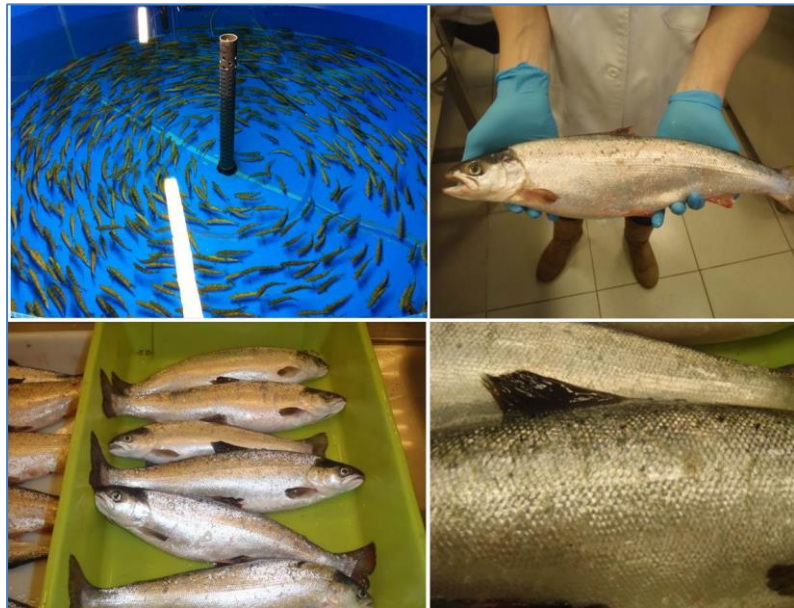


INFORME FINAL

JUSTIFICACION TECNICA

EXPEDIENTE GV 04-2012-00400

*Viabilidad del engorde del salmón atlántico (*Salmo salar*) mediante sistemas RAS en Euskadi*



CLIENTE

Eusko Jaurlaritza - Gobierno Vasco

Viceconsejería de Desarrollo Económico y Competitividad

Dirección. de Pesca y Acuicultura

Pasaia, 14 de Enero 2013

Tipo documento Informe Final

Título documento Viabilidad del engorde del salmón atlántico mediante sistemas RAS en Euskadi

Fecha 14/01/2014

Proyecto 04-2012-00400 - IZOK: Viabilidad del engorde del salmon atlántico mediante sistemas RAS en Euskadi

Código IM12IZOK

Cliente Eusko Jaurlaritza - Gobierno Vasco, Eusko Jaurlaritza - Gobierno Vasco. Viceconsejería de Desarrollo Económico y Competitividad. Dpto. de Pesca y Acuicultura

Equipo de proyecto
Dr. Diego Mendiola; Marga Andres; Sonia Riesco; Irene Garcia; Oihane Cabezas; Felix Amarita; Natalia Gutierrez; Maddi Badiola; Gaizka Bidegain; Pilar Martin; Maruxa Garcia.

Responsable proyecto Diego Mendiola

Revisado por Esteban Puente

Fecha 15-01-2014

Aprobado por Lorenzo Motos

Fecha 15-01-2014

El informe PARCIAL que se presenta a continuación, se refiere al desarrollo de un proyecto con aplicación a la siguiente convocatoria.

FEP 2012

d) Proyectos piloto.

Objeto:

Apoyar proyectos piloto, incluida la utilización a título experimental de técnicas de pesca más selectivas, dirigidos a la adquisición y difusión de nuevos conocimientos técnicos, y estarán dirigidos a:

- a) Probar, en condiciones próximas a las condiciones reales del sector productivo, la viabilidad técnica o económica de una tecnología innovadora con el fin de adquirir y divulgar conocimiento técnico o económico de la tecnología en cuestión.*
- b) Permitir la realización de pruebas sobre planes de gestión y de asignación del esfuerzo pesquero, incluido, en su caso, el establecimiento de zonas de veda, con objeto de evaluar las consecuencias biológicas y financieras, y la repoblación experimental.*
- c) Desarrollar y probar métodos para mejorar la selectividad de los artes de pesca, reducir las capturas accesorias, los descartes o el impacto medioambiental, en particular en el fondo marino.*
- d) Probar otros tipos de técnicas de gestión pesquera.*

Ref.: Ayudas contenidas en el Reglamento (CE) 1198/2006, del Consejo, de 27 de julio de 2006, para el ejercicio 2007 (FEP, Fondo Europeo de la Pesca).Dpto. de Agricultura, Pesca y Alimentación.

INDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	7
2. INTRODUCCION	10
3. GRADO DE AVANCE EN OBJETIVOS	15
4. MATERIALES Y METODOS	16
4.1 Diseño ingeniería RAS, instalaciones y eficiencia energética	16
4.2 Evaluación de la viabilidad técnica del cultivo de salmón.	18
4.3 Evaluación de la viabilidad económica del cultivo de salmón	20
4.3.1 Generalidades escenario económico	21
4.3.2 Análisis de los datos de la planta piloto.....	22
4.3.3 Asunciones para las simulaciones.....	25
4.3.4 Estimación de los costes de la inversión	26
4.3.5 Estimación de los costes fijos	29
4.3.6 Estimación de los costes variables	30
4.3.7 Estimación del beneficio.....	32
5. RESULTADOS.....	33
5.1 Diseño ingeniería RAS y realización de instalaciones de salmón	33
5.2 Evaluación de la viabilidad técnica del engorde de salmón	43
5.2.1 Evaluación de la calidad del agua del sistema salmón.....	45
5.2.2 Evaluación de la calidad microbiológica de los RAS de salmón	57
5.2.3 Evaluación de la supervivencia del salmón en los RAS.....	62
5.3 Evaluación de la viabilidad técnica del engorde de salmón	64
5.1 Evaluación de la viabilidad económica del cultivo de salmón	69
6. CONCLUSIONES	72
7. CUMPLIMIENTO EN PLAN DE TRABAJO.....	78
8. BIBLIOGRAFIA.....	79
9. ANEXO 1.....	85
9.1 Costes por kg de salmón en punto de equilibrio	85
9.2 Dimensión de producción requerida para punto de equilibrio con base a los precios simulados	86
10. ANEXO 3. VIGILANCIA DE MERCADO MAGRAMA.....	87

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento representa el INFORME FINAL del proyecto sobre producción de salmón que se ha desarrollado en las instalaciones piloto de AZTI y a cargo del proyecto GV 04-2012-00400.

Las pruebas de producción de salmón en sistemas de recirculación, se dan por concluidas tras haber alcanzado el 100% de los objetivos planteados para la evaluación de su viabilidad.

Los resultados obtenidos han servido para entender las claves de negocio sobre conocimiento, tecnología y encaje de producto en mercado, necesarias para la producción rentable de salmón de acuicultura en el País Vasco. Todo ello, orientado a un hipotético escenario de empresa local interesada en la producción de dicha especie mediante tecnologías RAS.

La ingeniería piloto para salmón se desarrolló e instaló con éxito, y los peces crecieron favorablemente de acuerdo a las condiciones experimentales propuestas. Se obtuvieron “buenos resultados” en cuanto a: (i.) la intensificación y gestión del sistema, (ii.) la reducción en volumen de las aguas de captación y vertido; (iii.) el control de temperaturas, oxigenación y microbiología bacteriana en las aguas de cultivo; (iv.) la consecución de tasas de crecimiento y desarrollo ontogenético válido; (v.) la supervivencia del salmón a temperaturas por debajo de los 21°C.

Mediante el presente estudio, se ha validado la capacidad de recuperación y crecimiento compensatorio del salmón tras cultivo a temperaturas de agua controlada en los meses de verano (20-21°C). Dichos individuos son capaces no solo de recuperar el apetito y el crecimiento, sino también de alcanzar (tras un periodo largo de parón en el crecimiento) los mismos ritmos de crecimiento de los individuos mantenidos en rango de temperatura óptima por debajo de los 16°C. La serie de pruebas de viabilidad del engorde se realizaron sobre juveniles de salmón - *Salmo salar* - importados desde Irlanda. Mediante ingenierías de recirculación y control térmico se persiguió engordar 2,0 Tm de salmón, evaluando costes operaciones, rentabilidad final y calidad de producto. Con la entrada de los meses fríos, los stocks

de salmón responden según lo esperado a los términos de crecimiento y supervivencia de los modelos. Los individuos de salmón llegaron a Euskadi con peso promedio de $57,6 \pm 10,2$ g y tras 183 días de cultivo alcanzaron los $275,8 \pm 61,23$ g. La mortalidad alcanzó picos de 9,8 y 26% durante los meses de mayo y julio 2013, aunque durante los meses fríos se estabiliza en 0,3% mes. En este sentido, se concluye que para dicha consecución, el proceso productivo debe de ser adaptado a trabajar durante una parte del año en sistema abierto con alta renovación; pero manteniendo de manera complementaria (bien dependiente ó independiente a proceso) una maduración microbiológica de biofiltro preparados para dar soporte a todo el sistema productivo, en el periodo del año comprendido entre mayo y octubre (5 meses al año)

Los principales aspectos negativos identificados han sido (i.) el alto coste productivo final de la especie, asociado principalmente al gasto energético de la tecnología RAS y (iii.) el difícil encaje del producto en las actuales condiciones del mercado alimentario; básicamente, por motivos relacionados con la economía de escala y el precio de origen del producto fresco proveniente de Noruega

La ingeniería de recirculación piloto instalada funcionó (i.) correctamente en cuanto a filtración mecánica, desinfección y biofiltración; (ii.) correctamente en cuanto a aporte de oxígeno; (iii.) correctamente en cuanto a control de variables operativas y avisos de emergencia; (iv.) correctamente en cuanto a hidrodinámica de cultivo; (v.) correctamente en cuanto a enfriamiento de agua; pero (vi.) incorrectamente en cuanto a gasto energético. En este sentido, el gasto energético de los sistemas RAS fue calculado como 36Kw/h por kg de salmón producido; lo que equivaldría a un coste productivo (en electricidad) aproximado a los 3, 24 €/kilo de salmón.

En las condiciones simuladas (costes fijos de Orrua), el coste por kg de los costes fijos y variables del negocio de salmón se minimizó a 8€ en un escenario de 200Tm hasta producto en fresco y entero (no eviscerado) de 1,5Kg/unidad. Por ello, se debería vender a un precio superior a los 8€/kg para cubrir los costes operacionales y capitales del negocio propuesto para el País Vasco. En las mejores estimaciones de precio, se consiguió llegar hasta 7€/ kg; precio al que llega el producto de salmón fresco al mercado ecológico europeo (7,5€/kg).

AZTI-Tecnalia concluye que: Es técnicamente viable producir salmón de

calidad alimentaria mediante sistemas RAS en el País Vasco; pero en las condiciones actuales de (i.) mercado local con producto Noruego en disponibilidad alta y precio medio/bajo y (ii.) los altos costes de inversión, fijos y variables del RAS, el negocio planteado solo podría ser económicamente rentable si se dirige a la producción ecológica de salmón atlántico. Todo ello, utilizando los recursos propios de la CAPV en cuanto al aprovisionamiento de alevines locales para engorde y minimizando el gasto variable de electricidad mediante la incorporación de sistemas de energía renovable a las plantas de cultivo. Otros posibles escenarios favorables, pasarían por ubicar la misma idea de negocio en mercados externos. En cualquier caso, la alta demanda alimentaria del salmón sigue siendo un factor importante.

La presente justificación técnica final incluye las actividades sobre (i.) Evaluación de instalaciones; (ii.) Evaluación técnica del engorde y (iv.) Evaluación económica. No se han concluido las pruebas de evaluación organoléptica y sensorial por falta de talla comercial disponible. Su justificación será subsanada mediante informe complementario en diciembre 2014. En dicha fecha, el proyecto dispondrá de la información adecuada para validar la viabilidad en consumidor del producto de salmón desarrollado por AZTI.

2. INTRODUCCION

AZTI Tecnalia se encuentra en proceso de desarrollo y demostración de conocimiento tecnológico sobre nuevos modelos de negocio ligados a procesos de producción animal de especies marinas de interés comercial.

Mediante el presente proyecto, AZTI ha pretendido desarrollar un estudio de viabilidad piloto sobre el engorde marino del salmón atlántico (*Salmo salar*) en instalaciones de acuicultura en tierra del País Vasco. Esta iniciativa sirve para evaluar la posibilidad de explotar, de manera económicamente rentable una especie autóctona de aplicación para la industria alimentaria.

Este proyecto surge como iniciativa tecnológica de AZTI. Las pruebas se valoraron en términos de idoneidad de mercado/competencia, rentabilidad, aceptación del consumidor y sostenibilidad ambiental. Las oportunidades y riesgos se contrastaron y consensuaron con agentes del sector empresarial del País Vasco.

Las actividades de acuicultura han servido en varios países como motor para la revitalización de algunos sectores acuícolas y comunidades pesqueras (e.g. Earll, 1880; Solemdal et al., 1984; NRC, 2008). En la CAPV, la falta de espacios en tierra, el uso y calidad del agua para fines marítimos y/o recreación y la falta de una industria con interés y/o necesidad por realizar actividades de producción acuícola, han limitado notablemente su desarrollo. Sin embargo, existen, especies de peces de gran porte y amplia distribución geográfica que son muy atractivas para el consumo alimentario en la CAPV y en España. Especies como el lenguado (*Solea senegalensis*), la merluza (*Merluccius merluccius*), el mero (*Polyprion americanus*), el salmón (*Salmo salar*) o el besugo (*Pagellus bogaraveo*), son especies candidatas para la acuicultura vasca por su alta demanda y aceptación en la cultura alimentaria del País Vasco (DMAPTAP, 2009).

Otros aspectos como el incremento de las importaciones alimentarias a la CAPV y el contexto de consumo de proteína global a la alza, proponen la necesidad de buscar alternativas “complementarias” a la pesca que permitan incrementar la producción de alimentos marinos en el País Vasco y generar ó sostenibilizar el empleo en los colectivos de la pesca y la alimentación (EC 2009. 2007; FAO 2008; FROM 2007; FAO, 2009).

Con motivo del interés mostrado por varias empresas locales, la especie identificada y seleccionada para su cultivo en AZTI fue el salmón (*Salmo salar*).

La especie de salmón atlántico, a día de hoy no ha sido engordada a efectos comerciales, ni en tierra ni en jaulas en ninguna CCAA de España. Específicamente para instalaciones en tierra, países como Francia, Estados Unidos ó Dinamarca ya están desarrollando sistemas de producción de la especie. Noruega es el principal proveedor y productor de salmón del mundo con >500.000Tm de producción y 1.100Mill € anuales de valor. La reciente aparición de las tecnologías de Recirculación de agua propone una gran oportunidad para realizar pequeñas producciones de salmón dirigidas a nichos específicos de mercado. Esta especie de rápido crecimiento y creciente aceptación en el mercado alimentario refiere muchas oportunidades de diversificación en gamas de productos que ya se ven en los supermercados. En lo local, las poblaciones de salmón Atlántico han sido explotadas desde épocas históricas, tanto en los ríos vascos como en el mar abierto; actualmente esta especie es objeto de (i.) programas de repoblación gestionados por las Diputaciones Forales y (ii.) de pesca recreativa.

Los Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS) han estado en desarrollo y perfeccionamiento durante los últimos treinta años. Su objetivo principal radica en la producción de organismos (Ej., peces, moluscos, algas..etc.) para consumo humano de una forma respetuosa con el medio ambiente y de manera económicamente competitiva. La acuicultura mediante RAS puede ofrecer una oportunidad para aumentar la producción de alimentos marinos en el País Vasco, pero sus implicaciones (técnicas, económicas y medioambientales) deben de ser analizadas cuidadosamente.

En términos generales, la calidad del pescado es un reflejo de la calidad del agua y de los organismos en los que ha vivido y alimentado (Wedemeyer, 2001). En este sentido, los métodos tradicionales de acuicultura, como las piscifactorías en circuito abierto y las jaulas en mar abierto, tienen el riesgo de no ser económicamente sostenibles a largo plazo debido a factores relacionados con las variaciones y falta de control del medio ambiente (contaminación, temperaturas, variabilidad, etc.). Este aspecto repercute en los mayoristas y en el consumidor, a los que no se le puede garantizar la misma calidad de producto de manera continua.

Los sistemas tradicionales de acuicultura tienen varias desventajas; por ejemplo: (i.) necesitan de mucho espacio, sitios apropiados y clima adecuado para el cultivo de cada especie; (ii.) proponen dificultades en el manejo de heces y desechos de los organismos que se producen; (iii.) son vulnerables a enfermedades, depredadores y eventos ambientales por su exposición abierta al medio ambiente; y (iv.) son incapaces de llevar al mercado un producto consistente durante todo el año (debido a las variaciones medioambientales durante los ciclos de crecimiento y reproducción.)

Los RAS, sin embargo, mediante un correcto plan de negocio, pueden aportar soluciones a todas esas desventajas identificadas en los sistemas tradicionales y proponer condiciones de sostenibilidad económica basadas en compatibilizarse/aislarse con/del medio ambiente, generar garantías de abastecimiento de producto, seguridad y calidad final de producto.

El éxito de una empresa acuícola comercial depende, en gran medida, de proporcionar el ambiente óptimo para el crecimiento rápido de sus animales, al mínimo coste de recursos y capital (Wedemeyer, 2001). En este sentido, los RAS tienen la ventaja de poder cultivar animales a alta intensidad biológica en condiciones de alta depuración de agua y permitir a la vez la programación controlada del crecimiento mediante itinerarios de cosecha predecible. En términos generales, la base del RAS se logra aislando térmica e hidráulicamente el recinto de producción del medio externo, depurando y recirculando el agua de cultivos mediante sistemas de filtración biológica y mecánica y controlando todos los procesos mediante sistemas informáticos. A diario se aporta renovación de agua nueva; los parámetros ambientales (temperatura, oxígeno, pH, alcalinidad, etc.) se controlan y corrigen automáticamente; los desechos sólidos se filtran y retiran del sistema; también se incorpora oxígeno para mantener la concentración suficiente de acuerdo a los crecimientos de a densidad de cultivo.

El diseño y operación de un SIREA es complejo. Este tipo de sistemas incluye unidades y procesos específicos para (i.) el balances de masas; (ii.) el tratamiento de desechos y eliminación de sólidos; (iii.) la nitrificación; (iv.) la transferencia de gases; (v.) el control de la mecánica de fluidos; (vi.) la evaluación del rendimiento de los sistemas; (vii.) la dosificación de la

alimentación; y (viii.) los controles de la temperatura, humedad y bioseguridad.

Dado que la idea del negocio relacionada con este proyecto, se basaba en la utilización de tecnología RAS para el cultivo empresarial del salmón en Euskadi, a continuación, se detallan las principales ventajas (técnicas y no técnicas) de dichos sistemas:

- Los RAS conservan el calor, el frío y la calidad del agua debido a la reutilización del agua después de haber sido tratada por medio de biofiltración e irradiación.
- Los RAS están diseñados para producir durante todo el año, el mismo tipo y volumen de pescado; este aspecto proporciona una ventaja competitiva sobre los sistemas convencionales (cosechas estacionales y/o esporádicas)
- Los RAS se pueden diseñar a cualquier escala y carecen de restricciones de tipo ambiental.
- Los RAS ofrecen un alto grado de control frente a enfermedades y contaminaciones típicas de la acuicultura en circuito abierto.
- Los RAS permiten el crecimiento optimizado de las especies durante todo el año. Esta optimización es similar a la que se observa en la industria avícola (i.e., granjas en tierra, control ambiental, alta productividad, mejoras en los factores de conversión de piensos, reducción de mano de obra, etc.) y de los cultivos hidropónicos (invernaderos y huertas).
- Los RAS representan una actividad de economía de escala (i.e., alta producción por unidad de área y costes de personal), en comparación con otros sistemas de producción.

En clara línea con la temática del presente proyecto, una ventaja especialmente remarcable de los RAS es que se pueden instalar cerca de los mercados de consumo que interesen. Su implantación cerca de un mercado que pueda minimizar los costes del transporte de los países Nórdicos y maximizar la vida útil del producto de salmón que se ofrece actualmente al consumidor, lo hace atractivo. En este sentido, el producto fresco de salmón es un pescado presente en todos los supermercados y su valor comercial es atractivo para un rango amplio

de consumidores habituales de pescado.

Los RAS requieren más capital de inversión que la mayoría de los sistemas tradicionales de producción y su rentabilidad final reside en maximizar la productividad económica por unidad de volumen de cultivo (por ello la alta densidad). Los componentes operativos que hacen funcionar a un RAS (generadores eléctricos, bombas, etc.) son los principales responsables de aportar las condiciones, potencia y la seguridad al sistema, pero también generan costes energéticos. Por este motivo, en la producción de salmón, el coste y la amortización de estos equipos debe de ser un aspecto importante a evaluar; y contrastado con el precio del kg de producto final generado.

Por este motivo, en este estudio se analizó la rentabilidad de expandir una planta piloto de producción de salmón usando sistemas de recirculación. Los datos de los costes de la planta piloto se usaron como los datos base para las simulaciones. En conjunto con estos datos se usaron asunciones del desarrollo de estos costes con una producción aumentada. Estas asunciones vendrán de la literatura científica o del conocimiento de expertos en este campo de acuicultura.

En términos generales, el proyecto de AZTI persigue validar la viabilidad técnica y económica de producir salmón atlántico para la transferencia del conocimiento a los sectores locales que pudieran explotarlo a escala comercial (productos alimentarios, repoblación, pesca recreativa marina, etc.)

3. GRADO DE AVANCE EN OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es “Evaluar la viabilidad técnica y económica de producir salmón atlántico mediante acuicultura marina”

=> Grado de avance general = 100% (*)

Objetivos específicos:

Definición de modelo de negocio e incorporación de variables operativas (vigilancia del mercado y competencias) de la industria del salmón atlántico.

=> Grado de avance = 100%

Valoración de tecnología RAS para su posible aplicación en el contexto de la actividad de acuicultura de salmón atlántico.

=> Grado de avance = 100%

Evaluación de la viabilidad técnica del engorde del salmón atlántico mediante pruebas de engorde piloto in vivo.

=> Grado de avance = 100%

Evaluación de la viabilidad económica del engorde del salmón atlántico mediante incorporación de inputs biológicos a modelos de rentabilidad específicos.

=> Grado de avance = 100%

Evaluación de la aceptación del consumidor con respecto a los productos derivados (organoléptica y

=> Grado de avance = 0%

(*) No se realizaron las pruebas en consumo por no disponer de individuos en talla comercial. Se realizará en octubre de 2014.

4. MATERIALES Y METODOS

A continuación se realiza la descripción del plan de trabajo realizado para el presente proyecto.

4.1 Diseño ingeniería RAS, instalaciones y eficiencia energética

AZTI diseñó y coordinó las operaciones de construcción de la ingeniería y la instalación piloto de recirculación que han servido para las pruebas de producción de salmón.

Los detalles del diseño de la ingeniería de cultivo se han trabajado con el Instituto Tecnológico – IRTA (Catalunya) y la empresa INGESOM S.L.

Por su parte, la ubicación seleccionada para las instalaciones ha sido un espacio físico disponible en la piscifactoría Orrua en Getaria.

En la construcción de las instalaciones han trabajado tres empresas locales (URSA-calderería plástica, IPARACISA-instalaciones eléctricas y PROQUINORTE-suministros de laboratorio). Se ha dispuesto de un espacio de 400m², preparado en un mismo nivel bajo el misma cubierta y aislamiento. El espacio ha tenido una altura útil de 4 m. Dicho espacio ha sido utilizado por igual tanto para la ubicación de la ingeniería de depuración de agua, como para los 6 tanques de cultivo.

En dicha ubicación, se han instalado 3 líneas de producción piloto: Una línea de salmón a temperatura óptima (rangos, 9-16°C) y una línea de salmón a temperaturas sub-óptima (rango, 9-21° C). La tercera línea se ha utilizado como apoyo a manejos y desdobles. Cada línea, refiere un módulo RAS y sus unidades de cultivo. Los sistemas, inicialmente, se han dimensionado para la producción de 400 Kg de salmón por modulo RAS. Los sistemas de filtración mecánica, biofiltración, desinfección UV,

skymmer, oxigenación, desgasificación parcial y las unidades de producción se han operado de manera independiente desde línea productiva (i.e., un sistema y protocolo de variables térmicas para línea 1 y otro para línea 2).

A su vez, se ha realizado el correspondiente aislamiento térmico y de bioseguridad a la zona de cultivo piloto.

La adecuación de los tanques de cultivo de salmón al espacio de Orrua fue cuidadosamente estudiada. La ocupación máxima de esta superficie se definió mediante la ubicación de 6 tanques, 3 unidades modulares de tratamiento de agua y dos sistemas de refrigeración (bombas de frío). Las medidas de cada unidad de cultivo, propusieron volúmenes útiles de cultivo de 10,14 m³. Todos los materiales y ensamblajes hidráulicos se realizaron en base de polietileno expandido de alta densidad (PE). El diseño hidráulico de las unidades para el engorde de salmón proporcionó un volumen útil de cultivo de 20m³, capacidad máxima de consumo de 3 kg de pienso/día, un rango de temperaturas de 9 a 21°C y consumo eléctrico unitario de 10 a 24Kw/día/módulo. Cada unidad independiente de salmón, dispuso de una sonda de control y monitorización para el análisis de la calidad de agua.

Sin contar el volumen de agua del sistema de depuración, se asumió un volumen aproximado de recirculación de agua de 40,2 m³/hora, para la mejor filtración y desinfección de agua de los sistemas (asumiendo 2,4 renovaciones a la hora, aprox.). Las entradas y salidas de agua a las unidades de cultivo propusieron una hidrodinámica óptima para la natación y alimentación de individuos, una correcta decantación de sólidos en suspensión y la minimización de riesgos operativos (desbordes de agua, facilidad en despesas, etc.).

Los sistemas RAS de cada línea de salmón fueron técnicamente idénticos. El esquema general del proceso de recirculación consistió en hacer pasar las aguas de retorno de los tanques a través un sistema de decantación común, una filtración mecánica, una biofiltración estática, un fraccionador de espumas, un sistema de refrigeración y un sistema de oxigenación mediante biconos. El sistema se concluyó con la definición de un sistema de higienización del agua de aporte mediante agua

recirculante con UV.

La instalación piloto de salmón se conectó a una tubería principal de la planta que llega de dos fuentes de bombeo de agua marina a la piscifactoría con la siguiente fluctuación de temperaturas, Fuente 1: 11,8-24,5°C y Fuente 2: 13,4-18,0°C. Por su parte, el control de la temperatura del agua durante los meses desfavorables, se logró mediante la utilización de una bomba intercambiadora de frío-calor, marca OPTIMA y habilitando consignas específicas para control automático.

El consumo energético de los sistemas, o módulos, se ha llevado a cabo de manera tanto global como específica y detallada. Para la primera se colocaron contabilizadores de energía (uno por módulo) a fin de poder valorar el consumo generado en relación a la cantidad de alimento producido, y con ello analizar las posibles mejoras así como realizar comparativas con otros tipos de sistemas. Dichos contadores registraban diariamente el consumo energético total del sistema que incluye los siguientes aparatos: bomba principal, bomba secundaria, skimmer, ultravioleta (UV), resistencias y bomba de calor. Para el segundo objetivo, y a fin de conocer cuál de los citados aparatos es el mayor consumidor de energía (el que mayor gasto genera), se hicieron mediciones en cada uno de ellos, todos de una semana de duración. Con esto se pretendía valorar y estudiar las razones de los desfases generados y los picos de consumo generados. El instrumento utilizado para tal efecto fue el FLUKE®, analizador de energía y calidad eléctrica portable. Mediante dicho aparato es posible medir diversas variables como la tensión, corriente, intensidad.

4.2 Evaluación de la viabilidad técnica del cultivo de salmón.

Durante las prueba de engorde de salmón, se fijaron los (i.) métodos y ritmos de alimentación (automatización y piensos); (ii.) los ciclos de luz y temperatura; (iii) la calidad bioquímica del agua; (iv.) la hidrodinámica del agua en los tanques; (v.) la densidad y el protocolo de manejo, clasificado y bajas de individuos; y (vi.) los

métodos de clasificado y cosechado final. Todo ello mediante los protocolos específicos de AZTI y las claves de negocio propuestas para el salmón.

El suministro de alevines de salmón (peso medio 50g, aprox.) se realizó desde Irlanda mediante transporte en barco ferry. El pienso se suministró de manera específica (tipo, marca SKREETING, cantidad y frecuencia) de acuerdo a los requerimientos biológicos del engorde de la especie. No obstante, mencionar que se usaron piensos provenientes de Noruega con formulación idéntica (gama de piensos con soja) a los convencionales por utilizados por el sector.

Las técnicas de estudio aplicadas durante la fase de seguimiento de la calidad de agua fueron: (i.) medición de parámetros físico-químicos del agua (Temperatura, Oxígeno, Salinidad, CO₂, Ph, sobresaturación de gas, Turbidez, NH₃, NH₂, NO₃, Ozono, Bromo, Cloro, y Formaldehído, principalmente); (ii.) medición de parámetros microbiológicos en agua (ausencia/presencia de *Vibrio* y mesófilos totales); (iii.) medición del crecimiento en peso, biomasa, talla, índice hepatosomático y tasas de conversión de alimento en individuos; y (iv.) medición de la mortalidad de individuos.

Los metabolitos de nitrógeno, el Ozono, Bromo, Cloro, y Formaldehído se analizaron mediante un espectrofotómetro portátil multiparamétrico DR 5000 (Hach, Spain). Los parámetros sobre temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y Ph se analizaron mediante un sensor YSI 556 multiprueba (YSI, U.K). El nivel de sobresaturación de gases en el agua se analizó mediante un sensor de P4 Tracker (Point Four Systems, Canada). El nivel de CO₂ libre en agua se midió mediante un analizador Oxyguard Portátil (Point Four Systems, Canada).

Para determinar el punto control en la calidad de agua de cada sistema de recirculación, el día anterior a la introducción de los individuos (día cero) se realizó un primer análisis de cada sistema. Previa entrada de stock biológico, cada sistema se mantuvo en maduración microbiológica de biofiltros durante 15 días.. A continuación, 1 vez a la semana se realizó toda la batería de analítica de aguas, mencionada. Con el fin

de valorar rendimiento, los valores muestreados correspondieron a la entrada y salida del agua de cada sistema de depuración; en este sentido, se consideraron valores bibliográficos para la referencia de la calidad de agua de cultivo (Colt, 2000).

Para determinar las pautas del crecimiento de los peces, para cada línea de salmón, se muestrearon lotes de 24 individuos cada 3-4 meses. Estos individuos se pesaron, midieron en talla y en algunos casos se les extrajo el hígado para cálculos de índice hepatosomático. Para determinar las diferencias sobre mortalidad entre los diferentes sistemas, diariamente se contabilizarán los individuos muertos de cada tanque. A su vez se contabilizó el gasto de pienso por unidad de cultivo y se calcularon los ratios de conversión alimentaria (FCR). Todo esto sirvió para realizar el seguimiento del rendimiento de las biomasas y los controles de la supervivencia y ritmo alimentario de los stocks de engorde. El seguimiento biológico se dará por concluido tras un plazo de 14 meses, aunque en la presente justificación se presentan los datos de engorde tras 7 meses (por no haberse podido realizar más avance).

4.3 Evaluación de la viabilidad económica del cultivo de salmón

Esta tarea trata de analizar la rentabilidad de la producción de salmón mediante tecnologías de recirculación. Se han simulado 15 meses de datos económicos y biológicos de la prueba piloto mediante 5 escenarios. El escenario 1 es la prueba piloto dónde se habrían engordado 1.700 kilogramos de salmón hasta talla media 1,2 kg durante 15 meses. El segundo escenario simula el engorde de 60,000 kg de salmón de talla medio 1,5 kg y el tercero la misma cantidad de talla medio 3 kg. Posteriormente los escenarios simularán 200.000 kg de talla media de 1,5 y de 3 kg. Todos los escenarios se han tratado de analizar, además, con tres niveles de precios, altos, medios y bajos.

4.3.1 Generalidades escenario económico

La planta piloto produce 1,700 kg de salmón por ciclo que dura 14 meses. En esta prueba piloto 2.725,8 kg de pienso se gastó en alimentos para producir 1.700 kg de salmón. En las simulaciones de producción mayor esta ratio de conversión de alimento (*FCR en sus siglas en inglés*) tendría que bajar desde esta 1,6 hasta 1,2 para asegurar eficiencia en el proceso. Otros costes, asimismo tendrían que racionalizarse para una producción eficiente, por ejemplo el coste de alimento por kg. Para el cálculo de beneficio, se usarán tres precios por kg: el promedio, un precio bajo y un precio alto, con varianzas de 33% alrededor del promedio.

Las simulaciones aumentan la producción a 60,000 kg y a 200,000 kg. Para cada producción dos periodos de cultivación se usa según el peso individual de salida. El primero es de un periodo similar al de la planta piloto; esto es, 14 meses para producir salmón de un peso de 1,5 kg cada uno. El segundo periodo es de 26 meses para el engorde de salmón de 3 kg cada uno. Los escenarios comerciales están ordenados así:

- Escenario 1: 60 toneladas de salmón de 1.5 kg con periodo de 14 meses
- Escenario 2: 60 toneladas de salmón de 3 kg con periodo de 26 meses
- Escenario 3: 200 toneladas de salmón de 1.5 kg con periodo de 14 meses
- Escenario 4: 200 toneladas de salmón de 3 kg con periodo de 26 meses

A continuación se detallan los costes de inversión, costes fijos y costes variables para la planta piloto.

4.3.2 Análisis de los datos de la planta piloto

Para el análisis de datos es importante separar todos los gastos en las categorías adecuadas, en este caso la inversión en la planta, los costes fijos y finalmente los costes variables de la operación.

La inversión es el gasto en todo el equipo, la tierra y el edificio necesario para empezar la operación. Este gasto se paga una vez al principio del proyecto. En este caso el cliente ya dispone de tierras y el edificio para la prueba piloto. Entonces, la inversión se compone de los siguientes componentes listados en la Tabla 1.

Tabla 1. Inversión realizada en planta piloto.

INVERSION	Precio	Cantidad	Instalaciones	equipos
Cerramientos	3.880		si	
Fontanería	15.011		si	
Instalación eléctrica	11.350		si	
Construcción de tanques	13.600	2		si
Valvulería	560		si	
Módulos de Ingesom				
Maduración Biofiltro	288			si
Total	44.689			

Los costes fijos y los costes variables de un proyecto cubren todos los costes de un proyecto después de la inversión inicial. Los costes fijos están presentes aunque no haya ventas. Su definición es ellos costes que no fluctúan con el volumen del negocio. Costes variables son ellos que cambian directamente con el volumen de ventas. En acuicultura el alimento es el ejemplo mejor de un coste variable porque depende en el volumen de

producción y ventas (Rourke, 1996). A veces, un coste puede tener un elemento fijo y otro variable, en este caso hay que separarlos, por ejemplo con la luz (la línea y el consumo).

Antes de olvidarnos de la inversión inicial hay que incluir la depreciación de la capital invertido en la planta. La depreciación es un coste fijo y representa la pérdida en valor de la inversión. Otros costes relacionados con la inversión son el interés sobre préstamos para la inversión y mantenimiento. Desde que en este análisis el negocio no ha pedido préstamos y ha invertido de fondos propios solo incluiremos los costes de depreciación y mantenimiento.

Se usará el método de depreciación de línea recta (*straight line depreciation en inglés*), donde el valor inicial se divide por su vida útil para dar un valor anual de depreciación. Mantenimiento se calcula como 1% para el edificio, 5% para las instalaciones y 10% para las máquinas y equipos.

Tabla 2. Depreciación y mantenimiento de capital invertido.

Costes Fijos de la inversión	Precio €	Vida Op. Estd.	Dep. Anual	Dep. Mensual	Manten. Anual	Manten. Mensual
Cerramientos	3880	20	194	16	194	16
Fontanería	15011	10	1501	125	751	63
Instalación eléctrica	11350	10	1135	95	568	47
Construcción de tanques	13600	20	680	57	1360	113
Valvulería	560	5	112	9	28	2
Módulos de Ingesom					0	0
Maduración biofiltro	288	10	29	2	29	2
Total	44689		3651	304	2929	244

El siguiente paso en el análisis ha sido separar los gastos entre los fijos y los variables. Esto es importante porque con el futuro expansión de la planta hay ciertos costes que aumentarán con producción más que otros. Los costes variables subirían de una forma directa con la producción. Los costes fijos también subirán pero de una forma no directa. En la tabla 3 se ve los costes totales de la instalación experimental. Los costes de AZTI no se han incluido en esta tabla para dar una visión más clara de los costes directamente relacionados con producción. El coste de AZTI (€55.950) se podría incluir en la inversión dado la natura del servicio.

En la tabla 3 se ve que el coste más importante en la planta piloto es el sueldo de los trabajadores, con 40% del total. En segundo coste más importante es la electricidad con 13% del total seguido por la compra de stock con 11%

Tabla 3. Costes totales de la instalación experimental (Costes de AZTI no incluidos)

Categoría	Total	Fixed Cost	Variable Cost	% Fxd-Total	% Var-Total	% Total Cost
Inversión	44689					
Depreciación	4564	4564		8	0	8
Electricidad - Contrato y consumo	8662	1003	7659	2	13	15
Alimento	4636		4636	0	8	8
Carga / embalaje	0		0	0	0	0
Gas / diesel	0	0		0	0	0
Administración general, gastos de oficina	0	0		0	0	0
Seguros	1198	1198		2	0	2
Honorarios legales	0	0		0	0	0
Mantenimiento - Todo	3661	3661		6	0	6
Marketing / Publicidad	0			0	0	0
Oxígeno - Todo	1109	15	1094	0	2	2
Permisos	0	0		0	0	0
Teléfono / Internet	0	0		0	0	0

Sueldos mantenimiento - ORRUA	23243	0	23243	0	40	40
Químicos / productos de limpieza	0	0		0	0	0
Seguridad	0	0		0	0	0
Compras de "stock"	6146		6146	0	11	11
Viajes / conferencias	0		0	0	0	0
Costes de vehículos	0	0		0	0	0
La calidad del agua, evaluación de salud de los peces	4486		4486	0	8	8
agua	0	0		0	0	0
Total Gastos Operativos	57705	10441	47264	18	82	100
Interés	0	0		0	0	0
Gastos Totales	57705	10441	47264	18	82	100

4.3.3 Asunciones para las simulaciones

Para simular los escenarios hay que tener una idea de los costes por unidad de producto. Como se puede ver en la tabla siguiente, los costes fijos y variables por unidad de producto (1 kg de salmón) son altos.

Tabla 4. Costes por unidad (AZTI no incluido)

	Total	Producción-kg	Coste por kg - €
Inversión	44.689	1.700	26
Costes Fijos	10.441	1.700	6
Costes Variables	47.264	1.700	28

Si asumimos que los costes fijos no cambiarán, o por lo menos no cambiarán mucho, podemos mirar a los costes variables para ver cuál de ellos puede variar.

Tabla 5. Costes Variables por kg

Coste Variable	€ por kg
Sueldo	13,67
Electricidad	4,51
Stock	3,62
Alimento	2,73
Calidad agua	2,64
Oxígeno	0,64

Está claro que en condiciones normales, un aumento de producción aumentarán estos costes. Sueldo es el coste variable más importante seguido por luz y el stock. Sorprendentemente, lo que se gasta en adquisición de stock es casi idéntica a los ingresos totales, un resultado que de partida muestra poca oportunidad de negocio

4.3.4 Estimación de los costes de la inversión

Las cuatro simulaciones demandan una producción mayor que la de la planta piloto por lo cual el cliente tendrá que invertir en una instalación mayor. En la tabla 6 se muestra los costes de la inversión de la planta piloto junto con las estimaciones de los costes para cada simulación. Ver de detalles en figura 1.

Tabla 6. Coste de las inversiones (real y simuladas)

	Planta Piloto	Planta Piloto	Sim. 1	Sim. 2	Sim. 3	Sim. 4	Método
	Precio €	Unidades					
Suelo industrial*	19.451	1	275.000	275.000	770.000	770.000	Estimación experto
Instalación eléctrica	11.350		28.375	28.375	62.425	62.425	Por unidades
Construcción tanques	13.600	4	293.564	293.564	645.840	645.840	Estimación experto
Maduración biofiltro	288	1					Presupuesto
Filtros		1	11.858	11.858	17.182	17.182	Presupuesto
Total	44.689		608.797	608.797	1.495.447	1.495.447	

* incluye cerramientos, fontanería, valvulería y módulos de Ingesom

El suelo industrial costó €19.451 en la planta piloto. Para estimar los costes del suelo industrial en las simulaciones se usa un coste de €110 por m² lo que representa el coste de cimentación, paredes, suelo, techos, revestimiento e infraestructuras. Para las simulaciones 1 y 2 se estima que el espacio necesario sería 2.500 m² y aproximadamente 7.000m² para escenarios 3 y 4. Entonces el coste para las dos parejas de simulaciones sería €275.000 y €770.000 respectivamente.

En las simulaciones se ha estimado el coste de los tanques tomando en cuenta la densidad del stock de peces por m³. En la planta piloto se usó 4 tanques de 9.000 litros, que suma a una capacidad de 36m³ totales. Para el salmón se ha demostrado que una densidad de entre 30 y 40 kg por m³ es el rango más adecuado para su producción. Así, en los escenarios 1 y 2 se requeriría un volumen de 2000m³ para producir 60 toneladas y en las escenarios 3 y 4 una volumen de 5000m³. El tamaño de los tanques usados en la planta piloto han sido diseñados para una producción modesta así que para estas simulaciones tanques de mayor volumen serían más adecuados. Así, el volumen de tanques se ha fijado en 236m³ para las cuatro simulaciones. Con tanques de este tamaño se requeriría 10 para

los escenarios 1 y 2 y 22 para los escenarios 3 y 4. En la venta de tanques el coste se asigna por la superficie del mismo. En la planta piloto los tanques tienen una superficie de aproximadamente 20 m² para un coste de €170 por m². En las simulaciones una superficie de 173 m² por tanque da un coste de €29.356 cada uno. Esto da el coste final de los tanque para escenarios 1 y 2 de €293.564 y para escenarios 3 y 4 de €645.840.

Los costes de los filtros vienen de un presupuesto de la empresa “Valenciana de Acuicultura, S.A.”. Para los escenarios 1 y 2 un Drumfilter 501, con capacidad de 6.000 litros por hora cuesta €9.800 (sin IVA) mientras para los escenarios 3 y 4 un Drumfilter 801 con capacidad de 14.000 litros por hora cuesta €14.200 (sin IVA).

La instalación eléctrica se ha simulado por la cantidad de tanques en cada escenario. En la planta piloto se usó 4 tanques así que en los escenarios 1 y 2 el coste aumentaría 250% (10 tanques) y en los escenarios 3 y 4 el coste aumentaría 550% (22 tanques).

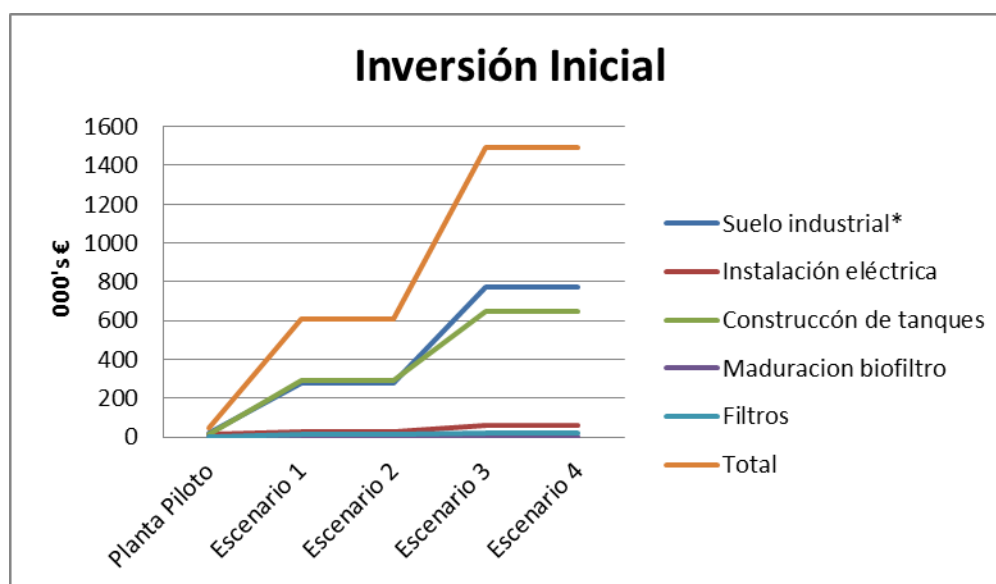


Figura 1. La inversión inicial requerido para cada escenario

4.3.5 Estimación de los costes fijos

Los costes fijos de la producción de salmón incluyen la depreciación de la inversión, mantenimiento de los equipos y los tanques de oxígeno, el contrato de luz y el seguro. En tabla 7 se muestra las estimaciones de los costes fijos para cada escenario. Ver detalles en figura 2.

Tabla 7. Estimación de los costes fijos

	Planta Piloto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Depreciación	4.564	55.313	98.876	139.737	242.211
Mantenimiento	3.691	57.739	100.240	135.174	237.834
Luz	1.003	1.003	1.739	1.003	1.739
Seguro	1.198	42.299	73.318	140.996	244.393
Total	10.441	156.054	270.573	416.776	724.177

La depreciación representa la pérdida de valor de la inversión. En este estudio usamos depreciación de línea recta, entonces se ve que con una inversión mayor la depreciación también será mayor. La depreciación ha sido calculada para cada parte de la inversión. Los tanques tienen una vida operacional de 20 años, la instalación de 10 años y los equipos 5. El mantenimiento ha sido separado entre el edificio (1% del valor), las instalaciones (5% del valor), y los equipos (10% del valor). El contrato de luz no cambia entre las simulaciones. Las diferencias en la tabla son debidos a la duración de la simulaciones (14 y 26 meses). Finalmente, el coste de seguro se ha vinculado con la producción, de 1,7 t en la planta piloto hasta 200t en las últimas simulaciones.

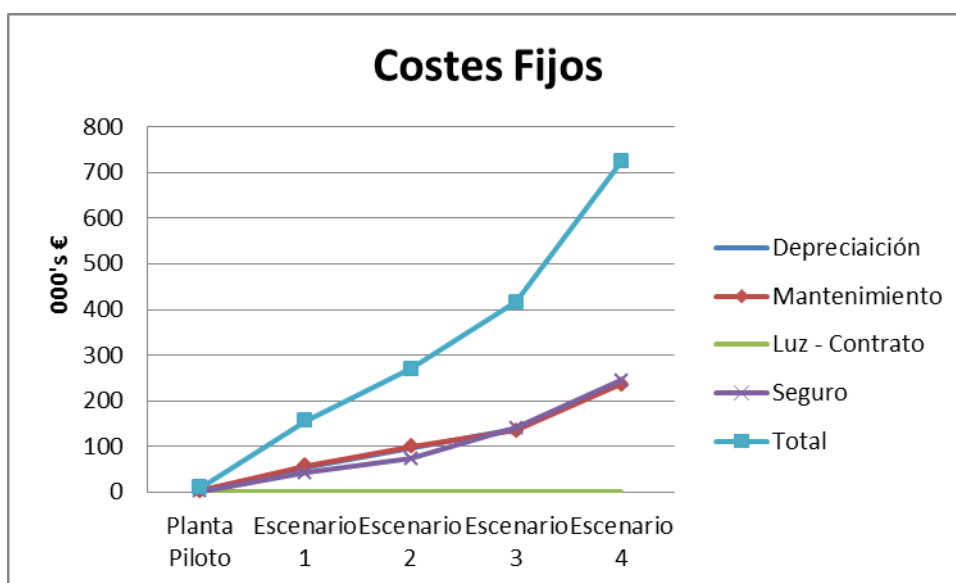


Figura 2. Los costes fijos

4.3.6 Estimación de los costes variables

Los costes variables consisten del consumo de luz, alimentos, oxígeno, compras de juveniles, la calidad de agua y sueldos. Estos costes varían según la producción. Los costes por escenario se pueden ver en la tabla 8. Ver detalles en figura 3.

Tabla 8. Los costes variables por escenario

	Planta Piloto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Electricidad - Consumo	7.659	104.305	90.398	347.684	301.326
Alimento	4.636	105.613	106.251	273.877	274.515
Oxígeno	1.094	17.590	16.195	56.245	50.143
Sueldos	23.243	243.787	365.211	276.875	422.564
La calidad del agua	4.486	11.216	20.029	24.675	42.300
Compras de "stock"	6.146	60.000	30.000	150.000	75.000
Total	47.264	542.512	628.083	1.129.356	1.165.848

El coste de luz se estima del conocimiento de profesionales en este campo (Iparacisa S.L y ORRUA S.L). Para el escenario 2 se ha asumido que se necesita 45kV de luz por hora para el consumo regular mientras el consumo para refrigeración/temperaturas ambientales gasta 120 kV por hora durante las horas del verano. En escenario 3 se usaría la mitad de este consumo pero para una duración más largo (26 meses en vez de 14). Escenarios 4 y 5 aumentan este coste según la producción.

El alimento es una de las variables más importantes en acuicultura. Los costes dependen de la cantidad necesario, el coste por kg y su transporte a la planta. Para estimar la cantidad necesaria se usa el ratio de conversión de alimento (*FCR en sus siglas en inglés*). En las simulaciones 1 y 2 se usa un FCR de 1,2, entonces para cultivar 60t de salmón hace falta 72t de alimento. En las simulaciones 3 y 4 se usa un FCR de 1,1, para una producción de 200t hace falta 220t de alimentos. El coste por kg se estima en €1,35 para los primeros dos simulaciones y de €1,15 para los últimos dos.

En el escenario 1 se estima una plantilla de tres trabajando ocho horas al día y cinco días a la semana. Una persona en contabilidad, un director de la planta y un guardia de seguridad durante el fin de semana. En simulación 2 habría dos personal, uno de contabilidad, un director y un guardia. En simulación 3 los trabajadores aumentan a cuatro mientras en simulación 4 la plantilla reduce e a tres trabajadores.

El gasto en oxígeno cubre tres partes; la cantidad de oxígeno usado, la cuota criogénica y la descarga. Se asume que la cantidad usado está relacionada con la producción. La cuota criogénica está fijado en el total que paga la empresa (en la planta piloto se ha asumido un porcentaje de 5% del total para esta variable. Finalmente, la descarga cuesta lo mismo independiente de la cantidad descargada, siguiendo el patrón de descargas que en la planta piloto (~6 anuales).

Las pruebas de calidad de agua no deberían estar vinculadas a la producción, sino el volumen de agua o el número de tanques. Se usaron 4 tanques en la planta piloto, mientras se estima el uso de 10 en simulaciones 1 y 2 y 22 en simulaciones 3 y 4.

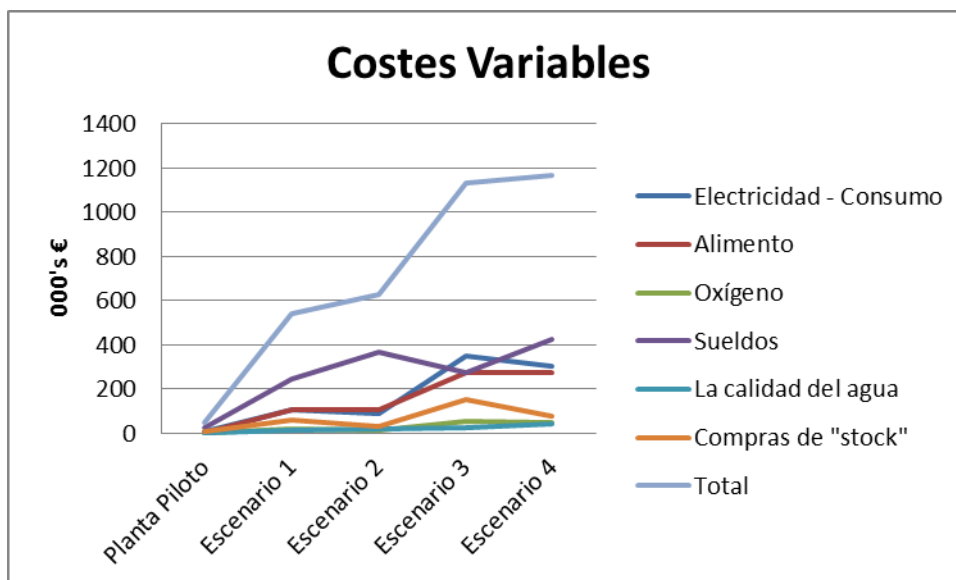


Figura 3. Los costes variables

4.3.7 Estimación del beneficio

El precio de salmón está influido por varios factores como la calidad, frescura, el tiempo de llegar al mercado entre otros factores. Salmón de acuicultura tiene la ventaja de que se puede controlar la producción, asegurando así un suministro al mercado regular y constante. El precio por kg depende del peso del individuo (un tamaño mayor recibe un precio mayor por kg), pero también de la frescura y del origen (FAO, 2004).

La venta de 1.700 kg de salmón a un precio de €3,90 daría ingresos totales de €6.630 en la planta piloto. Este precio iguala al precio de salmón de piscifactoría Noruega,

pero hay incertidumbre si salmón de aquí alcanzaría este precio. Un estudio irlandés ha notado que el precio para salmón de acuicultura ha estado alto y relativamente estable en los años anteriores a 2009 (Fitzgerald et al., 2010). Notaron los autores que el precio de salmón ecológico en Irlanda alcanzó los €7,5 por tonelada y los de salmón normal los 3,0€/kg. En el contexto de las simulaciones para la CAPV se manejarán precios más acordes de 3 a 6€. FAO explica que el salmón de acuicultura además de proponer unos beneficios alimentarios (fuente de omega 3) concretos y apreciado por el consumidor, propone ya la posibilidad de un suministro estable mensual, por lo avanzadas que se encuentran sus técnicas de producción (FAO, 2004).

En este análisis se usará tres precios, el promedio (€3-4,50), un precio bajo (€2-3) y un precio alto (€4-6), éstos últimos dos teniendo una variación de 33% alrededor del promedio. Sin embargo, para cada tamaño final se usará un rango de precios. Para el tamaño normal de 1,5kg los precios varían entre €2-4 kg mientras para el tamaño mayor de 3kg los precios varían entre €3-6 kg.

5. RESULTADOS

5.1 Diseño ingeniería RAS y realización de instalaciones de salmón

Durante 2012-2013, se realizaron reuniones con instituciones usuarias de sistemas de recirculación (IRTA) y proveedores locales dedicados a servicios de instalación hidráulica y eléctrica.

En estas reuniones, AZTI concreto los aspectos referentes a los requisitos logísticos, herramientas y método de producción con los grupos colaboradores del

presente proyecto. Tras ello, se definió la ingeniería RAS para el cultivo de salmón.

AZTI diseño junto con IRTA (Instituto de Investigación) e INGESOM, la ingeniería definitiva de la instalación para las pruebas piloto de salmón.

A fecha de abril 2012, se concluyeron exitosamente todos los procesos sobre instalación de la ingeniería, en los que colaboraron empresas locales como Calderería URSA (Gipuzkoa), Electricidad IPARACISA (Bizkaia) ó Proquinorte (Bizkaia) (Figura 9).

La instalación piloto realizada para salmón quedo instalada y ocupando una zona de 400 m² aprox. con dimensión para producción de 1 T/año de salmón.

A fecha de diciembre de 2013, se realizan mejoras continuas para tratar de optimizar los sistemas y componentes, sus rendimientos y consumos.

Los equipamientos instalados para salmón han incluido:

1. Sistema hidráulico: Cada unidad de recirculación se ha configurado en base a 2 circuitos independientes; uno de tratamiento y otro de oxigenación con control de caudal independiente para cada uno. El volumen total de recirculación por sistema son 20 m³ y la velocidad de recirculación es 35 m³/hora. La renovación de agua de aporte ha oscilado del 5% al 100% horario, según configuración. (ver componentes en figuras 10 y 11). Los sistemas han quedado fabricados con tubería de PVC DN65 y los siguientes elementos: (i.) bomba principal (controlada por variador); (ii.) bomba recirculación (controlada por variador); (iii.) filtro de arena (Diámetro 900mm; limpieza manual; posibilidad de bypass); (iv.) filtro biológico (Capacidad de 850 litros, con biobolas de 1000m²/m³, limpieza manual, sin enjuague y posibilidad de bypass); (v.) filtros de cartucho (diseñados para un caudal máximo de 10m³/hora) con 2 grupos con filtrado de 50micras y 10micras y posibilidad de bypass); (vi.) ultravioleta (2 unidades de 15m³/hora y posibilidad de bypass); (vii.) resistencias (2 unidades de 9kW); (viii.) skimmer (Diseñado para 10m³ con circuito independiente de la

impulsión principal); (ix.) aireación (realizada en el tanque de expansión con 8 aireadores en rejilla); (x.) caudalímetro (tipo cristal); (xi.) palets (tipo higiénico); (xii.) tanque de expansión (tipo palet y libre en la parte superior); (xiii.) oxigenación (Bicono de oxigenación de hasta $15\text{m}^3/\text{hora}$) (Figura 8.).



Fig.9. Detalles de la instalación realizada. Aislamiento; cuadro de control; módulo con componentes de tratamiento de agua; y línea de tuberías para caudal primario.



Fig.10. Componentes particulares instalados. Sistemas de refrigeración de agua; soplantes de aire; cuadros electrógenos y luminarias sobre los tanques y pasillos.



Fig.11. Detalles de la instalación realizada en la planta de debajo de la piscifactoría de Orrua para el cultivo de salmón. Se trasladaron y reconstruyeron 6 tanques, 2 (+1 nuevo) módulos con componentes de desinfección y control térmico del agua y variables mediante sistemas automátata; también se realizaron, varios trabajos de re-canalización de agua.

2. Sistema Térmico: 2 bombas de Calor aire-agua dimensionada para los siguientes datos (contando con las resistencias): Rango Temperatura Ambiente: Máxima 29°C y Mínima 7°C. Rango de Consigna: Máxima 16°C y Mínima 7°C. Temperatura agua de red: Máxima 21°C y Mínima 11°C.

5. Sistema de Control: El control del módulo se ha realizado por medio del uso de autómatas programados. A través de una pantalla táctil, se ha parametrizado el comportamiento del sistema. Además se ha realizado una monitorización y control diario de los rangos de temperatura, caudal, pH y oxígeno. Para el control del caudal, el sistema ha dispuesto de dos circuitos independientes entre sí. Por uno se ha depurado e agua y por el otro se ha oxigenado y recirculado parcialmente. Los valores de recirculación de cada uno se han ajustado individualmente de acuerdo a las necesidades experimentales. Para el control del oxígeno se ha realizado un control promediado, mediante consignas establecidas, del valor requerido en cada momento para cada uno de los módulos. El control de la temperatura, se ha mantenido en régimen automático mediante consignas y trabajando con bomba de calor ó resistencia cuando ha hecho falta. Durante los meses en los que la temperatura natural del agua del mar ha bajado de 16°C, se ha trabajado en sistema abierto sin control térmico. El sistema de control térmico ha enviado alarmas de aviso por SMS y recogido valores históricos de fallos, temperaturas, niveles de oxigenación, pH y caudales, principalmente. De un modo similar, se han recogiendo valores de consumo eléctrico, para poder realizar las evaluaciones energéticas del rendimiento del sistema. En las figuras 12 y 13, se muestran algunos detalles gráficos del diseño del sistema RAS general.

Semanalmente, las actividades de mantenimiento de los sistemas RAS, se realizaron mediante operaciones rutinarias de limpieza de filtros, retrolavados, limpieza de skimmer, calibración de sensores y regulación de caudales, principalmente. El consumo energético de los sistemas, derivado del enfriamiento del agua y de la recirculación de los caudales, también fue controlado de manera continua. Todas estas actividades, las desarrolla el equipo de investigación de AZTI-Tecnalia.

El agua de aporte nuevo utilizada durante las pruebas de I+D+i es la resultante de un primer tratamiento con ozono que se aplica en las instalaciones de producción comercial de la piscifactoría que aloja las pruebas; de ahí, el agua se recircula por cada sistema de módulo correspondiente.

El enfriamiento/calentamiento automático del agua y las variables de control (ie., oxígeno, temperatura y pH, principalmente) ha sido mantenido eficazmente. Tras finalización de las pruebas piloto, no se ha detectado ningún problema relacionado con la bioseguridad o la transmisión de agentes patógenos entre módulos. Eventualmente, existieron problemas relacionados con la generación de la sobresaturación de gas nitrógeno, excesivos retro-lavados y la programación de los autómatas programables; aspectos sobre los que actualmente AZTI continua realizando actividades orientadas a la optimización del sistema.

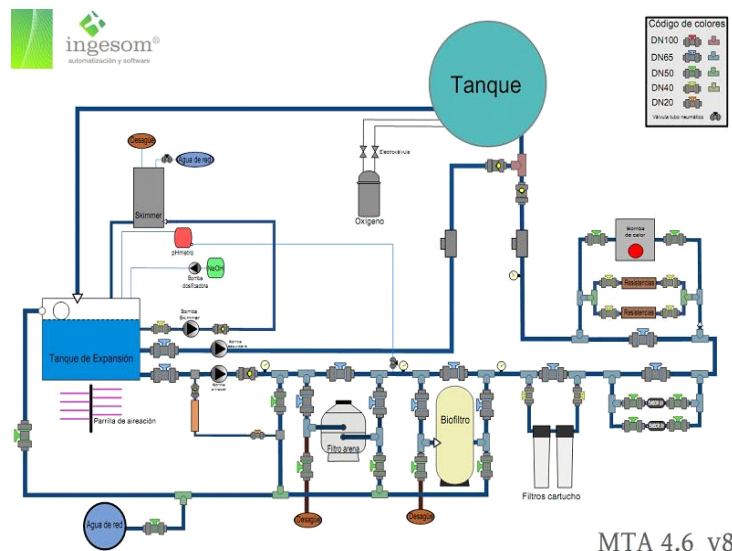
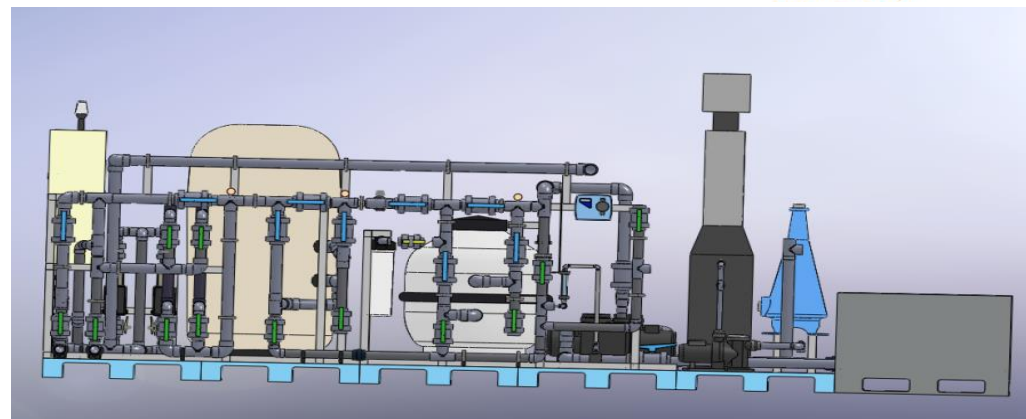
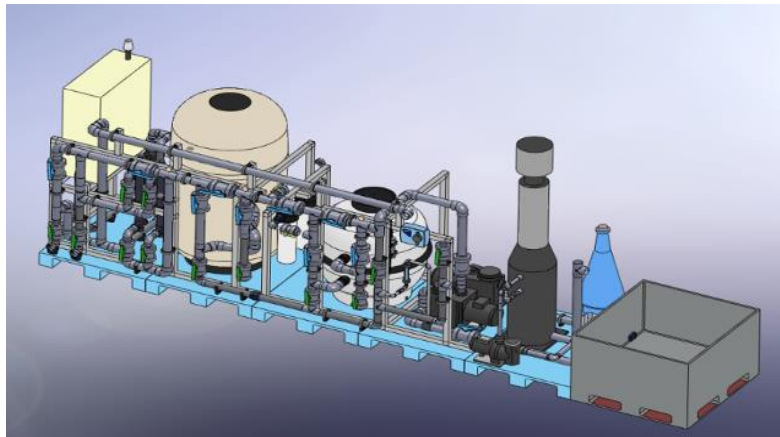


Fig. 12. Diseño establecido para cada unidad de proceso de módulos de recirculación

(A)



(B)

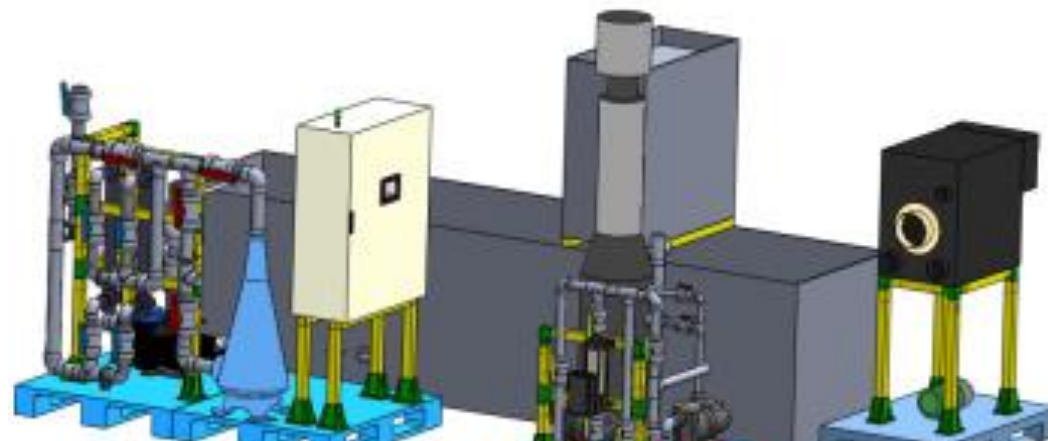
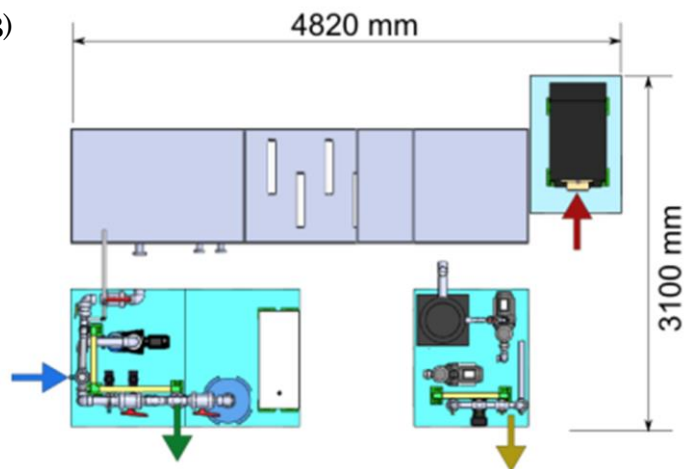


Figura 13. Instalaciones piloto RAS diseñadas para el salmón: (A.) Ubicación en planta y ubicación en alzada del formato de modulo adoptado para 2 líneas experimentales. (B.) Ubicación en planta y ubicación en alzada del formato de modulo adoptado para 1 línea experimental de salmón.

El consumo energético de los sistemas RAS utilizados se ha llevado a cabo de manera tanto global como específica. Los resultados de los contabilizadores de energía se muestran en la figura 14, mediante el valor de consumo energético generado, durante un tiempo determinado y de manera comparativa entre módulos (líneas experimentales). Se observan diferencias significativas en el consumo de energía entre módulos basados en picos de consumo frecuente y elevado. Se observa una relación no lineal e independiente con el tiempo. En cuanto a la energía consumida por kg de pescado producido en los módulos piloto, se obtiene un consumo de 36,13 kWh/kg de pescado producido.

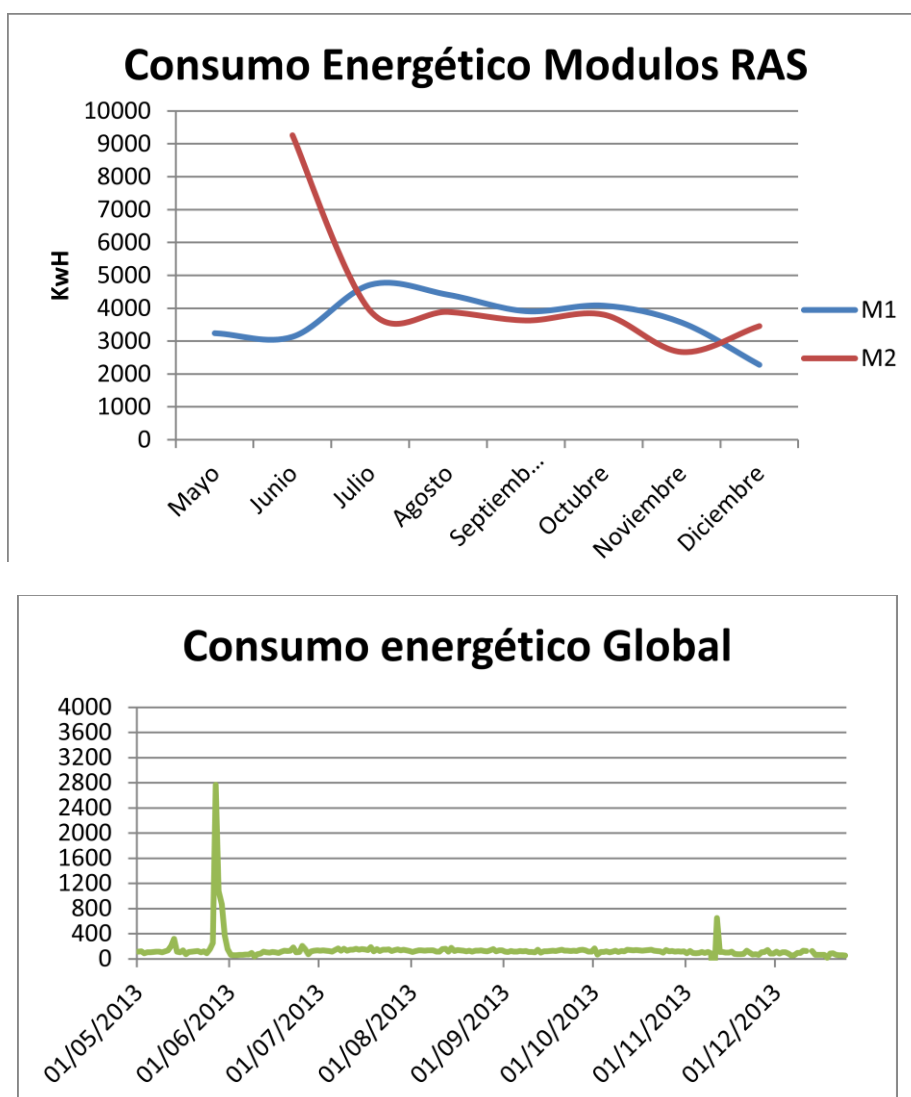


Figura 14. Consumo energético de las líneas de RAS piloto, durante el periodo 2013 analizado.

En términos generales, los módulos de recirculación experimental diseñados e instalados por AZTI-Tecnalia e IRTA han trabajado (i.) semi-correctamente en cuanto a filtración mecánica, desinfección y biofiltración; (ii.) correctamente en cuanto a aporte de oxígeno; (iii.) correctamente en cuanto a control de variables operativas y avisos de emergencia; (iv.) correctamente en cuanto a hidrodinámica de cultivo; (v.) correctamente en cuanto a enfriamiento de agua; e (vi.) incorrectamente en cuanto a gasto energético. Tras el trabajo realizado con los RAS piloto se observó que (i.) el alto consumo de kilovatios (derivado de la recirculación de 2 caudales, la operación de sistemas de higienización y la refrigeración del agua), (ii.) la saturación de gas observada en los sistemas y (iii.) la baja capacidad de la filtración mecánica seleccionada, hacen plantear la necesidad de optimizar la ingeniería de cara al desarrollo de próximas pruebas.

5.2 Evaluación de la viabilidad técnica del engorde de salmón

Las actividades de I+D+i comenzaron en abril de 2013 y finalizaron en diciembre de 2013; aunque, actualmente AZTI continua con el mantenimiento y engorde de stocks hasta noviembre 2014 (total 19 meses). Todo ello, a fin de llegar a disponer de individuos de peso comercial superior a 2 kg.

Durante las pruebas de producción de salmón, se estabilizaron correctamente (i.) los sistemas y ritmos de alimentación (personal en planta y piensos SKRETTING, respectivamente); (ii.) los ciclos de luz y temperatura (15L: 9O); (iii) la calidad bioquímica del agua de acuerdo a estado de maduración de biofiltros; (iv.) la hidrodinámica del agua en los tanques; y (v.) el protocolo de manejo de individuos de acuerdo a las necesidades de seguridad animal en experimentación.

Aunque los individuos de salmón vinieron limpios de parásitos provenientes del sistema de transporte de Irlanda, se realizaron 4 baños de formol en abril 2013 para prevenir infecciones post-transporte. En junio 2013, con motivo de la aparición de 2 brotes de vibriosis y forunculosis, se adicionaron también oxitetraciclina y baños de formol al sistema para eliminar la enfermedad. También se adicionaron soluciones de cultivos bacterianos al biofiltro (nitrosomas y nitrobacter) para propiciar el establecimiento de biofilms, acelerar el estado de maduración y propiciar la digestión heterotrófica y la conversión del nitrógeno amoniacal a nitrato. No se adiciono ningún agente químico durante el resto del experimento.

El seguimiento biológico de la experiencia de salmón se inició con un stock de 1500 individuos alevines provenientes de Irlanda.

Los alevines se transportaron en camión desde County Mayo (IR), hasta Plymouth (U.K), mediante ferry hasta Bilbao y mediante camión hasta las instalaciones preparadas por AZTI en Orrua (Gipuzkoa). El método de transporte fue mediante camión convencional especializado y equipado con sistemas de control de calidad de agua (temperatura, oxígeno, CO₂, etc.) para transporte de peces. Los

individuos se distribuyeron a razón de densidades equivalentes entre 2 de los 4 diferentes tanques disponible módulo y la mortalidad post-transporte se consideró nula.

El crecimiento se evaluó desde el mes de abril 2013 hasta el mes de diciembre 2013 mediante 2 líneas separadas de stock experimental a un único rango de temperatura natural (11-18°C). Con motivo de las enfermedades que surgieron en junio, no se pudo realizar el experimento de incrementos térmicos hasta los 21°C. Ambas líneas se mantuvo en el rango de temperatura del medio natural durante los meses fríos y en consigna de 16°C durante los meses cálidos. Las pruebas de crecimiento y supervivencia a la temperatura de verano se realizarán durante 2014.

De manera “preliminar”, se ha constatado que el salmón no se alimenta bien por encima de los 18°C y que se pueden mantener stocks en dicha temperatura, mediante alimentación restringida y en parada de crecimiento; todo ello, sin poner en riesgo su supervivencia. Sin embargo, por encima de dicho umbral pueden suceder puntos de no retorno y mortalidades masivas hasta el límite de los 22°C.

Mediante el presente estudio y tras varias enfermedades durante los meses de verano a temperaturas de 16-18°C, se ha observado que la capacidad de recuperación que experimenta el salmón es muy alta. Estos individuos son capaces no solo de recuperar el apetito y el crecimiento, sino también de alcanzar (tras un periodo de semanas) el ritmo de crecimiento de los individuos sanos.

5.2.1 Evaluación de la calidad del agua del sistema salmón

Oxígeno

Las concentración promedio de oxígeno en el agua de cultivo fueron de $9,02 \pm 1,28$ y $9,74 \pm 0,95$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 6,69 y 12,75 mg/l para el módulo 1, y 7,39 y 12,15mg/l para el módulo 2. (Figura 15). Las diferencias entre las concentraciones de oxígeno entre módulos (líneas experimentales) no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia crónica es 5mg/L (Medas, 2004)

pH

Las concentración promedio de ph en el agua de cultivo fueron de $7,27 \pm 0,25$ y $7,2 \pm 0,28$ en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 6,32 y 7,78 para el módulo 1, y 6,33 y 8,04 para el módulo 2. (Figura 16). Las diferencias entre las concentraciones de ph entre módulos (líneas experimentales) no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia crónica es p h 6,5 (Coll,1986).

Temp

Los niveles promedio de temperatura en el agua de cultivo fueron de $15,01 \pm 1,87$ y $15,61 \pm 2,26$ en el módulo 1 (línea optima) y en el módulo 2 (línea sub-óptima), respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 11,05 y 16,7 para el módulo 1, y 12,0 y 21,04 para el módulo 2. (Figura 15). Las diferencias entre los niveles de temperatura entre módulos (líneas experimentales) no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia letal para el salmón es 20,5° C (Coll, 1986).

Salinidad

Las concentración promedio de salinidad en el agua de cultivo fueron de $34,39 \pm 0,73$ y $34,53 \pm 0,70$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 32,18 y 35,62 mg/l para el módulo 1, y 32,61 y 35,48 mg/l para el módulo 2. (Figura 16). Las diferencias entre las concentraciones de salinidad entre módulos (líneas experimentales) no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor óptimo en el engorde hasta un kg se sitúa en 33mg/l (rango 25-35mg/l) y asciende a 35mg/l a partir de 1 kg de peso/individuo. Por su parte, el valor de referencia letal para salmón es 44 mg/L (Menú & Person, 1991).

CO₂

Las concentración promedio de carbono disuelto en el agua de cultivo fueron de $4,59 \pm 2,43$ y $4,43 \pm 2,02$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 1,5 y 9,5 mg/l para el módulo 1, y 1,5 y 8,5 mg/l para el módulo 2. (Figura 18). (FIG.12). Las diferencias entre las concentraciones medias de CO₂ entre módulos no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia crónico es 15-20 mg/L (Rust, 2000).

Formaldehido

La concentración promedio de formaldehido detectado en el agua de los sistemas de cultivo fue de $21,15 \pm 1,85$ y $15,73 \pm 18,09$ µg/l para módulo 1 modulo 2 respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 0 y 84 µg/l para módulo 1 y 0 y 78,5µg/l, para módulo 2 (Figura 17). Las diferencias entre las concentraciones medias de formaldehido entre módulos no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia crónico para este parámetro

es de 100mg/L (Rust, 2000).

Turbidez

La concentración promedio de partículas en suspensión en el agua de cultivo fue de $1,52 \pm 1,30$ y $1,21 \pm 0,93$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 0,35 y 6,7 mg/l para el módulo 1, y 0,43 y 5,60 mg/l para el módulo 2. (Figura 18). (FIG.12). Las diferencias entre las concentraciones medias de turbidez entre módulos no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). El valor de referencia que se describe como desencadenante de reacciones de stress puede ser > 50 NTU; sin embargo, no existe mucha concreción al respecto y este depende del tiempo de resiliencia en el agua.

Saturación de gas

El porcentaje promedio de saturación de gas en el agua de cultivo fue de $102,17 \pm 1,63$ y $103,28 \pm 1,5$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 98 y 106 mg/l para el módulo 1, y 99 y 107,5 mg/l para el módulo 2. (Figura 17). (FIG.12). Las diferencias entre los porcentajes de saturación de gas entre módulos no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P>0,05$). En términos generales, el valor de referencia crónica es 106% (Saavedra, 1998; AZTI, per comm; Medas 2004;). No se han observado problemas (burbujas ó lesiones en los ojos) relacionados con la sobresaturación de gas en los sistemas.

Metabolitos de Nitrógeno (Amonio, Nitrito y Nitratos)

En el agua de los sistemas de salmón, la concentración promedio de amonio fue $0,49 \pm 0,63$ mg/l y $0,33 \pm 0,31$ en módulos 1 y 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo detectados fueron 0,07 y 3,13 mg/l para el módulo 1 salida y 0,05 y 1,7 mg/l para el módulo 2, respectivamente (Figura 19). Por su parte, la concentración promedio de nitratos fue $2,89 \pm 4,0$ mg/l y $1,86 \pm 2,03$ en módulo 1 y módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo detectados en concentraciones de nitrato fueron 0,001 y 19,95 mg/l para módulo 1 y 0,0015 y 7,95 mg/l para módulo 2, respectivamente (Figura 20). Finalmente, la concentración promedio de nitritos fue $0,318 \pm 0,72$ mg/L y $0,08 \pm 0,15$ en módulo 1 y módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo detectados fueron 0,01 y 3 mg/l en el módulo 1, y 0,007 y 0,81 mg/l en módulo 2 respectivamente (Figura 19). No se observan diferencias significativas (ANOVA, $P > 0.05$) entre las concentraciones de amonio (NH_3), nitritos (NO_2) ó nitratos (NO_3) de ambos módulos ó líneas experimentales. Si se han observado diferencias significativas puntuales (ANOVA $P < 0.05$) de nitrito ó nitrato entre módulos durante los primeros meses. En ambos módulos se han observado signos de maduración del sistema de biofiltro, ligados a la aguas con acido húmico y valores de nitrato altos. Los valores de referencia crónica son 0,6-5 mg/L para amonio y 1-5 para nitrito. No se han encontrado citas bibliográficas que se describan valores crónicos ó letales de nitrato para salmón. (Coll, 1986; Rust 2000).

Cloro

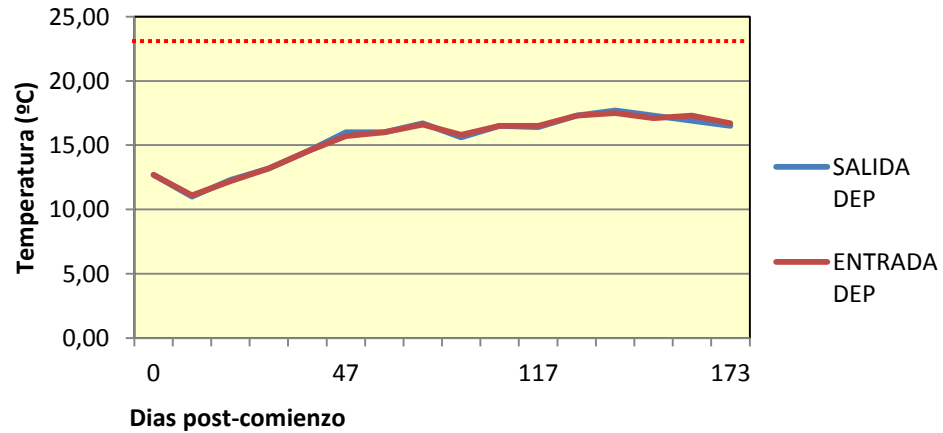
Las concentración promedio de cloro disuelto en el agua de cultivo fueron de $0,02 \pm 0,02$ y $0,025 \pm 0,02$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 0 y 0,11 mg/l para el módulo 1, y 0 y 0,105 mg/l para el módulo 2. (Figura 20). En términos generales, las diferencias entre las concentraciones medias de cloro libre entre módulos, no han

sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P > 0,05$). Se desconoce el valor de referencia que predice daños crónicos o irreversibles; pero se encuentra asociado a picos de concentración de ozono.

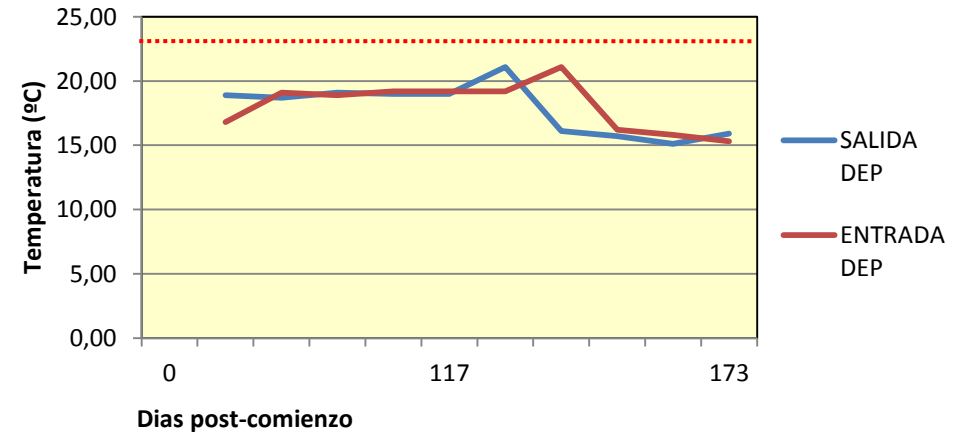
Bromo libre

Las concentración promedio de bromo disuelto en el agua de cultivo fueron de $0,057 \pm 0,06$ y $0,04 \pm 0,03$ mg/l en el módulo 1 y en el módulo 2, respectivamente. Los valores mínimo y máximo fueron 0 y 0,38 mg/l para el módulo 1, y 0 y 0,135 mg/l para el módulo 2. (Figura 21). En términos generales, las diferencias entre las concentraciones medias de bromo libre entre módulos, no han sido estadísticamente significativas (ANOVA, $P > 0,05$). Se desconoce el valor de referencia que predice daños crónicos o irreversibles; pero se encuentra asociado a picos de concentración de ozono. A continuación, en las Figuras 11, 12, 13 y 14, se muestra la evolución de los parámetros de la calidad de agua en la instalación de salmón.

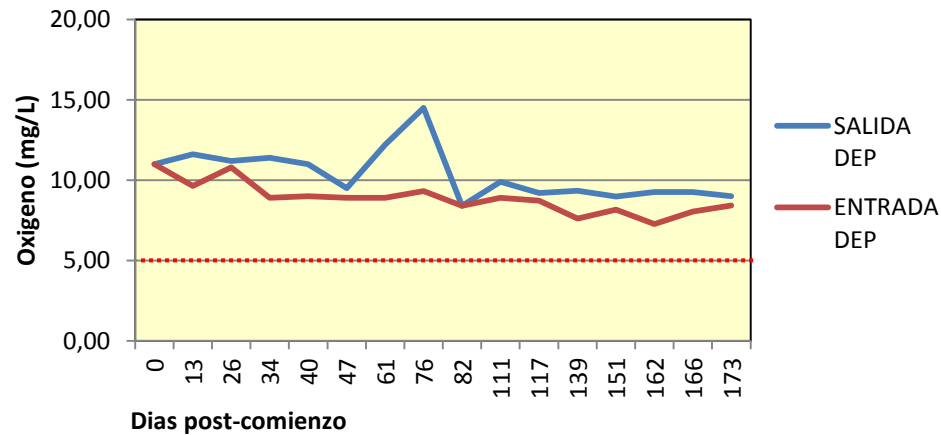
CALIDAD DE AGUA-TEMPERATURA-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-TEMPERATURA-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-OXIGENO M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-OXIGENO M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013

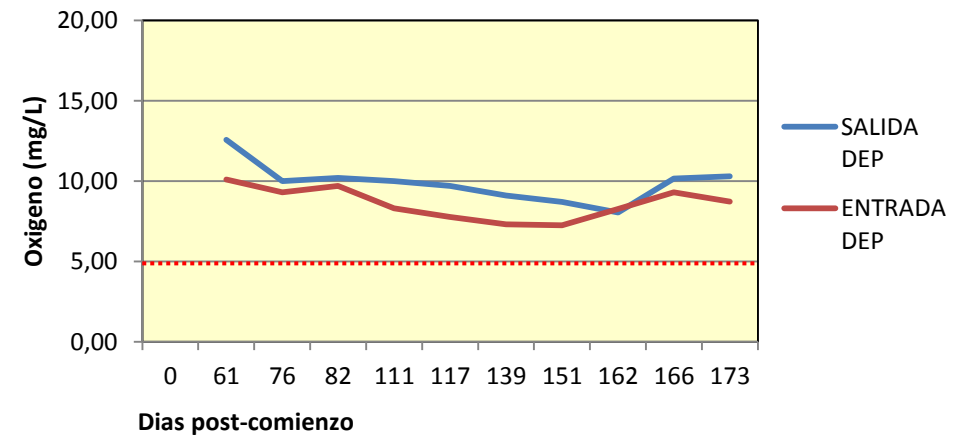
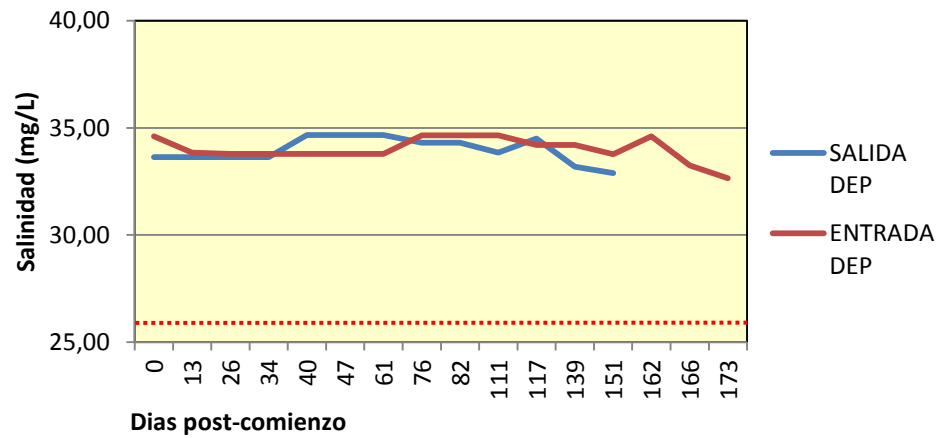
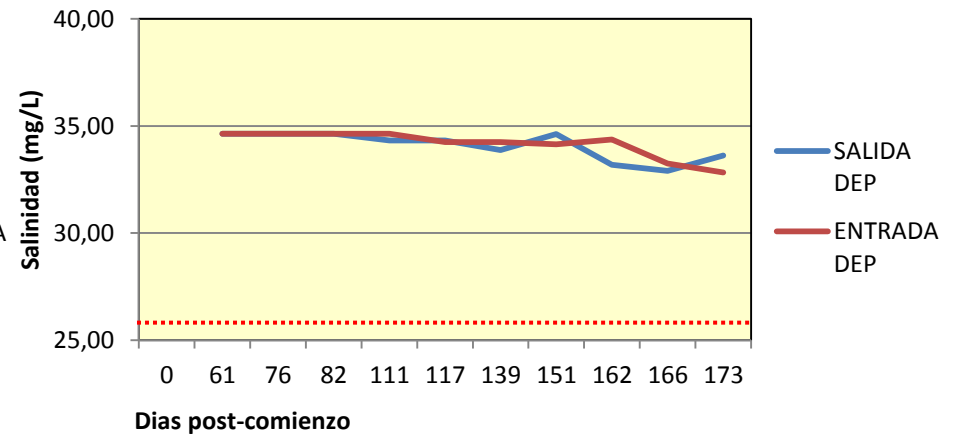


Figura 15. Evolución de los valores de temperatura y oxígeno del agua de los sistemas de recirculación de salmón. Las líneas punteadas rojas indican el nivel crónico indicado por la bibliografía de la especie.

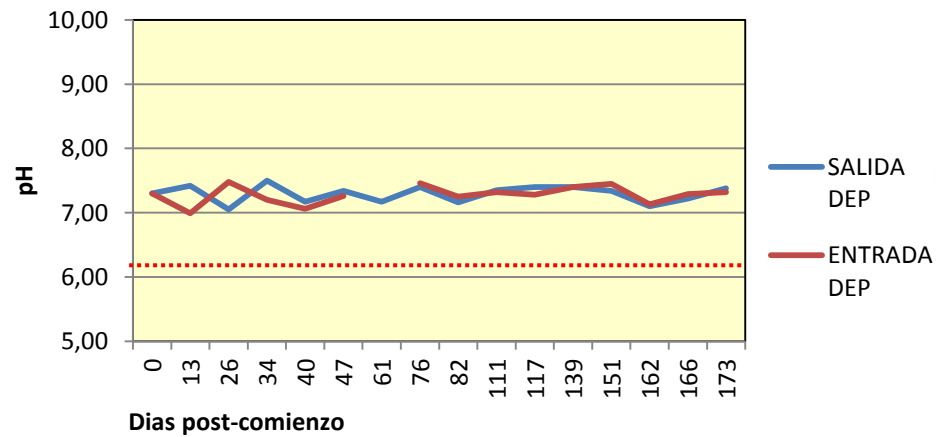
CALIDAD DE AGUA- **SALINIDAD M1**
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA- **SALINIDAD M2**
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA- **PH M1**
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA- **PH M2**
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013

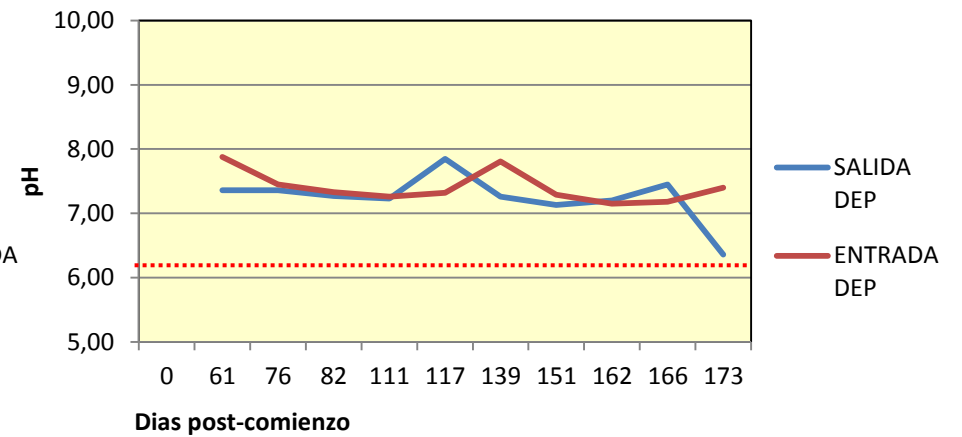
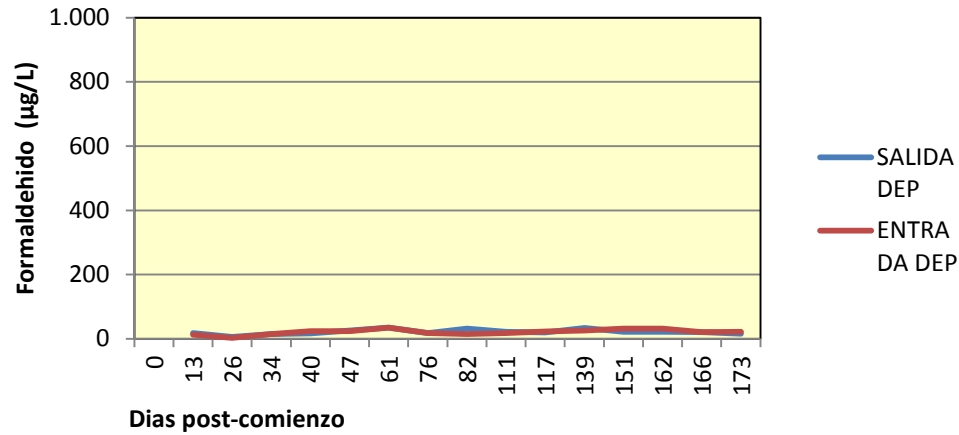
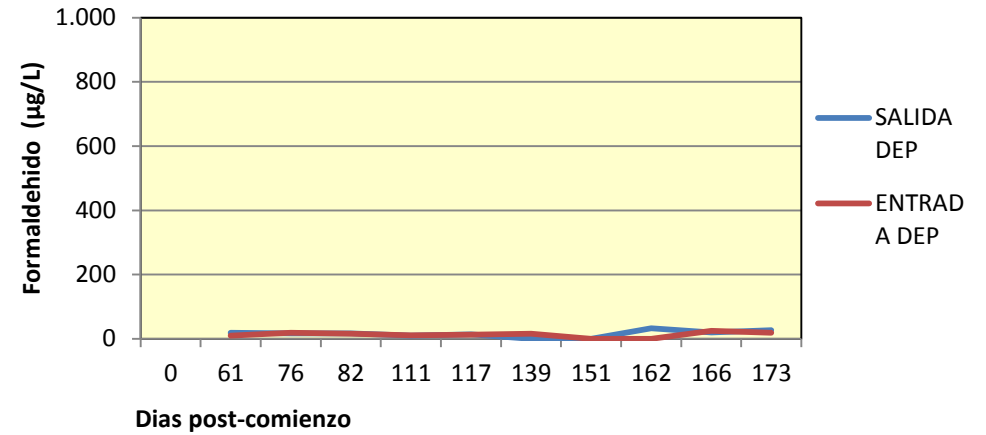


Figura 16. Evolución de los valores de salinidad y ph del agua de los sistemas de recirculación de salmón. Las líneas punteadas rojas indican el nivel subletales indicado por la bibliografía de la especie.

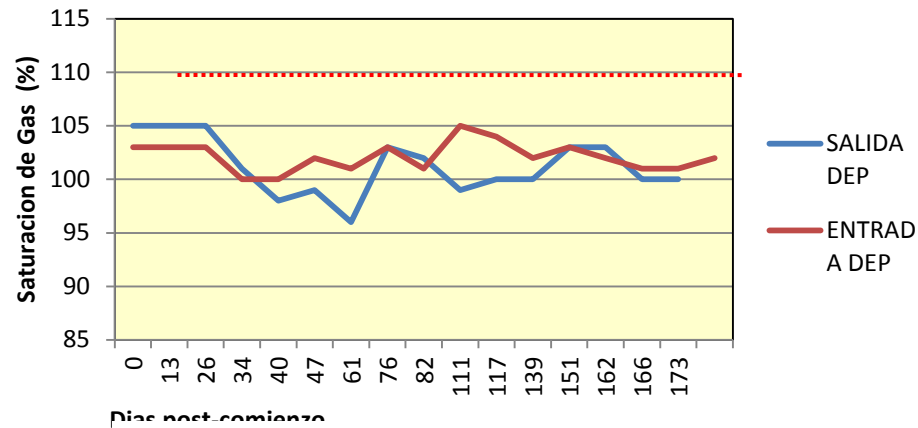
CALIDAD DE AGUA-FORMALDEHIDO-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-FORMALDEHIDO-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-SATURACION GAS -M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-SATURACION GAS -M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013

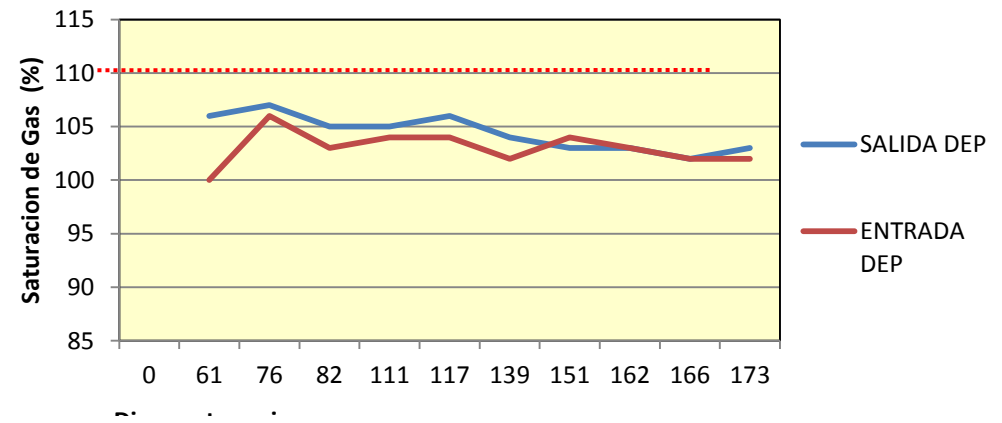
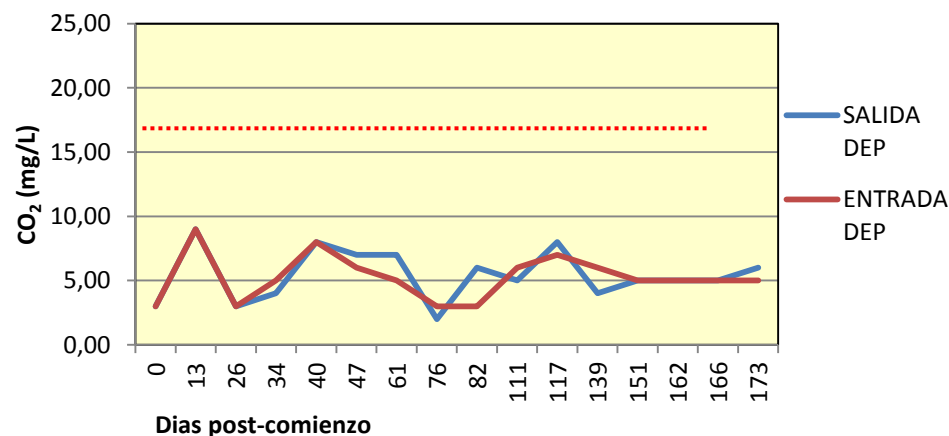
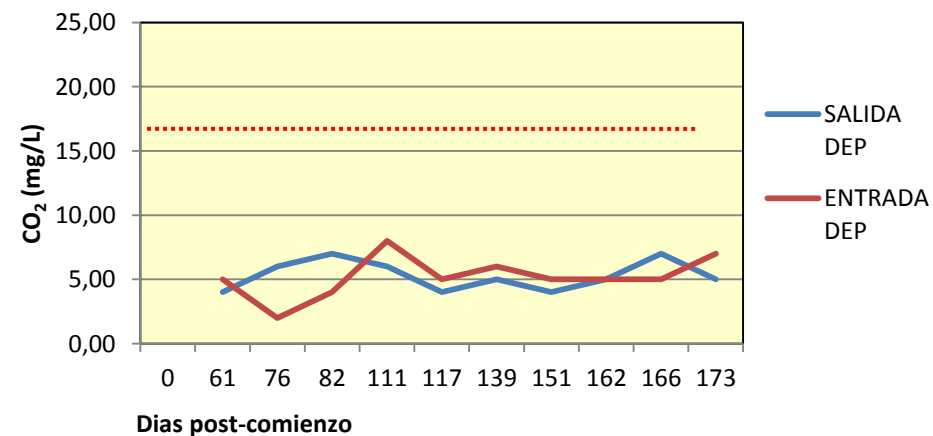


Figura 17. Evolución de los valores de formaldehído y saturación en el agua de los sistemas de recirculación de salmón. Las líneas punteadas rojas indican el nivel crónico indicado por la bibliografía de la especie.

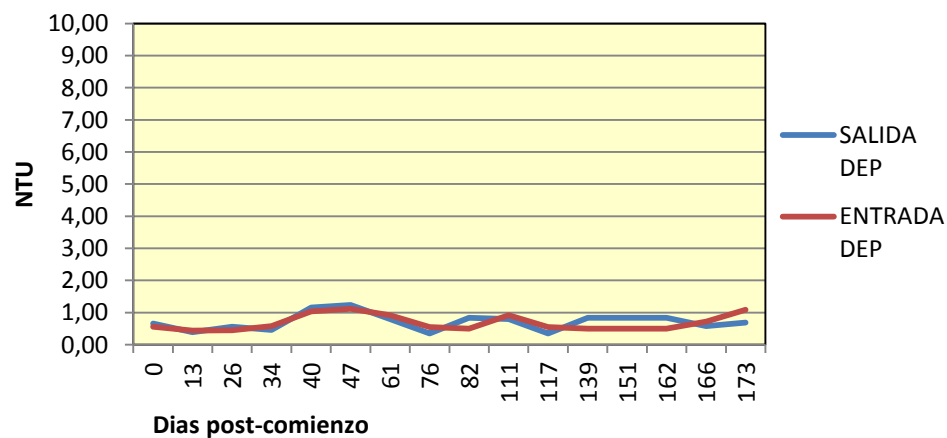
CALIDAD DE AGUA-CO₂-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-CO₂-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-TURBIDEZ-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-TURBIDEZ-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013

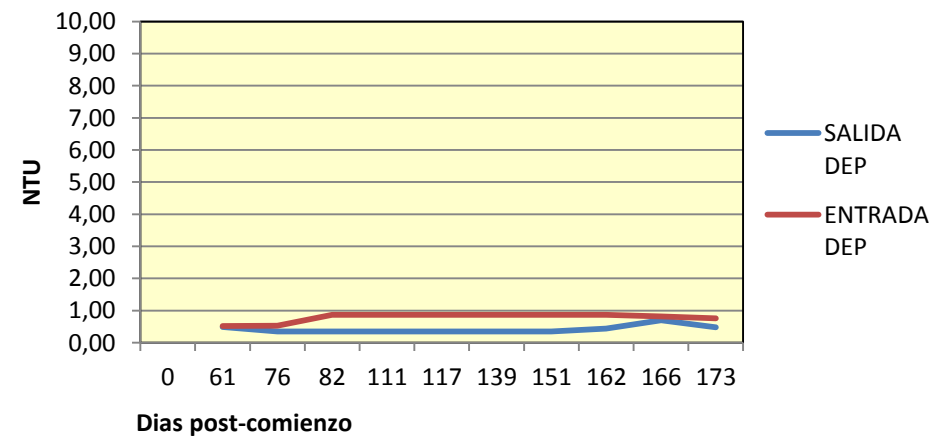
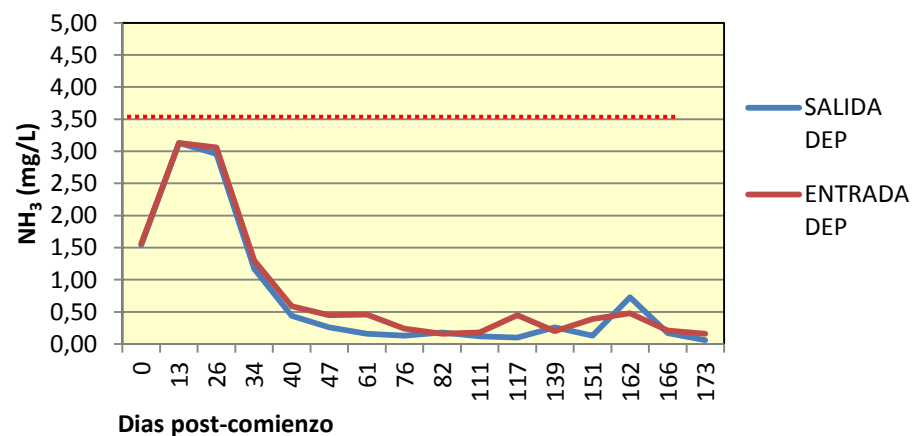
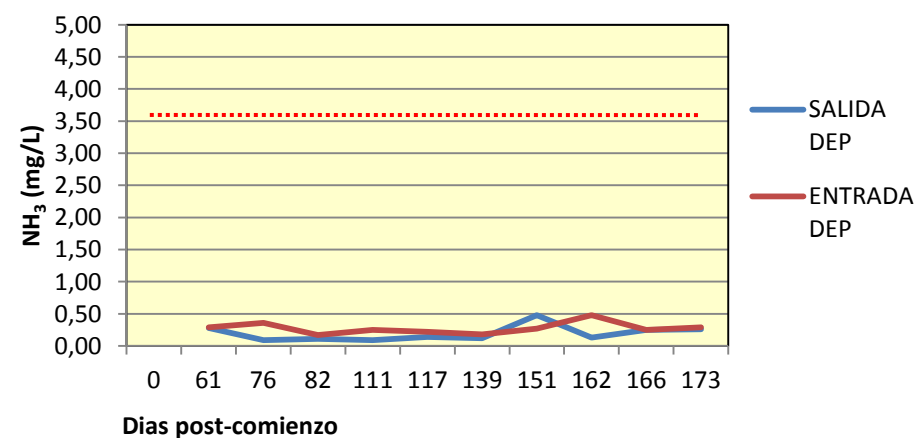


Figura 18. Evolución de los valores de turbidez y CO₂ en el agua de los sistemas de recirculación de salmón. Las líneas punteadas rojas indican el nivel crónico indicado por la bibliografía de la especie. No se dispone de referencias sobre turbidez.

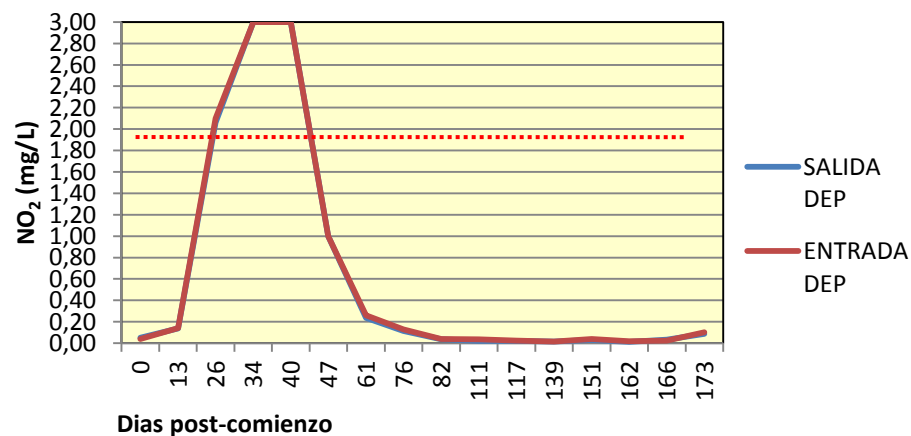
CALIDAD DE AGUA-NH₃-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-NH₃-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-NO₂-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013



CALIDAD DE AGUA-NO₂-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre2013

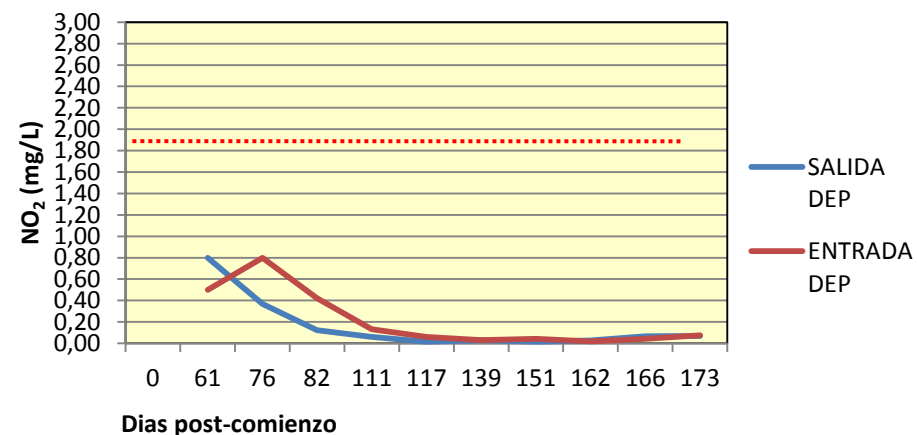
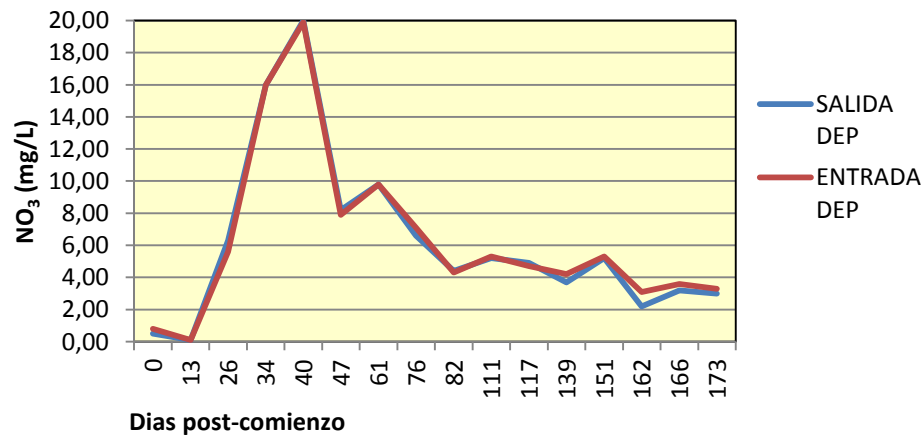
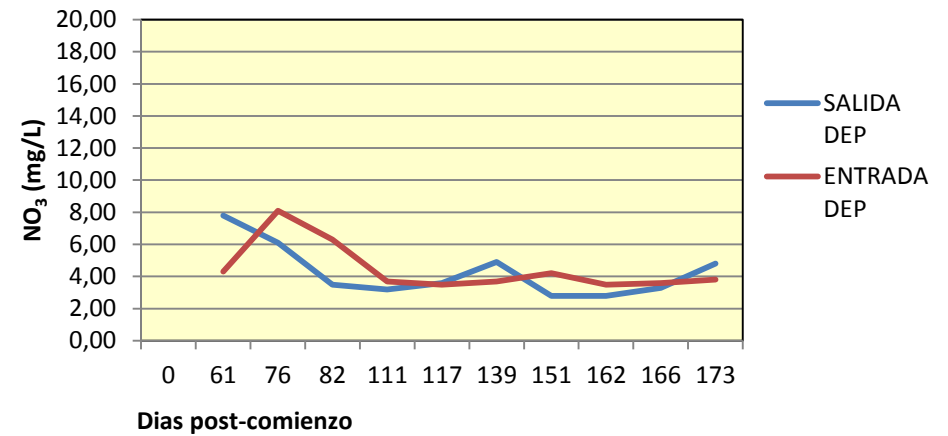


Figura 19. Evolución de los valores de amonio y nitritos en el agua de los sistemas de recirculación de salmón. Las líneas punteadas rojas indican el nivel crónico indicado por la bibliografía de la especie.

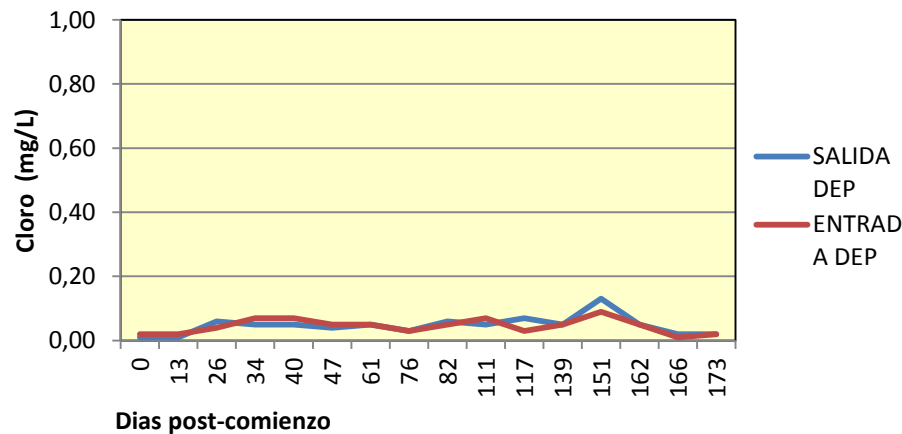
CALIDAD DE AGUA- NO_3 -M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA- NO_3 -M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-CLORITO-M1
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-CLORITO-M2
Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013

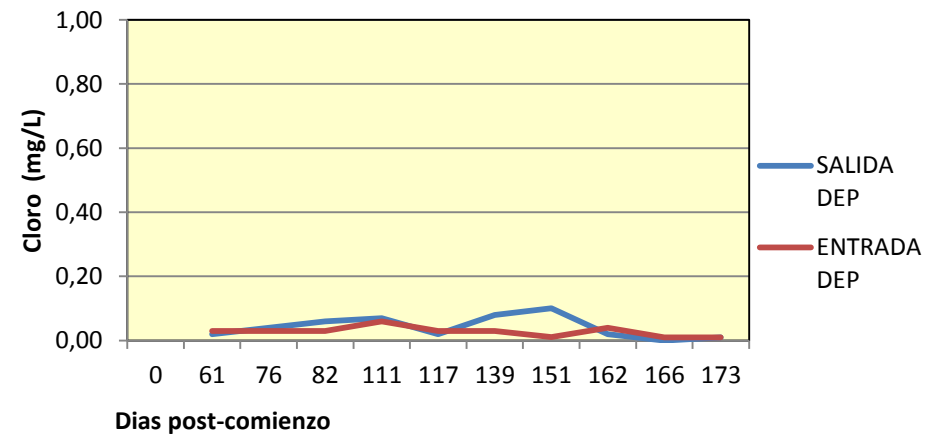
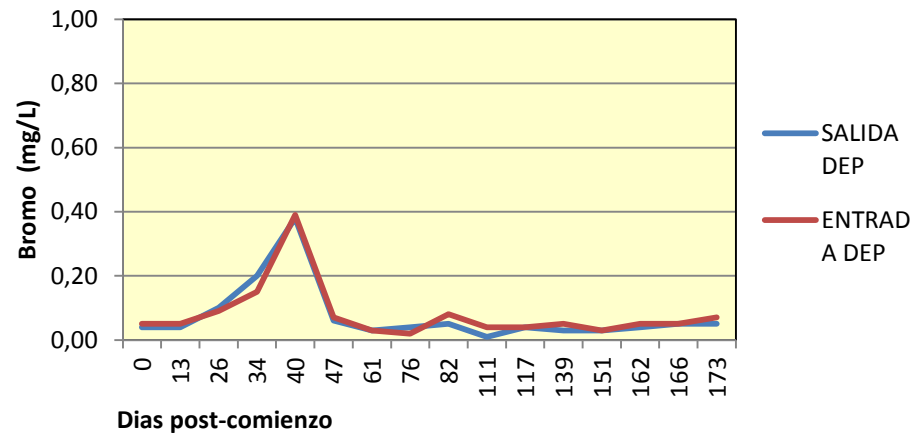


Figura 20. Evolución de los valores de nitrato y clorito en el agua de los sistemas de recirculación de salmón.

CALIDAD DE AGUA-BROMO-M1

Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013



CALIDAD DE AGUA-BROMO-M2

Salmon/Abril 2013-Diciembre 2013

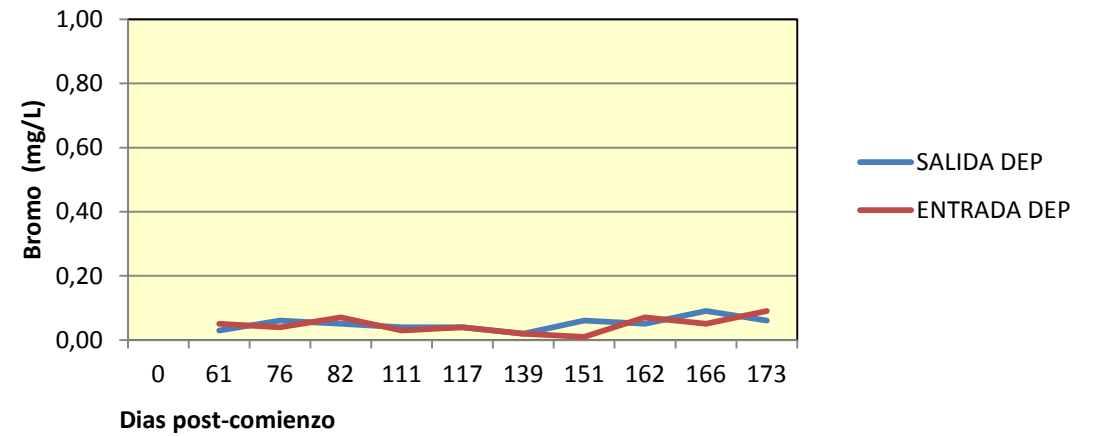


Figura 21. Evolución de los valores de bromo libre en el agua de los sistemas de recirculación de salmón.

5.2.2 Evaluación de la calidad microbiológica de los RAS de salmón

Desde abril del 2013 se realizó el seguimiento de la microbiología bacteriana del agua de los cultivos hasta diciembre de 2013. Los parámetros analizados fueron concentración de aerobios mesófilos totales y detección de ausencia ó presencia *Vibrio* en el agua de los sistemas. Todo ello como medida de prevención de enfermedades y medida de control sobre la maduración del agua de los módulos de recirculación.

Específicamente, el procedimiento que se siguió fue:

- Aerobios mesófilos totales: Siembra de la muestra de agua sobre agar PCA e incubación a 37°C durante 48h. Contaje y los resultados se expresan en ufc/ml.
- *Vibrio*: Se añaden 25 ml de muestra de agua a 225 ml de caldo de enriquecimiento para *vibrio* (ASPW). Se incuba a 37°C durante 24h. Después se subcultiva en Agar TCBS a 37°C durante 24h. Los resultados se expresan en presencia o ausencia de *Vibrio* spp en 25ml.

A continuación, se presenta de manera sintética, algunos de los resultados analizados. La mayor presencia de *Vibrio* sp., se detectó en el mes de septiembre 2011. El número de bacterias, aunque irregular, también muestra una tendencia de aumento proporcional con la edad de los cultivos. Este aspecto y los niveles de amonio, nitrito y nitrato (ver figuras), certifica la ocurrencia de maduración microbiológica en el RAS durante el inicio de los experimentos. No obstante, la maduración de los sistemas no se mantuvo estable durante los meses de otoño, debido al abundante aporte de agua nueva requerida por diseño experimental. Los bajos valores sobre número de bacterias formadoras de colonias, valida dicha observación y que los experimentos se en condiciones semi-cerradas durante el verano y en abierto durante el otoño/invierno.

IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO	PARAMETROS	MICROBIOLOGICOS
MUESTRA	MUESTRA	Vibrio spp	Aerobios mesófilos
CLIENTE INTERNO	LABORATORIO	/25ml	ufc/ml
BAC-CONTROL-E		Ausencia	15
BAC-CONTROL-S		Ausencia	15
17/05/2013-BAC-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	0
17/05/2013-BAC-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	1
24/05/2013-BAC-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	22
24/05/2013-BAC-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	7
03/05/2013-BAC-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	3
03/05/2013-BAC-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	3
20/04/2013-BAC-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	0
20/04/2013-BAC-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	2
05/09/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Presencia	$3,4 \times 10^2$
05/09/2013-BAC-M1-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	51
05/09/2013-BAC-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Presencia	$2,3 \times 10^2$
05/09/2011-BAC-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Presencia	36
27/09/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	$2,2 \times 10^2$
27/09/2013-BAC-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	$2,5 \times 10^2$
27/09/2013-BAC-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	52
11/10/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	$3,4 \times 10^2$
16/09/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Presencia	$2,4 \times 10^2$
16/09/2013-BAC-M1-S	Modulo 1 (línea optima)	Presencia	$1,7 \times 10^2$
16/09/2013-BAC-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	$4,8 \times 10^2$
16/09/2013-BAC-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Presencia	$2,3 \times 10^2$
07/06/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	$5,2 \times 10^2$
07/06/2013-BAC-M1-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	11
07/06/2013-BAD-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	1
07/06/2013-BAD-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	2
28/06/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	4
28/06/2013-BAC-M1-S	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	$8,8 \times 10^2$
28/06/2013-BAC-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	0
28/06/2013-BAC-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	3
27/07/2013-BAC-M1-E	Modulo 1 (línea optima)	Ausencia	84
27/07/2013-BAC-M1-S	Modulo 1 (línea optima)	Presencia	91
27/07/2013-BAC-M2-E	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	3
27/07/2013-BAD-M2-S	Modulo 2 (línea suboptima)	Ausencia	20

Tabla 9. Datos de evolución ejemplo de valores de bacteria Vibrio y aerobios mesófilos en los sistemas de recirculación de salmón.

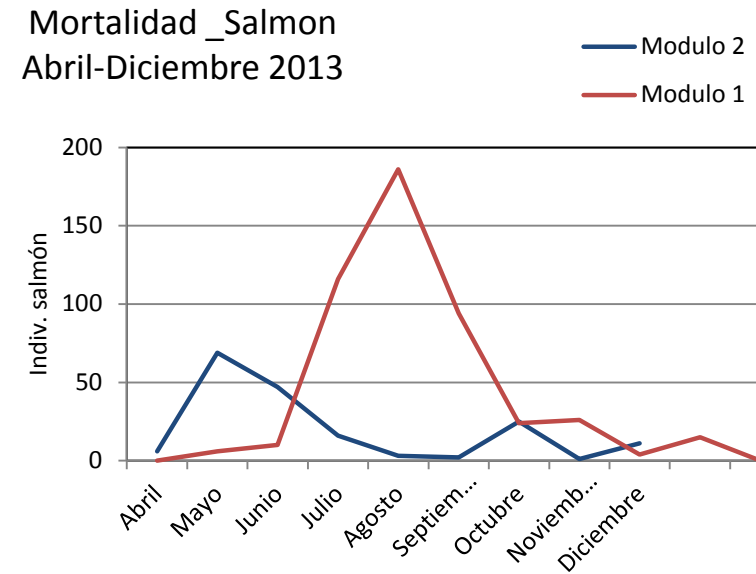
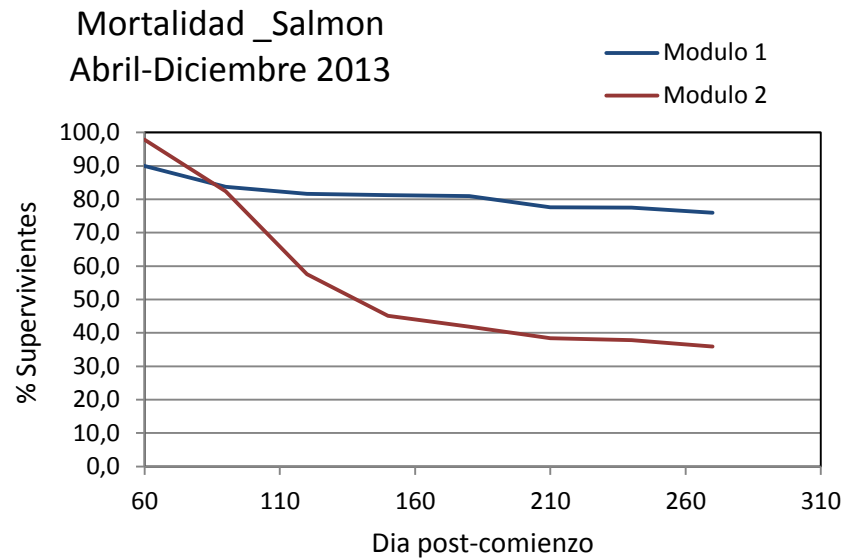
5.2.3 Evaluación de la supervivencia del salmón en los RAS

El seguimiento biológico rutinario de la supervivencia de salmón comienza en abril 2013 y finaliza en diciembre 2013. Para el engorde piloto, se partió de un lote de stock 1.500 individuos de salmón, repartido a partes iguales entre cuatro tanque. Los individuos de salmón se distribuyeron por densidades controladas entre los diferentes tanques de ambos sistemas de recirculación. La mortalidad post-transporte se consideró despreciable.

Tras la inmersión de los individuos, la tasa media de mortalidad diaria fue de 2,4 indiv/día entre 16 y 18°C (Tabla 10). A su vez, el valor de mortalidad mensual observada fue del 7,9% entre dicho rango de temperatura. La mortalidad se considera muy alta hasta la fecha.

Los eventos de mortalidad se relacionaron directamente con los siguientes fallos operativos: (i.) fallo en la selección del pienso para la alimentación inicial y (ii.) maduración de filtros en paralelo. Estos fallos conllevaron a eventos de inmunodepresión con aparición de vibriosis externa y picos elevados de mortalidad en los individuos. La patología se controló y erradico en los individuos, mediante el principio activo Florfenicol (de uso permitido en experimentación) con nombre comercial Selectan. En la tabla 10 se presentan datos y figuras que explican los resultados de la supervivencia observada en salmón.

(A.)



(B.)

GLOBAL (Abril- Diciembre 2013)	
stock INICIO (individuos)	1500,0
Mortalidad total (ind)	661,0
Mortalidad diaria promedio (Ind)	2,4
Mortalidad mensual (%)	8,0
Stock remanente (%)	839,0
Mortalidad Tot. (%)	44,1
Stock remanente (ind)	839,0
Biomasa Inicio (kg)	75,0
Biomasa Ganada (kg)	335,6

Tabla 10. Mortalidad. A. Graficas de mortalidad de salmón durante los meses de cultivo en el País Vasco.; B. Global de mortalidad asociado a biomasa.

5.3 Evaluación de la viabilidad técnica del engorde de salmón

El seguimiento del crecimiento en la experiencia de salmón comienza en abril 2013. Los resultados biológicos se han interpretado en base a una única fase en el tiempo:

Fase de aclimatación: Tras el transporte de los alevines desde Irlanda hasta el País Vasco, todos los individuos se aclimataron a las condiciones de cultivo mediante una única temperatura óptima e idénticas condiciones de cultivo.

El crecimiento se ha evaluado desde el mes de abril hasta el mes de noviembre a un único rango de temperatura promedio ($12,41 \pm 2,04^{\circ}\text{C}$). Todo ello, por no haber podido realizar experimentos de temperatura independiente por los motivos del brote de patologías que surgió a principios de verano. En el presente avance de informe, se presentan los principales resultados obtenidos.

De manera preliminar, se ha constatado que el salmón crece de manera excelente a temperaturas de $11-16^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, se han observado pérdidas de apetito tras pasado dicho umbral (18°C). A fecha de noviembre 2013, AZTI estudia la capacidad de los individuos de acompañar su ritmo de crecimiento a la TEMP natural del País Vasco (rango $10-21^{\circ}\text{C}$).

Los datos de crecimiento individual promedio en peso, talla estándar e índice hepatosomático, se ajustaron a modelos lineales simples. En este sentido, no se han podido comparar tratamientos de módulos por los motivos mencionados sobre las patologías ocurridas. Las tasas de crecimiento promedio diario en talla y peso, para individuos mantenidos a $12,4^{\circ}\text{C}$, fueron de $0,05\text{cm/día}$ y $2,01\text{ g día}^{-1}$, respectivamente. Dichos valores indican rendimientos de crecimiento diario en peso del 100%.

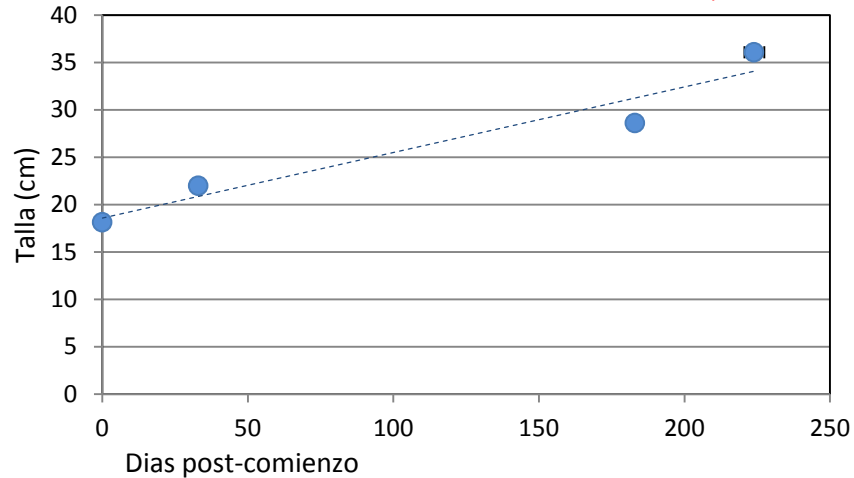
Los valores del índice hepatosomático han oscilado entre 1,0 y 1,6%. Dichos valores fueron variables al principio y se han estabilizado durante los últimos meses.

Este índice representa la condición alimentaria promedio en el momento de los individuos frente a la ganancia de masa corporal. Los bajos resultados de este índice observados al principio del estudio, junto con los brotes de mortalidad también observados durante los meses de mayo, junio y julio 2013, indicarían que el consumo y asimilación alimento ha sido un factor muy limitante. A continuación, se presenta un resumen de los datos de crecimiento obtenidos hasta la fecha, mediante gráficas (Figura 22). En las figuras 26 y 27 también se presentan algunas fotografías ilustrativas del salmón cultivado hasta la fecha diciembre 2013.

Crecimiento Talla- Salmón
Abril 2013- Diciembre 2013

$$y = 0,0692x + 18,569$$

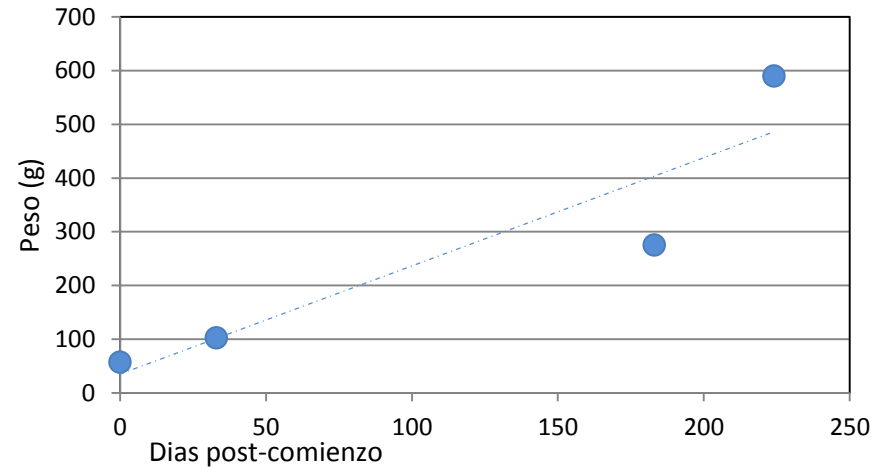
$$R^2 = 0,933$$



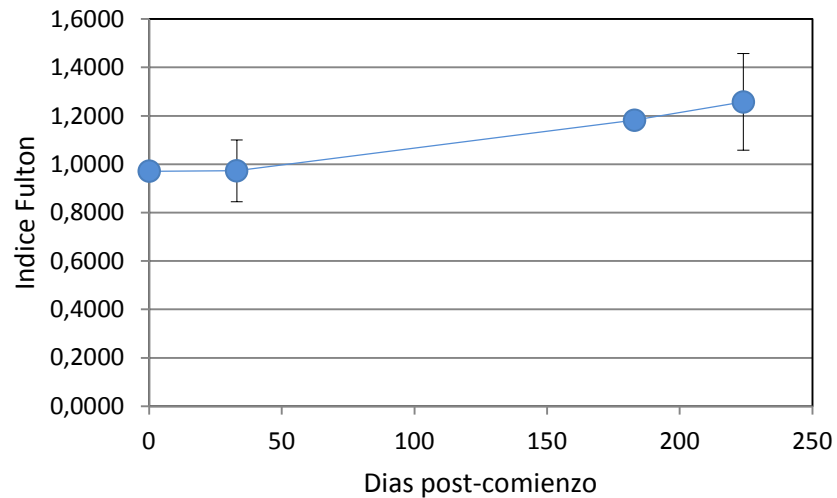
Crecimiento Peso- Salmón
Abril 2013 Diciembre 2013

$$y = 2,0115x + 35,378$$

$$R^2 = 0,8418$$



Índice de Condición
Abril 2013- Diciembre 2013. Estado de los individuos



Índice Hepatosomático
Abril 2013- Diciembre 2013. Consumo Alimentario

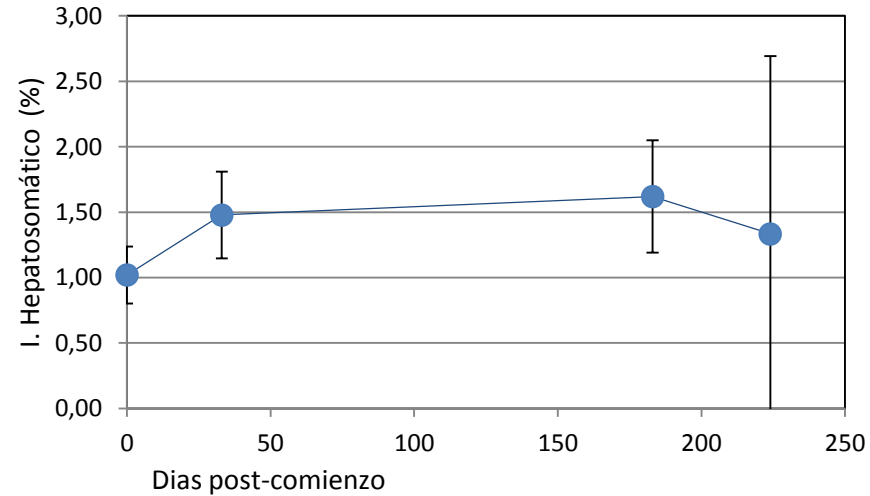


Figura 23. Evolución del crecimiento e índices de condición de salmón mantenido a 12,4°C.

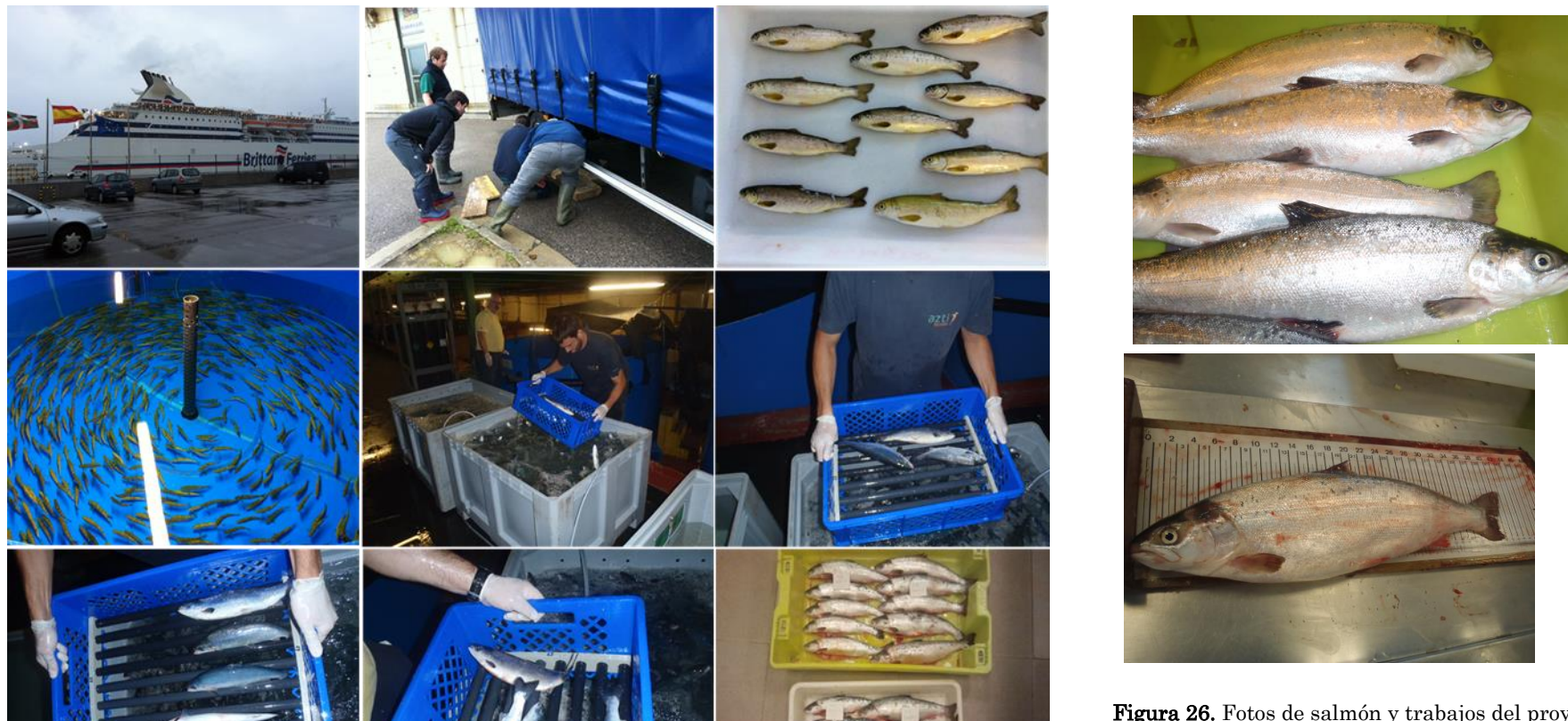


Figura 26. Fotos de salmón y trabajos del proyecto.



Figura 27. Foto de los prototipos de salmón elaborados durante el proyecto.

5.1 Evaluación de la viabilidad económica del cultivo de salmón

En la figura abajo se muestra los costes totales para cada escenario. Los costes están separados en costes fijos y variables, inversión y costes totales. Se contrasta estos costes con tres ingresos potenciales según precios bajos, promedios y altos.

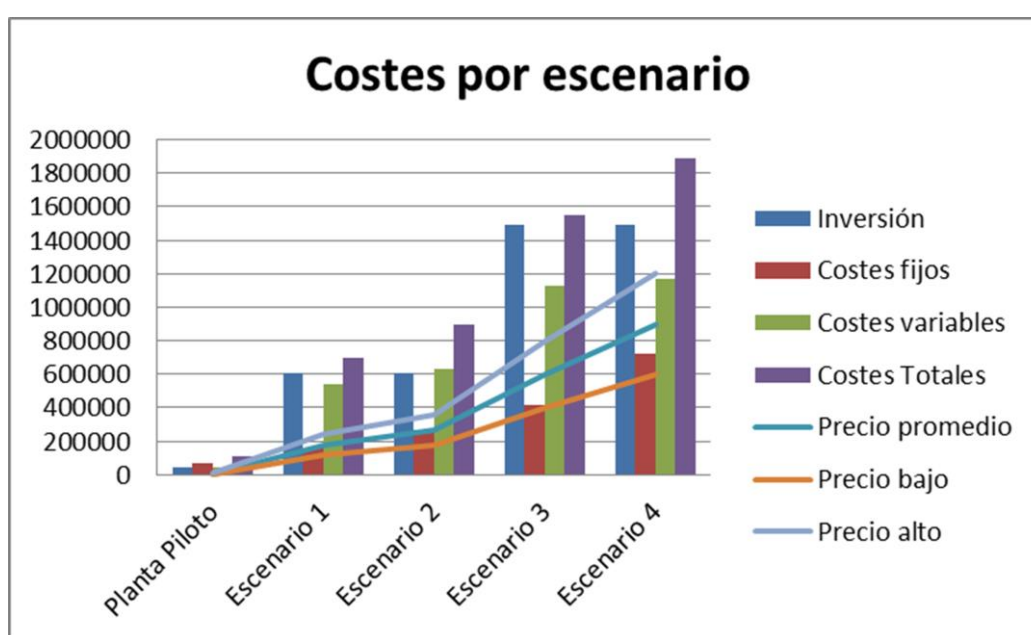


Figura 28. Costes e ingresos simulados por escenario

La figura muestra que los costes totales superan a todos los ingresos en todos los escenarios. A pesar de estas pérdidas en cada escenario, se puede ver patrones interesantes en esta figura. Se ve que los costes variables, la inversión y los costes totales son similares entre escenarios 1 y 2 y escenarios 3 y 4. Sin embargo, los ingresos aumentan considerablemente en los escenarios de 26 meses (escenarios 2 y 4). Asimismo, los costes fijos siguen este patrón de los ingresos aumentando con la

duración de producción. Nota que el coste total es la suma de los costes fijos y variables solo ya que la inversión se amortiza en la variable depreciación que reside en los costes fijos.

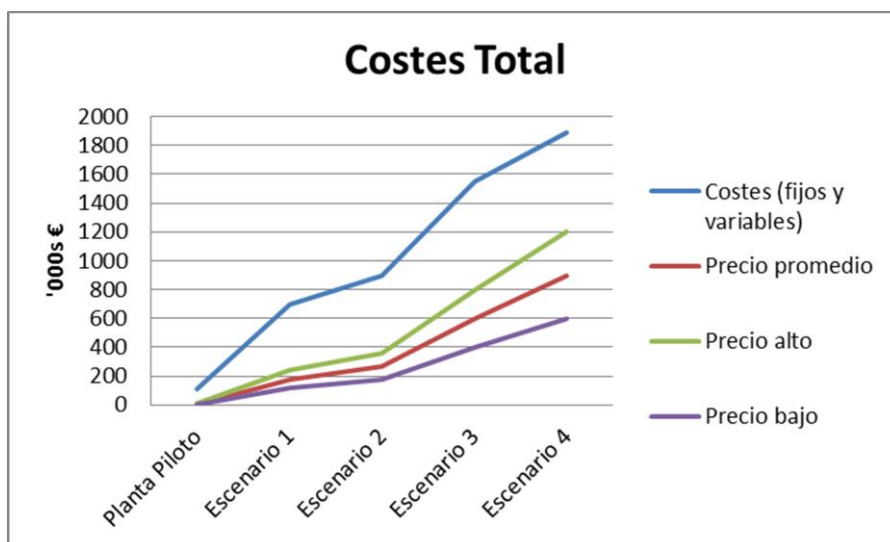


Figura 28. Costes operacionales por escenario

En la figura 28 se puede ver con más claridad el contraste entre los diferentes ingresos potenciales y el coste total. En todos los escenarios los costes totales superan los ingresos. Enfocando en el precio promedio es claro que con cada escenario la situación empeora, la distancia entre los costes y los ingresos aumentando cada vez más. Contrariamente, con el ingreso alto se puede ver las pérdidas reduciendo en los escenarios 2 y 4. Se debe notar que la estimación de la inversión juega un papel muy importante en este análisis ya que afecta los costes fijos. Los variables más importantes de los costes fijos son la depreciación de la inversión y el mantenimiento del mismo. Estos dos contribuyan más de la mitad de los costes fijos totales. Ya que dependen directamente en el coste de la inversión,

cualquier duda en la estimación de la inversión afecta los costes fijos. En la figura de abajo se analizará la relación entre los ingresos y los costes variables.

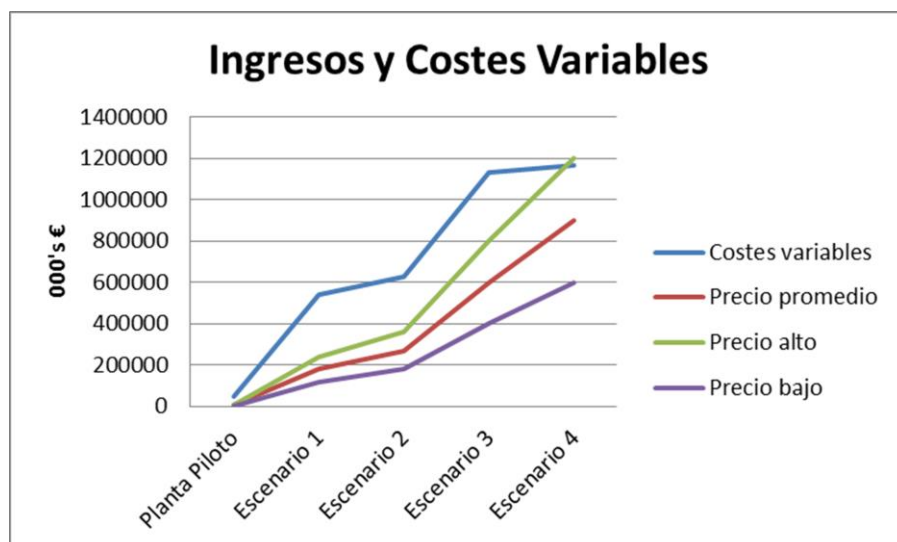


Figura 29. Costes variables e ingreso

La figura 29 muestra los costes variables y los ingresos según precios recibidos. Se ve que en los escenarios 1, 2 y 3 los costes superan los tres ingresos. Sin embargo, en el último escenario el ingreso que pertenece al precio alto supera los costes. En la figura se nota una tendencia de reducción en la diferencia entre costes e ingresos promedios y altos, pero no para los ingresos bajos. Una vez superado los costes variables el negocio puede pagar los costes fijos. No obstante, la margen de renta sobre los costes variables con ingresos altos no permitiría pagar los costes fijos en este estudio.

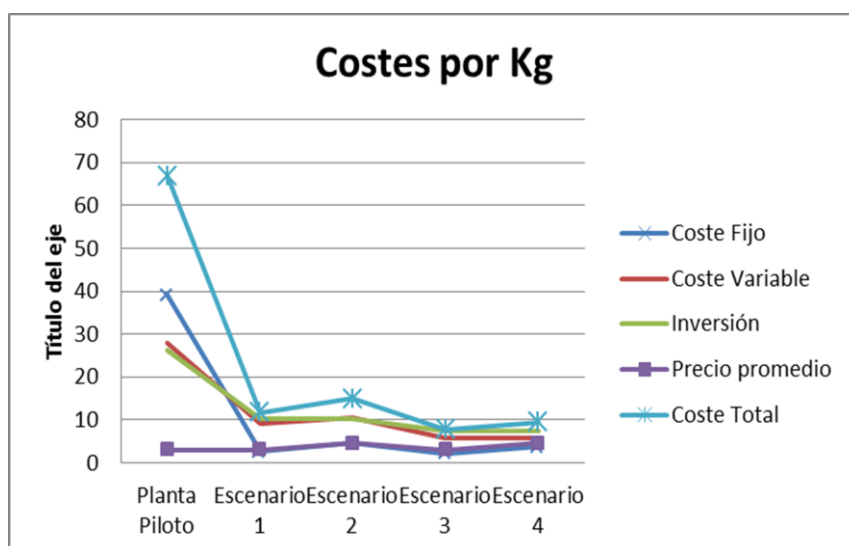


Figura 30. Costes por kilogramo de salmón producido

En la Figura 30 los costes fijos, variables y de la inversión por kg producido se demuestran. Los costes durante la planta piloto están muy altos pero para una prueba de experimentación se puede esperar pérdidas económicas y costes altos dado su natura innovadora. Lo sorprendente de esta figura es que los costes no muestran muchas economías de escala. Todos los costes suben entre escenarios 1 y 2, lo que tendría sentido ya que el último es de duración más largo. El coste fijo no cambia mucho en los escenarios 3 y 4, mostrando una subida ligera en el último escenario. Los costes variables sí bajan considerablemente para los dos últimos escenarios. Demuestra una bajada de ~€10 hasta €5 por kg. El precio promedio iguala a los costes fijos en los cuatro escenarios, un resultado que es preocupante ya que quedan los costes variables

6. CONCLUSIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones del estudio:

- ✓ **DESARROLLO LOCAL.** La valoración de tecnologías de recirculación, el diseño de instalaciones de cultivo de peces y la selección y adquisición de equipamientos y componentes para la depuración de aguas, se ha realizado con éxito. Todos los sistemas fueron instalados correctamente en el espacio de AZTI. Los diversos inconvenientes que han surgido en esta fase, derivados de la alta sofisticación de las tecnologías de depuración, higiene y desinfección de agua marina, se fueron solventando a lo largo de los procesos de instalación y/o operaciones de los sistemas. Para dichas actuaciones, AZTI ha contado con la colaboración en continuo de diversas empresas especializadas, grupos de proveedores y/o empresas locales del País Vasco. En cualquier caso, las ingenierías utilizadas

para la prueba piloto de salmón han quedado instaladas y su potencial de capacidad productiva superior a las 1,2 T de especies alimentarias será utilizada para futuros proyectos de apoyo a las empresas o al sector pesquero.

- ✓ INGENIERIA. Las pruebas realizadas del presente estudio, ratifican la oportunidad de los RAS como tecnología de producción de producto pesquero. Hay varias razones que lo avalan, entre ellas: (i.) las oportunidades de intensificar producciones *versus* la falta de espacios disponibles; (ii.) el control de la calidad del agua en contra de las variaciones bioquímicas y la contaminación del agua de los sistemas abiertos; y (iii.) la cercanía al mercado en contra de los costes logísticos, aranceles, huellas de carbono ó riesgos de trazabilidad, entre otros. Desde el punto de vista técnico, el uso de los RAS en la prueba de viabilidad con salmón ha demostrado la posibilidad de tener un control exhaustivo sobre los parámetros de calidad de agua; pero también ha demostrado que la continua reutilización del agua y el enfriamiento de las unidades de cultivo han generado elevados costes energéticos. Estas observaciones ya han fueron descritas por otros autores (Sheperd and Bromage, 1988). De hecho, Roque d'Orbcastel *et al.* (2009) concluyó que los RAS consumen entre 1,4 y 1,8 más de energía que los sistemas abiertos, es decir, alrededor de 17,55 kWh por kg de pescado producido. Durante el presente estudio, se ha observado que los niveles elevados de consumo energético difieren no solo entre módulos sino que además en ambos casos se observa que la tendencia de los consumos se distribuye ligada a frecuentes sobretensiones (picos positivos y negativos). En este sentido, se concluye que los niveles altos de consumo se pueden deber a: (i.) los altos requerimientos de enfriamiento del agua de los sistemas; (ii.) el ineficiente rendimiento (particular ó integrado) de los componentes unitarios instalados (bombas, etc.) ó (iii.) incorrectas decisiones operativas en la gestión de los sistemas. Las diferencias de consumo energético entre módulos se pueden deber a factores mecánicos propios de los componentes de cada módulo (bombas, la filtración, UVs, la configuración de los saltos de agua, etc) o de la ubicación que ocupen en la planta

(cercanía/lejanía a fuentes de frío/calor o tomas eléctricas). A su vez, por lo general los sistemas con rango de consigna térmica más estrecha optimizan el rendimiento. La distribución en sobretensiones se debe principalmente a paradas de bombas por fallos, retro-lavados o gastos de enfriamiento del agua. En cuanto a la energía consumida por kg de pescado producido en los módulos piloto, se obtiene un consumo de 36,13 kWh/kg de pescado producido. Dicho valor, con base al precio local de 0,11€ Kwh según Iberdrola, significa que para producir 1 kg de salmón “en la planta de Orrua” se necesita gastar 3,42 € solo en energía eléctrica para operar los sistemas de recirculación y enfriamiento de agua. Aspecto que haría inviable el negocio.

- ✓ **TECNICA.** La calidad bioquímica del agua de los sistemas de recirculación de salmón ha sido ÓPTIMA y se ha mantenido correctamente (i.) de acuerdo a las necesidades biológicas de los individuos y (ii.) a los estándares de bienestar animal que solicita la DIRECTIVA 2010/63/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. Se estabilizaron correctamente todos los rangos de temperatura, así como sus variables bioquímicas asociadas (pH, salinidad, principalmente); todo ello aun manteniendo una renovación moderada-alta de agua de aporte nuevo, durante los meses fríos. El oxígeno se ha regulado eficazmente y los valores de bromo libre, cloro libre y formaldehidos se han mantenido muy por debajo de los límites de precaución definidos para salmón. Existen cuatro asuntos sobre calidad de agua, en cuya optimización se ha tenido que hacer especial énfasis a lo largo de la prueba piloto; (i.) la reducción de los niveles de dióxido de carbono en agua; (ii.) la reducción de los niveles de saturación de gas nitrógeno; y (iii.) el control de mantenimiento de la ingeniería instalada (enfriadora, bombas, grietas, etc.). La calidad microbiológica del agua es BUENA. Los resultados de Vibrio y aerobios mesófilos totales ratificaron la leve maduración biológica del agua (principalmente, debida al volumen de agua de aporte utilizado para llegar a las consignas de temperatura

deseadas) y el momento de ocurrencia de patologías (Vibriosis).

- ✓ **BIOLOGICA.** Los aspectos morfológicos de la mayor parte de los individuos de salmón han sido **OPTIMOS**; no se observó ninguna deformidad, ni burbuja de gas, ni cataratas, ni problemas de forma o pigmentación. En todos los casos, las coloraciones del salmón se han desarrollado vistosas, de apariencia saludable y de acuerdo a la línea genética predominante. Los individuos del M2 han mostrado niveles de supervivencia muy altos y una dispersión de talla/peso moderada. El crecimiento de los individuos de salmón, ha sido **BUENO**; el salmón ha mostrado un crecimiento lento en los meses de verano y rápido y compensatorio en los meses de otoño e invierno, de acuerdo a las condiciones del agua de los cultivos. Inicialmente ocurrieron pausas de crecimiento debido al manejo y al cambio de medio de cultivo (> régimen de temperatura y menor maduración bacteriológica de sistemas). Sin embargo, la mortalidad en salmón ha sido únicamente alta en el módulo donde surgió la vibriosis. El rendimiento “observado” en asociación a la tasa de conversión alimentaria (FCR) del salmón “se supone” ha sido muy **BUENO** con valores muy por debajo del 1,3. Aunque durante los meses de verano 2013 el rendimiento productivo fue más bien bajo, durante los meses de otoño e invierno, el rendimiento mejoró, muy probablemente en relación al descenso de las temperaturas locales y a la idoneidad del alimento empleado.

- ✓ **ECONOMICA.** La acuicultura mediante RAS permite ubicar la producción cerca del mercado objetivo (Anak Bijo, 2007). Hay varios estudios hechos sobre la viabilidad económica de estos sistema de acuicultura (Anak Bijo, 2007; De Ianno, Wines, Jones, & Collins, 2006; Dunning, Losordo, & Hobbs, 1998). Existen también guías para la evaluación económica de estos sistemas (Halachmi, Simon, Guetta, & Hallerman, 2005; Rourke, 1991, 1996). Fülberth, Moran, Jarlbæk, & Støttrup, (2009) analizaron los efectos del régimen de alimentación sobre el crecimiento de salmón en este tipo de sistema. Lo que parece claro de estos estudios es que este sistema significa costes de producción más altos que otros

tipos de acuicultura. Esto significa que hay una alta dependencia sobre los ingresos de la producción o sea, el precio por kg del producto debe ser mayor que los alternativos. El resultado final del análisis económico del presente proyecto es que no es rentable producir salmón usando sistemas de recirculación en las actuales condiciones de la planta de Orrua. Los costes relacionados con la electricidad o movimiento del agua son tan altos que minimizan la posibilidad de sacar rentas del cultivo. El escenario 3 ha sido el de menor coste total por kg producido, aunque todavía con un coste por kg de 7,7€.. El escenario 4 ha sido el escenario con menos pérdidas con un coste por kg de €9 pero con ingresos más elevados que el tercero. Este análisis es muy sensible a las asunciones usadas durante la investigación. Aparte de las asunciones, las simulaciones han requerido estimaciones de las inversiones necesarias y los cambios en los costes variables y fijos para cada escenario. Dentro de cada estimación, queda un nivel substancial de incertidumbre. Mencionar que las estimaciones de la inversión inicial contienen incertidumbres en el coste del suelo industrial. Ha sido estimado arbitrariamente en €110 por m² (considerando obra civil); tal vez esta inversión no es estrictamente necesaria cuando es posible acceder a espacios preparados. En los costes fijos hay incertidumbre sobre la depreciación y mantenimiento debido a la incertidumbre en la estimación de la inversión ya que estas tres son directamente relacionadas. También, la estimación del aumento en el seguro es muy alta en todos los escenarios; dicho coste iguala el coste del mantenimiento y de la depreciación. Aunque existan incertidumbres en las estimaciones de la inversión, los costes fijos y las asunciones usadas en los costes variables de este estudio, los resultados finales y los datos de mercado recomiendan que en la piscifactoría de Orrua (en las condiciones actuales) solo se podría producir una tipología de salmón RAS que tuviera como destino el mercado ecológico; ya que de los tres niveles de precios usados para reflejar la incertidumbre en primera venta, solo el de 7-7,5 €/kg sería el más cercano a la realidad de dicho mercado. En términos generales, mencionar que los costes de producción en dicha piscifactoría están demasiado altos para producir una especie como salmón

común. La minimización del coste va a ser esencial para maximizar la eficiencia de la producción en dicha planta y único factor bajo el control del sistema de producción. En las gráficas del estudio económico, se puede ver que el coste por kg de los costes fijos y variables se minimiza en el escenario 3 a €8. Entonces un precio de más de €8 por kg se requiere para cubrir los costes operacionales y capitales del proyecto propuesto para el País Vasco. En las “estimaciones” de precios, la mejor llegó a €6 por kg; es por ello, que se recomienda buscar fórmulas para alcanzar un precio mayor mediante condiciones excepcionales de calidad (ecológico) y/o minimización de costes productivos (Ej: mediante ahorro energético). Finalmente, según la opinión de los autores del presente estudio, el valor de los costes aportados (fijos de depreciación, mantenimiento y seguro) resultan generalmente altos. Dichos costes representan los costes operacionales menos flexibles para el productor ya que los variables permiten más oportunidad de reducciones para controlar la ganancia en eficiencia.

7. CUMPLIMIENTO EN PLAN DE TRABAJO

Actividades/Tareas	Promotor	Centro Ejecutor	2012												2013											
			F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
T1. Diseño de ingenierías, instalación y auditoría energética.	AZTI	AZTI																								
T2. Evaluación de la viabilidad técnica	AZTI	AZTI																								
T3. Evaluación de la viabilidad económica	AZTI	AZTI																								
T4. Evaluación de la viabilidad del producto alimentario derivado	AZTI	AZTI																								

TAREA 1: CONCLUIDA.
TAREA 2: CONCLUIDA
TAREA 3: CONCLUIDA
TAREA 4: NO CONCLUIDA

8. BIBLIOGRAFIA

- Anak Bijo, P. (2007). *Feasibility Study Of a Recirculation Aquaculture System* (p. 59). Reykjavik.
- Björnsson, B., Steinarsson, A., Árnason, T. (2007). Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture* 271, 216–226.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification.
- Gobierno Vasco, (2008). Plan Director de Acuicultura de la Comunidad Autónoma Vasca. Dpto. Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno Vasco. 176pp + Anexos.
- Ayer, N. W. and P. H. Tyedmers (2009). "Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada." *Journal of Cleaner Production* 17(3): 362-373.
- Bjerknes, V., (2007). *Calidad de agua y producción de juveniles de salmón*. Juul Forlag. ISBN: 978-82-8090-018-0. 245 pp.
- Cardenas A., Kolbrun Sveinsdottir, Emilia Martinsdottir. (2005). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for fresh cod (*Gadus morhua*) fillets and application in shelf life study. *Food Control* 18 (2005) 352-358.
- Cañavate, J. P. (2005). Opciones del lenguado senegalés *Solea senegalensis* Kaup, 1858 para diversificar la acuicultura marina. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 21 (1-4): 147-154.
- Coll, J. (1986). *ACUICULTURA MARINA ANIMAL*. 2da. Edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid. 629p.

- C. E.- Comisión de las Comunidades Europeas, (2009). Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Bruselas.
- Connell J., (1989). "Sensory assessment of fish quality". Torry Advisory Note nº 91. Torry Research Station, Aberdeen, Scotland. © Crown copyright 1989.
- De Ionno, P. N., Wines, G. L., Jones, P. L., & Collins, R. O. (2006). A bioeconomic evaluation of a commercial scale recirculating finfish growout system — An Australian perspective. *Aquaculture*, 259(1-4), 315-327.
- Duun, A.S., T. Rustad. (2007) "Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets". *Food Chemistry* 105 (2007) 1067-1075.
- Earll, R. E. (1880). A report on the history and present conditions of the shore cod fisheries of Cape Ann, Mass., together with notes on the natural variability and artificial propagation of the species, pp. 685e740. In Report of the Commissioner for 1878. US Commission of Fish and Fisheries, Washington, DC.
- FAO. (2008). The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. Departamento de Pesca. Roma. 2008.
- FROM, (2007). Estudio sobre Hábitos de Compra, Conservación y Consumo de los Productos Pesqueros en la Población Española Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Secretaria General de Pesca Marítima.
- Halachmi, I., Simon, Y., Guetta, R., & Hallerman, E. M. (2005). A novel computer simulation model for design and management of re-circulating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 32(3-4), 443-464.
- Heinen, J.M., Hankins, J.A., Adler, P.R. (1996). Water quality and waste production in recirculating trout culture system with feeding of a higher energy or a lower energy diet. *Aquaculture*. 27, 699-710.

- Hyldig, G., & Nielsen, J. In Olafsdottir G., Luten J., Dalgaard P., Careche M., Verrez-Bagnis V., Martinsdottir E. and Heia K. (1998). "A rapid sensory method for quality management". Eds: Institut International du Froid, Paris. <http://.search.proquest.com/docview/17830150?accountid=26363>(Eds.)
- Kontali Analyse AS. (2008). *Perspective Analysis Farmed Atlantic Cod. Expected Development in Norwegian Cod Farming 2005 - 2015* (p. 19). Kristiansund, Norway.
- Lucas S.L. and Southgate P.C., (2003). *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*, ISBN-10:0-85238-222-7
- Lekang, O.I., (2007). *Aquaculture Engineering*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing.
- Medas, (2004). MANUAL DE PRODUCCION DEL RODABALLO. PROYECTO MEDAS 21. Medidas Contra La Exclusión Y El Desempleo En Áreas Litorales. Editorial EQUAL. TOMO I. Universidad Politécnica de Madrid. 43p. www.Medas21.com
- Menu B. & J. PERSON (1991). "Fase de Criadero y Engorde" del Capítulo El cultivo de Peces planos: Lenguado, rodaballo. En: ACUICULTURE, Gilbert Barnabé Vol. II. Edic. Omega S.A. Barcelona - España. pp: 625-642.
- Moksness E., Kjorsvik, E., Olsen, Y. (2004). *The Culture of Cold Water Marine Fish*. Blackwell Publishing. 529 pp.
- Muir, J.F., (1982). Recirculated water systems in aquaculture, in: Muir, J.F., Roberts, R.J. (Eds.), *Recent Advances in Aquaculture*. Croom Helm, London, pp. 358-453.
- Papatryphon E, Petit J, Van der Werf H, Kaushik S (2003): Life Cycle Assessment of trout farming in France: A farm level approach. Life Cycle Assessment in the agrifood sector. Proceedings from the 4th International Conference Dias report 61, 71-77

- Pelletier, N. L., N. W. Ayer, et al. (2006). "Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: Review and prospectus." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12(6): 414-421.
- Person J. (199). El cultivo de peces planos: lenguado ,rodaballo. En: *Acuicultura*. Vol. II. Edic. Omega, S.A. Barcelona- España. pp: 613-657.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J.P., belaud, A., (2009). Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model farm recirculating system: comparison with a flow-trough system. *Aquacultural Engineering* 40, 135-143.
- Rosenthal, H. (1993). The history of recycling technology: A lesson learned from past experience?, in: Reinertsen, H., Dahle, L.A., Jorgensen, L., Tvinnereim, K., (Eds.) *Fish farming technology*, Balkema Publisher, Rotterdam, Netherlands. pp. 341 – 349.
- Rourke, P. D. O. (1991). *Current Status on Profits in Recirculating Systems. Regional Workshop on Commercial Fish Culture Using Water Recirculating Systems* (pp. 65-99).
- Rourke, P. D. O. (1996). The economics of recirculating aquaculture systems. *Proceedings of the 1st International Conference on Recirculating Aquaculture* (pp. 1-19). Roanoke, Virginia, USA.
- Rust, M. B., J. Colt. (2000). [Water Sources](#). Pages 994-998 in Stickney, R. R., W Griffin, R. W. Hardy, S. Johnson, P. Lee, M. B. Rust, G. Treece, G. W.
- Wedemeyer. (Eds.) *The Encyclopedia of Aquaculture*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Saavedra H. (1998). Cultivo del Turbot. Monografía para optar el Título Profesional de Ingeniero Pesquero Oceanógrafo e Hidrobiólogo, UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL. 61P.
- Schneider, O., Blancheton, J.P., Varadi, L., Eding, E.H., Verreth, J.A.J. (2006). Cost

- price and production strategies in European recirculation systems. Linking tradition and technology highest quality for the consumer. WAS, Firenze, Italy.
- Shepherd, J., Bromage, N., (1988). Intensive Fish Farming. Oxford: Blackwell Science Ltd. Singh, S., Ebeling, J., Wheaton, F., 1999. Water quality trials in four recirculating aquacultural system configurations. Aquacultural Engineering. 20, 75-84.
- Solaun O. y V. Valencia, (2010). Seguimiento y caracterización medio ambiental del vertido de Ondartxo Arraiak (junio-septiembre 2010). Informe confidencial para Ondartxo Arraiak. 17 pp.
- Solemdal P., Dahl, E., Danielssen, D. S., and Moksness, E. (1984). The cod hatchery in Flødevigen e background and realities. In The Propagation of Cod, *Gadus morhua* L., pp. 17-45. Ed. By E. Dahl, D. S. Danielssen, E. Moksness, and P. Solemdal. Flødevigen Rapportserie, 1.
- Sveinsdóttir, K. , Martinsdóttir, E., Hyldig, G., Sigurgísladóttir, S. (2010). “ Sensory characteristics of different cod products”. (2010) Journal of Sensory Studies, 25 (2), 294-314.
- Sveinsdóttir, K. , Martinsdóttir, E. , Green-Petersen, D. , Hyldig, G. , Schelvis, R. , Delahunty, C. (2009). Sensory characteristics of different cod products related to consumer preferences and attitudes. Food Quality and Preference, 20 (2), 120-132.
- Shepherd, J., Bromage, N. (1988). Intensive Fish Farming. Oxford: Blackwell Science Ltd. Singh, S., Ebeling, J., Wheaton, F., 1999. Water quality trials in four recirculating aquacultural system configurations. Aquacultural Engineering. 20, 75-84.
- Tyedmers P (2000): Salmon sustainability: The biophysical cost of producing salmon through the commercial salmon fishery and the intensive salmon culture industry. PhD. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Tyedmers P (2000): Salmon sustainability: The biophysical cost of producing salmon through the commercial salmon fishery and the intensive salmon culture

- industry. PhD. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Warm, K. , Nelsen, J., Hyldig, G. , Martens, M. (2000). Sensory quality criteria for five fish species .Journal of Food Quality, 23 (6), 583-601.
- Wedemeyer, G.A. (2001) Fish hatchery management, Second edition. Bethesda, Maryland. American Fisheries Society. Schneider, O., Blancheton, J.P., Varadi, L., Eding, E.H., Verreth, J.A.J., 2006. Cost price and production strategies in European recirculation systems. Linking tradition and technology highest quality for the consumer. WAS, Firenze, Italy.

9. ANEXO 1

9.1 Costes por kg de salmón en punto de equilibrio

A continuación se muestra, el coste necesario que habría que asumir para recuperar todos los gastos.

Escenarios:	Planta				
	Piloto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Producción (t)	1,7	60	60	200	200
Costes por kg (€):					
<i>Fijo</i>	<i>39,06</i>	<i>2,61</i>	<i>4,52</i>	<i>2,09</i>	<i>3,63</i>
<i>Variable</i>	<i>27,80</i>	<i>9,04</i>	<i>10,47</i>	<i>5,65</i>	<i>5,83</i>
Total (por kg)	66,86	11,65	14,99	7,74	9,46
Coste Total (€)	113.670€	698.866€	899.257€	1.547.132€	1.892.025€

9.2 Dimensión de producción requerida para punto de equilibrio con base a los precios simulados

A continuación se muestra, el tamaño de producción al que habría que llegar para hacer rentable el negocio de salmón, asumiendo las condiciones de precio y costes productivos, simulados:

Escenarios:		Planta				
		Piloto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Producción	Planificada	-				
Toneladas		1,7	60	60	200	200
Peso Individual - Kg c/u		1,2	1,5	3	1,5	3
Costes Totales - €		113670	698866	899257	1547132	1892025
Precios por Kg:						
Precio promedio		3	3	4,5	3	4,5
Precio bajo		2	2	3	2	3
Precio alto		4	4	6	4	6
Producción	Necesaria	-				
Toneladas:						
Punto de equilibrio – precio prom.		38	233	200	516	420
Punto de equilibrio – precio bajo		57	349	300	774	631
Punto de equilibrio – precio alto		28	175	150	387	315

10. ANEXO 2. VIGILANCIA DE MERCADO MAGRAMA Y MODELOS DE NEGOCIO