamente a los procesos biológicos (metabolismo) de los peces en cultivo, y el precio comercial de los productos afectará a la rentabilidad de la empresa. Ambos factores se caracterizan por su variabilidad.

3.6. ANALISIS COSTE-BENEFICIO DEL SISTEMA DE PRODUCCION.

El sistema de producción se desarrollo para estudiar la economía del cultivo de dorada en jaulas flotantes, donde la evaluación económica para las diferentes variaciones de los factores descritos resulta de gran interés. El análisis económico fue llevado a cabo por medio de un análisis financiero de costes y beneficios para un tiempo estimado de 10 años, y para cada uno de los diferentes escenarios y estrategias de producción planteada. Se obtuvieron los estimadores de rendimiento (VPN y TIR) para una tasa de descuento del 6%, que de forma simplificada representa el coste de oportunidad del capital real.

3.7. ELEMENTOS DE ANALISIS DEL SISTEMA BIOECONOMICO EMPRESARIAL.

Se estudió la economía de la producción bajo dos escenarios básicos, el área Mediterránea y las Islas Canarias. El escenario del Mediterráneo se consideró debido a que constituye el área de mayor producción comercial de dorada. El escenario de Canarias, donde el cultivo de esta especie es más reciente, se seleccionó debido a sus particulares características medio-ambientales, geográficas y de mercado. En los siguientes apartados se estudiarán estos dos escenarios básicos, concentrándose sobre las diferentes situaciones que se plantearon en el estudio de la economía de la producción de dorada.

En primer lugar, en los dos escenarios se estudió un tamaño de granja con capacidad media de producción de 200 Tm/año, un tamaño que representa la media de este tipo de instalaciones. Esta escala es también similar a la capacidad en jaulas (m^3) y producción (Tm/año) a la de ADSA (empresa de cultivo de peces en Melenara, Gran Canaria), para el año de 1997. En este primer análisis se presentan los resultados bioeconómicos, mostrándose las respuestas biológicas y de producción, y donde se comparan éstas con los datos publicados por otros autores, con el fin de mostrar la robustez del modelo del sistema.

3.7.1. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Se seleccionaron los factores que se considera tienen una mayor influencia en el sistema de cultivo de dorada en jaulas flotantes, y se realizó un análisis de sensibilidad del sistema. Los resultados se compararon con un análisis que se consideró como base. En el análisis de sensibilidad, los principales parámetros del modelo (biológicos, técnicos y económicos), así como los factores de mercado (precio comercial, coste de pienso, alevines y mano de obra), se hicieron variar de acuerdo a diferentes supuestos para conocer el comportamiento del sistema de producción ante dichos cambios.

Los parámetros analizados son los siguientes: ración, mortalidad, densidad de cultivo, temperatura del agua, coste de alevines y de pienso, precio comercial de los productos y número de empleados en la granja. Los resultados de cada escenario se evaluaron de acuerdo a los estimadores de la

inversión, como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR), y la producción anual (T_m /año).

3.7.2. COSTES DE INVERSION SEGUN EL TAMAÑO DE LA GRANJA.

Se obtuvieron los costes de inversión para diferentes tamaños de granja, realizando las estimaciones basándonos en fuentes primarias y referencias bibliográficas.

Para los diferentes tamaños de granja, el modelo del sistema se modifica para cada una de las escalas de granja, variando diferentes parámetros, siendo los principales: capacidad en jaulas (m^3), número de empleados/granja, número de peces para siembra y costes de inversión. De acuerdo a las diferentes especificaciones de tamaño de granja y escenario, el modelo ofrece diferentes resultados biológicos y de producción, así como económicos.

3.7.3. EFECTO DE LA CAPACIDAD DE LA GRANJA.

Se examinaron diferentes escenarios y tamaños de granja con el propósito de estudiar los rendimientos de escala, el coste medio de producción y determinar los tamaños de granja óptimos,

Los diferentes escenarios estudiados están relacionados con aspectos biológicos, decisiones de producción y mercadotecnia, afectando de forma distinta a cada uno de los diferentes tamaños de granja planteados. Las variables que se modificaron para los diferentes escenarios fueron

seleccionadas en base a los estudios de sensibilidad que se llevaron a cabo primeramente. Los escenarios considerados son los siguientes:

Para Canarias:

(EC1) producción única de peces de 400 g de talla comercial.

(EC2) producción conjunta de peces de 400 y 700 g (80% y 20% de la producción anual, respectivamente).

(EC3) El mismo escenario del apartado EC2, con un incremento en la densidad de cultivo.

Para el Mediterráneo:

(EM1) producción única de peces de 400 g de talla comercial.

(EM2) producción única de peces de 400 g, con un menor racionamiento respecto al primer escenario (EM1).

(EM3) producción única de peces de 400 g, con menor supervivencia respecto al escenario EM1.

Como estimadores para evaluar la producción y la economía de los diferentes escenarios, se utilizaron las toneladas métricas anuales, el valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y coste medio de producción (alguno de los estimadores o todos para cada escenario, generados para el quinto y/o décimo año de operación). También se presentan los costes y beneficios para el quinto año de operación (estado estacionario) (para los escenarios EC2 y EM1).

3.7.4. OPTIMIZACION DEL CULTIVO.

Después de estudiar las diferentes escalas y escenarios, se seleccionaron los tamaños de granja óptimos, de acuerdo a los resultados de las tasas internas de rendimiento (TIR). Estos tamaños de granja se emplearon como base para analizar y optimizar la ración de alimento, la densidad de cultivo, el número de empleados en la granja y varios factores más con cierta probabilidad de incidencia real según referencias bibliográficas, como son el incremento de la temperatura del agua, el descenso en los precios comerciales de dorada y la supervivencia de los peces.

3.7.5. COMPETITIVIDAD EN CANARIAS.

Finalmente, se analizaron las características técnicas, biológicas, de producción y económicas específicas de Canarias para el cultivo de dorada y se compararon con las del Mediterráneo. El análisis se realizó en base a los resultados que se generaron para los dos escenarios básicos de Canarias y Mediterráneo, así como a referencias bibliográficas y a un análisis de los costes de los dos principales insumos (inputs) en la producción (alevines y pienso) y comercialización. El análisis de los costes de alevines, pienso y comercialización se realizó para el tamaño de granja óptimo, utilizando los valores de costes de alevines y pienso que se obtienen para el área Mediterránea. También se determinó la disminución de rentabilidad de las empresas debido a incrementos en dichos costes.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

El presente trabajo, de acuerdo a la bibliografía disponible sobre el cultivo de dorada, representa la primera aproximación que utiliza la simulación de sistemas para la evaluación económica de la producción de esta especie. El modelo de crecimiento desarrollado se fundamentó en la fisiología de esta especie, y en datos comerciales y experimentales de su cultivo. Este modelo constituye una parte medular del modelo bioeconómico, por lo que es lo suficientemente robusto, y permite estudiar escenarios diversos de producción, incluyendo diferentes decisiones técnicas de producción, mercadotecnia, cambios de factores ambientales, biológicos y de mercado, así como diferentes tamaños de empresas.

El modelo bioeconómico se implementó en un paquete informático para la modelización y simulación de sistemas dinámicos, utilizando el método de integración de Euler, con tiempo de paso de un día.

En este estudio se llevaron a cabo diversos análisis, para dos áreas geográficas diferentes donde se cultiva comercialmente esta especie: las Islas Canarias y el Mediterráneo. Para estas dos áreas se estudiaron diferentes tamaños de granja, incluyendo aquellos más frecuentes en la realidad actual en ambos sitios. Se estudió la sensibilidad de estos sistemas de cultivo así como los rendimientos para las diferentes escalas. De esta forma, se obtuvieron los tamaños de granja óptimos para cada una de estas áreas geográficas. Finalmente, se estudiaron diferentes estrategias de cultivo, buscando su optimización, y se determinó en qué condiciones las diferentes escalas óptimas resultaron más y menos rentables.

4.1. EL ESCENARIO DE CANARIAS.

En el primer análisis que se presenta para el área de Canarias, estudiamos la producción de dos tallas comerciales diferentes, para un tamaño de granja equivalente a una producción media de 200 Tm/año, al cual denominaremos 16000 m³ (de acuerdo a la capacidad total en volumen de jaulas). Esta capacidad puede considerarse en torno a la más eficiente o de mínimo coste medio para el área Mediterránea (RIERA y LENSÍ, 1996; BASURCO Y LARRAZABAL, 1999). Por tanto, para un tamaño de granja como el representado en este primer análisis, se considera que los factores de producción son apropiados para trabajar adecuadamente.

En este análisis se presentan: 1) costes de inversión del sistema de producción, 2) análisis bioeconómico subdividido en a) modelo de producción con sus resultados, b) análisis económico y 3) análisis de sensibilidad.

No existe en la bibliografía un estudio completo que pudiera servir para comparar los resultados generados con el modelo bioeconómico, por lo que se empleará como referencia resultados de diferentes estudios técnicos, biológicos, financieros, económicos y de mercadotecnia, que se han publicado para el cultivo de dorada y lubina. Sin embargo, ninguno de los trabajos utilizados para comparación utiliza una metodología de simulación de sistemas en el cultivo de dorada en jaulas, a excepción del publicado por RIZZO y SPAGNOLO (1996) para el engorde de la lubina en tanques.

4.1.1. COSTES DE INVERSION DEL SISTEMA DE PRODUCCION.

La Figura 4.1 desglosa los costes de inversión para las cinco principales categorías consideradas: jaulas y anclajes, barcos de servicio, equipamiento de cultivo, instalaciones en tierra y equipamiento de oficina. Se observa que la mayor contribución corresponde a las jaulas y anclajes, y barcos de servicio, mientras que los equipamientos de oficina y de cultivo fueron los menores. Para el tamaño de granja considerado son necesarios tres barcos de servicio, dos de seis metros de eslora y uno de 11 metros con grúa incorporada, este último ocasiona que esta categoría sea la segunda mayor después de jaulas y anclajes, lo que sugiere que debido a esto pocas empresas lo adquieren, sustituyéndolo por fuerza de trabajo (BASURCO y LARRAZABAL, 1999).

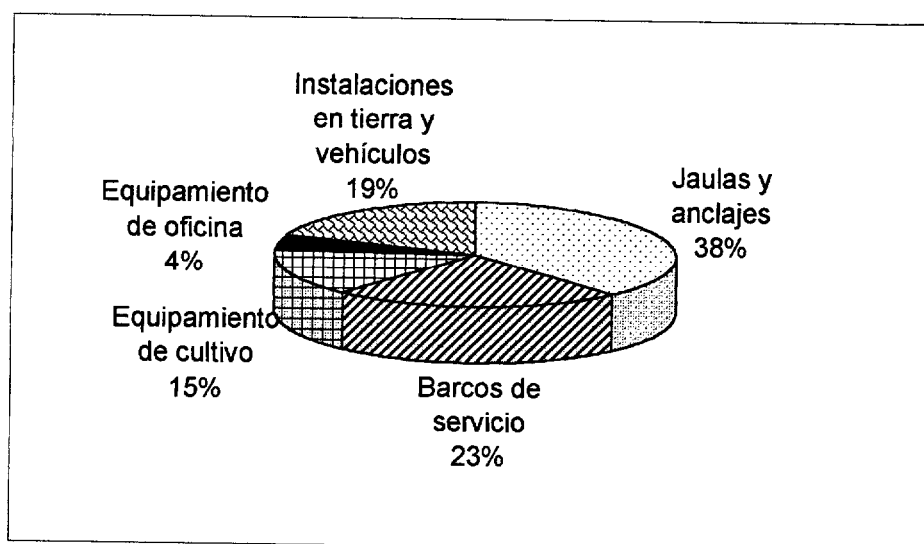


Figura 4.1. Costes de inversión inicial del sistema de cultivo de dorada en jaulas.

La Tabla 4.1 desglosa además los costes de inversión dentro de cada una de estas categorías. En los costes de jaulas y anclajes se incluye el sistema de anclaje y balizamiento, calculado para una profundidad entre 20 y 22 m, de acuerdo a presupuestos proporcionados por la empresa CORELSA (especializada en el equipamiento integral para acuicultura). En la sección de equipos de cultivo se incluye indumentaria de buceo autónomo, compresor y herramientas para reparaciones. En el edificio se ha incluido espacio para un almacén de redes, equipos de cultivo, y piensos, además de áreas para oficinas y un vestuario para los buzos. El primer escenario considerado en el análisis refleja las condiciones básicas de cultivo de la empresa Alevines y Dorada S.A. (ADSA) que tiene parte de sus instalaciones localizadas en la bahía de Melenara (Gran Canaria). Nuestro estudio modifica los costes de instalaciones en tierra, equipos de oficina y número de redes para las jaulas en la inversión inicial, que consideramos se ajustaban mejor a una situación real para este tamaño de granja.

Tabla 4.1. Costes de inversión desglosados por áreas.

Componentes del sistema	Costes (ptas. x 1000)		Porcentaje	
	Parciales	Subtotales	Parciales	Subtotales
<u>Jaulas y anclajes</u>				
6 Jaulas de 16 m	5701		5,01	
6 Jaulas de 12 m	5676		4,99	
4 Jaulas de 5,5 m	1089		0,96	
Redes de diferente luz de malla	9630		8,47	
Anclajes	21278	43374	18,72	38,15
<u>Barcos de servicio</u>				
Un barco de 11m de eslora con grúa	22639		19,91	
Dos barcos de 6m de eslora	2948		2,59	
Dos motores fuera borda de 40 Hp.	892	26479	0,78	23,29
<u>Equipo de cultivo</u>				
Una clasificadora de peces	2175		1,91	
Una bomba de trasvase – despesque.	2995		2,63	
Un contador de peces	2137		1,88	
Una lavadora de redes	3000		2,64	
Otros equipos miscelaneos	6517	16824	5,73	14,79
<u>Equipo de oficina</u>				
Equipo diverso de oficina y ordenadores	5000	5000	4,4	4,4
<u>Instalaciones en tierra y vehículos</u>				
Dos vehículos	7000		6,16	
Edificio	15000	22000	13,19	19,35
Total	113677			100

4.1.2. EL ANALISIS BIOECONOMICO.

El modelo bioeconómico para el cultivo de dorada en jaulas flotantes, según las diferentes especificaciones introducidas permite variar la producción (Tm/año) de dorada para cada situación. El sistema de producción se ha diseñado para considerar la producción de peces de talla comercial dentro de un rango que oscila entre 100 y 1000 g por individuo. Los ciclos de producción varían básicamente de acuerdo a las especificaciones de temperatura del agua, alimentación y talla comercial deseada. La Tabla 4.2 muestra los principales tamaños y denominaciones comerciales de dorada que se comercializan en los diferentes países Europeos.

Tabla 4.2. Principales tamaños y denominaciones comerciales de dorada (APROMAR, 1999).

Denominación oficial	Otras denominaciones	Peso (g/pieza)	Denominación	Otras denominaciones	Peso (g/pieza)
1	B	180 249	6	Super	600 799
2	A	250 300	8	SSG	800 1000
3	G – Especial	301 399	10	Extra	10001 1500
4	SG – Selecta	400 599	15		1501

En este trabajo, se consideró una producción de dos tallas comerciales: 400 y 700 g (Tabla 4.2), representando la talla Selecta (400 g) un 80% y la talla Super (700 g) un 20% del total anual. Se escogieron estas dos tallas comerciales porque ambas son las más consumidas en la actualidad por los países europeos, y porque la primera de ellas es la más producida en el Mediterráneo (DATSOLOPOULOS, 1996).

La Tabla 4.3 resume los principales supuestos biológicos, técnicos y económicos utilizados en el análisis del modelo para el tamaño de granja de 16000 m³, obtenidos de fuentes primarias y referencias bibliográficas. El peso de siembra corresponde al de los peces al inicio del engorde. La temperatura del agua y los precios comerciales de las tallas Selecta y Super (entre corchetes), muestran el intervalo de variación durante un ciclo anual para estos parámetros. Con respecto a los precios se utilizan valores citados por otros trabajos (RIZO y SPAGNOLO, 1996; JORDAN, 1996; RIERA y LENSÍ, 1996). Se asume que el precio y la temperatura del agua varían aleatoriamente durante el proceso de producción en los intervalos considerados. El número de trabajadores requeridos se calculó en base a datos de productividad publicados por STEPHANIS en 1995. Los costes del trabajo se basan en fuentes primarias, y se ha considerado 1560000 ptas./hombre/año para los trabajadores y 4550000 ptas./año para la dirección técnica. Los costes de alevines, pienso y comercialización de la producción se consideran siempre superiores en Canarias que en el Mediterráneo, debido al origen continental donde se producen los dos primeros insumos y a la localización también continental de los mercados. En cuanto a los costes de medicamentos suponemos alrededor de 3 ptas./kg, de mantenimiento 7% de los costes de capital y de seguros 70 ptas./kg. También suponemos que las corrientes y la calidad del agua es adecuada para el buen desarrollo de dorada y alcanzar los objetivos de producción.

Tabla 4.3. Principales parámetros utilizados para el análisis bioeconómico del sistema de producción.

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Ración	%	100
Tasas de supervivencia:		
- talla Selecta	%	99
- talla Super	%	99
Peso de siembra	gramos	13
Densidad de:		
- siembra	kg./m ³	0,5
- cosecha	kg./m ³	13
Peces sin calidad (P.S.C.):		
- de Selecta	%	8
- de Super	%	12
Temperatura del agua	°C	[17, 24]
Personal	empleados/granja	10
Dirección técnica	empleados/granja	1
Coste del:		
- alevín	ptas./unidad	100
- pienso	ptas./kg.	100
Coste de comercialización	ptas./kg.	250
Precio comercial (P.C.) de:		
- Selecta	ptas./kg.	[900, 1000]
- Super	ptas./kg.	[1800, 2000]
Precio comercial de P.S.C:	ptas./kg.	50% de P.C.
Producción anual	Tm/año	200
Capacidad en jaulas	m ³ /granja	16000

A) EL MODELO DE PRODUCCION Y SUS RESULTADOS.

Los principales procesos biológicos que influyen en el cultivo de dorada son de importancia vital para llevar a cabo un análisis bioeconómico de dicho sistema. Los procesos como el crecimiento, la alimentación y la mortalidad, interaccionan con los aspectos técnicos del cultivo y son necesarios para conocer las respuestas de este sistema biológico-económico. Se ha incidido en los procesos biológicos, técnicos y económicos más importantes del cultivo,

para desarrollar un modelo robusto que genere resultados con las mismas características. Para analizar bioeconómicamente la producción de cualquier grupo de organismos vivos, es necesario incluir en el sistema el entramado biológico que provocan la incertidumbre y la variabilidad de dichos sistemas (BOTSFORD *et al.*, 1974, GRIFFIN *et al.*, 1984; CACHO *et al.*, 1990; LOSORDO *et al.*, 1994; LOGAN *et al.*, 1995; RIZZO y SPAGNOLO, 1996). Por ello, en el modelo del sistema se modelizó el crecimiento de acuerdo a la fisiológica de dorada (BRETT, 1979), incluyendo la variabilidad resultante de la temperatura del agua.

La Figura 4.2 muestra la evolución del crecimiento de dorada generado por el modelo del sistema comparado con valores históricos de la empresa que nos facilitó los datos. El crecimiento generado por el modelo se obtuvo para un racionamiento máximo y de cultivo. Los valores históricos corresponden a lotes de peces sembrados y cosechados con diferentes tallas y fechas, que denominamos L1, L2, L3, L4.

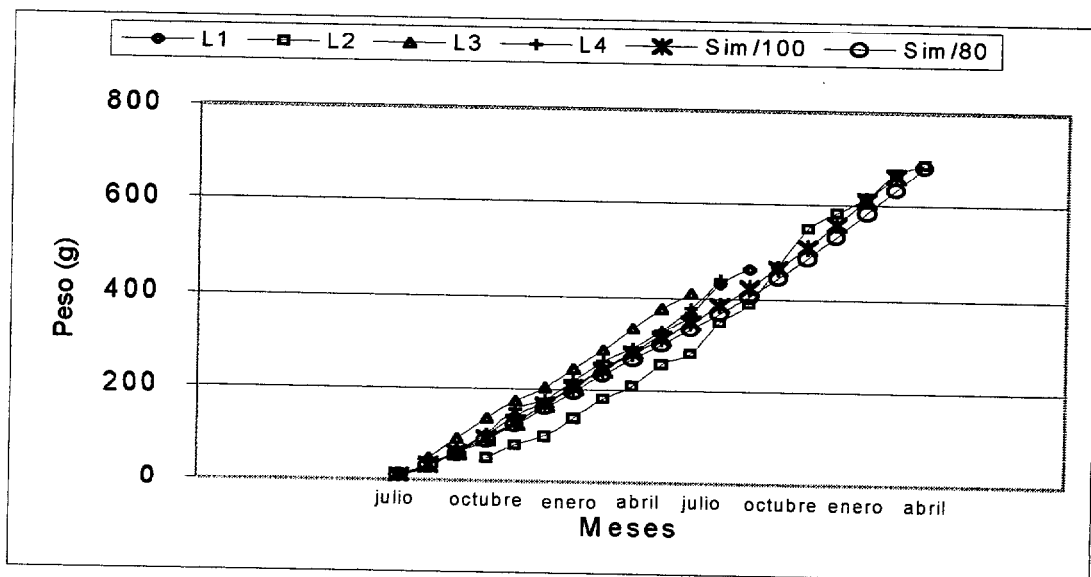


Figura 4.2. Crecimiento de dorada generado por el modelo (Sim/100: ración a 100% y Sim/80: ración al 80%) y comparado con valores de crecimiento reales (L1, L2, L3, L4).

Los valores históricos de crecimiento de dorada (L1, L2, L3 y L4) y los generados por el sistema (Sim\100 y Sim/80), fueron comparados por medio de un test paramétrico (JONHSTON, 1984), para discriminar modelos diferentes por medio de variables binarias. Los resultados mostraron que el crecimiento en las jaulas no presentó diferencias significativas con un 99% de confianza con el generado por el modelo.

En la Tabla 4.4 se presentan los índices de conversión de alimento generados por el modelo, para tres niveles de racionamiento. Los índices de conversión históricos facilitados por la empresa de acuerdo con el peso fresco, se presentan en la Tabla 4.5 para diferentes lotes de peces.

Tabla 4.4. Índices de conversión (IC) generados por el modelo para 3 racionamientos.

Racionamiento (%)	80	100	120
Peso (g)			
200	1,16	1,39	1,71
250	1,26	1,51	1,86
300	1,37	1,63	2,01
350	1,44	1,72	2,13
400	1,52	1,82	2,24
450	1,59	1,92	2,36
500	1,62	1,97	2,42
600	1,65	2,02	2,45
700	1,69	2,04	2,49

Tabla 4.5. Índice de conversión (IC) históricos de diferentes pesos (P) y lotes (L).

P (g)	IC			
	L1	L2	L3	L4
203	-	-	1.21	-
206	0.96	-	-	-
208	-	1.44	-	-
218	-	-	-	1.43
244	-	-	1.41	-
245	1.15	-	-	-
255	-	1.47	-	-
260	-	-	-	1.58
280	1.33	1.6	-	-
285	-	-	1.55	-
291	-	-	-	1.7
324	1.4	-	-	-
334	-	-	1.62	-
349	-	1.56	-	-
366	1.51	-	-	-
377	-	-	1.67	-
379	-	-	-	1.8
390	-	1.69	-	-
411	-	-	2.47	-
432	1.57	-	-	-
441	-	-	-	1.9
464	2.17	-	-	-
469	-	1.68	-	-
550	-	1.67	-	-

Los índices de conversión históricos de dorada en cultivo (Tabla 4.5) y los generados por el submodelo biológico (Tabla 4.4), fueron comparados por medio de un test paramétrico (JONHSTON, 1984) para discriminar modelos diferentes, por medio de variables binarias. Los resultados mostraron que no existieron diferencias significativas entre los dos grupos con un 99% de confianza.

Los resultados se estudiaron también para raciones de alimento de 80, 100 y 120% (Tabla 4.4), para obtener la evolución del peso y los índices de conversión similares a los proporcionados para diferentes lotes de peces (Tabla

4.5). Se observó que para raciones de 100 y 120%, la evolución del crecimiento fue similar (Sim/100, Figura 4.2).

Comparando estos resultados con los de otros autores, MOLINA *et al.* (1997) observaron en cultivo comercial (jaulas Gran Canaria), un índice de conversión acumulado de 1,6, cuando la dorada alcanza 750 g de peso. GINES (1997) obtiene un índice de conversión acumulado de 1,66, cuando la dorada alcanza la talla de 400 g en 333 días (experimentalmente, en tanques), para el ciclo anual de la temperatura del agua de Canarias. Las observaciones de estos autores coinciden con nuestros resultados generados por el modelo, para índices de conversión semejantes (generados con un racionamiento entre 80 y 100%) y para alcanzar las tallas Selecta y Super, en condiciones ambientales similares. Como conclusión, estos resultados sugieren que el modelo es lo suficientemente robusto y genera valores similares a condiciones experimentales y comerciales.

El empleo generalizado de un nivel de racionamiento máximo (100%) en este trabajo, salvo en simulaciones concretas, se justifica con base en los niveles generalmente empleados en situaciones comerciales reales.

De la información procedente de cultivo comercial se deduce que el alimento que se les ofrece a los peces, frecuentemente es superior al 80% (indicado por las tablas de alimentación), pudiendo considerarse común unos valores de hasta el 100%. El nivel de racionamiento de 120% se ofrece también a los peces con cierta frecuencia en situaciones comerciales, lo que puede explicar niveles tan altos de IC como los registrados en la Tabla 4.5 (L3). El racionamiento con un nivel de 120% (40% por encima del recomendado por las tablas de alimentación) no parece ofrecer ventajas porque se está

ofreciendo alimento en exceso a los peces, que aún cuando sea consumido por éstos, únicamente se logra un crecimiento máximo, que resulta de un racionamiento máximo (100%) (BRETT, 1979; TALBOT y HOLE, 1994).

La Figura 4.3 muestra el efecto de la mortalidad generado por el modelo. El número de peces en el día inicial (cero), simula la siembra y alrededor del día 500 se corresponde con la cosecha, en un ciclo de cultivo hasta alcanzar la talla de 700 g. La fuerte mortalidad inicial, posterior a la siembra, es debida a la manipulación que sufren los peces para hacerlos llegar a las instalaciones de cultivo. Posteriormente, la mortalidad generada decrece hasta valores típicos en cultivo para estas tallas.

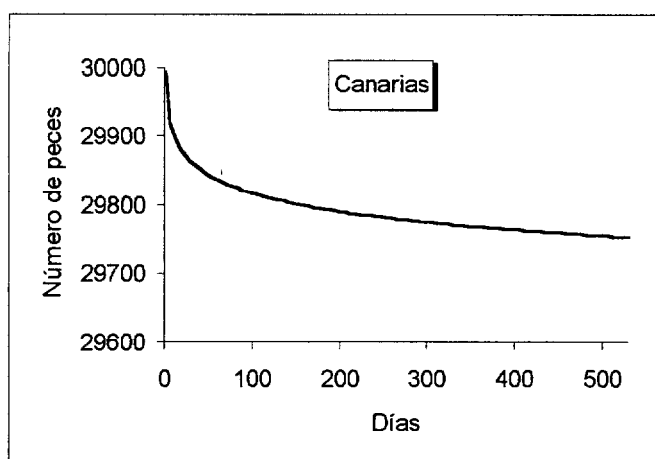


Figura 4.3. Supervivencia de peces durante un ciclo de cultivo.

Existen muy pocos datos publicados sobre la evolución de la mortalidad de la dorada bajo condiciones de cultivo a largo plazo comercial o experimental. GINES (1997) observa una mortalidad final de dorada de 4,05% - experimentalmente y para condiciones ambientales de Canarias, en engorde, hasta alcanzar la talla Selecta -, valor que es ligeramente mayor al que genera el modelo del sistema, lo que puede ser debido a la manipulación sufrida por

los peces en condiciones de experimentación. La mortalidad que genera el modelo del sistema (de acuerdo a la función desarrollada), se basa en datos de cultivo comercial, por lo que consideramos estos valores como válidos para este estudio.

A partir de los valores de crecimiento, alimentación, mortalidad y temperatura del agua -supuestos de la Tabla 4.3- se analiza la producción anual y para 10 años con el modelo bioeconómico empresarial. En la Figura 4.4 se presenta el número medio de peces en granja a lo largo de 10 años para producir 200 Tm/año, de talla Selecta y Super. El número de peces está ajustado para producir 80% de Selecta y 20% de Super. La suma del número de peces medios anuales, será el total requerido para alcanzar la producción objetivo. En la Figura 4.5 se presentan las cosechas acumuladas para estimar la producción durante 10 años, y en la Figura 4.6 la producción anual en el tiempo de vida del proyecto. Se puede observar que la producción objetivo (200 Tm/año) se alcanza alrededor del tercer año. El primer descenso en el número de peces, alrededor de 365 días, es debido a la primera cosecha de talla Selecta.

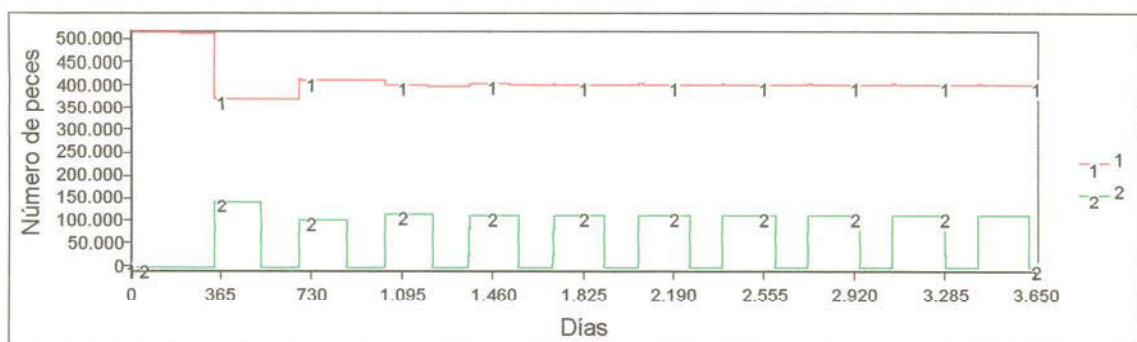


Figura 4.4. Número medio de peces en granja durante la producción de 200 Tm/año (en 10 años), de talla Selecta (1) y Super (2). Análisis generado por el modelo.

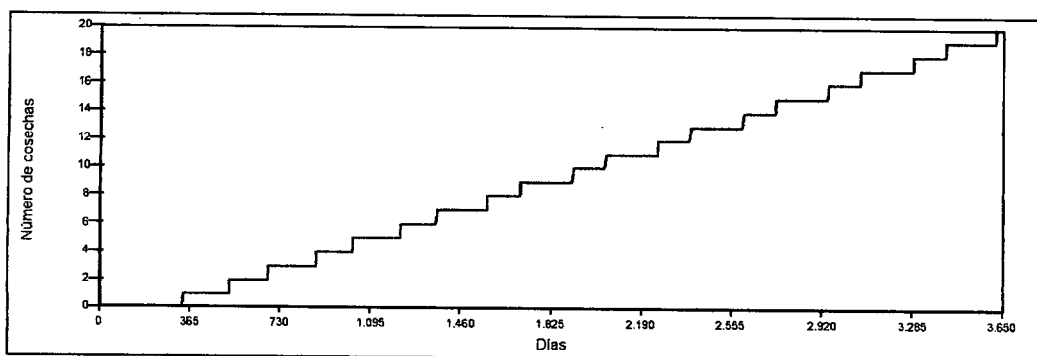


Figura 4.5. El número de cosechas de dorada durante 10 años de cultivo, generadas por el modelo.

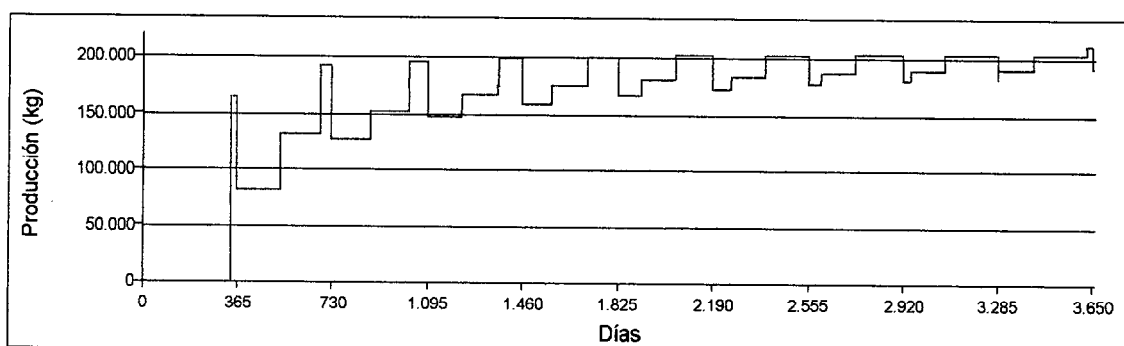


Figura 4.6. Producción anual de dorada generada por el sistema de producción, a lo largo de diez años.

B) ANALISIS ECONOMICO.

El modelo representado para una empresa de cultivo de dorada, tiene necesariamente factores estocásticos, dada la variabilidad presente no sólo en aspectos ambientales, sino también económicos y de mercado. La Figura 4.7 muestra la variabilidad del precio generada por el modelo, para las tallas Selecta y Super, debida a la aleatorización del precio diario durante un año. El precio en un día puede variar entre 900 y 1000, y entre 1800 y 2000 pesetas, para talla Selecta y Super, respectivamente.

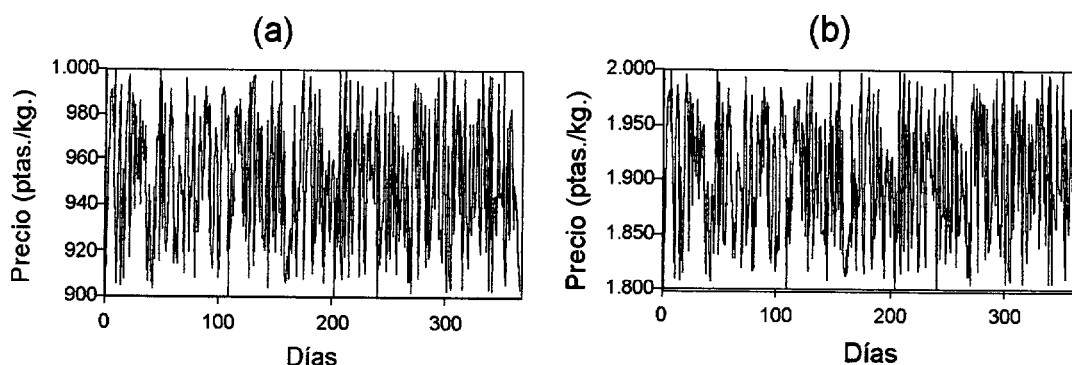


Figura 4.7. Precio de dorada de talla Selecta (a) y Super (b), generado por el modelo en forma aleatoria.

En la Tabla 4.11 se muestran las salidas del modelo en cuanto al estado financiero de la actividad (los costes y los ingresos únicamente para el quinto año de operación). La Figura 4.8 muestra el punto crítico en el corto plazo para el tamaño de granja de 16000 m³ (200 Tm/año), que se define como la cantidad de producción anual para la cual los ingresos totales igualan a los costes totales en el quinto año de operación. El análisis de punto crítico utiliza los costes y los ingresos para definir la frontera entre las ganancias y las pérdidas.

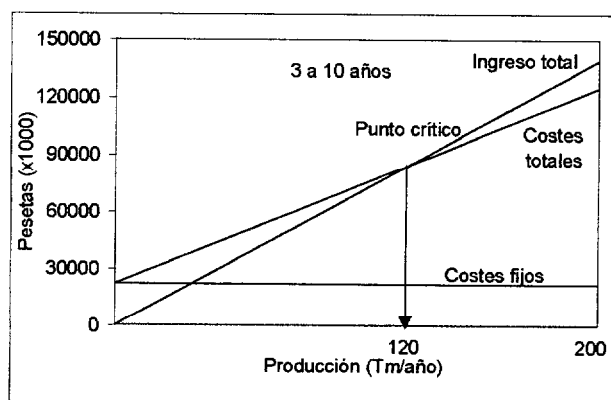


Figura 4.8. Punto crítico para la producción (tamaño de granja de 16000 m³).

La figura anterior muestra que la producción (Tm/año) necesaria para igualar los costes con los ingresos es alrededor de 120 Tm/año. La curva de costes totales se ha supuesto lineal en el corto plazo, aunque en la práctica o en condiciones reales de producción, se obtienen relaciones no lineales por variaciones en la productividad de los factores de producción, en la que también influyen el crecimiento biológico y los factores ambientales. Sin embargo, el análisis permite identificar objetivos iniciales, lo cual es útil para la programación financiera en situaciones emergentes de producción.

La Figura 4.9 muestra la contribución de los costes de operación en el proceso productivo. Respecto a los costes variables totales son más altos que los costes fijos, y se estabilizan junto con la producción (80% Selecta y 20% Super). Para la estimación de la alimentación de los peces dentro de los costes variables, se considera que se lleva a cabo un registro diario de la mortalidad, la alimentación, y el comportamiento de los peces, a lo largo de todo el ciclo de producción. La alimentación se ajusta mensualmente con las tablas para tal fin, basándose en el peso medio y en el número de peces en cada jaula. El éxito de las actividades de acuicultura de alto riesgo como el cultivo de dorada, involucra un mayor control no sólo de factores biológicos del sistema sino también de los técnicos. Es necesario, pues, mantener registros diarios y controles a lo largo de todo el ciclo de cultivo, siempre que no interfieran con los resultados.

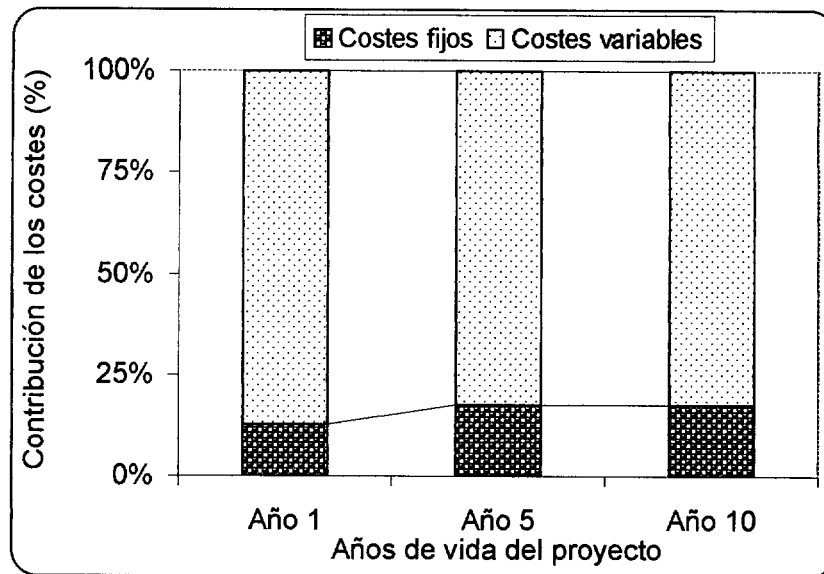


Figura 4.9. Contribución de los costes de operación durante 10 años de vida del proyecto.

Para el análisis económico es necesario estimar la rentabilidad de la inversión de un proyecto, para lo que hemos utilizado el valor presente o actualizado neto (VPN) y la tasa interna de rendimiento (TIR). La evaluación de la rentabilidad mediante el método de valor actual neto de la inversión (VPN), permite conocer la ganancia neta generada por la inversión. Este método se basa en una comparación de retornos futuros a partir de costes iniciales. Para ello se descuentan saldos financieros futuros aplicando una tasa de descuento, a lo largo de la vida del proyecto. El valor presente neto generado por este sistema, incluyendo la producción conjunta de Selecta y Super (200 Tm/año), es de más de 300 millones de pesetas, descontando al 6% durante los 10 años. Este retorno permite considerar esta inversión como relativamente rentable.

La tasa interna de rendimiento (TIR) es la tasa de interés que iguala el valor presente como flujos esperados de efectivo del proyecto de acuerdo al efectivo inicial. El atributo de "interna" de esta tasa se debe a que su valor

viene determinado exclusivamente por las variables internas que definen la inversión, y no por ninguna variable exógena de la misma. Para que la TIR sea financieramente atractiva, tiene que ser mayor que los retornos que los empresarios pudieran recibir de oportunidades de inversión alternativas a ellos. La TIR que se generó en este escenario por el modelo bioeconómico y bajo los supuestos presentados, es de 38%, siendo al igual que en el caso del VPN, un valor relativamente alto.

4.1.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Una granja de cultivo de jaulas flotantes es sensible a diferentes factores tanto internos del sistema, como externos que circundan este tipo de empresas. Los factores internos están relacionados con los procesos biológicos que tienen lugar en el sistema, así como con las decisiones de gestión que se realizan en cada una de estas empresas. Los factores externos que influyen a estas granjas son los ambientales, los propios de la industria, y los de mercado. Con la finalidad de cuantificar los cambios de los supuestos iniciales del sistema ante variaciones de factores biológicos, técnicos, ambientales, económicos y de mercado, se variaron diversos parámetros en un $\pm 20\%$ (uno a la vez), comparándose con el análisis base.

La mortalidad únicamente se incrementó (+20%), no se redujo, debido a que se consideró poco realista simular una mortalidad menor a la que genera el modelo bioeconómico (1% de acuerdo con los datos reales obtenidos). Los resultados se muestran en la Tabla 4.6. Los estimadores utilizados fueron el valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR), y la producción

anual (Tm/año). Las variables biológicas que afectan directamente a la producción en cultivo son la ración y la mortalidad. La reducción de la ración con respecto al análisis base (100%), en un 20%, significa ofrecer una ración de acuerdo a las tablas de alimentación (80%), mientras que una ración de 120%, significa un exceso de pienso que los peces no aprovechan. Esta última ración se llega a ofrecer por los empleados de algunas empresas, y los resultados muestran que la producción no se incrementa, la tasa interna de rendimiento (TIR) se reduce en 5 puntos y el valor presente neto (VPN) descende en más de 56 millones de pesetas. Por el contrario, una ración al 80%, incrementa la TIR en 5 puntos y el VPN en más de 40 millones de pesetas.

Tabla 4.6. Resultados del análisis de sensibilidad del sistema de producción a diferentes factores. Cada factor varió en $\pm 20\%$ (+20% (+); -20% (-)), respecto al análisis base.

Factores de cambio	VPN (ptas. x 1000)	TIR (%)	Producción (Tm/año)
Análisis base	330226	38	200
+ Ración	273701	33	200
- Ración	379206	43	194
+ Mortalidad	61554	13	159
+ Densidad	509567	48	260
- Densidad	194195	28	156
+ Temperatura del agua	505255	48	225
- Temperatura del agua	100800	17	154
+ Coste de alevines	261002	31	200
- Coste de alevines	399451	45	200
+ Coste de pienso	277092	33	200
- Coste de pienso	38361	42	200
+ Precio de mercado	666114	64	200
- Precio de mercado	-5662	-	200
+ Número de empleados	309005	36	200
- Número de empleados	351448	40	200

La tasa de mortalidad de los peces se considera una variable biológica, y sólo se aumentó en un 20% para este análisis. Dicha mortalidad no se ha reportado nunca en Canarias, pero no se puede descartar que las enfermedades puedan llegar a eliminar en ocasiones producciones completas (BARNABE, 1991). Además, se han reportado tasas de mortalidad del 20% en la producción de dorada y lubina en el Mediterráneo (DE LA POMELIE, 1995). Una tasa de mortalidad en Canarias alrededor de la reportada en el Mediterráneo, originaría un dramático descenso en más del 50% de los estimadores del rendimiento, siendo una de las variables a las cuales es más sensible el sistema.

La temperatura del agua es uno de los factores ambientales más influyentes en el sistema de cultivo, dentro de las diferentes variables modificadas, debido a que tiene un efecto directo en el crecimiento de los peces y produce un aumento o descenso de la biomasa, según sea el caso. Cuando desciende la temperatura con respecto al análisis base, lo acompaña una menor producción (cerca de 50 Tm/año), y los estimadores de la rentabilidad se reducen alrededor del 50%. Cuando aumenta, produce el mismo efecto en la producción (más de 24 Tm/año), acercando el desarrollo de los peces durante el ciclo de engorde a una temperatura óptima para el crecimiento, lo cual ocasiona un efecto positivo en el valor presente neto (VPN) (cerca de 200 millones) y la tasa interna de rendimiento (TIR) (que se incrementa en 10 puntos).

De entre las decisiones de gestión, la densidad de cultivo resultó ser el factor con un mayor efecto sobre el incremento de la producción. Un incremento de 20% en la densidad con respecto al análisis base, aumenta 60

toneladas la producción anual, en 10 puntos la TIR y en más de 150 millones de pesetas el VPN, lo cual está relacionado con el uso más eficiente de las instalaciones de cultivo. En el cultivo de tilapia en tanques intensivos, un incremento de 10% en este factor (de los probados en el análisis de sensibilidad de dicho sistema) causa el mayor descenso en los costes de producción (LOSORDO y WESTERMAN, 1994). Esto confirma que la densidad de cultivo es de los factores a los que son más sensibles los sistemas de cultivo.

De entre los factores de mercado, el precio comercial o de venta es el que ha generado la máxima TIR, así como el mínimo y máximo VPN de todos los factores variados en este análisis. Esto se debe al efecto directo que tiene sobre los ingresos generados en la empresa. Dicho factor también tiene el mismo efecto en la producción de alevines de esta especie (WHITE, 1996). Por el contrario, la variación del número de empleados presenta el menor efecto sobre los estimadores de la inversión en el engorde en jaulas, de forma similar a lo encontrado para el cultivo larvario (WHITE, 1996), donde la automatización del sistema (contadores automáticos y clasificadores de peces etc.) causó el menor efecto de entre los factores probados en el análisis de sensibilidad.

Los resultados del análisis de sensibilidad prueban que el sistema de cultivo de dorada en jaulas es sensible a factores biológicos, ambientales, de mercado, así como a las decisiones de operación, y por lo tanto a las modificaciones de los mismos, reflejándose que algunos de ellos contribuirían a mejorar la producción y/o la rentabilidad del cultivo.

4.1.4. EFECTO DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA.

El tamaño de la granja está relacionado con las inversiones de capital y con los beneficios que se esperen de dicha inversión, por lo que la decisión del tamaño es de gran trascendencia para el empresario, interesado en obtener los mayores beneficios de su inversión. En este escenario estudiamos diferentes escalas de granja y los efectos sobre los costes, los ingresos y la rentabilidad de la inversión.

Por otro lado, las salidas biológicas y de producción del modelo del sistema se compararon estadísticamente, en el análisis inicial, con los datos históricos facilitados por la empresa. Las pruebas no mostraron diferencias significativas con un 99 % de confianza. Esto sugiere que las respuestas del sistema se ajustan a la realidad, por lo que se utilizaron los mismos parámetros que en el análisis base del tamaño de granja de 16000 m³ para analizar los escenarios alternativos.

En estos escenarios se presentan resultados de los siguientes supuestos: 1) costes de inversión para diferentes tamaños de granja, 2) producción única de talla Selecta en diferentes escalas de granja, 3) producción conjunta de Selecta y Super, 4) optimización del cultivo para las condiciones ambientales y económicas de Canarias subdividido en, a) incremento de la densidad en diferentes tamaños de granja, b) tamaño de granja óptimo y c) estrategias de producción para incrementar los beneficios en el cultivo.

4.1.4.1. COSTES DE INVERSION SEGUN EL TAMAÑO DE LA GRANJA.

En la Tabla 4.7 se muestran los costes de inversión inicial total, para diferentes tamaños de granja. Los costes de jaulas con redes, anclajes y barcos están desglosados del total. Cada uno de los tamaños de granja se representaron de acuerdo a la capacidad total de cultivo en las jaulas (m^3 /granja). Las estimaciones para los diferentes tamaños de las granjas están basadas en fuentes primarias y fueron escogidas según datos obtenidos de comunicaciones personales de varias granjas en operación.

Tabla 4.7. Costes de inversión inicial para diferentes tamaños de granja. Denominación de acuerdo a la capacidad en jaulas.

Capacidad en jaulas (m^3 /granja)	4000	8000	16000	24000	32000	48000	64000
Componentes del sistema	Costes (ptas. x 1000)						
Jaulas con redes	6005	12009	22096	34105	41348	56484	71621
Anclajes	5815	11630	21278	32908	37902	52883	67864
Barcos	3840	3840	26479	26479	26479	26479	49118
Inversión inicial total	38066	54885	113677	140835	161590	208145	291259

En este estudio nos referimos al tamaño de la granja en función de la capacidad en volumen total de jaulas (m^3), en lugar de representarlo como capacidad de producción (Tm/año), ya que al variar algunos parámetros en el modelo bioeconómico, las cifras de producción también lo hacen, y si nos referimos al tamaño en función de la producción, se puede prestar a confusión.

En la Tabla 4.8 se presentan los costes de inversión para diferentes tamaños de granjas, reportados por diferentes autores. La referencia

bibliográfica de STEPHANIS (1995), que es la más completa desde un punto de vista económico, presenta información para granjas con capacidad de producción de 50 a 500 Tm/año. Los costes de inversión que presenta este autor muestran incrementos lineales con respecto al tamaño de la granja, mientras que en el presente trabajo presentaron una tendencia logarítmica asintótica, de manera que los costes de inversión se incrementaron a un ritmo menor. La inversión inicial en una granja de peces, y en las empresas en general, crece conforme al tamaño de éstas, pero de una forma no lineal, debido a las discontinuidades en los tamaños de equipos disponibles en el mercado (HILL y INGERSENT, 1982; ALLEN *et al.*, 1984). Esto sugiere que nuestros resultados representan unos valores más reales que los publicados por STEPHANIS (1995).

Tabla 4.8. Costes de inversión según la capacidad de producción media de la granja y según diferentes autores.

Autores y área geográfica		Inversión (ptas. x 1000)				
Producción media (Tm/año)	63	125	200	300	400	500
STEPHANIS (1995), Grecia	34282	61836	108832	128618	171491	214364
DE LA POMELIE (1995), Francia				286813		
BLAKSTAD <i>et al.</i> (1996), Mediterráneo					137678	
LARRAZABAL (1997) Canarias		50000				

DE LA POMELIE (1995) y BLAKSTAD *et al.* (1996) presentaron un tamaño de granja con una capacidad total en jaulas de 21000 y 25000 m³ de volumen, respectivamente, similar al tamaño de 24000 m³ de este trabajo. Los costes de inversión respecto a la capacidad que presentaron BLAKSTAD *et al.*

resultan semejantes a los que se obtuvieron para este trabajo, mientras que los costes presentados por DE LA POMELIE los rebasan considerablemente (Tabla 4.8). LARRAZABAL (1997) presentó unos costes similares a los obtenidos para un tamaño de granja parecido al de 8000 m³ de este trabajo.

Los costes de inversión para Grecia y Francia (Tabla 4.8) (para una producción media similar) nos permiten observar lo sensibles que son dichos costes al lugar de ubicación del sistema. Los costes presentados por BLAKSTAD *et al.* (1996), sin especificar el lugar (Mediterráneo), nos parecen indicar que fueron referidos a España o un país con costes similares. Desgraciadamente, ninguno de estos autores desglosan los costes, lo cual impide realizar una mejor comparación con este trabajo.

Queremos indicar que las estimaciones en la inversión inicial para los diferentes tamaños de granja considerados, que aún cuando se basan en un número limitado de datos obtenidos a partir de fuentes privadas y primarias, parecen obtener cierta validación a partir de los resultados de BLAKSTAD *et al.* (1996) y LARRAZABAL (1997), particularmente para los tamaños de granja de 8000 y 24000 m³.

4.1.4.2. PRODUCCION UNICA DE TALLA SELECTA.

Se estudió la producción única de dorada de talla Selecta en los diferentes tamaños de granja antes señalados. Los parámetros empleados en este análisis se presentan en la Tabla 4.3, de los que se han exceptuado los que corresponden a la talla Super. En la Tabla 4.9 se presentan los parámetros relacionados con la producción y el personal. La productividad se estimó de

acuerdo con los datos publicados por STEPHANIS (1995) para cada uno de los tamaños de granja.

Tabla 4.9. Supuestos de producción y personal utilizados para el análisis bioeconómico de los sistemas de granja.

Tamaño de granja ($m^3 \times 1000$)		4	8	16	24	32	48	64
Parámetro	Unidad de medida	Cantidad						
Producción	Tm/año	60	100	200	300	400	600	800
Personal	empleados/granja	4	7	10	13	15	19	25

Los resultados de valor presente neto (VPN) que generó el modelo fueron negativos para los diferentes tamaños de granja, bajo los supuestos mencionados anteriormente, mostrando que el cultivo exclusivo de dorada de talla Selecta no es viable comercialmente con dichos supuestos.

Posteriormente se realizaron simulaciones modificando únicamente el coste de comercialización, primero suponiendo la venta de dorada de talla selecta a pie de granja (valor cero de coste de comercialización), y segundo asumiendo una subvención compensatoria de los mismos (100 ptas./kg., respecto al supuesto en la Tabla 4.3.). Los resultados de rentabilidad en la producción única de dorada de talla selecta se presentan en la Tabla 4.10. Como estimador se utilizó la tasa interna de rendimiento (TIR). Suponiendo la venta de pescado a pie de granja (cero coste de comercialización), las diferentes escalas resultan viables comercialmente. Para los cinco tamaños de granja superiores, los valores de la tasa interna de rendimiento (TIR) resultaron notablemente altos. El menor valor que generó el modelo bioeconómico se obtuvo para la escala de 4000 m^3 , y aún así sobrepasa por 11 puntos la tasa de descuento utilizada (6%).

Tabla 4.10. Resultados de rentabilidad del cultivo de dorada en Canarias. Producción única de talla Selecta en diferentes tamaños de granja.

Coste de comercialización (ptas./kg.)	0	150
Tamaño de granja (m ³)	Tasa de interna de rendimiento (TIR %)	
4000	15	-
8000	22	-
16000	30	7
24000	40	14
32000	49	21
48000	56	26
64000	55	26

Cuando se supone una subvención compensatoria para el coste de comercialización, los tamaños de granja de 4000 y 8000 m³ generaron una rentabilidad negativa. Para el tamaño de granja de 16000 m³, la tasa interna de rendimiento (TIR) sobrepasa escasamente por un punto la tasa de descuento que se ha utilizado (6%). La mayor rentabilidad se obtuvo para los tamaños de granja de 32000, 48000 y 64000 m³.

Los resultados de este análisis nos permite evidenciar, en primer lugar, que la producción única de talla Selecta no es viable comercialmente. Esta estrategia resultaría viable únicamente vendiendo el pescado a pie de granja, o bien, recibiendo una subvención compensatoria a los costes de comercialización. Esta última opción es la que puede acercarse más a la realidad. En este escenario, la rentabilidad tiende al óptimo para granjas de gran capacidad, de 48000 y 64000 m³ con su correspondiente producción (Tm/año), por lo que son las más recomendables, suponiendo la subvención compensatoria (100 ptas./kg.).

4.1.4.3. PRODUCCION CONJUNTA DE SELECTA Y SUPER.

La utilización de estrategias de marketing ha sido recomendado por productores de dorada (STEPHANIS, 1996; LARRAZABAL, 1997) e investigadores (JORDAN, 1996; RIERA y LENSÍ, 1996), con el fin de alcanzar un estado de maduración en esta industria (STEPHANIS, 1996a). La producción de tallas superiores a la Selecta representa una estrategia de mercadotecnia que supone una opción viable para el caso de Canarias, debido a las moderadas temperaturas de sus aguas, lo que permite obtener tallas superiores a las obtenidas en el área Mediterránea de forma competitiva (MOLINA *et al.*, 1997; GINES, 1997). El presente análisis tuvo como propósito el estudio del comportamiento de los costes frente a la producción anual y al tamaño de la granja, cuando se producen estas dos tallas de mercado. De la producción anual total, suponemos el 80% de talla Selecta y el 20% de Super. Los supuestos para el análisis se presentan en las Tablas 4.3 y 4.9.

Una vez obtenidos resultados de producción para un período de diez años, y para los diferentes tamaños de plantas, se presentan los costes y beneficios correspondientes al quinto año de operación, así como la tasa interna de rendimiento. Los resultados se muestran en la Tabla 4.11. Se seleccionó el quinto año porque para entonces la producción se encuentra ya estabilizada (80% Selecta, 20% Super), y por lo tanto también los costes y beneficios. Con respecto a los costes generados por el modelo bioeconómico bajo los diferentes tamaños de granja en el presente escenario, se observa que los costes variables totales presentan una tendencia de incremento conforme

aumenta la escala de la granja y la producción (Tm/año), siendo los costes de mano de obra, los que presentan una tendencia lineal creciente más clara en este sentido.

Tabla 4.11. Costes y beneficios para el quinto año de operación en Canarias. Producción conjunta de Selecta y Super.

Pesetas (x 1000)							
Tamaño de granja (m ³ /granja)	4000	8000	16000	24000	32000	48000	64000
Producción (Tm/año) (60)	(100)	(200)	(300)	(400)	(600)	(800)	
<u>Costes variables</u>							
Alevines	13510	21954	43908	65863	88661	130881	174790
Pienso	11905	19345	38690	58036	78125	115328	154019
Mano de obra	10790	15470	20150	24830	27950	34190	43550
Medicamentos	180	293	585	878	1182	1744	2330
Costes variables totales	36385	57062	103334	149607	195918	282143	374689
<u>Costes fijos</u>							
Mantenimiento	2498	4060	8119	12179	14812	24200	28642
Seguros	4254	6912	13825	20737	29499	41211	58713
Costes fijos totales	6752	10972	21944	32916	44311	65411	87355
<u>Costes totales</u>	43137	68034	125279	182523	240229	347554	462043
Comercialización	14292	23224	46448	69672	93790	138451	184900
<u>Ingresos brutos</u>	24049	41144	93077	145011	200682	303314	407181
Depreciación	4888	6402	14220	17810	20511	26801	37992
<u>Ingresos netos</u>¹	19161	34742	78857	127201	180171	276513	369189
<u>TIR (%)</u>	26	32	38	46	53	59	58

¹No se considera pago de impuestos.

Los costes de mano de obra son considerados como semifijos o como variables dependiendo de las diferentes empresas, lo que puede deberse a que

algunas ofrecen a sus empleados una comisión por cada kilogramo producido cuando se alcanza o se sobrepasa la producción objetivo (trimestral o anualmente). En este estudio hemos considerado este plus de pago y lo hemos incluido dentro de los costes variables.

Por el contrario, los costes fijos (mantenimiento y seguros) (Tabla 4.11), no se incrementan tan rápidamente con el tamaño de la granja. De estos costes, los seguros (relacionados directamente con la capacidad de la planta) son los que experimentan un mayor aumento.

En la Figura 4.10 se presentan los ingresos netos generados por el modelo, y la inversión acumulada para los diferentes tamaños de granja. Las líneas muestran la tendencia de estos valores, estimados a partir de los modelos de regresión. Las ecuaciones y su correspondiente estadístico R^2 se presentan en la misma figura. Los ingresos netos presentaron una tendencia lineal, mientras que para la inversión acumulada la tendencia fue logarítmica asintótica. Esta última experimentó un incremento significativo cuando el tamaño de granja pasó de 48000 m³ a 64000 m³, debido básicamente a las discontinuidades en los tamaños de los diferentes equipos requeridos.

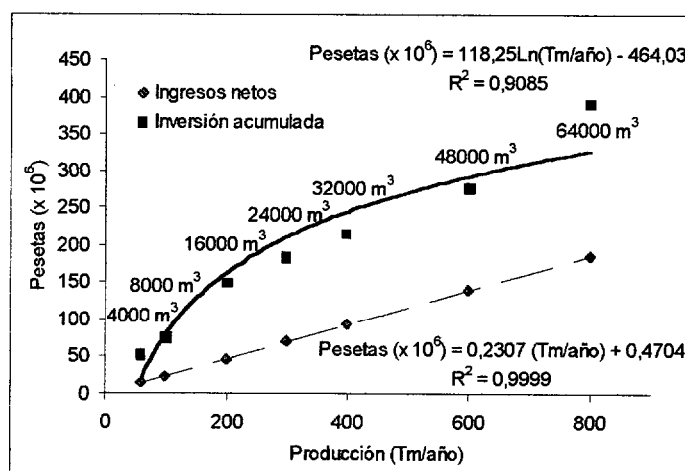


Figura 4.10. Ingresos netos e inversión acumulada para siete tamaños de granja. Producción conjunta de tallas Selecta y Super en Canarias.

Los ingresos netos con la tendencia lineal creciente relacionados con el tamaño de la granja y la producción (Tm/año), generan un coeficiente de correlación (R^2) alto, mostrando la estrecha relación que existe entre estos tres parámetros. El estimador del rendimiento de la inversión (TIR) también crece con respecto al tamaño de la granja, únicamente desciende un punto en la última escala (64000 m³) con respecto a la de 48000 m³, lo cual puede ser debido a la inversión, que como se muestra en la Figura 4.10 experimentó la mayor variación al pasar a esta escala. Sin embargo, ninguna de las TIR que ha generado el modelo del sistema en este escenario conduciría al rechazo de la viabilidad de las inversiones, pues la más baja (26%) es muy superior a la tasa de descuento utilizada.

En casos de cultivo conjunto de dorada y lubina, algunos autores han obtenido que el tamaño mínimo rentable (de acuerdo a la producción) es alrededor de 200 Tm/año (RIERA y LENSÍ, 1996; LARRAZABAL, 1997). Sin embargo, cuando se producen conjuntamente dorada Selecta y Super, todos los tamaños de granja considerados resultaron rentables (incluso para escalas menores que la citada como mínima rentable). En nuestro estudio, los tamaños superiores a 200 Tm/año resultaron algo más rentables que las dos escalas más pequeñas de las ensayadas.

Las tasas internas de rendimiento en la industria de la acuicultura generalmente resultan atractivas cuando alcanzan valores alrededor de 15 a 20% (SHIGEKAWA y LOGAN, 1986; STANIFORD, 1989; LOGAN *et al.*, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996), y siendo poco comunes valores mayores. En nuestros escenarios de producción conjunta de Selecta y Super el sistema genera unas

TIR siempre superiores a 20%, debido fundamentalmente al precio comercial de venta que hemos supuesto para la talla Super. Los flujos esperados de efectivo se incrementan sustancialmente con dicho precio.

4.1.4.4. COSTE MEDIO.

El coste medio, relacionado con la producción en un intervalo de tiempo dado, es un indicador de la tendencia hacia las economías de escala. El coste medio se obtiene de la división de los costes totales por la producción total. En la Figura 4.11 se presentan los valores de este coste medio de acuerdo a la producción en las diferentes escalas de granja consideradas. Este coste corresponde a la producción de dos tallas, Selecta y Super. Sus valores resultaron decrecientes con respecto al tamaño de la planta, sugiriendo que en esta industria se presentan economías de escala. La teoría económica establece que en el corto plazo, cada tamaño de empresa presenta una curva de coste medio en forma de U. En el largo plazo las diferentes escalas son envueltas por un arco del mismo perfil. En general, la tendencia en la mayoría de las empresas es la del desplazamiento del coste medio hacia el mínimo valor, en el centro de la curvatura de dicha U, en la transición del corto plazo hacia el largo plazo (ALLEN *et al.*, 1984; BLAIR y KENNY, 1983).

En la práctica, las discontinuidades en los tamaños de equipamientos técnicos, máquinas de clasificación, barcos de servicio, tanques, jaulas, etc., favorecen la aparición de economías de escala (HILL y INGERSENT, 1982). Estos equipos forman parte de los costes de inversión y también están involucrados con los costes medios de las empresas. Las proporciones de los

factores fijos y variables se ajustan con los equipos, ofreciéndonos diferentes costes medios, con la tendencia hacia un óptimo en el largo plazo.

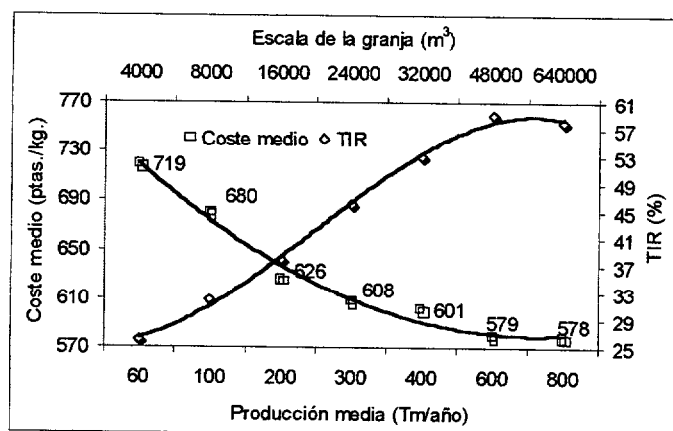


Figura 4.11. Coste medio y tasa interna de rendimiento (TIR) en diferentes tamaños de granja, de acuerdo a la producción anual de Selecta y Super.

STEPHANIS (1995) sostiene la existencia de economías de escala para el cultivo conjunto de dorada y lubina en jaulas flotantes, cuando se produce la talla Selecta de ambas especies. Este autor presentó gráficamente la evolución de los costes medios respecto a la capacidad de producción (entre 50 y 500 Tm), resultando una relación lineal bien definida. Es de destacar la diferencia que existe entre los resultados de STEPHANIS (1995) y los de este trabajo, en el que el mínimo coste medio se obtiene en diferentes tamaños de planta (producción de 500 y 800 Tm/año, respectivamente), lo que sugiere que las economías de escala presentan características propias en cada área particular de cultivo. Las diferencias entre las escalas presentadas por este autor y las de este trabajo pueden ser debidas al cultivo conjunto de dorada con lubina, a la diferente estrategia de mercadotecnia (producción única de talla Selecta), a la relación lineal entre costes de inversión y la capacidad de producción, y a los superiores costes fijos y variables, que considera este autor, así como a las diferencias ambientales entre las dos áreas geográficas consideradas.

Unicamente existe una referencia para Canarias que pueda ser empleada como elemento de comparación en este caso (LARRALZABAL, 1997), donde se estimó un coste medio de 700 ptas/kg para una producción conjunta de dorada y lubina de 200 Tm/año. Este valor resulta muy similar al obtenido en este trabajo para una producción análoga, lo que parece validar los resultados de costes medios generados por el modelo.

En la Figura 4.11 se presenta la evolución de la tasa interna de rendimiento (TIR) y el coste medio. El estimador para evaluar la rentabilidad de la inversión en el cultivo de dorada, al igual que los costes medios, revela economías de escala. Este estimador se considera de importancia, pues se basa en la rentabilidad de las empresas determinada exclusivamente por variables internas, tomando en consideración la inversión y los flujos esperados de efectivo que se generan de los costes de producción y comercialización, así como los ingresos por ventas.

Las economías de escala han sido descritas para actividades de cultivo de peces por varios autores (SHIGEKAWA y LOGAN, 1986; STEPHANIS, 1995), presentando un decrecimiento del coste medio conforme se incrementaba el tamaño de la granja, mientras que LOGAN *et al.* (1995) la obtienen basándose en los resultados de la tasa interna de rendimiento (TIR). Según lo expuesto con respecto a la relación existente entre los costes de inversión y el ajuste que tienen los factores de producción, el empleo de un modelo bioeconómico aplicado al estudio de empresas de cultivo de dorada arrojó unos resultados que parecen coincidir con los obtenidos para otras especies.

4.1.4.5. OPTIMIZACION DEL CULTIVO.

En este apartado se estudian los efectos de variaciones en diferentes parámetros que condicionan la rentabilidad de la empresa, con el fin de optimizar el cultivo de dorada en condiciones ambientales de Canarias. Entendemos por optimización la maximización del valor presente neto y/o la tasa interna de rendimiento, así como la minimización del coste medio.

A) INCREMENTO DE LA DENSIDAD DE CULTIVO.

En primer lugar se estudió el incremento de la densidad inicial y final de peces para los diferentes tamaños de granja, lo que generó un aumento de personal, debido a una mayor producción resultante (Tm/año), requiriéndose más trabajo para mantener el mínimo nivel de productividad (STEPHANIS, 1995). Para estas simulaciones se modificaron estos dos parámetros en las Tablas 4.3 y 4.9. Los valores de mano de obra no fueron incrementados para los tamaños de granja 4000 y 8000 m³, de acuerdo con las recomendaciones de STEPHANIS (1995) (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Supuestos de incremento de densidad de cultivo y mano de obra para la producción de dorada en diferentes tamaños de granja. Producción conjunta de tallas Selecta y Super.

Tamaño de granja (m ³ x 1000)		4	8	16	24	32	48	64
Parámetro	Unidad de medida	Cantidad						
Densidad final	(kg/m ³)	15	15	15	15	15	15	15
Personal	empleados /granja	4	7	13	15	19	25	30

Los resultados del incremento de la densidad de cultivo se presentan en la Tabla 4.13, utilizándose como estimadores la tasa interna de rendimiento (TIR) y la producción anual (Tm/año). La decisión de incrementar la densidad de cultivo provoca un aumento considerable tanto de la producción como de la tasa interna de rendimiento, en la mayoría de los tamaños de granjas estudiados. El incremento en la densidad produce un notable aumento de la producción (desde 3 hasta 200 Tm/año en los tamaños de granja de 4000 a 64000 m³, respectivamente) con respecto a los resultados de la Tabla 4.11. El aumento de la producción va acompañado por un incremento del estimador de la rentabilidad TIR desde 2 hasta 15 puntos, siendo la escala de 32000 m³ la que alcanza los 15 puntos. El menor aumento de la producción se obtuvo para el tamaño de 4000 m³ (3 Tm/año), generando a su vez la menor tasa interna de rendimiento (28%).

Anteriormente, en el escenario de producción única de talla Selecta, el tamaño de granja de 48000 m³ resultó el que genera la mayor tasa interna de rendimiento (así como también la de 64000 m³) y en el escenario de producción conjunta de tallas Selecta y Super, en el presente escenario obtiene el segundo mayor valor después de la escala de 64000 m³, siendo el incremento igual al de la escala de 8000 m³, e inferior al de 16000 y 32000 m³. La escala de granja de 64000 m³, al obtener el mayor valor de tasa interna de rendimiento en este escenario, sugiere que los costes de los diferentes factores fijos y variables generados por el proceso de producción y la comercialización, así como los de inversión y los flujos esperados de efectivo, contribuyen a ofrecer una mejor rentabilidad al incrementar la utilización de los equipos y de las instalaciones de cultivo.

Tabla 4.13. Resultados de tasa interna de rendimiento (TIR) y producción anual en siete tamaños de granja al incrementar la densidad de cultivo. Producción de tallas Selecta y Super.

Tamaño de granja (m ³)	TIR (%)	Producción (Tm/año)
4000	28	63
8000	42	123
16000	51	300
24000	56	400
32000	68	600
48000	70	800
64000	71	1000

B) ESCALA DE GRANJA OPTIMA.

La evidencia de economías de escala para el cultivo de dorada en jaulas flotantes ofrece una información de aplicación práctica, útil para la toma de decisiones empresariales a largo plazo, como puede ser la de establecer objetivos de dimensión de cada granja, buscando la optimización en función de toda una serie de parámetros, aquí considerados. En la Figura 4.12 se muestran las tasas internas de rendimiento de los tres escenarios estudiados anteriormente:

- Escenario Canarias 1 (EC1). Producción única de talla Selecta (con subvención al coste de comercialización).
- Escenario Canarias 2 (EC2). Producción conjunta de Selecta y Super.
- Escenario Canarias 3 (EC3). Incremento de la densidad de cultivo en producción conjunta.

Las decisiones de mercadotecnia (escenario EC1 y EC2) y producción (escenario EC3) tomadas en los diferentes escenarios y tamaños de granja estudiados, nos revelan que en la escala de 48000 m³ y 64000 m³ la tasa interna de rendimiento (TIR) es máxima en comparación con el resto de las escalas. En el escenario EC1, la TIR es máxima para las escalas de 48000 y 64000 m³, asumiendo una subvención para los costes de comercialización (siendo una posibilidad para producir talla Selecta en Canarias, como único producto). En el escenario EC2, la tasa interna de rendimiento es máxima únicamente para la escala de 48000 m³, diferenciándose por un punto con la escala de 64000 m³. Para el escenario EC3 la tasa interna de rendimiento fue mayor para el tamaño de granja de 64000 m³, siendo superior en un punto de la escala de 48000 m³. Por tanto, en base a estos resultados, se han seleccionado los tamaños de granja de 48000 m³ y 64000 m³ como las escalas óptimas de entre todas las estudiadas. El resultado que ha generado el modelo bioeconómico con la posibilidad de situarse en ambas escalas, mostrando que las dos generan una tasa interna de rendimiento similar, es una ventaja que se debe considerar. La escala de granja de 48000 m³, con una inversión menor, junto a menores costes de operación, ofrece beneficios proporcionales a la inversión, similares que la escala de 64000 m³. Sin embargo, existen otros factores, aquí no considerados, como el objetivo de maximizar la cuota de mercado y el tamaño de la empresa, que pueden inducir la elección de la máxima capacidad, dada un nivel de rentabilidad determinado.

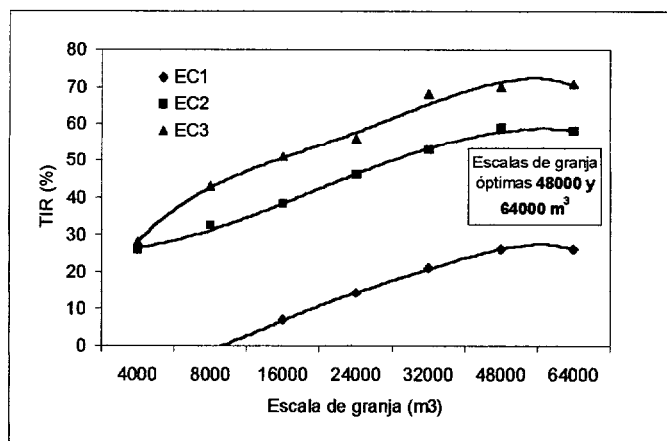


Figura 4.12. Tamaños de granja óptimos para el cultivo de dorada en Canarias, bajo tres escenarios diferentes: EC1., EC2. y EC3. (ver explicación adicional en el texto).

Por otra parte, los tamaños de granja situados en el extremo inferior, generaron una tasa interna de rendimiento (TIR) menor que las escalas de granja situadas en el extremo superior. En el escenario EC1 la rentabilidad fue notablemente inferior, respecto a los escenarios EC2 y EC3, aún con la subvención a los costes de comercialización, y negativa para las escalas de 4000 y 8000 m³, y escasamente aceptable para la escala de 16000 m³. En los escenarios EC2 y EC3 la rentabilidad también fue inferior para las tres menores escalas (4000, 8000 y 16000 m³), pero siempre muy por encima de la tasa de descuento utilizada (6%). Por ello, y en líneas generales, resultan recomendables los tamaños superiores o iguales a 16000 m³, y producción conjunta de las tallas Selecta y Super de dorada.

C) ESTRATEGIAS DE MANEJO.

Toda empresa debería intentar alcanzar el tamaño de granja óptimo. Además, se verá siempre forzado a buscar la máxima competitividad. Para ello

debe buscar la optimización de las estrategias de cultivo de manera que le permitan obtener el máximo beneficio, así como el máximo valor para las tasas del rendimiento (VPN y TIR), y el mínimo coste medio. Esto resulta posible estudiando el efecto de las variables de decisión.

Tomando como base el tamaño de granja óptimo de 48000 m³, se variaron diferentes parámetros con el propósito de determinar en que condiciones de gestión dicho tamaño puede alcanzar valores máximos y mínimos de rentabilidad, así como de coste medio. A diferencia del análisis de sensibilidad, donde la variación de cada uno de los factores se realizó siempre en la misma proporción, en este apartado se analizaron diferentes proporciones, de acuerdo a datos comerciales y experimentales publicados.

En la Tabla 4.14 se presentan los diferentes parámetros estudiados. A cada uno de los parámetros modificados se le identificó con una denominación específica, que se presenta en la misma tabla. Estos parámetros fueron básicamente de tipo técnico. Así, la densidad de cultivo se modificó de acuerdo a recomendaciones de los productores de esta especie. También hemos variado otros parámetros biológicos, ambientales y externos, según referencias bibliográficas. El precio de venta fue modificado únicamente para la talla Super, a excepción del supuesto P⁴, donde se modificaron los precios para ambas tallas, ya que la producción de las dos tallas al mismo precio de venta no supondría ventaja alguna para los productores, al ser más elevados los costes de producción de la talla Super.

Tabla 4.14. Parámetros modificados para optimizar el cultivo de dorada en Canarias (en el tamaño de granja óptimo, 48000 m³). Producción de tallas Selecta y Super.

Factores	Unidad de medida	Cantidad	Nominación
*Densidad final de cultivo	kg/m ³	2,5 3,5 7 15 18,5	D ⁻³ D ⁻² D ⁻¹ D ¹ D ²
Ración	(%)	70 80 90	A ⁰ A ¹ A ²
Personal	empleados/granja	17 21	E ¹ E ²
Supervivencia final de los peces	(%)	88 75 67 65	S ² S ³ S ⁴ S ⁵
Precio de Super:	ptas./kg.	[1400, 1600] [1200, 1400] [1000, 1200]	P ¹ P ² P ³
P. Selecta; Super		[800, 900]; [1000, 1200]	P ⁴
Temperatura del agua	°C	+1 - 1	T ¹ T ²

*25 empleados/granja, para los supuestos D¹ y D².

Los resultados, comparados con aquéllos para el tamaño de granja de 48000 m³ (análisis base, Tabla 4.11) se presentan en la Tabla 4.15. Los estimadores utilizados fueron el valor presente neto, la tasa interna de rendimiento, la producción anual y el coste medio.

Tabla 4.15. Resultados de la optimización del cultivo de dorada en Canarias según diferentes estrategias de gestión, comparados con el análisis base para el tamaño de granja de 48000 m³ y producción conjunta de dos tallas de dorada.

Parámetro	VPN (ptas. x 1000)	TIR (%)	Producción (Tm/año)	Coste medio (ptas./kg)
Análisis base	1313352	59	600	579
D ⁻³	-35334	-	150	753
D ⁻²	115812	15	200	696
D ⁻¹	732022	42	400	616
D ¹	1854271	70	800	576
D ²	2156563	75	930	550
A ⁰	1411974	55	540	575
A ¹	1459350	66	577	559
A ²	1334281	61	593	566
E ¹	1334573	60	600	574
E ²	1293130	58	600	584
S ²	763278	39	528	627
S ³	512473	30	450	718
S ⁴	80176	11	400	770
S ⁵	-9365	-	390	782
P ¹	778776	41	600	579
P ²	511482	31	600	579
P ³	244192	20	600	579
P ⁴	-12844	-	600	579
T ¹	1571903	62	620	677
T ²	1297568	58	565	613

Según estos resultados, el parámetro cuya variación supuso una mayor incidencia económica fue la densidad de cultivo, ya que originó los mayores valores de valor presente neto (VPN) y una máxima tasa interna de rendimiento

(TIR), así como el mínimo coste medio, lo cual también fue observado por RIZZO y SPAGNOLO (1996) para la lubina. Al incrementar la densidad final de cultivo a un promedio de $18,5 \text{ kg./m}^3$ (D^2), con respecto del análisis base, el coste medio decreció 29 ptas./kg., siendo sustancial, y una mejor perspectiva la muestra el incremento de la TIR en más de 15 puntos. En el caso del esturión, un incremento en la densidad de cultivo de alevines resultó en un descenso de 4 ptas./alevín en el coste medio y la TIR se incrementó 8,75 puntos (SHIGEKAWA y LOGAN, 1986). Aún cuando resultan muy difíciles las comparaciones debido a que el coste medio fue expresado por estos últimos autores por individuo, hemos querido presentar los resultados de este último trabajo, siendo de los pocos en la literatura que muestra el descenso del coste medio con respecto al incremento en la densidad de cultivo.

Por otro lado, resulta inesperado que el descenso de la densidad (D^{-2}), hasta ocasionar una producción de 200 Tm/año, permita que la TIR siga siendo aceptable comercialmente. En la Figura 4.13 se presentan gráficamente los resultados originados por la variación de este parámetro, donde se destaca el amplio intervalo dentro del cual el cultivo sigue siendo rentable.

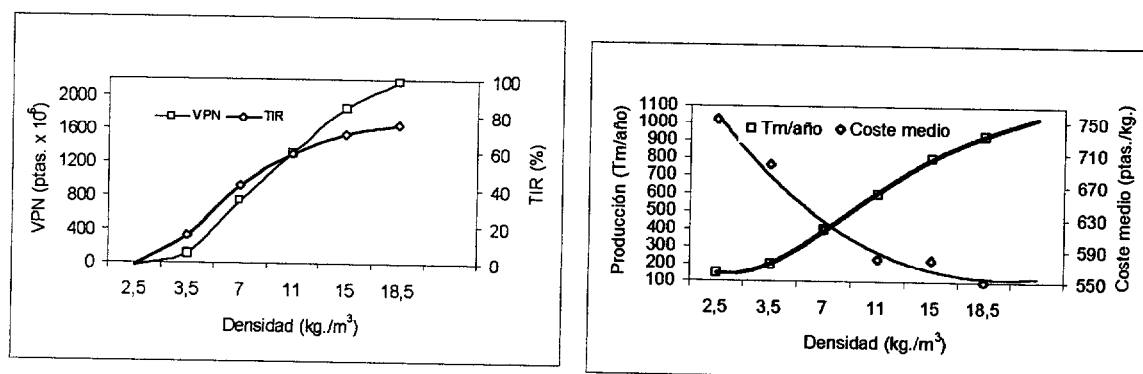


Figura 4.13. Efecto de la densidad final de cultivo en la rentabilidad (VPN y TIR), producción (Tm/año) y coste medio.

Las densidades finales de cultivo utilizadas en este trabajo oscilaron entre 3 y 18,5 kg/m³ (en media), siendo valores de alrededor de 15 a 16 kg/m³ los considerados como normales en cultivo comercial de dorada y lubina en jaulas en el Mediterráneo (BLAKSTAD, 1996; SAHIN, 1995; STEPHANIS, 1995). La densidad de cultivo de 18,5 kg/m³ (en media), se sitúa en torno al valor recomendado por los productores canarios (que llegan a utilizar hasta 21 kg/m³).

Con respecto a la alimentación, los mejores resultados económicos se obtuvieron cuando se redujo la ración (A¹) en un 20%, con respecto al análisis base del tamaño de granja de 48000 m³. Este valor de ración de cultivo ofrece un incremento de la TIR en 7 puntos. La cercanía al nivel de eficiencia óptima de conversión de alimento reduce el coste medio en 20 ptas./kg. El racionamiento a un 70%, aún cuando desciende el índice de conversión (por ejemplo para dorada de talla Selecta pasa de 1,82 (análisis base) a 1,4), el crecimiento se retarda en más de un mes, ocasionando lo mismo para los ciclos de engorde, reduciendo la rentabilidad. La Figura 4.14 muestra gráficamente el resultado de los estimadores utilizados. Los valores máximos de tasa interna de rendimiento (TIR) y el valor presente neto (VPN), así como el mínimo coste medio, se obtuvieron para un valor de ración del 80%, sugiriendo que este valor es el óptimo para los supuestos considerados.

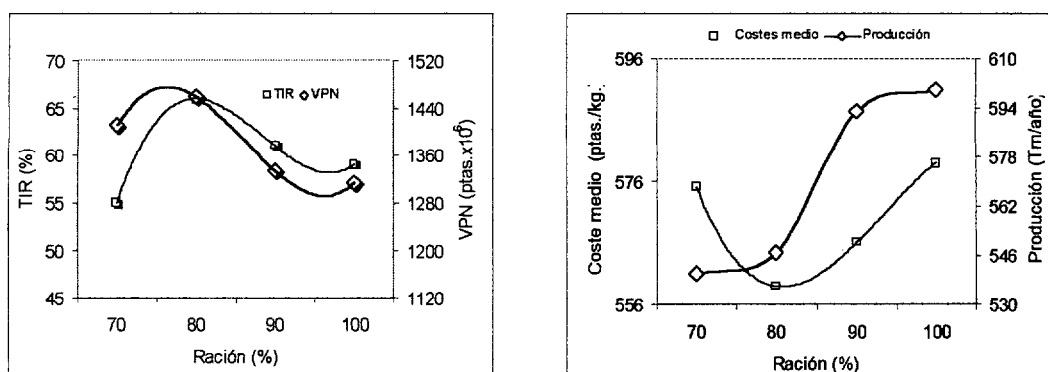


Figura 4.14. Efecto de la ración sobre la rentabilidad (VPN y TIR), coste medio y producción anual.

El racionamiento de alimento constituye una decisión de manejo donde la experiencia y entrenamiento de los empleados son decisivos, resultando muy difícil el logro de un racionamiento exacto del 80%. Nuestros resultados prueban que esta ración es la que ofrece la mejor rentabilidad, y estos valores coinciden con los publicados por otros autores para otras especies (BRETT, 1979; MULLER-FEUGA, 1990; TALBOT y HOLE, 1994), pero es la primera vez que se muestra que es el valor que ofrece el máximo beneficio técnico económico. En el caso de lubina, el equivalente valor de racionamiento ha sido publicado como el que produjo los mínimos costes medios, y la mejor conversión alimenticia respecto a diferentes racionamientos (RIZZO y SPAGNOLO, 1996).

Frecuentemente diferentes autores han publicado valores muy dispares de requerimientos de mano de obra para valores de producción muy similares, si bien en la mayoría de los casos estas discrepancias pueden explicarse por el coste diferente de la mano de obra y por el grado de automatización de las actividades en diferentes áreas geográficas. Por el contrario, no existen datos publicados que permitan establecer comparaciones dentro de una misma zona (STEPHANIS, 1995; PRICKETT y IAKOVOPOULOS, 1996).

Para estudiar esta variable, hemos disminuido el número de empleados suponiendo un incremento de la productividad de los trabajadores. De nuestras propias observaciones en las granjas de dorada y lubina en España, decidimos el número de empleados que suele tener una granja que produce 600 Tm/año. Como era de esperar, la maximización de los estimadores de rendimiento se obtuvo con el menor número de empleados. Esta decisión es posible en función de la especialización de los empleados de la granja, así como del incremento de los equipos necesarios que puedan sustituir a éstos (HILL e INGERSENT, 1982).

La mortalidad, como ya se observó en el análisis de sensibilidad, es uno de los factores con mayor repercusión en el cultivo de dorada, lo que vuelve a ser así para los resultados de este análisis. La Figura 4.15 muestra los resultados para los estimadores utilizados en este análisis frente a diferentes porcentajes de supervivencia. El aumento de la mortalidad produjo un crecimiento de los costes medios. Para un valor de mortalidad del 33%, la rentabilidad que generó el modelo bioeconómico (TIR y VPN), resultó escasamente aceptable comercialmente, y para un 35% ésta resultó negativa e inaceptable.

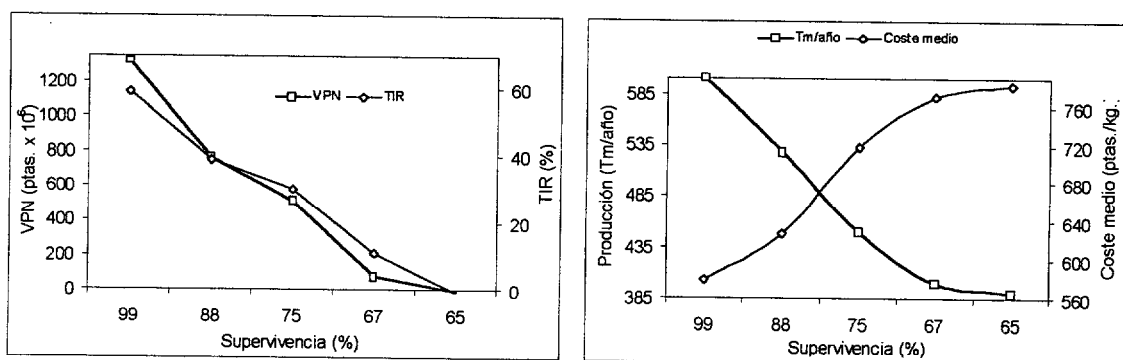


Figura 4.15. Efecto de la mortalidad en la rentabilidad, la producción y el coste medio.

La variación de los factores externos considerados, con respecto a las condiciones iniciales, está basada en la posibilidad de incidencia de éstos, utilizándose el modelo bioeconómico con el objetivo de conocer las respuestas del sistema para el tamaño de granja óptimo de 48000 m³. Se incluyó un estudio del precio comercial debido a la importancia de éste sobre la rentabilidad del cultivo, y a los descensos continuos de este valor a lo largo de los últimos años. Al suponer un descenso en el precio de la talla Super, aún con un precio similar al de la talla Selecta (ptas./kg.) (P³), y sin modificar este último, los estimadores del rendimiento de la inversión no sólo resultaron positivos, sino además notablemente superiores al 6%.

Este último resultado está relacionado con el tamaño de granja óptimo, que es el que ofrece la máxima tasa interna de rendimiento (TIR) y un coste medio próximo al mínimo (dentro de las economías de escala), lo que permite una rentabilidad resultante atractiva, aún con dicho descenso en el precio. Sólo se generó una rentabilidad negativa cuando los precios de Selecta y Super disminuyeron conjuntamente (P⁴). La Figura 4.16 muestra gráficamente los resultados de rentabilidad al variar el precio comercial de venta. Los estimadores de rentabilidad presentaron una acusada tendencia lineal decreciente con respecto al descenso del precio de venta. El modelo bioeconómico generó una rentabilidad negativa para los intervalos de precios de las tallas Selecta y Super oscilando entre 800 – 900 pesetas, y 1000 - 1200 pesetas, respectivamente, lo cual también se observa en la figura.

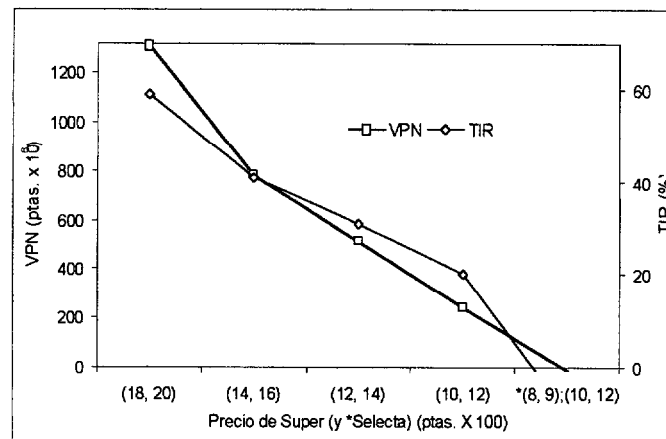


Figura 4.16. Efecto del precio comercial de venta de dorada sobre la rentabilidad (VPN y TIR) del cultivo.

Por último, respecto a la temperatura del agua, este parámetro se hizo variar en $\pm 1^\circ\text{C}$, asumiendo este intervalo de oscilación como razonable para el área geográfica estudiada, de acuerdo a datos históricos de estos valores. La Figura 4.17 muestra gráficamente los resultados del efecto de la variación de la temperatura del agua en los estimadores utilizados en este análisis. Para un incremento de un grado centígrado de la temperatura del agua en el ciclo anual en el modelo bioeconómico, los valores del coste medio descendieron, y la tasa interna de rendimiento se incrementó favorablemente en 3 puntos.

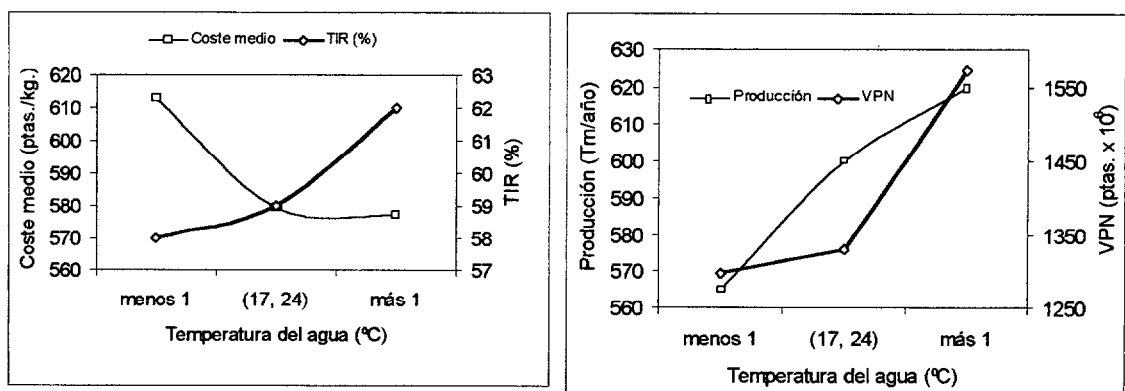


Figura 4.17. Efecto de la variación de la temperatura del agua en el coste medio, en la tasa interna de rendimiento (TIR), producción anual y valor presente neto.

4.2. EFECTO DE LA LOCALIZACION DE LA GRANJA: EL ESCENARIO DEL MEDITERRANEO.

El cultivo de dorada y lubina es el de mayor importancia en el Mediterráneo respecto a otras áreas geográficas, y aunque generalmente estas dos especies se producen conjuntamente, tienen características técnicas, biológicas, económicas y de mercado propias. Sin embargo, muchos trabajos publicados de carácter técnico económico, incluyen los resultados de producción conjunta de ambas especies de manera aditiva. Se estudió la economía de la producción única de dorada en el Mediterráneo con el objetivo de conocer y profundizar en esta industria, sin las interferencias ocasionadas por los datos existentes sobre producción conjunta. El modelo bioeconómico desarrollado es lo suficientemente robusto para ser aplicado a la producción de esta especie en las condiciones ambientales del Mediterráneo, pues las principales respuestas biológicas de los peces se verán modificadas en función de las características ambientales de este mar, contempladas en el modelo del sistema. Desafortunadamente, no existe un estudio completo publicado con el que comparar los resultados de producción y económicos generados con el modelo bioeconómico, por lo que estas comparaciones se realizarán con resultados de estudios técnico-biológicos, financieros, económicos y de mercadotecnia puntuales que han sido publicados para el cultivo de dorada y lubina en el Mediterráneo.

En primer lugar, se obtuvieron salidas biológicas y de producción de acuerdo con la temperatura del agua en esta área, y posteriormente se

presentan los resultados económicos para diferentes tamaños de granja. En la Tabla 4.16 se resumen los principales supuestos biológicos, técnicos y económicos utilizados para este escenario, obtenidos a partir de fuentes primarias, datos comerciales y experimentales publicados. Los costes de los insumos ("inputs") y de comercialización son menores en este escenario con respecto a los de Canarias, debido a la lejanía geográfica de las Islas respecto a ambos mercados, que afecta directamente a los costes de transporte. Estos valores coinciden con los publicados generalmente en el Mediterráneo, siendo los principales insumos los alevines y el pienso. Este coste de los alevines osciló entre 41 y 132 ptas./unidad, el del pienso entre 92 y 119 ptas./kg. y el coste de comercialización entre 46 y 132 ptas./kg. (STEPHANIS, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996; DE LA POMELIE, 1995; SAHIN, 1995). Los costes que hemos supuesto para el análisis están comprendidos entre los que se han publicado (para diferentes sitios del Mediterráneo), tomando valores alrededor de los intermedios de dichos costes. El intervalo de la temperatura del agua es mayor respecto a la zona de Canarias. Respecto a la densidad final de cultivo, los valores publicados se cifran alrededor de 15 a 16 kg/m³ (BLAKSTAD *et al.*, 1996). En el modelo del sistema utilizamos los valores recomendados por estos autores, aunque fueron modificados de acuerdo a nuestras estimaciones en función de características hidrológicas publicadas para diferentes zonas del Mediterráneo.

Tabla 4.16. Supuestos para el análisis bioeconómico en el Mediterráneo (producción única de talla Selecta de dorada).

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Ración	%	100
Tasas de supervivencia:	%	92
Peso de siembra	gramos	13
Densidad de:		
- siembra	kg./m ³	0,6
- cosecha	kg./m ³	15
Peces sin calidad	%	8
Temperatura del agua	°C	[12, 26]
Dirección técnica	empleados/granja	1
Coste del:		
- alevín	ptas./unidad	70
- pienso	ptas./kg.	92
Coste de comercialización	ptas./kg.	85
Precio comercial	ptas./kg.	[900, 1000]

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad							
Tamaño de granja (m ³ x1000)		4	8	16	24	32	48	64	
Producción	Tm/año	60	100	200	300	400	600	800	
Personal	empleados /granja	4	7	10	13	15	19	25	

En el análisis, las repuestas biológicas de crecimiento e índice de conversión de alimento se generaron de acuerdo a la fisiología de esta especie, que es simulada por las funciones que componen el submodelo biológico. La Figura 4.18 muestra la evolución de la temperatura del agua generada por el modelo para el escenario del Mediterráneo. Este ciclo anual se obtuvo a partir de referencias bibliográficas (BARNABE, 1991; SAHIN, 1995). Se modelizó una

variación aleatoria diaria para este parámetro, al igual que para el escenario de Canarias.

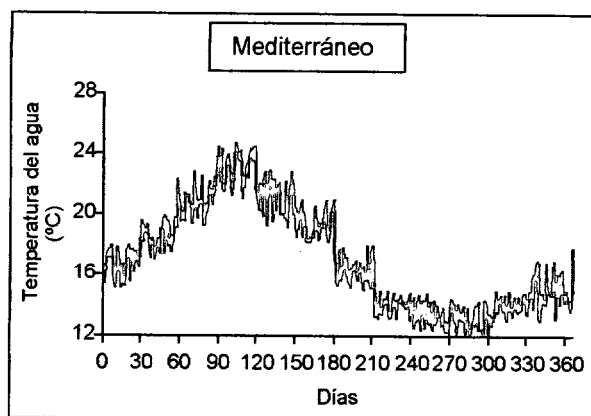


Figura 4.18. Variabilidad aleatoria diaria de la temperatura del agua para el Mediterráneo, a lo largo de un ciclo anual.

La Figura 4.19 muestra la evolución del crecimiento de la dorada en el Mediterráneo comparado con el de Canarias, desde el inicio del engorde hasta la cosecha (talla Selecta), ambos casos generados por el modelo. El crecimiento es mas lento en el Mediterráneo, debido básicamente al efecto de la temperatura del agua, que presenta aquí un intervalo más amplio de variación y alejado con más frecuencia de la temperatura óptima de crecimiento para esta especie (25 °C) (BARNABE, 1991). El crecimiento generado para el escenario de Canarias es prácticamente lineal. En el generado para el escenario del Mediterráneo se observa un crecimiento más lento, apreciable por el modelo a partir del comienzo del invierno.

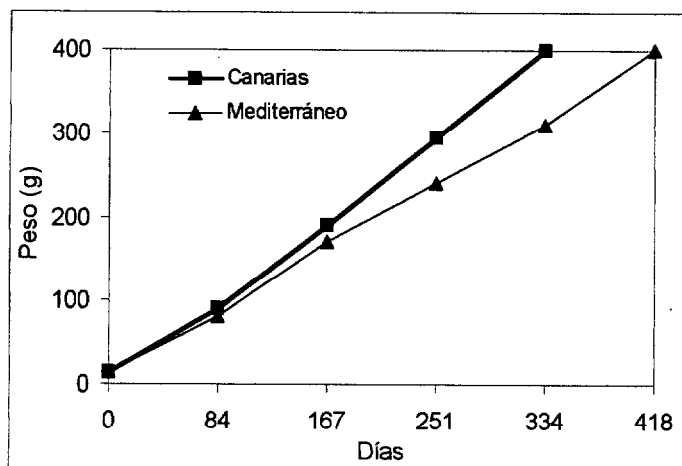


Figura 4.19. Crecimiento comparativo de dorada en los escenarios de Canarias y del Mediterráneo, generado por el modelo.

La Tabla 4.17 muestra los índices de conversión generados por el modelo para valores de ración de 80, 100 y 120%. Los índices de conversión de alimento también son mayores para este escenario con respecto al de Canarias (Tabla 4.4 y 4.5), debido asimismo al efecto de la temperatura del agua. El racionamiento se asume en 100%, igual que en el escenario de Canarias, ya que es común un racionamiento mayor al recomendado en las tablas de alimentación (80%) en un 10 - 20% en las empresas de acuicultura.

Tabla 4.17. Índices de conversión generados por el modelo para diferentes racionamientos, y diferentes pesos de dorada en el Mediterráneo.

Ración (%)	80	100	120
Peso (g)	Índice de conversión		
100	0,88	1,05	1,3
200	1,18	1,40	1,74
300	1,68	2,00	2,48
400	1,83	2,23	2,73

Los resultados que generó el modelo bioeconómico en las respuestas biológicas fueron similares a los publicados por diferentes autores en el Mediterráneo. Así, el tiempo aproximado para alcanzar la talla Selecta fue similar al publicado por SAHIN (1995), de 12 meses, considerando el intervalo de la temperatura del agua presente en aguas de Turquía (14 a 26 °C). Por el contrario, en aguas del litoral de Francia se requieren entre 18 y 23 meses para alcanzar la misma talla (DE LA POMELIE, 1995). Este último autor no cita la temperatura del agua, pero en ese país desciende hasta por debajo de 12 °C, ocasionando un receso en el crecimiento de dorada (BARNABE, 1991).

Los índices de conversión de alimento acumulados entre 1,87 y 2,3 que obtienen los granjeros en el Mediterráneo para alcanzar la talla Selecta (BENDAG, 1995; SAHIN, 1995; DE LA POMELIE, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996), son muy similares a los generados por el modelo del sistema para unos valores de ración entre 80 y 100%. Es necesario mencionar que los productores Mediterráneos realizan la cosecha al alcanzar los peces una talla de alrededor de 350 g (JOSUPEIT, 1995; ABOUHALA, 1995), por lo que los índices de conversión que se obtienen en este trabajo (para peces de talla final de 400 g) pueden resultar en una pequeña diferencia. Los valores de índices de conversión publicados por diferentes autores sugieren que el racionamiento ofrecido se encuentra dentro del rango 80 - 100%, por lo que se decidió emplear un valor de racionamiento de 100% en el modelo del sistema para los diferentes análisis.

La Figura 4.20 muestra el efecto de la mortalidad generada por el modelo. Los números de peces en los días 0 y alrededor de 400 representan la siembra y la cosecha, respectivamente, a lo largo de un ciclo de cultivo, hasta

alcanzar la talla de 400 g. Debido a que no se han publicado datos acerca de la evolución de la mortalidad en cultivo para esta zona (únicamente mortalidad final), hemos mantenido la misma función que modelizamos para el escenario anterior, incrementando los valores proporcionalmente para alcanzar una mortalidad del 8% en cada ciclo de cultivo (DE LA POMELIE, 1995; SAHIN, 1995; STEPHANIS, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996).

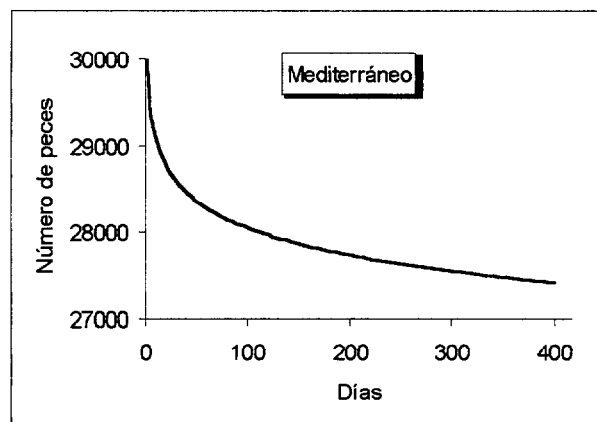


Figura 4.20. Supervivencia de dorada durante un ciclo de cultivo en el área Mediterránea.

A partir de los valores de crecimiento, alimentación, mortalidad y temperatura del agua, estimamos los valores de producción a lo largo de un ciclo de 10 años. La Figura 4.21 muestra la evolución del número de peces en planta en los diferentes ciclos de cultivo durante 10 años de producción. La producción simulada fue de 200 Tm/año, talla Selecta. El descenso apreciado en el número de peces requerido en cada ciclo se debe al efecto de la mortalidad, mientras que el fuerte descenso de este mismo valor al final de cada ciclo se debe a la cosecha de los peces.

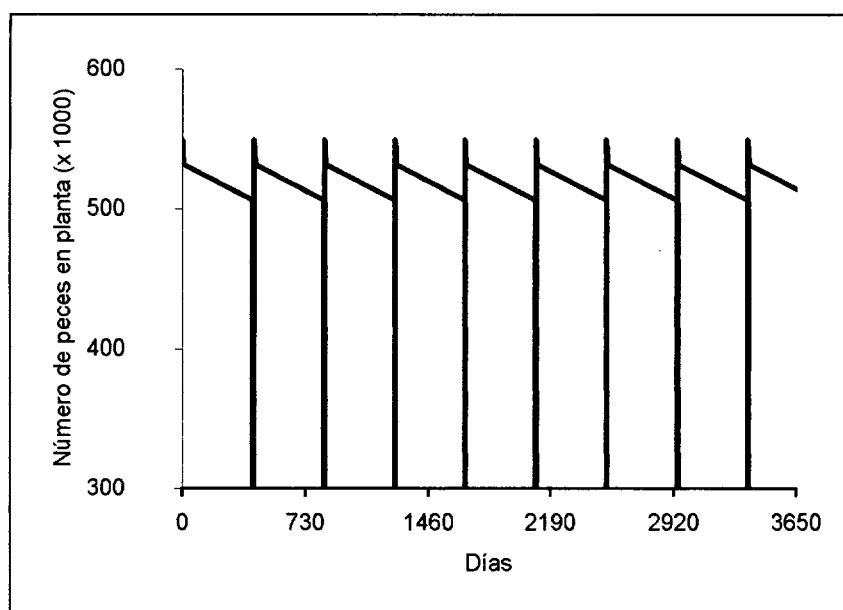


Figura 4.21. Número de peces en planta requeridos para la producción de 200 Tm/año a lo largo de 10 años en el Mediterráneo. Análisis generado por el modelo.

4.2.1. ANALISIS ECONOMICO.

Los resultados económicos generados por el modelo bioeconómico, se originan de la simulación de los procesos biológicos que tienen lugar en los sistemas de cultivo, y están influenciados por factores externos e internos de estas empresas. El crecimiento, la alimentación y la mortalidad de los peces, con los efectos del ambiente y las decisiones de gestión, generan la biomasa diaria en las jaulas de cultivo. El eslabonamiento biológico sujeto a dichos efectos y a los costes de cada uno de los factores de producción, hacen posible el entramado de un sistema técnico-biológico-económico, capaz de generar datos económicos con un robusto soporte. En la Tabla 4.18 se muestran los resultados de los costes, beneficios y tasas internas de rendimiento para los diferentes tamaños de planta correspondientes al quinto año de operación. Se seleccionó este año porque la producción ya se encuentra estabilizada, así

como los costes y beneficios. Los costes de inversión inicial, así como los diferentes valores de capacidad en jaulas son los mismos que para el escenario de Canarias (Tabla 4.7).

Al observar los costes generados por el modelo para los diferentes tamaños de granja en el escenario Mediterráneo (Tabla 4.18), las tendencias generales son similares a las obtenidas en el escenario de Canarias con valores muy próximos entre sí. Hay que recordar que en el supuesto de Canarias se producían tallas Selecta y Super (con una diferencia considerable en el precio comercial de venta de Super), mientras que en este escenario se asume la producción exclusiva de talla Selecta. La similitud de los costes obtenidos es debido al mayor número de peces y mayor consumo de pienso (IC superior) que se requiere en el Mediterráneo para alcanzar la producción objetivo en los diferentes tamaños de granja (debido básicamente a la menor temperatura del agua y la mayor mortalidad), aún cuando se produce la talla Selecta únicamente, cuyo peso es casi la mitad del de la talla Super.

Tabla 4.18. Costes y beneficios para el quinto año de operación en el Mediterráneo, para siete tamaños de granja. Producción única de talla Selecta de dorada.

Pesetas (x 1000)							
Tamaño de granja (m ³ /granja)	4000	8000	16000	24000	32000	48000	64000
Producción (Tm/año) (60)	(100)	(200)	(300)	(400)	(600)	(800)	
<u>Costes variables</u>							
Alevines	11900	23800	41300	61950	82600	123900	165200
Pienso	9359	18718	32481	48721	64962	97443	129923
Mano de obra	10790	15470	20150	24830	27950	34190	43550
Medicamentos	152	305	530	795	1060	1590	2120
Costes variables totales	32201	58293	94461	136296	176572	257123	340793
<u>Costes fijos</u>							
Mantenimiento	2119	4238	7355	11032	14709	22064	29418
Seguros	3608	7217	12523	18784	25045	37568	50090
Costes fijos totales	5727	11455	19877	29816	39754	59631	79508
<u>Costes totales</u>	37929	69748	114338	166112	216326	316754	420302
Comercialización	4681	9363	16247	24370	32494	48740	64987
<u>Ingresos brutos</u>	14763	35636	68534	108196	149418	231862	311186
Depreciación	4888	6402	14220	17810	20511	26801	37992
<u>Ingresos netos</u>¹	9875	29234	54314	90386	128907	205061	273194
<u>TIR (%)</u>	Neg.	7	10	17	22	27	26

¹No se considera pago de impuestos.

En la Figura 4.22 se presentan los ingresos netos generados por el modelo y la inversión acumulada para los diferentes tamaños de granja

estudiados. Las líneas muestran la tendencia de estos valores. Las ecuaciones y su correspondiente estadístico R^2 se presentan en la misma figura.

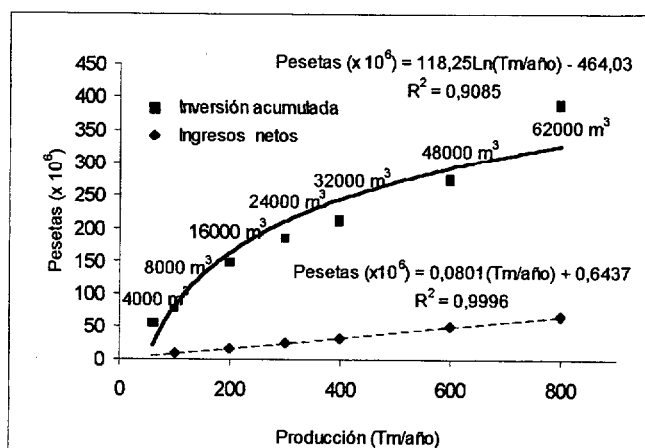


Figura 4.22. Ingresos netos e inversión acumulada en el Mediterráneo para diferentes tamaños de granja.

Los ingresos netos generados por el modelo bioeconómico crecieron con el tamaño de la granja y la producción (Tm/año), presentando una tendencia lineal de incremento (Figura 4.22). El elevado valor del coeficiente de correlación, muestra la estrecha relación de los beneficios con la escala de la granja y la cantidad producida (Tm/año) en éstas.

Se observó que las tendencias presentadas por los valores de ingresos netos fueron similares para Canarias (Figura 4.10) y el Mediterráneo (Figura 4.22). Sin embargo, estos valores fueron considerablemente menores en el Mediterráneo, básicamente en las mayores escalas de granja, debido a la diferencia entre los costes y los ingresos brutos (estos últimos tienen una relación directa con los precios relativos de dorada de talla Selecta y Super), lo que produjo una reducción de los ingresos netos en esta área.

4.2.2. EL COSTE MEDIO.

El coste medio se genera a partir de los costes totales y la producción total. La Figura 4.23 muestra los valores de esta variable de acuerdo a la producción en los diferentes tamaños de granja. Se consideró la producción única de talla Selecta. En esta figura se presenta también la evolución de la tasa interna de rendimiento (TIR), para apreciar el efecto sobre la rentabilidad. Las ventajas que ofrecen las economías de escala en el cultivo exclusivo de dorada en Canarias también se evidenciaron en el Mediterráneo. Al generar el modelo bioeconómico el coste medio (CMe) bajo las condiciones del Mediterráneo, se observó que éste decreció conforme aumentó el tamaño de la granja, revelándose la existencia de rendimientos crecientes como una posible ventaja también para este escenario. Al igual que en el escenario anterior, en la escala de granja de 64000 m³ se genera el mínimo coste medio, existiendo una mínima diferencia con el coste medio generado para la escala de 48000 m³, revelando el efecto de la dimensión de la empresa sobre los costes medios.

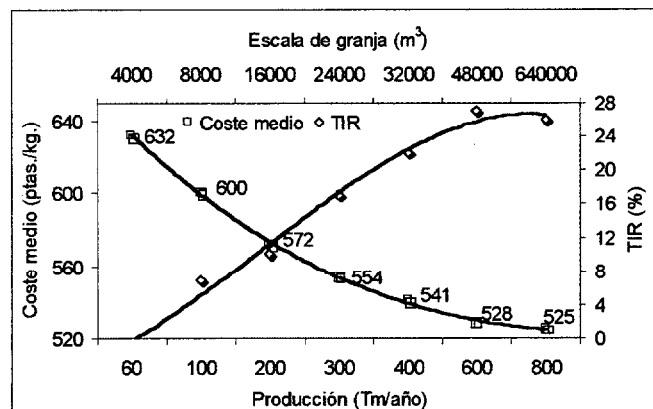


Figura 4.23. Coste medio y tasa interna de rendimiento (TIR), de acuerdo a la producción anual. Producción única de talla Selecta en el Mediterráneo.

La tasa interna de rendimiento (TIR) tiene una mayor relación con los costes de inversión que con los costes medios. Su valor también se incrementa con la escala de la planta. Los valores de la tasa interna (TIR) alcanzan su mayor valor para la escala de 48000 m³ y producción de 600 Tm/año, para posteriormente decrecer en la escala de 64000 m³ y producción de 800 Tm/año. El menor tamaño de granja de 4000 m³ y producción de 60 Tm/año, generó un valor negativo para el valor presente neto con la tasa de descuento, sugiriendo que esta escala no es viable comercialmente, mientras que para la escala de 8000 m³, escasamente sobrepasó por un punto la tasa de descuento utilizada.

Los diferentes costes medios obtenidos para las diferentes escalas para el Mediterráneo (Figura 4.23) y para Canarias (Figura 4.11), son un reflejo directo del diferente desarrollo biológico que tiene la dorada, así como sus diferentes productos en ambas zonas. El amplio intervalo de temperatura del agua presente en el Mediterráneo resulta en un mayor índice de conversión y un crecimiento más lento respecto a Canarias, siendo necesarios más insumos ("inputs") con los correspondientes costes mayores. Los valores menores de costes medios (alrededor de 50 pesetas para las diferentes escalas) en el Mediterráneo, se deben a los menores costes relativos que ocasiona producir únicamente talla Selecta respecto a la producción conjunta de tallas Selecta y Super en Canarias.

La Tabla 4.19 presenta los costes medios y las tasas internas de rendimiento reportados por diferentes autores para producción de dorada en países Mediterráneos. Los costes medios son en general mayores que los

obtenidos en este trabajo para la misma zona, lo que puede ser debido a los diferentes valores e insumos ("inputs") que utilizan para calcular este estimador, y distintas mortalidades y características ambientales de diferentes sitios. Es posible que además influyan el que estos autores (Tabla 4.19) consideran la producción conjunta de dorada y lubina, y por lo general el mismo índice de conversión alimenticia para ambas especies. Esta última característica puede ser importante, pues la lubina presenta generalmente unos valores de índice de conversión superiores a la dorada (RIZZO y SPAGNOLO, 1996), lo cual puede deberse en parte a diferencias en el consumo de piensos y por lo tanto en el coste medio.

Tabla 4.19. Coste medio, tasa interna de rendimiento (TIR) y capacidad media de planta en producción de dorada y lubina de talla Selecta en diferentes países en el Mediterráneo.

Autor	País	Coste medio (ptas./kg.)	TIR (%)	Capacidad media de planta (Tm/año)
SAHIN (1995)	Turquía	726,9	10,1	30
DE LA POMELIE (1995)	Francia	933,4		300
BLAKSTAD <i>et al.</i> (1996)	Mediterráneo	924,8	16	400
STEPHANIS (1995)	Grecia:	981,1		50
		717,3		500

Los valores de costes medios presentados por SAHIN (1995), son de los menores en comparación con los presentados por el resto de los autores, y resultan alrededor de 95 ptas./kg. mayores que los generados por el modelo del sistema para la escala de 4000 m³, lo cual puede ser considerable si tenemos en cuenta los argumentos anteriores.

Los valores de costes medios presentados por STEPHANIS (1995), son en general superiores al resto de los expuestos en la Tabla 4.19 y a los

generados por el modelo bioeconómico. Esta diferencia puede ser debida tanto a diferencias en los supuestos que se asumieron para el modelo, como a diversas consideraciones de este autor en su trabajo, así como a los avances que han tenido lugar en cuanto a calidad de piensos, alevines y costes en estos insumos, para dorada y lubina, desde que este trabajo fue publicado. Por tanto, la diferencia entre los costes medios presentados por este autor con respecto a este trabajo es considerable.

Respecto a los valores de tasa interna de rendimiento (TIR) presentados en la Tabla 4.19, es interesante observar los datos que publicaron BLAKSTAD *et al.* (1996). La diferencia (6 puntos) respecto a los valores obtenidos en este estudio, para una misma producción (400 Tm/año), podría interpretarse como debido a los menores valores de costes medios en nuestro estudio, respecto a los presentados por estos autores, lo que reduciría los flujos esperados de efectivo, y a su vez, la rentabilidad de la inversión para estos autores. El valor de tasa interna de rendimiento (TIR) presentado por SAHIN (1995) no es comparable con este trabajo, debido a que este autor basa sus cálculos en una instalación de jaulas artesanales, con un menor coste de inversión.

4.2.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad con el fin de determinar aquellos parámetros que tienen una mayor influencia en la mejora de los beneficios y por tanto de la rentabilidad del sistema en el área del Mediterráneo. Se seleccionó la escala de granja de 48000 m³ y producción de

600 Tm/año, por resultar la más eficiente, y a efectos comparativos se utilizaron los resultados de la Tabla 4.18 para el mismo tamaño de granja.

Se seleccionaron un total de ocho variables, agrupadas como variables biológicas, de mercado, técnicas y ambientales. Se realizaron diversos análisis para cada una de estas variables, modificándose un 10% una variable cada vez, respecto al escenario base (Tabla 4.18). En la mayoría de los casos las variables se modificaron con el fin de mejorar la rentabilidad de la granja.

La tasa de mortalidad utilizada en el análisis base es relativamente baja (8%, la más baja publicada para el área Mediterránea) (SAHIN, 1995), por lo que su valor siempre fue incrementado. La temperatura del agua se incrementó en un grado centígrado en todo el ciclo anual. El valor de la ración se redujo un 20% (quedando la ración en base a las tablas de alimentación que proveen los productores de pienso), respecto al 100% que generalmente ofrecen los productores de pienso. El número de empleados se redujo unitariamente, pues una reducción en 10% implicaría un número fraccionado de trabajadores. En todos los análisis se registraron los cambios en la rentabilidad generada. Los resultados se presentan en la Tabla 4.20. También se presentan los resultados del escenario de Canarias para comparar con el escenario del Mediterráneo, para la misma escala de granja y con el mismo porcentaje de cambio en las variables. Se tomó como análisis base los resultados obtenidos en la Tabla 4.11, para el tamaño de granja de 48000 m³ y producción de 600 Tm/año. Para evaluar este análisis se utilizó el porcentaje de variación en la tasa interna de rendimiento (TIR), con respecto a los análisis base.

Tabla 4.20. Resultados del análisis de sensibilidad para los escenarios del Mediterráneo y Canarias en el tamaño de granja óptimo (48000 m³).

Escenario	Mediterráneo	Canarias
Variable modificada	% de cambio en la rentabilidad (TIR)	
Precio de mercado	41	31
Mortalidad	30	29
Ración	15	12
Coste de alevines	11	9
Densidad	7	6
Coste de pienso	11	5
Temperatura del agua	7	5
Número de empleados	4	1

Se observa de forma notable que el sistema es más sensible en el Mediterráneo que en Canarias, para un mismo porcentaje de cambio en las variables seleccionadas. A continuación se analizan las diferentes variables de acuerdo a cómo fueron agrupadas (biológicas, de mercado, técnicas y ambientales).

4.2.2.1. Variables biológicas.

Inesperadamente, el modelo del sistema resultó más sensible a las variables biológicas de mortalidad y alimentación que al resto de las variables, a excepción del precio comercial, en los dos escenarios.

La tasa de mortalidad se incrementó para este análisis un 10%, reduciendo la producción de 600 a 540 Tm/año. El estimador de la rentabilidad TIR que se generó fue de 19 y 42%, en el Mediterráneo y Canarias, respectivamente, descendiendo sustancialmente con respecto a los análisis base (Tabla 4.20). Como ya se observó en el análisis de sensibilidad del escenario de Canarias para la escala de granja de 16000 m³ (Tabla 4.6), la mortalidad resultó ser, después del precio comercial, el factor que más impacto tuvo sobre la rentabilidad de los sistemas de cultivo. La mortalidad en el presente análisis, y para el escenario de Canarias (Tabla 4.20), afectó proporcionalmente de manera más acusada a la tasa interna de rendimiento (TIR) que al resto de las variables probadas (excepto el precio comercial), mientras que en el Mediterráneo su influencia fue menor. Al comparar los dos escenarios, la mortalidad tuvo más efecto en el Mediterráneo, lo que es debido al mayor número de peces que son necesarios para alcanzar la producción objetivo, y al incrementar esta variable se ejerce un mayor efecto sobre los beneficios, y por lo tanto sobre la rentabilidad.

Los resultados de la simulación en el análisis del incremento de la mortalidad muestran que, aún cuando se produjeron cambios en todos los costes de producción, los mayores cambios tuvieron lugar en los costes del pienso, y este último ocasionó un aumento del coste medio. La función que genera la mortalidad en el modelo bioeconómico produce una mortandad más pronunciada durante los primeros días después de la siembra, pero sin embargo, las pérdidas de peces en fases posteriores en el ciclo de engorde tienen un mayor efecto sobre los costes de producción debido básicamente a que han consumido más alimento en estas fases posteriores.

Una reducción de la ración en un 20% (ofreciendo una ración de cultivo, de acuerdo con las tablas de alimentación que recomiendan los fabricantes de piensos), ocasiona un cambio en la rentabilidad (TIR) de 27 a 31 y de 59 a 66% (un 15 y 12% de cambio) en el Mediterráneo y Canarias, respectivamente. El mayor efecto relativo en la TIR para el Mediterráneo está relacionado con las diferencias observadas en el índice de conversión de alimento (IC) en ambos escenarios. Así, con un racionamiento del 100%, el IC es de 2,23 y 1,82 y con un racionamiento del 80%, el IC es de 1,83 y 1,52 en el Mediterráneo y Canarias, respectivamente. En Canarias, aún podemos suponer una mejora mayor en los IC, si se superan las posibles alteraciones en la calidad de los piensos ocasionadas por el transporte de los mismos desde el continente Europeo. Los resultados de este análisis sugieren que los productores de dorada deben poner un mayor énfasis en el racionamiento del alimento ofrecido a los peces, debido a su fuerte influencia sobre los rendimientos económicos.

4.2.2.2. Variables técnicas.

Las variables técnicas de decisión, número de empleados y densidad de cultivo, fueron modificadas una unidad y en un 10%, respectivamente. Al prescindir de un empleado, asumimos un aumento de la productividad de los trabajadores que quedan en la planta. Este descenso originó un cambio de 4 y 1% en la TIR, aumentando de 27 a 28% y de 59 a 59,8% la tasa interna de rendimiento en el Mediterráneo y Canarias, respectivamente. Esta reducción del número de empleados fue el factor que causó un efecto menor sobre la rentabilidad de los sistemas de cultivo, lo que ya fue puesto de manifiesto en el análisis de sensibilidad para el escenario de Canarias (Tabla 4.6).

El incremento de la densidad de cultivo en un 10%, fue sorprendentemente una de las variables que tuvieron un efecto menor sobre el modelo del sistema para el escenario del Mediterráneo, y relativamente para Canarias. Esta variable generó únicamente un 7% de variación en la tasa interna de rendimiento para el área Mediterránea, y un 6% para el área de Canarias, aumentando en 2 y 3 puntos, respectivamente, con respecto a los análisis base. La densidad de cultivo resultó ser uno de los factores que produjo un mayor aumento en la rentabilidad (TIR), en el análisis de sensibilidad del escenario de Canarias (Tabla 4.6) y para el tamaño de granja de 16000 m³, incrementando su valor de 38 a 48%, lo que representa un 26% de cambio. Estas diferencias entre los sistema de 16000 y 48000 m³ puede ser debida a la diferente variación en de la densidad de cultivo (20% y 10% de cambio, respectivamente), a la inversión necesaria para cada una de estas escalas de granja, y a los diferentes factores fijos y variables que intervienen para generar la rentabilidad TIR.

4.2.2.3. Variables ambientales.

La variable ambiental (temperatura del agua) es importante, debido a la variación que existe anualmente en este parámetro. Un aumento de la temperatura del agua en un grado centígrado representó para el escenario del Mediterráneo un incremento en la producción de 24 Tm/año, y un importante aumento en la tasa interna de rendimiento (2 puntos con respecto al análisis base). La diferencia de 2% entre el escenario de Canarias y el del Mediterráneo (Tabla 4.20), evidencia que el aumento de la temperatura del agua en el segundo escenario resultó ser más importante que en el primero.

4.2.2.4. Variables de mercado.

Al igual que en el análisis de sensibilidad del sistema de 16000 m³ para el escenario de Canarias, nuevamente el precio de mercado fue la variable que causó un mayor impacto sobre la rentabilidad del sistema, para los dos escenarios estudiados, aunque considerablemente mayor en el caso del Mediterráneo. Un incremento del precio comercial de venta en torno a 100 pesetas aumentó en 11 puntos la tasa interna de rendimiento respecto al análisis base para el escenario del Mediterráneo. Por el contrario, los descensos en los costes de alevines y pienso representaron un impacto sobre la tasa interna de rendimiento de alrededor de un 11% y 7% para el Mediterráneo y Canarias, respectivamente.

Por último, es importante señalar que para el área Mediterránea, variables de diferente origen como la temperatura del agua y la densidad de cultivo, originaron el mismo porcentaje de cambio en la rentabilidad, lo mismo ocurrió con las variables de mercado (alevines y pienso), lo cual ofrece una amplia variedad de decisiones para incrementar la rentabilidad. Algo similar ocurre en el escenario de Canarias, aunque sólo en menor proporción para temperatura del agua, densidad de cultivo y coste de pienso, mientras que para costes de alevines el incremento de rentabilidad resulta ligeramente superior y cercano al de la ración.

4.2.4. RACIONAMIENTO AL 90%.

Los productores de pienso recomiendan una ración de cultivo del 80%, en tablas de alimentación que proporcionan a los granjeros para obtener el

máximo beneficio técnico-económico en el cultivo de peces (BRETT, 1979; TALBOT y HOLE, 1994). En el análisis de sensibilidad, la ración de cultivo resultó ser una de las variables con mayor influencia sobre los beneficios y la rentabilidad en la escala de granja de 48000 m³. Sin embargo, una ración al 90% puede ser más realista que la ración al 80%, pues como se deduce de los resultados de índices de conversión generados y de los valores históricos que se nos proporcionaron (tabla 4.4 y 4.5), la ración empleada generalmente supera entre 10 y 20% a la recomendada por los productores de pienso (en las tablas de alimentación). Por lo tanto se asumió un racionamiento de un 90% en los diferentes tamaños de granja, permaneciendo fijas el resto de las variables (Tabla 4.16). Los resultados se muestran en la Tabla 4.21, donde se utilizaron como estimadores la tasa interna de rendimiento, la producción y el coste medio.

Tabla 4.21. Resultados de producción (Tm/año), tasa interna de rendimiento (TIR), y coste medio (CMe) para diferentes tamaños de granja en el Mediterráneo, con una ración al 90%. Producción única de talla Selecta de dorada.

Tamaño de granja (m ³)	Producción (Tm/año)	TIR (%)	CMe (ptas.)
4000	59	-	
8000	97	12	556
16000	196	14	567
24000	293	21	550
32000	391	24	536
48000	586	31	524
64000	781	30	521

Al comparar estos resultados con el escenario donde se racionó al 100% (Tabla 4.18), los valores de producción y de coste medio resultaron menores, y el estimador de la inversión (TIR) resultó mayor, para todos los tamaños de granja probados, manteniéndose la escala de 4000 m³ no viable comercialmente (generando un valor presente neto de -22 millones de pesetas). La producción y el coste medio disminuyeron sensiblemente con variaciones de 1 hasta 19 Tm/año y de 2 a 5 ptas./kg., respectivamente. La rentabilidad que generó el modelo bioeconómico en este escenario nos indica que el tamaño de granja de 8000 y 16000 m³, son los menos rentables de todas las escalas probadas, con excepción de la de 4000 m³ que resultó no viable comercialmente. La tasa interna de rendimiento en este escenario aumenta como máximo 5 puntos en la escala de 8000 m³, 4 puntos para las escalas de 24000, 32000, 48000 y 64000 m³, mientras que para el tamaño de granja de 16000 m³ únicamente 2 puntos. Las diferentes escalas forman pares con similar rentabilidad, 8000 y 16000, 24000 y 32000 y 48000 y 64000 m³, evidenciando que el tamaño de granja de 48000 m³, al igual que en el escenario anterior, resulta el más rentable.

4.2.5. INCREMENTO DE LA MORTALIDAD.

Dado que la tasa de mortalidad final que se ha utilizado en general (8%), para las simulaciones bajo el escenario del Mediterráneo es la menor que se ha publicado (STEPHANIS, 1995; DE LA POMELIE, 1995; SAHIN, 1995; JORDAN, 1996; ABOUHALA, 1995; BLAKSTAD et al., 1996), consideramos

como efecto adicional el incremento de la mortalidad para esta área. La mortalidad, como ha reflejado el análisis de sensibilidad, es el factor biológico que presentó un mayor efecto sobre la rentabilidad del cultivo de dorada, y siendo superado sólo por el precio comercial de venta produjo un cambio superior en la tasa interna de rendimiento de entre todos los factores analizados en dicho análisis. Como se expresó anteriormente, no se han encontrado referencias acerca de la evolución de la mortalidad en el Mediterráneo a lo largo del ciclo de engorde, y únicamente han sido publicados valores finales totales de esta variable. De esta forma, el incremento de la mortalidad en este escenario se determinó asumiendo un aumento proporcional de este parámetro, generado por la función desarrollada (ver sección de material y métodos). Los supuestos para este análisis se encuentran en la Tabla 4.16, variando la supervivencia que se ha considerado alrededor del 85%. Los resultados se presentan en la Tabla 4.22, utilizando como estimadores la producción, el coste medio y la tasa interna de rendimiento (TIR).

Tabla 4.22. Resultados de producción, coste medio (CMe) y tasa interna de rendimiento (TIR) para diferentes tamaños de granja, al incrementar la mortalidad a lo largo del ciclo de engorde de dorada.

Tamaño de granja (m ³)	Producción (Tm/año)	CMe (ptas.)	TIR (%)
4000	51	773	-
8000	85	699	-
16000	169	660	2
24000	255	645	10
32000	334	632	15
48000	500	618	20
64000	672	610	19

Los resultados muestran que la producción se reduce, lógicamente, con respecto al escenario del análisis base (Tabla 4.18). Por otro lado, el coste medio se incrementa sustancialmente alrededor de 90 pesetas. Los valores presentes netos para las dos menores escalas, aún con una tasa de descuento menor a la utilizada (6%), no se generan positivos, mostrando que no son viables comercialmente. Para el tamaño de granja de 16000 m³ el valor presente neto tiende a cero con una tasa de descuento menor a la utilizada (6%), generando una tasa interna de rendimiento (TIR) de 2%, mostrando que tampoco es viable comercialmente. Al igual que en los escenarios anteriores para el área Mediterránea (Tabla 4.18 y 4.21), los tamaños de granja de 32000, 48000 y 64000 m³ son los que generan la mayor tasa interna de rendimiento, sobrepasando por 9 puntos la tasa de descuento utilizada (6%). Estos resultados nos vuelven a indicar que la escala de 48000 m³ es la más rentable de las probadas.

4.2.6. ESCALA DE GRANJA OPTIMA.

Con el propósito de estudiar el tamaño de granja óptimo en el área Mediterránea, el análisis de los tres escenarios anteriores y sus resultados (Tablas 4.18, 4.21 y 4.22), evidencian tal escala. Se seleccionaron los dos últimos escenarios referidos al Mediterráneo con el objetivo de estudiar el tamaño de granja óptimo, para esta zona, debido a que el análisis de sensibilidad evidenció que los factores biológicos tales como la mortalidad y la ración son de los más influyentes en la rentabilidad del cultivo de dorada (únicamente la variable de precio comercial de venta, ejerció un efecto mayor

sobre la tasa interna de rendimiento). Además en estos dos últimos escenarios, la reducción de la ración en un 10% y el aumento de la mortalidad, incrementaría y reduciría (en extremo), respectivamente la rentabilidad. En la Figura 4.24 se muestran los resultados de la tasa interna de rendimiento (TIR) utilizada como estimador en los tres escenarios estudiados anteriormente:

- Escenario Mediterráneo 1 (EM1). Impacto de la localización de la granja: análisis bioeconómico bajo el escenario del Mediterráneo (ración al 100%).
- Escenario Mediterráneo 2 (EM2). Ración al 90%.
- Escenario Mediterráneo 3 (EM3). Incremento de la mortalidad a lo largo del ciclo de engorde de dorada.

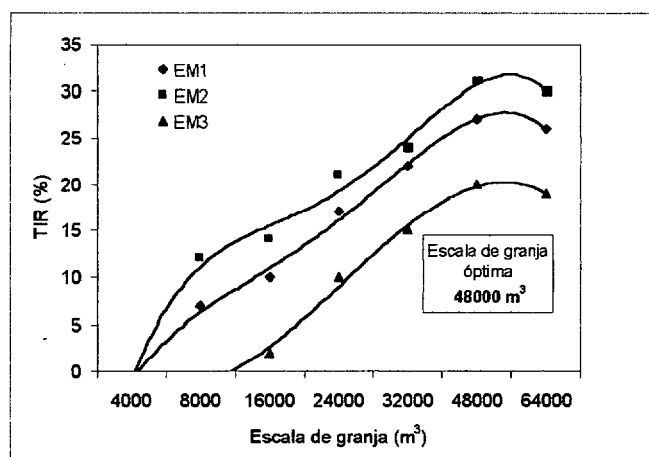


Figura 4.24. Resultados de tasa interna de rendimiento (TIR), para determinar el tamaño de granja óptimo para el engorde en jaulas de dorada en el Mediterráneo.

Los resultados obtenidos fueron concluyentes, en el sentido de que muestran claramente en todos los casos que la escala de granja óptima fue la de 48000 m³ y producción media de 600 Tm/año, para la cual se generaron los mayores valores de las tasas internas de rendimiento. Estos resultados son similares a los presentados por Basurco y Larrazabal (1999), aunque estos autores sugieren que instalaciones mayores y hasta de 1000 Tm/año, podrían

tener menores costes. Los resultados de este estudio también muestran que la escala de 64000 m³ y producción media de 800 Tm/año, genera costes medios menores respecto a la de 48000 m³ y producción media de 600 Tm/año. Sin embargo, utilizando los estimadores de la rentabilidad como valor presente neto y tasa interna de rendimiento, los cuales consideran los costes, los ingresos por ventas, y la inversión, descontados a una tasa de descuento, han mostrado que el tamaño de granja de 64000 m³ y producción de 800 Tm/año, genera valores menores que para la escala de 48000 m³.

Por otra parte, según los resultados generados por el modelo bioeconómico, el tamaño de granja óptimo en el Mediterráneo resultó ser el mismo que en Canarias (48000 m³), aunque para este último escenario se generaron dos posibilidades ofreciendo la misma rentabilidad (48000 y 64000 m³). Es importante subrayar que los resultados de los análisis bajo el escenario del Mediterráneo muestran que la escala de 4000 m³, no generó en ninguno de los casos una tasa interna de rendimiento aceptable comercialmente para el engorde de dorada. Las escalas de 8000 y 16000 m³, suponiendo mortalidades finales de alrededor de 15%, tampoco son viables comercialmente. Las cuatro escalas de planta superiores (24000, 32000, 48000 y 64000 m³) son las más recomendables para el engorde de dorada en jaulas en el área Mediterránea.

4.3. COMPETITIVIDAD EN CANARIAS.

Después de haber estudiado los escenarios de Canarias y Mediterráneo, estudiamos a continuación la competitividad que ofrece la producción de dorada en el primer escenario, desde los puntos de vista técnico, biológico y

económico, analizando el efecto de los principales costes de producción (alevines y pienso) y comercialización, en la rentabilidad del cultivo. Para ello se emplearan los resultados de análisis anteriores, junto a datos comerciales y experimentales de cultivo publicados.

En el mar Mediterráneo la temperatura del agua oscila anualmente entre 12 y 26 – 30 °C, mientras que en aguas Canarias este intervalo abarca temperaturas comprendidas entre 17 y 24 °C, con una media para ambos sitios de alrededor de 20 °C (BOURGEOIS y AQUILINA, 1995; MOLINA *et al.*, 1997). Esta diferencia ejerce un efecto considerable sobre los procesos biológicos que influyen en la producción de esta especie. El tiempo necesario para alcanzar las tallas comerciales, los índices de conversión de alimento, y la mortalidad, son los principales procesos biológicos que ejercen influencia sobre los resultados económicos del cultivo, y estos son afectados directamente a su vez por la temperatura del agua (BRETT, 1979; BARNABE, 1991; RIZZO y SPAGNOLO, 1996).

La Tabla 4.23 muestra los resultados biológicos de crecimiento (tiempo en días para alcanzar la talla comercial) e índice de conversión de alimento (IC), generados con el modelo bioeconómico bajo los escenarios de Canarias y Mediterráneo.

Tabla 4.23. Resultados técnico-biológicos generados por el modelo bioeconómico en dos escenarios del cultivo de dorada, para dos tallas comerciales.

Escenario	Peso final (g)	Días de cultivo	*IC
Canarias	400	334	1,82
	700	530	2,04
Mediterráneo	400	418	2,23
	700	915	2,7

*IC = índice de conversión de alimento.

Los procesos biológicos en Canarias se reducen respecto al Mediterráneo. El tiempo medio para alcanzar la talla Selecta en Canarias es de alrededor de 12 meses, frente a 14 para el Mediterráneo. Los valores de índice de conversión de alimento generados: 1,82 (Canarias) y 2,23 (Mediterráneo), fueron obtenidos para un racionamiento máximo en ambos escenarios. Por otro lado, en el Archipiélago Canario se obtienen valores de mortalidad de 1 a 2% pudiendo llegar hasta el 4%, mientras que en el Mediterráneo se alcanzan valores desde 8 hasta un 20 % (STEPHANIS, 1995; DE LA POMELIE, 1995; SAHIN, 1995; JORDAN, 1996; ABOUHALA, 1995; BLAKSTAD *et al.*, 1996; GINES, 1997).

La densidad de cultivo es una variable técnica de decisión muy importante, y como se ha visto, está directamente relacionada con la producción (Tm/año) (SHIGEKAWA y LOGAN, 1986; RIZZO y SPAGNOLO, 1996). En el mar Mediterráneo se han publicado densidades finales de cultivo que oscilan entre 15 y 16 kg./m³ (BLAKSTAD *et al.*, 1996). Mientras que en las costas canarias, la buena calidad del agua, junto a la localización de jaulas en

sitios con corrientes marinas con velocidades de alrededor de 6 cm/seg. se han publicado densidades finales de hasta 21 kg./m³ (MOLINA *et al.*, 1997).

Cuando se produce únicamente la talla Selecta en Canarias, los resultados económicos de rendimiento de la inversión en los diferentes tamaños de granja, únicamente fueron viables comercialmente suponiendo un coste comercial igual a cero y/o con una subvención a los costes de comercialización de 100 ptas./kg. (Tabla 4.10). Aún con esta última opción (subvención a los costes de comercialización), los resultados económicos de rendimiento de la inversión (Tabla 4.10) en su mayoría resultaron menores frente a los casos estudiados para el Mediterráneo (Tabla 4.18). Esto se debe a los costes de los factores de producción, que son mayores en Canarias debido básicamente al transporte. Para obtener una mejor perspectiva de este efecto, se realizó un análisis donde se seleccionó el tamaño de granja óptimo de 48000 m³ en Canarias, con producción única de talla Selecta, utilizando los resultados de la Tabla 4.10 como base. Se estudió entonces el efecto de los principales costes de producción (alevines y pienso) y comercialización sobre la rentabilidad del cultivo.

Los costes de los principales insumos ("inputs") y comercialización se redujeron hasta los mismo valores que los reflejados para el Mediterráneo (asumiendo subvenciones compensatorias de los mismos), y también fueron incrementados hasta los que se obtienen en Canarias. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4.24, presentándose como estimadores el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de rendimiento (TIR).

Tabla 4.24. Efecto en la rentabilidad al variar los coste de alevines, pienso y comercialización. Producción única de talla Selecta de dorada en Canarias.

% de variación en los costes			VPN	TIR
(alevines)	(pienso)	(comercialización)	(ptas.x1000)	(%)
-30	-8	-66	1000036	67
-30	0	0	331512	28
-20	0	0	211463	20
-10	0	0	91414	12
0	-8	0	31152	8
0	-5	0	8732	7
0	-2	0	-13688	5
0	0	-66	580103	39
0	0	-50	432530	31
0	5	-34	284958	23
0	0	-18	137385	15
0	0	-2	-10188	2

*Valor presente neto = VPN; Tasa interna de rendimiento = TIR.

Los resultados de rentabilidad muestran que, cuando se redujeron los costes al nivel de los valores presentados para el Mediterráneo (-30% en alevines, -8% en pienso y -66% comercialización), el estimador de la tasa interna de rendimiento que se generó fue de 67%, mientras que al variar uno a la vez, la rentabilidad (TIR) fue menor pero siempre positiva y viable comercialmente. Los resultados de la Tabla 4.24 se presentan gráficamente en la Figura 4.25, las líneas muestran las tendencias de la rentabilidad (TIR)

frente a la variación de los costes de los insumos y comercialización. Se observa que con los costes que obtienen los productores en Canarias, se genera una tasa interna de rendimiento (TIR) menor de la tasa de descuento utilizada (6%), por lo que la producción única de dorada de talla Selecta no es viable comercialmente. La reducción de los costes de los insumos (alevines y pienso) y comercialización en 5%, uno a la vez, genera una rentabilidad superior a la tasa de descuento utilizada (6%), siendo la reducción del coste de los alevines la que mejor rendimiento ofrece (con la misma proporción en la

variación de los costes) seguida por la de comercialización y causando el menor efecto la del pienso.

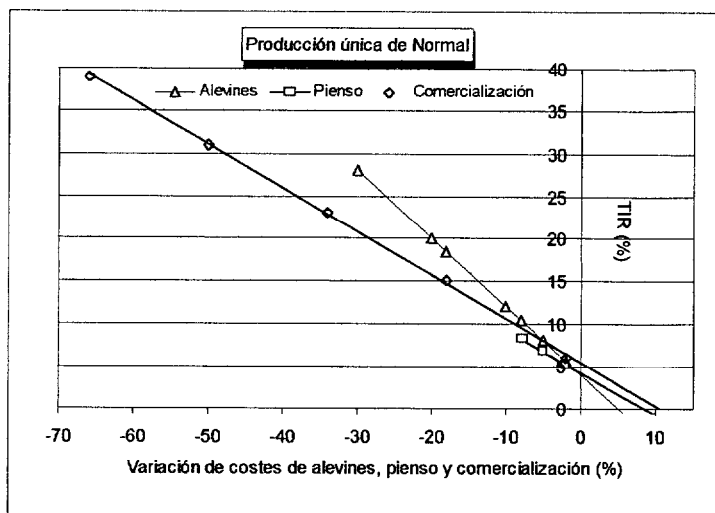


Figura 4.25. Efecto en la tasa interna de rendimiento (TIR), al variar los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción de talla Selecta en Canarias.

La producción de tallas de dorada superiores a Selecta en Canarias ofrece mayor competitividad frente al Mediterráneo. Los resultados del modelo bioeconómico establecen que la producción de talla Super en el Mediterráneo llevaría 30 meses de engorde, mientras que este periodo se reduciría a alrededor de 18 meses para Canarias, con un índice de conversión generado de 2,04 para un racionamiento máximo, aunque algunos autores han publicado valores de 1,6 (MOLINA *et al.*, 1997), lo cual es posible con un racionamiento del 80% (Tabla 4.4). Cabe aclarar que los resultados de índice de conversión que genera el modelo bioeconómico, de acuerdo con la temperatura del agua del Mediterráneo para tallas de 700 g, no presenta la misma robustez que en el caso de producción de tallas de 400 g.

Se realizó también un análisis del efecto de las variaciones de los costes de alevines, pienso y comercialización sobre la rentabilidad del cultivo, cuando la decisión de mercadotecnia es la de producir las tallas Selecta y Super, seleccionando la escala de 48000 m³ y para el escenario de Canarias. Se utilizaron los resultados de la Tabla 4.11 como base comparativa para este tamaño de granja. Los resultados de rentabilidad, al variar los costes en alevines, pienso y comercialización se presentan en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25. Resultados de rentabilidad (valor presente neto (VPN) y tasa interna de rendimiento (TIR)) en Canarias, al variar los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción conjunta de tallas Selecta y Super.

% de variación en los costes			VPN	TIR
(alevines)	(pienso)	(comercialización)	(ptas. x 1000)	(%)
-30	-8	-66	2294444	104
0	0	-66	1921579	83
0	0	-33,6	1622995	71
-30	0	0	1626865	75
0	-8	0	1376704	62
0	0	0	1313352	59
+30	0	0	1003839	45
+60	0	0	694326	32
+90	0	0	384813	20
+120	0	0	75300	9
+135	0	0	-79437	4
0	+8	0	1376704	62
0	+56	0	869885	42
0	+112	0	426419	23
0	+168	0	-17048	5
0	0	+32,4	1014767	48
0	0	+64,8	716183	36
0	0	+97,2	417599	24
0	0	+129,6	119015	12

Los resultados de rentabilidad cuando se redujeron los costes de alevines, pienso y comercialización en la misma proporción que los valores para el Mediterráneo (-30% en alevines, -8% en pienso y -66% comercialización), el valor de tasa interna de rendimiento se incrementó en 45 puntos respecto a cero reducciones en los costes, siendo superior en 37 puntos

respecto a cuando se considera la producción única de talla Selecta (con la misma reducción en los costes) (Tabla 4.24). Sin embargo, la viabilidad económico-empresarial alcanza sus límites inferiores positivos cuando el coste de los alevines alcanza 120%, el del pienso alrededor de 150% y el de comercialización más de 129%, los tres por separado. La Figura 4.26 muestra gráficamente los resultados de rentabilidad de la Tabla 4.25.

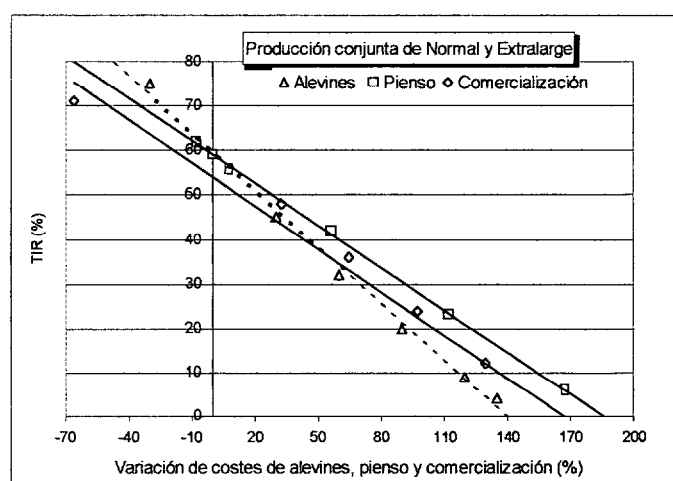


Figura 4.26. Efecto en la tasa interna de rendimiento (TIR) respecto a la variación de los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción conjunta de tallas Selecta y Super.

La Figura 4.26 muestra el amplio intervalo en el que los incrementos de los costes de los insumos (alevines y pienso) y comercialización, consiguen mantener los valores de tasa interna de rendimiento viables comercialmente. Aún con incrementos de los costes de alevines, pienso y comercialización en más de 100%, el modelo bioeconómico generó una rentabilidad aceptable, mientras que en el supuesto de producción única de talla Selecta, esta posibilidad no existe, ya que el cultivo no es viable comercialmente.

Las características ambientales de Canarias, en relación a las peculiaridades de la biología de la dorada, posibilitan una optimización técnica del cultivo, proporcionando oportunidades para una alta competitividad. Si

comparamos los resultados económicos de la producción conjunta de talla Selecta y Super en Canarias, con la producción única de talla Selecta en el Mediterráneo, las diferencias en viabilidad se hacen máximas. Los ingresos netos anuales resultaron siempre menores en el Mediterráneo para todos los tamaños de granja estudiados (Tabla 4.18 y Tabla 4.11). Así, su valor es superior en más de 25% en Canarias para el tamaño de granja de 48000 m³. Los costes medios en el Mediterráneo (Figura 4.23) resultaron siempre menores que en Canarias (Figura 4.11), pero si consideramos la producción conjunta de talla Selecta y Super en Canarias, esta diferencia resultó poco significativa, lo cual se reflejó en el resto de estimadores económicos. El estimador del rendimiento (TIR) generado para las diferentes escalas de granja bajo el escenario de Canarias sobrepasa por más del doble respecto a los mismo tamaños de granja en el Mediterráneo (Tabla 4.11 y 4.18), y la menor escala que no es viable en este último lugar, supera por 20 puntos la tasa de descuento utilizada (6%) en Canarias.

5. SINTESIS Y CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones que se han obtenido de acuerdo a los resultados de este estudio:

1. El engorde de dorada se ha practicado y se practica en la actualidad en sistemas extensivos, semi-intensivos, intensivos y super-intensivos. Los factores ambientales inherentes a la industria de esta especie, junto con factores externos de mercado e internos respecto a las decisiones del empresario, determinan los costes y beneficios en cada uno de los sistemas de producción. En la actualidad, los sistemas intensivos de jaulas flotantes son los de mayor éxito, sugiriendo que son los que mejor posibilitan combinar dichos factores.
2. La producción de dorada fue estudiada por medio de la dinámica de sistemas, pudiéndose representar adecuadamente el cultivo y predecir resultados a partir de las diversas influencias de procesos biológicos, económicos y decisiones técnicas para diferentes escalas de producción. La incorporación de incertidumbre se logró no sólo a través de factores de mercado, sino también a partir de factores ambientales, que afectaron directamente a procesos biológicos de esta especie cultivada.
3. El modelo de crecimiento de dorada, desarrollado a partir de datos comerciales reales y resultados experimentales, respondió a la talla del pez, temperatura del agua y alimentación, generando valores de crecimiento e índice de conversión de alimento que se pudieron contrastar positivamente.

con valores obtenidos también en las fuentes arriba citadas, para las diferentes áreas geográficas estudiadas.

4. El sistema de cultivo de dorada en jaulas flotantes resultó sensible a factores biológicos, económicos, de mercado y técnicos. Del análisis de sensibilidad realizado para el tamaño de granja de 16000 m³ de capacidad, en el escenario de Canarias, se obtuvo que el precio de venta comercial y la mortalidad fueron las variables que afectaron en mayor medida la rentabilidad respecto a los diferentes parámetros estudiados.
5. El análisis de los costes medios para diferentes tamaños de granja evidenció economías de escala, suponiendo la producción única de esta especie. Las economías de escala fueron afectadas a su vez por el lugar escogido para el establecimiento de la empresa, lo cual está relacionado con los costes de inversión y con los factores fijos y variables involucrados en esta actividad.
6. El estimador de la rentabilidad de tasa interna de rendimiento, así como los costes medios, mostraron asimismo la existencia de economías de escala. Las discontinuidades en tamaños de los equipos y maquinaria de apoyo, incluidos en los costes de inversión se interrelacionan con los costes fijos y variables para generar los flujos esperados del proyecto de acuerdo al efectivo inicial, determinando el tipo de interés exclusivamente por dichas variables internas.

7. De acuerdo con las economías de escala, el mínimo coste medio se obtuvo para una producción de 800 Tm/año en los dos escenarios estudiados (Canarias y Mediterráneo). En el Mediterráneo español, el tamaño de granja equivalente a un volumen de 64000 m³, produjo los resultados de la escala mínimo eficiente.
8. Los tamaños de granja óptimos en Canarias resultaron ser los equivalentes a los volúmenes de jaulas de 48000 y 64000 m³. Las tasas internas de rendimiento alcanzaron su máximo valor en dichas escalas, siendo posible producir más de 600 y 800 Tm/año, respectivamente, en estos tamaños de granja.
9. El incremento de la densidad de cultivo constituyó una estrategia que produjo un incremento significativo de producción y de los beneficios económicos. Para el tamaño de granja de 48000 m³, en el escenario de Canarias el incremento de la densidad final de cultivo hasta 18,5 kg/m³ permitió aumentar la producción desde 600 a 930 Tm/año y la tasa interna de rendimiento en 16 puntos. En la misma escala, la densidad final de 2,5 kg/m³ asociada a una producción de 150 Tm/año, generó una rentabilidad negativa.
10. El racionamiento óptimo resultó ser de un 80% respecto a los ensayados, dando lugar a un incremento en los beneficios y en los estimadores de rentabilidad, reduciéndose ligeramente los costes de pienso y la producción (Tm/año). En el escenario de Canarias, y para una producción de 600

Tm/año, la reducción del racionamiento del 100 al 80% incrementó el valor de tasa interna de rendimiento en 7 puntos, disminuyendo la producción en 23 Tm/año.

11. En una granja con producción de 600 Tm/año, la reducción del número de empleados de 19 a 17, incrementó la tasa interna de rendimiento en 1 punto, asumiendo que la productividad de los trabajadores se vea incrementada. Una mortalidad final del 23% de los peces en una granja con la misma producción anual, generó una rentabilidad viable desde el punto de vista comercial. Una mortalidad del 25%, generó una rentabilidad negativa.
12. Los precios de venta de las tallas Selecta (900 – 1000 ptas./kg.) y Super (1000 – 1200 ptas./kg.), resultaron los precios mínimos que generaron una rentabilidad positiva y viable comercialmente, para el escenario Canarias y el tamaño de granja óptimo de 48000 m³.
13. En el Mediterráneo, el tamaño de granja óptimo resultó ser de 600 Tm/año, con un volumen de jaulas de 48000 m³. La tasa interna de rendimiento alcanza su mayor valor en ésta escala.
14. El precio comercial de venta y la mortalidad resultaron ser las dos variables con mayor efecto sobre la rentabilidad, en el análisis de sensibilidad realizado para los tamaños de granja óptimos de 48000 m³ y producción media de 600 Tm/año en los escenarios del Mediterráneo y Canarias. Igual

ocurrió para el tamaño de granja de 16000 m³ y producción media de 200 Tm/año en el escenario de Canarias. El racionamiento siguió en importancia a las dos variables anteriores en las escalas óptimas, mientras que en el tamaño de granja de 16000 m³ y producción media de 200 Tm/año en el escenario de Canarias fue de las variables con menos efecto sobre la rentabilidad.

15. El estrecho intervalo de temperaturas de las aguas litorales en Canarias no compensó los costes superiores de los principales insumos (alevines y pienso) y comercialización, respecto al Mediterráneo. Lo que significa que es más rentable producir dorada de talla Selecta en el Mediterráneo.
16. Cuando se ensayaron costes de alevines, pienso y comercialización en Canarias, similares a los del Mediterráneo, para producción única de talla Selecta, y en la escala de 48000 m³ y producción media de 600 Tm/año, se generó una tasa interna de rendimiento del 67%, mientras que con los costes de alevines, pienso y comercialización sin reducir, la producción no es viable comercialmente.
17. Un descenso alternado de los costes de alevines, pienso y comercialización en 5%, para producción de 600 Tm/año y tamaño de granja de 48000 m³ de talla Selecta en Canarias, generó una rentabilidad superior a la tasa de descuento utilizada, siendo viable este cultivo, y sin subvenciones a estos costes.

18. Si en Canarias se consiguiesen unos costes de alevines, pienso y comercialización, similares a los del área del Mediterráneo, se generaría una tasa interna de rendimiento del 104%, para producción conjunta de 600 Tm/año (y escala de 48000 m³) de las tallas Selecta y Super, superior en 45 puntos a la obtenida cuando se incorpora la desventaja de costes.
19. Aún incrementando de forma alterna los costes de alevines, pienso y comercialización en más de un 100%, para producción de 600 Tm/año (en la escala de 48000 m³) de las tallas Selecta y Super en Canarias, se consiguió una rentabilidad aceptable comercialmente, pero cuando estos incrementos fueron del 135%, 168% y 200%, respectivamente, la tasa interna de rendimiento resultó igual o inferior a la tasa de descuento utilizada (6%).
20. La competitividad del cultivo comercial de dorada en Canarias se basa fundamentalmente en las condiciones ambientales de esta zona geográfica, permitiendo producir tallas comerciales superiores a la Selecta, con una alta rentabilidad. La tasa interna de rendimiento alcanzó el 38% para una producción de 200 Tm/año de tallas Selecta y Super (80 y 20%, respectivamente), mientras que para producción única de talla Selecta la tasa interna de rendimiento se redujo hasta el 7% (suponiendo una subvención a los costes de comercialización).

Las condiciones generales obtenidas en este trabajo referente a tamaños óptimos de granja, estimación de costes, y decisiones de gestión en general,

deben considerarse no como valores absolutos de referencia obligada, sino como tendencias resultantes de acuerdo a la gran cantidad de variables que se consideran en el modelo bioeconómico. Cada situación de granja real puede requerir modificaciones a cada uno de los parámetros del modelo que supondría resultados específicos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABOUHALA, A. 1995. L'élevage de la dorade et du loup dans la lagune de Nador (Maroc). CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 14: 91-96.
- ALLEN, P.G., BOTSFORD, L.W., SCHUUR, A.M. y JOHNSTON, W.E. 1984. Bioeconomics of Aquaculture. Elseviere, Amsterdam, 351 pp.
- ALLEN, P.G. y JOHNSTON W.E. 1976. Research direction and economic feasibility: An example of systems analysis for lobster aquaculture. Aquaculture, 9: 155-80.
- ANDRADES, J.A., BECERRA, J. y FERNANDEZ-LLEBREZ, P. 1996. Skeletal deformities in larval, juvenile and adult stages of cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Aquaculture, 141: 1-11.
- ARACIL, J. 1992. Introducción a La Dinámica De Sistemas. Alianza Universidad Textos.
- ARIAS, A. 1976. Sobre la biología de la dorada, *Sparus aurata*, L., de los esteros de la provincia de Cádiz. Investigaciones Pesqueras, 40 (1): 201-22.
- ARIAS, A.M., RODRIGUEZ, R.B. y DRAKE P. 1984. Extensive culture of marine fish in the esteros of San Fernando (Cadiz, Spain). Inf. Tec.-Inst.-Invest.-Pesq.,-Barc., 115: 15.
- ARNASON, R. 1992. Optimal feeding schedules and harvesting time in aquaculture. Marine Resource Economics, 7: 15-35.

- BACON, J.R., GEMPESAW II, C.M., SUPITANINGSIH, I. y HANKINS J. 1994. The economics of broiler, grain, and trout production as a risk diversification strategy. *Aquaculture*, 127: 91-102.
- BARBATO, F., FANARI, A., MELONI, F. y SAVARINO, R. 1993. Cage culture of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) in two sardinian coastal lagoons. *European Aquaculture Society (Special Publication)*, 18: 95-104.
- BARBATO, F., IZZO, G., MASSINI, A., FANARI, A., MELONI, F. y SAVARINO, R. 1996. Experiences of seabass and seabream rearing in floating cages sited in coastal lagoon with related studies on environmental impact. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, October 16-18: 231-34.
- BARNABE, G. 1991. *Acuicultura*, vol. II. Omega, España, 1099 pp.
- BASURCO, B. y LARRAZABAL, G. 1999. Situación actual de la piscicultura marina en España. *Productos del Mar* (En prensa).
- BENDAG, M. 1995. Systèmes de production du loup et de la daurade. Elevage intensif en bassins en Tunisie. *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, 14: 97-112.
- BERMUDEZ, L., GARCÍA, G.B., GOMEZ, O., ROSIQUE, M.J. y FARCO, F. 1989. First results of the ongrowing cages of *Sparus aurata*, *Puntazzo puntazzo* and *Lithognatus mormirus* in the mar menor (Murcia, S.E. Spain). *European Aquaculture Society (Special Publication)*, 10: 27-28.

- BJORNALD, T. 1988. Optimal harvesting of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 5: 139-59.
- BJORNDAL, T. 1990. *The Economics of Salmon Aquaculture*. Blackwell, Oxford.
- BLAIR, R.D. y KENNY, L.W. 1983. *Microeconomía*. Mc Graw Hill.
- BLAKSTAD, F., FAGERHOLT, A.F. y LISAC D. 1996. Cost of bass and bream production: comparisons between land based and cage facilities. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, October 16-18: 245-48.
- BOSCH, D.J. y SHABMAN L.A. 1990. Simulation modeling to set priorities for research on oyster production. *American Journal of Agricultural Economics*, 72: 371-81.
- BOTSFORD, L.W., RAUCH H.E. y SHLESER R. 1974. Application of optimization theory to the economics of aquaculture. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 5: 387-401.
- BOURGEOIS, O. y AQUILINA R. 1995. Sea bass & sea bream in open sea. *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, 14: 53-55.
- BRETT, J.R. 1979. Environmental factors and growth. En: *Fish Physiology VIII*. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett, Eds. Academic press, London. 599-675.



- BROWN, M.E. 1957. Experimental studies on growth. En: The Physiology of Fishes. Vol. 1: 361-400. Eds. M.E. Brown. Academic Press, New York.
- BYWATER, A.C. y CACHO O.J. 1994. Use of simulation models in research. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 54: 403-12.
- CACHO, J.O. HATCH U. y KINNUCAN H. 1990. Bioeconomic analysis of fish growth: effects of dietary protein and ration size. Aquaculture, 88: 223-38.
- CACHO, J.O. KINNUCAN H. y HATCH U. 1991. Optimal control of fish growth. American Journal of Agricultural Economics, 73: 174-83.
- CACHO, O.J. 1990. Protein and fat dynamics in fish: a bioenergetic model applied to aquaculture. Ecological Modeling, 50: 33-56.
- CACHO, O.J. 1993. Development and implementation of a fish-farm bioeconomic model: A three-stage approach. En: Aquaculture Models and Economics. Eds. U. Hatch and Kinnucan: Westview Press, Boulder, CO. 55-72 pp.
- CACHO, O.J. 1997. Systems modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. Aquaculture Economics & Management, 1: 45-64.
- CARRIERI, A., HOFFMAN, M., FRANZOI, P. y ROSSI, R. 1990. Influence of diets with different protein contents on growth and survival of the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) bred under two different temperature

conditions. Riv. Ital. Acquacol., 25: 19-27.

CATAUDELLA, S., LOY, A. y BOGLIONE C. 1996. Anatomical descriptors and geometrics morphometrics to evaluate larval and postlarval quality in Mediterranean Sea bass from different hatcheries. En: "Live Food Organisms and Marine Larviculture". International Symposium on Live Food Organisms and Environmental Control for Larviculture of Marine Animals. September 1-4. Nagasaki, Japan.

CHARBONIER. 1997. Peche & aquaculture en Méditerranée: État actuel et perspectives. En: "Methodological Approach for Comparing Insular and Continental Aquaculture in Mediterranean Area". Temri Leïla. Island aquaculture and tropical aquaculture. Martinique, May 4-9.: 293-94.

CHO, C.Y., SLINGER, S.L., y BAYLEY, H.S., 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. Com. Biochem. Physiol., 73B: 25-41.

CLARK, C.W. 1985. Bioeconomic modelling and Fisheries Management. Wiley, New York.

COREY, P.D., LEITH D.A. y ENGLISH, M.J. 1983. A growth model for coho salmon including effects of varying ration allotments and temperature. Aquaculture, 30: 125-43.

DATSOLOPOULOS, A. 1996. Contemporary methodology of marketing at the development of aquaculture. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 17: 195-201.

- DAVILA, C.N. 1996. Análisis Económico de Pesquerías Mediante la Teoría del Control Óptimo: Una Aplicación al Modelo Predador - Presa. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España. 165 pp.
- DE LA POMELIE, C. 1995. L'élevage du bar et de la daurade en France: viabilité économique des systèmes de production. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 14: 79-89.
- DEGUARA, S. 1997. Production in the Mediterranean Sea. Aquaculture News : 30-31.
- DIVANACH, P., BOGLIONE, B., MENU, B., KOUMOUDOUROS, M., KENTOURI, M. y CATAUDELLA, S. 1996. Abnormalities in finfish mariculture: an overview of the problem, causes and solutions. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, October 16-18: 45-66.
- DOSDAT, A. 1984. Prégrossissement et consommation d oxygène de loups et de daurades en élevages intensifs. En: "L'Aquaculture Du Bar Et Des Sparidés". Eds. G. Barnabé et R. Billard Eds.. INRA Publ., Paris: 351-59.
- ESTEVEZ, G.A. 1992. La dorada (*Sparus aurata*). Unidades Didacticas De Acuicultura, 10: 20-23.
- FORRESTER, J.W. 1961. Industrial Dynamics. Productivity Press. Cambridge, MA.

- FREDDI, A. BERG, L. y BILIO, M. 1981. Optimal salinity temperature combinations for the early life stages of gilthead bream, *Sparus aurata* L. J. World Mariculture Soc., 12 (2): 130-136.
- GARCIA-ALCAZAR, A. ABELLAN, E., DEHESA, M.R. L., ARIZCUN, M., DELGADO, J. Y ORTEGA, A. 1994. Experiencias de alimentación en preengorde y engorde de dorada (*Sparus aurata* L.) y lubina (*Dicentrarchus labrax* L.) con dietas de distinta relación proteína/grasa. Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 10(2): 191-201.
- GARCIA, B., BERMUDEZ, L., GOMEZ, O., ORTEGA, G.A. y MARTIN, P. 1987. El preengorde en cultivo intensivo de dorada (*Sparus aurata* L.): Aportaciones de datos biotécnicos. Cuad. Marisq. Publ. Téc., 12: 131-36.
- GASCA-LEYVA, E., LEON, C. y VERGARA, J. 1998. Economics of seabream production. World aquaculture '98, Las Vegas, Nevada, USA.
- GEMPESAW II, C.M., BACON, J.R. y WIRTH, F.F. 1992. Economies of pond size for hybrid striped bass growout. Journal of the World Aquaculture Society, 23 (1): 38-48.
- GINES, R. 1997. Posibilidades de manipulación del fotoperíodo durante el engorde intensivo de dorada (*Sparus aurata*). Memoria de Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 171 pp.

- GRIFFIN, W.L., GRANT, W.E., BRICK, R. y HANSON, J.S. 1984. A bioeconomic model of shrimp mariculture systems in the U.S.A. *Ecological Modelling*, 25: 47-68.
- HANSON, J.S., GRIFFIN, W.L., RICHARDSON y NIXON, C.J. 1985. Economic feasibility of shrimp farming in Texas: An investment analysis for semi-intensive pond grow-out. *Journal World Mariculture Society*, 16: 129-50.
- HEAPS, T. 1993. The optimal feeding of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 8: 89-99.
- HEAPS, T. 1995. Density dependent growth and the culling of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 10: 285-98.
- HIDALGO, F. y SIERRA M.A. 1993. Modelización del crecimiento de dorada (*Sparus aurata*) en condiciones de cría intensiva. *Actas IV Congreso Nac. Acuicultura (España)*: 115-19.
- HILL, B.E. y INGERSENT, K.A. 1982. *An Economic Analysis of Agriculture*. Heinemann, London. 355 pp.
- JONHSTON. 1984. *Modelos econométricos*. Mc Graw Hill.
- JORDAN, L.R. 1996. Strategies to foster the marketing of aquaculture products developed by Spanish producers. *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, 17: 171-79.
- JOSUPEIT, H. 1994. Markets in the European union for turbot, seabream and

- seabass. Globefish, FAO, 31.
- JOSUPEIT, H. 1995. Aquaculture production and trade world survey. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 14: 9-28.
- KARP, L., SADEH, A. y GRIFFIN, W.L. 1986. Cycles in agricultural production: The case of aquaculture. American Journal of Agricultural Economics, 68: 553-61.
- KAZMIERCZAK, R.F. y CAFFEY, R.H. 1995. Management ability and the economics of recirculating aquaculture production systems. Marine Resource Economics, 10: 187-209.
- KLAUDATOS, S. y APOSTOLOPOULOS, J. 1986. Food intake, growth, maintenance and food conversion efficiency in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Aquaculture, 51: 217-24.
- KOUMOUNDOURUS, G., KIRIAKOS, Z., DIVANCH, P. y KENTOURI, M. 1994. Morphometric relationships as criteria for the evaluation of larval quality sea bream. Aquaculture International, 3: 143-149.
- KROM, M. D. PORTER, C. y GORDIN, H. 1985. Description of the water quality conditions in a semiintensively cultured marine fish pond in Eilat, Israel. Aquaculture, 49: 141-57.
- LAMBREGTS, J.A.D., THACKER, S.G. y GRIFFIN, W.L. 1993. Economic evaluation of different stocking densities for various sized shrimp farms in Texas. Journal of the World Aquaculture Society, 24(1): 12-22.

- LARRAZABAL, A. G. 1997. Organización empresarial del sector en Canarias. Cultivos de Peces Marinos: Industria Emergente para Canarias. Instituto tecnológico de Canarias, España. Apuntes de curso.
- LEMARIE, G., GASSET, E., CAM, D. y DE LA FONCHAIS, E. 1992. Modelisation de la consommation en oxygene du loup (*Dicentrarchus labrax* L.) et de la daurade (*Sparus aurata* L.). *Ichthyophysiological Acta*, 15: 55-68.
- LEUNG, P.S. 1986. Applications of systems modeling in aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 5: 171-82.
- LEUNG, P.S. y SHANG, Y.C. 1989. Modeling prawn production management system: A dynamic markov decision approach. *Agricultural Systems*, 29: 5-20.
- LISAC, D. 1989. Sea bass and sea bream offshore farming systems. *European Aquaculture Society (Special Publication)*, 10.
- LOGAN, S.H. y JOHNSTON, W.E. 1992. Economics of commercial trout production. *Aquaculture*, 100: 25-46.
- LOGAN, S.H. JOHNSTON, W.E. y DOROSHOV, S.I. 1995. Economics of join production of sturgeon (*Acipenser transmontanus* Richardson) and roe for caviar. *Aquaculture*, 130: 299-316.
- LOSORDO, T.M. y WESTERMAN, P.W. 1994. An analysis of biological, economic, and engineering factors affecting the cost of fish production in

- recirculating aquaculture systems. Journal of the World Aquaculture Society, 25 N° 2: 193-203
- LOY, A. 1996. Applicazioni della morfometria geometrica nella caratterizzazione di alcune relazioni tra forma e condizioni ambientali in specie ittiche interessanti per l'acquacoltura. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, october 16-18: 45-66.
- LOY, A. CATAUDELLA, S. y CORTI, M. 1996. Shape change of the sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Teleostea: Perciformes), in relation to different rearing conditions: an analysis using Bookstein's shape coordinate and application of the thinplate splines regression analysis. En: Advances in Morphometrics. Corti M., Marcus, L.F., Loy, A., Naylor, G. and Slice, D. Eds. N.A.T.O. Plenum Press, ASI Series, New York. 399-406.
- MENU, B. 1994. Effects of micropellets used as a first larval feed, on the rate of skeletal abnormalities in sea bass and sea bream. European Aquaculture Society (Special Publication), 21.
- MOLINA, D.L., LOPEZ, C.G., VERGARA, M.J.M., y ROBAINA, R.L. 1997. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). En: "Martinique 97 - Island Aquaculture and Tropical Aquaculture". May 4-9.
- MONTERO, V.D. 1996. Efecto de las deficiencias nutricionales de a - tocoferol y n- 3 HUFA sobre la resistencia a condiciones estresantes de cultivo en juveniles de dorada (*Sparus aurata*). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias del Mar. Departamento de Biología. Universidad de las Palmas

de Gran Canaria (España).

MUIR, J. 1997. The potential for offshore mariculture. Mediterranean Off-Shore Mariculture. Instituto agronómico Mediterráneo de Zaragoza. Apuntes de curso.

MULLER-FEUGA, A. 1990. Modélisation de la croissance des poissons en élevage. Rapports Scientifiques Et Techniques De L'IFREMER 21.

MUNRO, G.R. y SCOTT, A.D. 1985. The Economic of Fisheries Management Handbook of Natural Resource and Energy Economics. Vol. II. Eds. Kneese, A.V. y Sweeney, J.L. Elseviere Science Publishers.

PERSON-LE, J.R., CHARTOIS, H. y QUEMENER, L. 1995. Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. Aquaculture, 136: 181-194.

PLOURDE, C.G. 1970. A simple model of replenishable natural resource exploitation. American Economic Review, 60: 518-22.

PLOURDE, C.G. 1971. Exploitation of common-property resplenishable resource. Western Economic Journal, 9: 256-66.

PORTER, C.B., KROM, M.D. y GORDIN, H. 1986. The effect of water quality on the growth of *Sparus aurata* in Marine Fish Ponds. Aquaculture, 59: 299-315.

PRICKETT, R.A. y IAKOVOPOULOS. 1996. Potential gains through the careful management of current technology. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, october 16-18: 206-11.

- RAVAGNAN, G. 1984. L'élevage du loup et de la daurade en valliculture. En: "L'Aquaculture Du Bar Et Des Sparidés". G. Barnabé et R. Billard Eds.. INRA Publ., Paris: 435-46.
- RAYNER, P. TSUR, O. y GORDIN, H. 1977. Cage culture of *Sparus aurata*. Aquaculture, 11: 285-96.
- RENE, F. 1984. Essais d'élevage du loup (*Dicentrarchus labrax*) de la daurade (*Sparus aurata*) et du sar (*Diplodus sargus*) à la Martinique. En "L'Aquaculture Du Bar Et Des Sparidés". G. Barnabé et R. Billard Eds.. INRA Publ., Paris: 403-18.
- RICKER, W.E. 1979. Growth rates and Models. En: Fish Physiology VIII. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett. Eds. Academic Press, London. 677-743.
- RIERA, PH. y LENSÍ, P. 1996. Marketing of sea-bass and sea bream in France. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 17: 155-59.
- RIZZO, G. y SPAGNOLO, M. 1996. A model for optimal management of Sea Bass *Dicentrarchus labrax* aquaculture. Marine Resource Economics, 11: 267-86.
- ROMERO, C. 1997. Economía de los Recursos Ambientales y Naturales. Alianza, Madrid.
- ROSENLUND, G. TALBOT, E. y HOLE, R. 1996. Potential gains through alimentation/nutrition. Improvements in the grow-out. En: "Seabass and

- Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, october 16-18: 160-174.
- SAHIN, M. 1995. Sea bass & bream in floating cages in Turkey. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 14: 57-63.
- SAÑUDO, C., BARRERA, R., GARCIA, C., POUEY, J., GRACIA, S., VALENCIA, F. y SANTOLARIA, P. 1993. Comparative study of the quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) under different production systems. European Aquaculture Society (Special Publication), 18: 335-45.
- SHANG, Y.C. 1981. Aquaculture Economics: Basics Concepts and Methods of Analysis. Westview Press, Boulder, Colorado.
- SHIGEKAWA, K.J. y LOGAN, S.H. 1986. Economic analisis of commercial hatchery production of sturgeon. Aquaculture, 51: 299-312.
- SPANO, A. 1996. Correlazioni tra qualità delle prime diete ed anomalie scheletriche, come applicazione del metodo di monitoraggio larvale su orata (*Sparus aurata* L.). En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, october 16-18: 45-66.
- STANIFORD, A.J. 1989. The effect of yield and price variability on the economic feasibility of freshwater crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapoda: Parastacidae) production in Australia. Aquaculture, 81: 225-35.

- STAUFFER, G.D. 1973. A growth model for salmonids reared in hatchery environments. Ph. D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle .
- STEPHANIS, J. 1995. Economic viability of production systems seabass/seabream in Greece (industrial scale). CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 14: 65-77.
- STEPHANIS, J. 1996. Mediterranean aquaculture industry trends in production, market & marketing. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes, 17: 93-102.
- STEPHANIS, J. 1996a. Mediterranean aquaculture industry trends in production, markets & marketing. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy, October 16-18: 7-23.
- STEWART, J.A. 1996. Approach and methods for investment appraisal. Establishment and Management of Aquaculture Enterprises. Instituto agronómico Mediterráneo de Zaragoza. Apuntes de curso.
- TALBOT, C. y HOLE, R. 1994. Fish diets and the control of eutrophication resulting from aquaculture. Aquaculture, 10: 258-70.
- TORT, L., SUNYER, O.J., GOMEZ, E. y MOLINERO, A. 1996. Crowding stress induces changes in serum haemolytic and agglutinating activity in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. Veterinary Immunology and Immunopathology, 51: 179-88.

- WAJSBROT, N., GASITH, A., KROM, M.D. y POPPER, D.M. 1991. Acute toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* under reduced oxygen levels. *Aquaculture*, 92: 277-88.
- WHITE, P.G. 1996. Sensitivity analysis of major operational costs affecting profitability of seabass and seabream fry production. En: "Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects". Verona, Italy. 324-328.

7. LISTA DE FIGURAS

- 1.1. Empresas de dorada y lubina esparcidas en el mar Mediterráneo (STEPHANIS, 1996). P: 2
- 2.1. Crecimiento y alimentación secuencial de la larva de dorada (HERNANDEZ-CRUZ, com. pers.). P: 11
- 2.2. Evolución del precio de dorada en Grecia (STEPHANIS, 1995). P: 21
- 2.3. Tasas de crecimiento (g/día) para diferentes tecnologías en el cultivo de dorada (PORTER et al., 1986). P: 34
- 2.4. Relación entre peso corporal y crecimiento diario de dorada en sistemas intensivos (HIDALGO y SIERRA, 1993). P: 36
- 2.5. Crecimiento de dorada en jaulas intensivas en Gran Canaria, España (MOLINA et al., 1997). P: 36
- 2.6. Modelo bioeconómico conceptual del cultivo de langostino (GRIFFIN et al., 1984). P: 41
- 2.7. Modelo (bioeconómico) conceptual para una granja de peces (CACHO, 1997). P: 42
- 2.8. Curvas típicas que relacionan los costes con la producción: coste marginal (CMa), coste medio (CMe), coste variable medio (CVMe) (ALLEN et al., 1984). P: 66
- 2.9. La curva de coste medio a largo plazo (CMeL) es la envolvente de las curvas de coste medio a corto plazo (CMeC). P: 67
- 3.1. Modelo conceptual de engorde de dorada en jaulas marinas. P: 75
- 3.2. Crecimiento específico en función de la temperatura (MULLER-FEUGA, 1990). P: 86
- 3.3. Índice de conversión ($Y(r)$) y de ganancia de peso ($Z(r)$) normalizados. P: 90
- 3.4. Temperatura media del agua en la bahía de Melenara, Gran Canaria. P: 103
- 3.5. Temperatura del agua calculada según el submodelo ambiental para aguas del litoral de Gran Canaria. P: 104
- 4.1. Costes de inversión inicial del sistema de cultivo de dorada en jaulas. P: 113
- 4.2. Crecimiento de dorada generado por el modelo (Sim/100: ración a 100% y Sim/80: ración al 80%) y comparado con valores de crecimiento reales

- (L1, L2, L3, L4). P: 119
- 4.3 Supervivencia de peces durante un ciclo de cultivo. P: 123
- 4.4 Número medio de peces en granja durante la producción de 200 Tm/año (en 10 años) de talla Selecta (1) y Super (2). Análisis generado por el modelo. P: 124
- 4.5 El número de cosechas de dorada durante 10 años de cultivo, generadas por el modelo. P: 125
- 4.6 Producción anual de dorada generada por el sistema de producción, a lo largo de diez años. P: 125
- 4.7 Precio de dorada de talla Selecta (a) y Super (b), generado por el modelo en forma aleatoria. P: 126
- 4.8 Punto crítico para la producción (tamaño de granja de 16000 m³). P: 126
- 4.9 Contribución de los costes de operación durante 10 años de vida del proyecto. P: 128
- 4.10 Ingresos netos e inversión acumulada para siete tamaños de granja. Producción conjunta de tallas Selecta y Super en Canarias. P: 141
- 4.11 Coste medio y tasa interna de rendimiento (TIR) en diferentes tamaños de granja, de acuerdo a la producción anual de Selecta y Super. P: 144
- 4.12 Tamaños de granja óptimos para el cultivo de dorada en Canarias, bajo tres escenarios diferentes: EC1., EC2. y EC3. (ver explicación adicional en el texto). P: 150
- 4.13 Efecto de la densidad final de cultivo en la rentabilidad (VPN y TIR), producción (Tm/año) y coste medio. P: 154
- 4.14 Efecto de la ración sobre la rentabilidad (VPN y TIR), coste medio y producción anual. P: 156
- 4.15 Efecto de la mortalidad en la rentabilidad, la producción y el coste medio. P: 157
- 4.16 Efecto del precio comercial de venta de dorada sobre la rentabilidad (VPN y TIR) del cultivo. P: 159
- 4.17 Efecto de la variación de la temperatura del agua en el coste medio, en la tasa interna de rendimiento (TIR), producción anual y valor presente neto. P: 159
- 4.18 Variabilidad aleatoria diaria de la temperatura del agua para el

-
- Mediterráneo, a lo largo de un ciclo anual. P: 163
- 4.19 Crecimiento comparativo de dorada en los escenarios de Canarias y del Mediterráneo, generado por el modelo. P: 164
- 4.20 Supervivencia de dorada durante un ciclo de cultivo en el área Mediterránea. P: 166
- 4.21 Número de peces en planta requeridos para la producción de 200 Tm/año a lo largo de 10 años en el Mediterráneo. Análisis generado por el modelo. P: 167
- 4.22 Ingresos netos e inversión acumulada en el Mediterráneo para diferentes tamaños de granja. P: 170
- 4.23 Coste medio y tasa interna de rendimiento (TIR), de acuerdo a la producción anual. Producción única de talla Selecta en el Mediterráneo. P: 171
- 4.24 Resultados de tasa interna de rendimiento (TIR), para determinar el tamaño de granja óptimo para el engorde en jaulas de dorada en el Mediterráneo. P: 185
- 4.25 Efecto en la tasa interna de rendimiento (TIR), al variar los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción de talla Selecta en Canarias. P: 191
- 4.26 Efecto en la tasa interna de rendimiento, respecto a la variación de los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción conjunta de Selecta y Super. P: 193

8. LISTA DE TABLAS

-
- 2.1. Características biotécnicas del cultivo larvario de dorada. P: 10
 - 2.2. Desglose de costes de producción (%) en diferentes países del Mediterráneo. P: 21
 - 2.3. Parámetros fisicoquímicos del agua para el engorde de dorada. P: 27
 - 2.4. Factores causales de anormalidades en peces de cultivos marinos en el Mediterráneo. P: 30
 - 2.5. Resumen de algunos trabajos de investigación bioeconómicos aplicados a acuicultura. P:48
 - 3.1. Tasas instantáneas de crecimiento relativo (TCI) de dorada para diferentes pesos y temperaturas del agua. P: 84
 - 3.2. Parámetros de los modelos de tasas instantáneas de crecimiento relativo. P: 84
 - 3.3. Índices de conversión de alimento (IC) frente a peso (g), para diferentes temperaturas del agua (°C). P: 91
 - 3.4. Resultados de las revisiones de índice de conversión de alimento frente al peso individual de los peces. P: 92
 - 3.5. Regresiones de índice de conversión frente a peso. P: 93
 - 3.6. Cocientes entre crecimientos máximos y raciones máximas para la transformación del índice de conversión. P: 94
 - 3.7. Parámetros de consumo de oxígeno para la ecuación (15), según diferentes estados metabólicos (LEMARIE et. al., 1992). P: 96
 - 4.1. Costes de inversión desglosados por áreas. P: 115
 - 4.2. Principales tamaños y denominaciones comerciales de dorada (APROMAR, 1999). P: 116
 - 4.3. Principales parámetros utilizados para el análisis bioeconómico del sistema de producción. P: 118
 - 4.4. Índices de conversión (IC) generados por el modelo para 3 racionamientos. P: 120
 - 4.5. Índices de conversión (IC) históricos de diferentes pesos (P) y lotes (L). P: 121
 - 4.6. Resultados del análisis de sensibilidad del sistema de producción a diferentes factores. Cada factor varió en $\pm 20\%$ (+ 20% (+); - 20% (-)),

- respecto al análisis base. P: 130
- 4.7. Costes de inversión inicial para diferentes tamaños de granja. Denominación de acuerdo a la capacidad en jaulas. p: 134
 - 4.8. Costes de inversión según la capacidad de producción media de la granja y según diferentes autores. P: 135
 - 4.9. Supuestos de producción y personal utilizados para el análisis bioeconómico de los sistemas de granja. P: 137
 - 4.10. Resultados de rentabilidad del cultivo de dorada en Canarias. Producción única de tallas Selecta en diferentes tamaños de granja. P: 138
 - 4.11. Costes y beneficios para el quinto año de operación en Canarias. Producción conjunta de Selecta y Super. P: 140
 - 4.12. Supuestos de incremento de densidad de cultivo y mano de obra para la producción de dorada en diferentes tamaños de granja. Producción conjunta de tallas Selecta y Super. P: 146
 - 4.13. Resultados de tasa interna de rendimiento (TIR) y producción anual en siete tamaños de granja al incrementar la densidad de cultivo. Producción de tallas Selecta y Super. P: 148
 - 4.14. Parámetros modificados para optimizar el cultivo de dorada en Canarias (en el tamaño de granja óptimo, 48000 m³). Producción de tallas Selecta y Super. P: 152
 - 4.15. Resultados de la optimización del cultivo de dorada en Canarias según diferentes estrategias de gestión, comparados con el análisis base para el tamaño de granja de 48000 m³ y producción conjunta de dos tallas de dorada. P: 153
 - 4.16. Supuestos para el análisis bioeconómico en el Mediterráneo (producción única de talla Selecta de dorada). P: 162
 - 4.17. Índices de conversión generados por el modelo para diferentes racionamientos, y diferentes pesos de dorada en el Mediterráneo. P: 164
 - 4.18. Costes y beneficios para el quinto año de operación en el Mediterráneo, para siete tamaños de granja. Producción única de talla Selecta de dorada. P: 169
 - 4.19. Coste medio, tasa interna de rendimiento (TIR) y capacidad media de planta en producción de dorada y lubina de talla Selecta en diferentes países en el Mediterráneo. P: 173
 - 4.20. Resultados del análisis de sensibilidad para los escenarios del

Mediterráneo y Canarias en el tamaño de granja óptimo (48000 m³). P: 176

- 4.21. Resultados de producción (Tm/año), tasa interna de rendimiento (TIR), y coste medio (CMe) para diferentes tamaños de granja en el Mediterráneo, con una ración al 90%. Producción única de talla Selecta de dorada. P: 181
- 4.22. Resultados de producción, coste medio (CMe) y tasa interna de rendimiento (TIR) para diferentes tamaños de granja, al incrementar la mortalidad a lo largo del ciclo de engorde de dorada. P: 183
- 4.23. Resultados técnico-biológicos generados por el modelo bioeconómico en dos escenarios del cultivo de dorada, para dos tallas comerciales. P: 188
- 4.24. Efecto en la rentabilidad al variar los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción única de talla Selecta de dorada en Canarias. P: 190
- 4.25. Resultados de rentabilidad (valor presente neto (VPN) y tasa interna de rendimiento (TIR)) en Canarias, al variar los costes de alevines, pienso y comercialización. Producción conjunta de tallas Selecta y Super. P: 192