



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA



Máster Universitario en Acuicultura
Valencia

Estudio de diferentes alternativas zootécnicas de producción de una granja de peces para minimizar el impacto ambiental

Jorge Ballester Cámara

Tutores: Silvia Martínez Llorens (UPV), Ignacio Jauralde
García (UPV)

Máster en Acuicultura

LISTADO DE ABREVIATURAS

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
UE	Unión Europea
TAN	Nitrógeno Amoniacal Total
RAS	Sistemas de Recirculación en Acuicultura
t	Tonelada
g	Gramos
kg	Kilogramo
CTC	Coficiente Térmico de Crecimiento
IC/ICA	Índice de Conversión
Sup.	Supervivencia
Vol.	Volumen
Incr.	Incremento
B	Biomasa
Bf	Biomasa final
Bi	Biomasa inicial
P ing.	Pienso ingerido
CDms	Coficiente digestibilidad de la materia seca
<i>P no ing</i>	Pienso no ingerido por los peces
%PB	Porcentaje proteína bruta del pienso
%N	Porcentaje nitrógeno del pienso
<i>CDpb</i>	Coficiente digestibilidad de la proteína bruta del pienso
<i>Texcreción</i>	Tasa excreción de los peces
Q	Caudal
<i>Od</i>	Oxígeno disponible
<i>Tc</i>	Tasa consumo oxígeno
<i>Te</i>	Tasa eliminación amoniaco
<i>Cm</i>	Concentración máxima amoniaco en el sistema
<i>rTAN</i>	Capacidad de eliminación del biofiltro

Á	Área material del biofiltro
V	Volumen material filtrante
HSL	Carga hidráulica
Ef.ret.prot	Eficiencia retención de proteína
min	Minuto
l	Litro
mg	Miligramo
s	Segundo
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico

Resumen

La cantidad de residuos que se generan en una piscifactoría de trucha depende, en gran medida del volumen de producción. Sin embargo, el número de lotes en los que se distribuye la producción anual y la duración del ciclo de producción tiene una notable influencia en cómo se reparten estos residuos a lo largo del año o a lo largo de un ciclo productivo. Con menor cantidad de lotes se simplifica la gestión, pero la biomasa máxima y el caudal necesario son generalmente mayores, al igual que los residuos que se generan. Asimismo, aumentar el número de lotes puede disminuir el caudal máximo y también la descarga máxima mensual de residuos, ya que estos están más repartidos a lo largo de año.

El objetivo del presente trabajo será evaluar diversas alternativas posibles en el diseño de una granja de peces, considerando diferentes volúmenes de producción y número de lotes anuales, y ubicaciones, estimando el número de estanques necesarios en cada supuesto, el caudal de agua necesario y la cantidad de residuos generados en un sistema de producción abierto y su comparativa con un sistema de producción cerrado en recirculación.

Palabras clave

Sistemas de recirculación en acuicultura; dimensionado de granjas de peces; plan de producción; residuos sólidos; residuos disueltos

Abstract

The amount of waste generated in a trout farm depends largely on the volume of production. However, the number of batches in which the annual production is distributed and the length of the production cycle have a notable influence on how these wastes are distributed throughout the year or throughout a production cycle. With fewer batches, management is simplified, but the maximum biomass and the required flow are generally higher, as is the waste generated. Likewise, increasing the number of lots can decrease the maximum flow and also the maximum monthly discharge of waste, since these are more distributed throughout the year.

The objective of this work will be to evaluate various possible alternatives in the design of a fish farm, considering different production volumes and number of annual batches, and locations, estimating the number of ponds necessary in each case, the necessary water flow and the quantity of waste generated in an open production system and its comparison with a closed production system in recirculation.

Keywords

Recirculation systems in aquaculture; fish farm sizing; production plan; Solid waste; dissolved waste

ÍNDICE

Índice

1. Introducción	1
1.1 Acuicultura	1
1.1.1 Acuicultura mundial	1
1.1.2 Acuicultura en España	4
1.2 Trucha arcoíris	6
1.2.1 Taxonomía y biología	6
1.2.2 Condiciones de producción de trucha arcoíris	8
1.2.3 Producción acuícola de trucha arcoíris	9
1.3 Sistemas de producción	10
1.3.1 Sistemas extensivos.....	11
1.3.2 Sistemas semi-extensivos.....	11
1.3.3 Sistemas intensivos	11
1.3.4 Sistemas de recirculación (RAS)	11
1.3.4.1 Gestión de residuos en sistemas RAS.....	12
1.4 Impacto ambiental derivado de la actividad piscícola	13
1.5 Sostenibilidad ecológica	14
1.6 Sostenibilidad económica	14
2. Justificación y objetivos	15
3. Materiales y métodos	16
3.1 Metodología aplicada para el diseño zootécnico.....	16
3.2 Alternativas zootécnicas propuestas	16
3.3 Localización de la piscifactoría	17
3.4 Estimación de las curvas de crecimiento	17
3.5 Elección de lotes y plan de producción	18
3.6 Cálculo del número de tanques necesarios	18
3.7 Alimentación	20
3.8 Cálculo índice de conversión para cada lote y para cada año de producción	22
3.9 Producción de residuos	22
3.10 Estimación de caudales	24
3.11 Necesidades de O ₂	26
3.12 Dimensionado de elementos básicos para RAS	27
3.13 Presupuesto	29
3.14 Estudio económico estático	31

3.15	Estudio económico dinámico	32
4.	Resultados y discusión	33
4.1	Planificación de la producción	33
4.2	Número de tanques necesarios	35
4.3	Cantidad de pienso e índice de conversión.....	36
4.4	Caudal y necesidades de oxígeno.....	37
4.5	Estimación de Deshechos.....	40
4.6	Elementos básicos de un Sistema RAS	41
4.6.1	Filtro de malla de tambor.....	41
4.6.2	Biofiltro.....	42
4.7	Presupuesto	44
4.8	Estudio económico estático	44
4.9	Estudio económico dinámico	45
5.	Conclusiones	47
6.	Bibliografía	48
7.	Anexos	50

1. Introducción

1.1 Acuicultura

La definición que ofrece la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2020) es la cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para mejorar la producción o igualar la producción natural aumentando su valor económico. La cría supone asimismo tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén produciendo. La acuicultura varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, desde la piscicultura de agua dulce en los arrozales de Vietnam hasta la cría de camarón en estanques de agua salada en las costas de Ecuador, y la producción de salmón en jaulas en las costas de Noruega o de Escocia. Sin embargo, la mayor parte de la acuicultura se lleva a cabo en el mundo en desarrollo, para la producción de especies situadas en la zona baja de la pirámide de la cadena alimentaria, como la tilapia o la carpa (FAO, 2020).

1.1.1 Acuicultura mundial

La gran demanda de productos acuáticos de calidad, asociados al crecimiento poblacional a nivel mundial, solo puede satisfacerse sumando la producción derivada de la acuicultura a la producción pesquera, dos actividades que seguirán de la mano al menos en las próximas décadas.

Los alimentos de origen acuático componen una de las principales fuentes de proteína animal del mundo, suponiendo el 17% de ingesta de proteína mundial y el 6,7% de toda la proteína consumida. Estos productos no solo contienen una proteína de alta calidad, sino que también contienen ácidos grasos esenciales Omega-3 tales como EPA y DHA.

El año 2018 es el año más reciente de información estadística de producción acuática mundial. En ese año, la producción acuática mundial fue de 211,9 millones de toneladas, un 2,6 % más que en 2017. Esta producción ha crecido de forma continua durante las tres últimas décadas a un ritmo medio del 2,5 % anual, superando el ritmo de crecimiento de la población mundial que ha sido del 1,6 %. Este crecimiento del sector ha sido posible gracias al inmenso aumento de producciones y a las mejoras técnicas de conservación del pescado, entre otros.

La acuicultura juega un papel fundamental tanto en países en vías de desarrollo en sus esfuerzos por erradicar el hambre como en países desarrollados, actuando como un motor de desarrollo económico contribuyendo a una buena utilización de los recursos del entorno natural, a la seguridad alimentaria y con un controlable impacto ambiental.

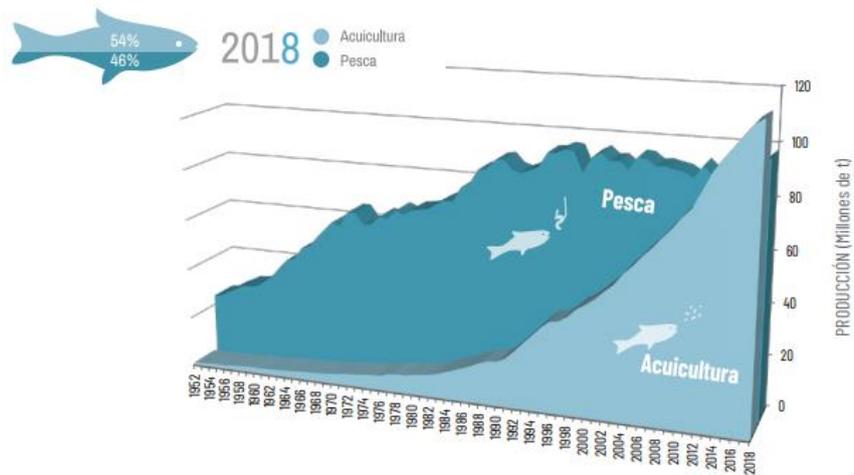


Figura 1. Evolución de la producción de acuicultura y pesca en el periodo de 1952-2018
Fuente: Apromar (2020)

A partir de los años sesenta del siglo XX, la producción mundial de acuicultura ha crecido de forma sostenida y de manera espectacular. Entre el año 2000 y 2018, el crecimiento interanual ha sido del 5,9% de media. La mayor parte de la producción acuícola procede del continente asiático, el 92% de la producción mundial. El resto de producción se distribuye entre América, Europa, África y Oceanía, como se observa en la Figura 2.

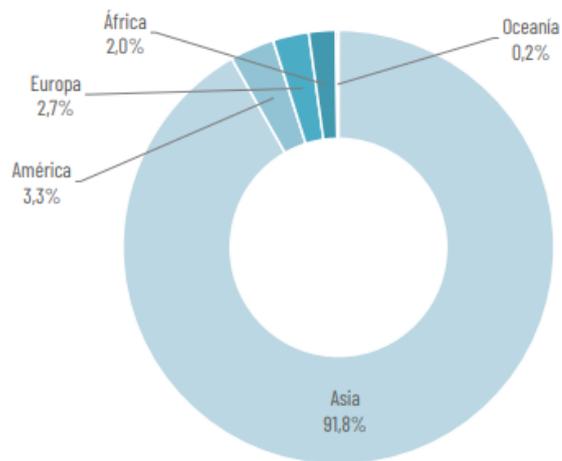


Figura 2. Distribución de la producción de acuicultura mundial. Fuente: Apromar (2020)

La acuicultura es una práctica llevada a cabo en prácticamente la totalidad de países del mundo, sin embargo, es una actividad especializada en la que sólo los países que apuestan estratégicamente por ella logran avances reales mantenidos en el tiempo. Fundamentalmente esta actividad se desarrolla en países en vías de desarrollo en Asia, que padecen de carencias alimenticias, sin embargo, estos países asiáticos cuentan con producciones intensivas y con productos con un alto valor comercial, como langostinos, con el fin de ser exportados al mercado

internacional, no obstante, la mayor proporción de su acuicultura está basada en industrias tradicionales, extensivas de ciprínidos para el consumo local.

China sigue siendo líder indiscutible en producción de acuicultura mundial con 66,1 millones de toneladas de producción en 2018, un 2,8 % superior a la de 2017, y con gran diferencia sobre el segundo país en producción, Indonesia, que cosechó 14,7 millones de toneladas. Se mantiene Indonesia en la segunda posición, aunque su tasa de crecimiento ha descendido un -8,35 % en 2018. En Indonesia las mayores producciones son las algas eucheuma y laminaria japonesa, junto con tilapia del Nilo. Le sigue India con una producción de 7,1 millones de toneladas y un incremento anual del 14,33 %, y Vietnam con 4,2 millones de toneladas y un crecimiento respecto de 2017 del 8,4 %. En lo que respecta a España, permanece en la misma posición en el ranking que en 2017 (20ª posición) con 347.825 toneladas y un incremento del 11,8%.

Tabla 1. Principales países productores de acuicultura por toneladas anuales en 2018 y la tasa de variación interanual. Fuente: FAO (2020)

País	Cantidad (t)	% Var. anual
China	66.135.059	2,8%
Indonesia	14.772.104	-8,4%
India	7.071.302	14,3%
Viet Nam	4.153.322	8,4%
Bangladesh	2.405.418	3,1%
Filipinas	2.304.361	3,0%
República de Corea	2.278.850	-2,4%
Egipto	1.561.457	7,6%
Noruega	1.355.117	3,6%
Chile	1.287.233	5,5%
TOTAL 10 PAISES PRODUCTORES	103.324.221	1,9%
RESTO DE PAISES	11.183.821	3,1%
TOTAL MUNDIAL	114.508.042	2,0%
España	347.825	11,8%

Las dos principales especies producidas mediante acuicultura en el mundo en 2018 han sido las algas laminaria japonesa o kombu (*Saccharina japonica*) con 11,4 millones de toneladas y el alga eucheuma (géneros *Eucheuma* y *Kappaphycus*) con 9,2 millones de toneladas. La tercera especie es el ostión japonés (*Crassostrea gigas*) con 5,8 millones de toneladas y en 4º lugar la carpa china (*Ctenopharyngodon idella*) con 5,7 millones de toneladas (Tabla 2).

De las especies producidas en España, destacan en el contexto mundial la producción de trucha arco iris, 31ª especie producida, con 848.051 t en total, los mejillones europeos, 37ª posición, con 262.477 t, la lubina, 59ª especie, con 235.538 t, la dorada, 61ª especie, con 228.576 t, y el rodaballo, 97ª especie, con 58.798 t.

Tabla 2. Principales especies producidas mediante acuicultura en el mundo (en toneladas en 2018 (FAO) y tasa de variación interanual. Fuente: FAO (2020)

Especie	Nombre científico	Toneladas	% Var. anual
Laminaria japonesa	<i>(Saccharina japonica)</i>	11.448.250	2,5%
Alga Eucheuma	<i>(Eucheuma y Kappaphycus)</i>	9.237.530	-3,6%
Carpa china	<i>(Ctenopharyngodon idella)</i>	5.703.950	3,3%
Ostión japonés	<i>(Crassostrea gigas)</i>	5.814.615	4,5%
Langostino blanco	<i>(Litopenaeus vannamei)</i>	4.966.241	4,9%
Carpa plateada	<i>(Hypophthalmichthys molitrix)</i>	4.788.493	1,8%
Tilapia del Nilo	<i>(Oreochromis niloticus)</i>	4.525.431	1,5%
Carpa común	<i>(Cyprinus carpio)</i>	4.189.524	7,3%
Almeja japonesa	<i>(Ruditapes philippinarum)</i>	4.139.157	-2,1%
Alga Gracilaria	<i>(Gracilaria sp.)</i>	3.454.778	-17,2%
TOTAL 10 PRALES. ESPECIES		58.267.969	0,4%
RESTO DE ESPECIES		58.240.073	3,8%
TOTAL ACUICULTURA MUNDIAL		114.508.042	2,0%
Trucha arco iris	<i>(Oncorhynchus mykiss)</i>	848.051	1,9%
Mejillones europeos	<i>(Mytilus galloprovincialis y edulis)</i>	262.477	1,2%
Dorada	<i>(Sparus aurata)</i>	228.576	4,8%
Lubina	<i>(Dicentrarchus labrax)</i>	235.538	9,4%
Rodaballo	<i>(Psetta maxima)</i>	58.798	2,4%

1.1.2 Acuicultura en España

A finales de los años 60 del siglo XX España ocupaba una alta posición en el escenario mundial de producción de productos acuáticos, esta situación estaba basada fundamentalmente en la pesca extractiva. Sin embargo, a partir de los años 70 esta actividad se vio muy reducida a causa de la reducción de las posibilidades de pesca. La acuicultura en España comenzó en los años 60 (Figura 5) y, a pesar de su progresivo desarrollo, no ha sido capaz de compensar la caída de la pesca y ni de contrarrestar la disminución de las capturas.

La obtención de productos acuáticos en España en 2018 aumentó un 0,9% respecto de 2017, con una producción total de 1.276.616 toneladas (FAO, 2020). Las cifras de producción de acuicultura en España en 2018 son por un total de 348.891 toneladas y valor en primera venta de 452,9 millones de euros. El mejillón (*Mytilus spp.*) fue el principal recurso acuático vivo de España en términos de peso (Figura 6), del cual se produjeron 273.600 toneladas, seguido por la lubina con unas 22.460 toneladas, la trucha arcoíris con 18.955 toneladas y la dorada con 14.930 toneladas.

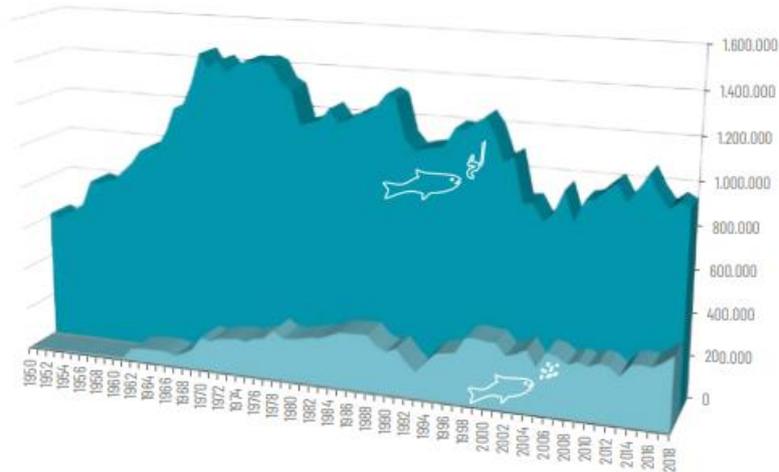


Figura 3. Evolución de la producción acuática total en España en el periodo 1950-2018. Fuente: Apromar (2020)

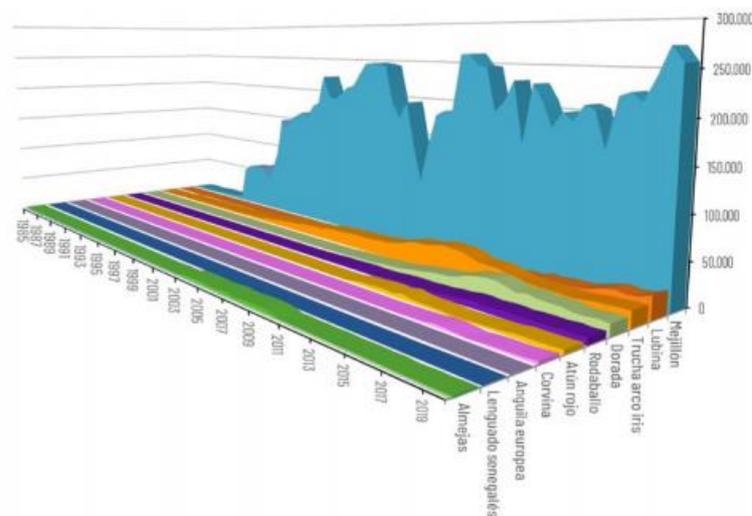


Figura 4. Evolución de la producción de la acuicultura en España en toneladas y por especies, en el periodo 1950-2020. Fuente: Apromar (2020)

España consta de casi 8.000 Km de costa con una orografía y un clima muy diversos que proporcionan las características físicoquímicas y ambientales necesarias para el desarrollo de la acuicultura marina. Cuenta además con numerosos recursos fluviales, lagos y embalses, donde se dan condiciones idóneas para el desarrollo de la acuicultura continental.

El inicio de la moderna acuicultura marina en España puede situarse en la constitución de dos empresas privadas en 1973, Finisterre Mar y Tinamenor, S.A., que se iniciaron produciendo moluscos. Todas las que fueron surgiendo hasta el final de los años 80 tenía un marcado carácter de investigación científica y desarrollo, ya que la actividad industrial realmente productiva cuenta con apenas 30 años de vida.

A partir de los años noventa, con la incorporación de nuevas tecnologías y una mayor industrialización del sector, se incorporaron nuevas especies como el rodaballo en el norte de España y la dorada y lubina en el sur, levante de España y Canarias. Además, la producción del mejillón incrementó su grado de industrialización y se mejoraron los métodos empresariales en las producciones de trucha y en los esteros de la región suratlántica.

En cuanto a la acuicultura marina, la producción de peces marinos durante los últimos años viene experimentando un crecimiento importante. Este crecimiento se debe fundamentalmente a la dorada (*Sparus aurata*), a la lubina (*Dicentrarchus labrax*) y al rodaballo (*Psetta máxima*).

El desarrollo de la acuicultura continental se ha basado en la producción de trucha debido a la alta calidad de los recursos acuáticos existentes en España. Se han desarrollado a mucha menor escala otras producciones de especies continentales, muy localizados geográficamente por las características ambientales y por los hábitos de consumo específicos de ciertas regiones. (FAO, 2020)

1.2 Trucha arcoíris

1.2.1 Taxonomía y biología

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Walbaum, 1972) es un pez eurihalino de agua dulce y de mar de la familia de los salmónidos, distribuido de forma nativa por el norte del océano Pacífico, desde Japón pasando por el mar de Bering hasta la península de Baja California en México, aunque de forma artificial ha sido introducida por el hombre en muchos lugares. Es un pez resistente y fácil de desovar, de crecimiento rápido, tolerante a una amplia gama de ambientes y manipulaciones; los alevines grandes (que usualmente comen zooplancton) pueden ser iniciados fácilmente en la alimentación con una dieta artificial. La trucha arco iris es capaz de ocupar muchos hábitats diferentes, que abarcan desde un ciclo de vida anádromo hasta habitar de manera permanente en lagos. La cepa o linaje anádromo es conocida por su crecimiento rápido, alcanzando 7-10 kg en un marco de 3 años, mientras que la cepa de agua dulce sólo puede alcanzar 4.5 kg en el mismo lapso. La especie puede soportar amplias gamas de variación de temperatura (0-27 °C), pero el desove y crecimiento ocurren en una gama más estrecha (9-14 °C). La temperatura óptima del agua para la producción de trucha arco iris está por debajo de 21 °C. Como resultado, la temperatura y disponibilidad de alimento influyen el crecimiento y la maduración, haciendo que la edad de madurez varíe. Los machos pueden adquirir la madurez sexual a los 15 o 18 meses, mientras que en las hembras es un poco más tardado, ya que necesitan un mínimo de dos años. Durante el proceso de maduración sexual, las truchas van sufriendo una serie de cambios morfológicos en su aspecto, los cuales hacen que uno pueda distinguir fácilmente los machos de las hembras, dos de los cambios más notorios sucede en el macho, uno de ellos es en el maxilar inferior debido a que este sufre un proceso de prolongación, así como una ligera curvatura dorsal del cuerpo.

Las hembras son capaces de producir hasta 2 000 huevos/kg de peso corporal. Los huevos son de diámetros relativamente grandes (3-7 mm). La mayoría de los peces desova sólo una vez, en primavera (enero-mayo), aunque la crianza selectiva y el ajuste del fotoperíodo ha producido cepas de criadero que pueden madurar más temprano y desovar todo el año.

Las truchas no desovarán naturalmente en sistemas de producción; de modo que los huevos son desovados artificialmente de peces reproductores de alta calidad cuando están totalmente maduros; aunque las truchas comienzan a desovar a los dos años de edad, casi nunca se usan hembras para propagación antes que ellas tengan tres o cuatro años de edad (Figura 7). En la naturaleza, las truchas adultas se alimentan de insectos acuáticos y terrestres, moluscos, crustáceos, huevos de peces y otros peces pequeños, pero el alimento más importante son los camarones de agua dulce, que contienen los pigmentos carotenoides responsables del color rosado-naranja en la carne. (FAO, 2020)

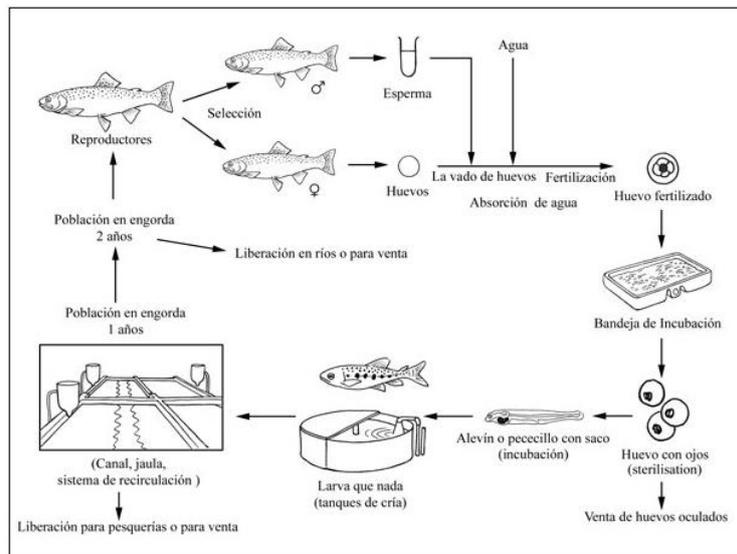


Figura 5. Ciclo de producción de *Oncorhynchus mykiss*. Fuente: FAO (2020)

En la siguiente tabla (Tabla 3) se presenta la clasificación taxonómica de la trucha arcoíris de acuerdo con Camacho *et al.* (2000).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de *Oncorhynchus mykiss*. Fuente: Camacho *et al.* (2000)

Reino	Animal
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Pisces
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii
Orden	Salmoniformes
Familia	Salmonidae
Género	Oncorhynchus
Especie	mykiss
Nombre científico	Oncorhynchus mykiss
Nombre común	Trucha arco iris

La trucha arcoíris posee un cuerpo de forma alargada, fusiforme con 60-66 vértebras, 3-4 espinas dorsales, 10-12 rayos dorsales blandos, 3-4 espinas anales, 8-12 rayos anales blandos, 19 rayos caudales (Hardy *et al.* 2000). Aleta adiposa presente, usualmente con borde negro. Sin tubérculos nupciales, pero ocurren cambios menores en la cabeza, boca y color de los machos desovantes. Coloración azul a verde oliva sobre una banda rosada a lo largo de la línea lateral y plateada por debajo de ella. Lomo, costados, cabeza y aletas cubiertas con pequeños puntos negros. La coloración varía con el hábitat, tamaño, y condición sexual. Tendencia de los residentes en corrientes y de los desovantes a ser más oscuros con color más intenso, mientras que los residentes de lagos son más brillantes y plateados. La ausencia de dientes hioideos es la característica que más fácilmente permite distinguirla de *Oncorhynchus clarki* (trucha "cutthroat").

Durante el estado larvario se alimenta del saco vitelino, cuando finalizan esta etapa su alimentación se basa principalmente de zooplancton y posteriormente de pequeños peces, crustáceos moluscos e insectos (Garavito, 2000).

1.2.2 Condiciones de producción de trucha arcoíris

Es necesario asegurar a la trucha condiciones ambientales óptimas o lo más cercanas posibles durante todas las fases de producción. Para ello lo primero es que el piscicultor conozca cuáles son estos requisitos de producción.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos para la producción de *Oncorhynchus mykiss*. Fuente: Sarmiento (2006).

PARAMETRO	NIVEL ACEPTABLE
Temperatura ideal	10 a 18 °C
Oxígeno Disuelto	>5 mg por litro
PH	6.7 a 9.0 unidades
Alcalinidad	20 a 200 mg/l (como CaCO ₃)
Dióxido de Carbono	<2 mg/l
Calcio	>52 mg/l
Zinc	<0.04 mg/l a un pH de 7.6
Cobre	<0.006 mg/l en agua blanda <0.3 mg/l en agua dura
Hierro	<1.0 mg/l
Amoniaco (NH ₃)	<0.012 mg/l
Nitritos (NO ₂)	<0.55 mg/l
Nitratos (NO ₃)	<1.0 mg/l
Nitrógeno	<110% de saturación total
Sólidos en suspensión	<80 mg/l
Sólidos disueltos	<500 mg/l
Sulfuro de hidrógeno	<0.002 mg/l

1.2.3 Producción acuícola de trucha arcoíris

La producción acuícola mundial de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en 2018 ha sido de 848.051 toneladas, lo que supone un incremento del 1,9% respecto al año anterior.

Los principales países productores de trucha arco iris son Irán con 179.684 toneladas (el 21,2 % del total mundial), Turquía con 112.427 toneladas (13,3 %), Chile con 78.446 toneladas (9,3 %), Noruega con 68.216 toneladas (8 %) y Perú con 55.030 toneladas (6,5 %). Otros países relevantes son por volumen de producción: China, Rusia, Italia, Dinamarca, Francia, Colombia y EEUU, pero es una especie producida en 79 países distribuidos por los cinco continentes, aunque sea originaria de Norteamérica (Figura 6).

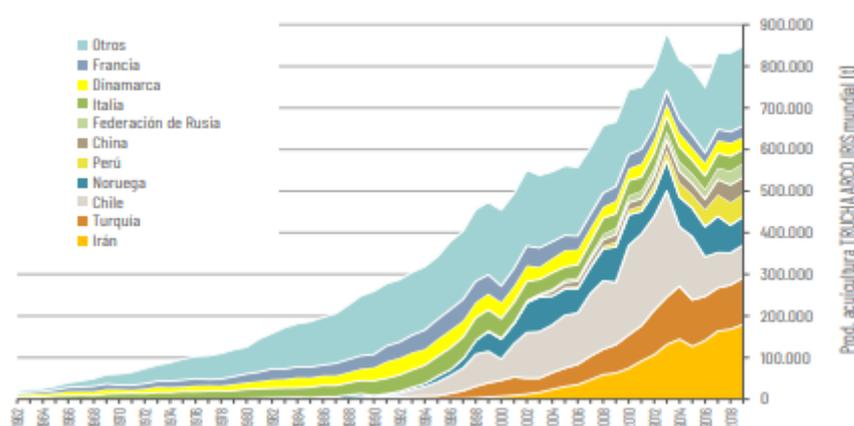


Figura 6. Evolución de la producción de acuicultura de *Oncorhynchus mykiss* en el mundo en el periodo 1962-2018 en toneladas. Fuente: Apromar (2020)

La pesca extractiva comercial de trucha arco iris es muy reducida y supuso tan sólo 1.145 toneladas en el todo el mundo en 2018, en países como Finlandia, Perú y Reino Unido.

La producción de trucha arco iris en España en 2019 se estima que fue de 18.955 toneladas, un 0,5 % más que en el año previo. Para 2020 se prevé una producción similar en cuanto a toneladas, entorno a las 19.400 t, si bien ambas producciones están muy lejos del máximo de 35.384 toneladas en 2001, si bien evidencia la consolidación de su recuperación. Las principales regiones productoras son Castilla y León, Galicia, Andalucía, Cataluña, La Rioja, Castilla la Mancha, Asturias y Aragón.

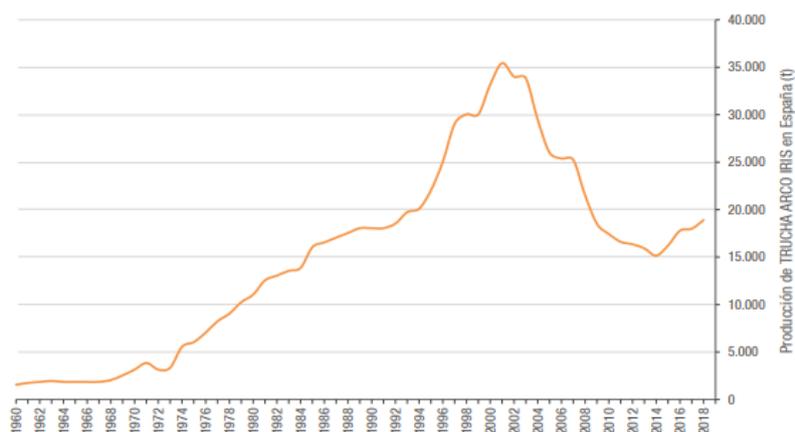


Figura 7. Evolución de la producción acuícola de *Oncorhynchus mykiss* en España en toneladas (1954-2018). Fuente: Apromar (2020)

1.3 Sistemas de producción

Dentro de los diferentes tipos de sistemas de producción se utilizará aquel que se adapte a las necesidades y requerimientos de los organismos, y producción que se quiera obtener finalmente. Estos se pueden clasificar en función de la densidad de producción (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de los sistemas de producción.

Sistema	Densidad (kg/m ³)	Renovación agua (nº/día)	Alimentación
Extensivo	0,05	0	Natural
Semi-extensivo	0,1-0,5	0,1	Complemento
Semi-intensivo	1-2	<1	Pienso
Intensivo	15-50	24	Pienso
Super-intensivo	>150	72	Pienso

La densidad de población es un parámetro para diferenciar las producciones intensivos y extensivos. El parámetro más importante para distinguir una producción en el control que se ejerce sobre el medio.

En el caso de la producción intensiva se realiza un control elevado y el en el extensivo es más reducido.

Un mayor control se realiza para optimizar las condiciones de la producción, lo que, en los peces, contribuiría al incremento de la densidad de la población. En determinados contextos, se emplea el término acuicultura intensiva como indicativo de densidad de la producción, de este modo, se habla de producción intensiva de peces en jaulas flotantes. Estas jaulas tienen una gran cantidad de peces pero están situadas en un medio natural.

1.3.1 Sistemas extensivos

La piscicultura extensiva tradicional de agua dulce se practica en toda Europa y es particularmente común en Europa Central y Oriental. Este método de producción de larga data consiste en mantener los estanques (naturales o artificiales) de tal manera que favorezcan el desarrollo de la fauna acuática. Cada invierno, los estanques y lagunas se limpian y fertilizan para estimular la vegetación acuática y en consecuencia intensificar la presencia de microorganismos, pequeños moluscos y crustáceos, larvas y gusanos, que forman la base de la pirámide alimenticia acuática. Esto fomenta el desarrollo de animales "comercializables" con un rendimiento superior al del ecosistema natural. La producción en las fincas extensivas es generalmente baja (menos de 1 t / ha / año).

1.3.2 Sistemas semi-extensivos

En un sistema semi-intensivo, la producción del estanque se incrementa más allá del nivel de la acuicultura extensiva agregando alimento suplementario, generalmente en forma de pellets secos, para integrar el alimento disponible naturalmente en el estanque, permitiendo mayor densidad de población y producción por hectárea. (European Commission, 2020)

1.3.3 Sistemas intensivos

Las producciones intensivas se realizan normalmente en instalaciones separadas del medio natural, en tanques o piscinas aisladas con sistemas técnicos de captación y recirculación de agua, y con un control total del medio y de los individuos. Son mucho más caros que los procesos menos tecnificados, pero el aumento de rendimiento o la necesidad de un mayor control de la producción es determinante. Estudios y experiencias concretas demuestran el potencial productivo y rentabilidad de estos emprendimientos. (NUESTROMAR, 2020)

1.3.4 Sistemas de recirculación (RAS)

Los sistemas de recirculación en acuicultura (RAS) se utilizan en acuarios domésticos y para la producción de peces, donde el intercambio de agua es limitado y se requiere el uso de la biofiltración para reducir la toxicidad del amoníaco (Timmons & Ebeling, 2013). Otros tipos de filtración y control ambiental también son a menudo necesarios para mantener el agua limpia y proporcionar un hábitat adecuado para los peces (Thomas, 1995). El principal beneficio de los RAS es la capacidad de reducir la necesidad de agua dulce y limpia, al tiempo que se mantiene un entorno saludable para los peces. Para que los RAS económicamente comerciales funcionen, deben tener una alta densidad de población de peces, y muchos investigadores están llevando a cabo estudios para determinar si los RAS son una forma viable de acuicultura intensiva (Jenner, 2010).

Por esto, los sistemas de recirculación presentan una serie de ventajas, tales como la reducción de las necesidades de agua en comparación con la piscicultura de canales o estanques (Martins *et al.* 2010), la reducción de necesidades de espacio debido a la elevada densidad de población

en el sistema ofrece una flexibilidad en la elección del lugar e independencia de una fuente de agua (Costa-Pierce, 2005) y reduce el volumen de efluentes de aguas residuales.

Por otra parte, los sistemas de recirculación requieren de una alta inversión en materiales e infraestructura, altos costos de operación y se necesita de personal altamente capacitado para monitorear y operar el sistema (Rawlison, 2014)

El diseño y la gestión cuidadosos de RAS son la base para una gestión de residuos exitosa con respecto a la producción y el tratamiento de residuos. Un sistema RAS con unas condiciones de producción bien controladas contribuyen significativamente a una utilización eficiente del alimento y, por lo tanto, a una baja producción de desechos. Además, la incorporación adecuada de procedimientos de tratamiento dentro del circuito de recirculación o en la corriente de efluentes puede contribuir aún más a una reducción significativa en la producción de desechos por estos sistemas. En la mayoría de los RAS de interior, la mayor parte de los desechos producidos por la biomasa se captura y elimina en una corriente de efluente concentrada que puede tratarse en el lugar antes de la descarga final. Dicho tratamiento *in situ* generalmente implica el espesamiento del lodo y estabilización del flujo, pero también puede diseñarse para permitir la descomposición bacteriana de los desechos sólidos. Los RAS al aire libre, ubicados principalmente en climas más cálidos, a menudo se operan con una reducción parcial de desechos dentro del circuito de recirculación (van Rijn, 2013).

1.3.4.1 Gestión de residuos en sistemas RAS

El RAS es un sistema de producción que permite reutilizar el agua donde se desarrollan los peces y se ha demostrado que es mejor para eliminar sólidos que el sistema de flujo continuo. Según Pedersen et al. (2008), el RAS tiene el potencial de reducir los impactos ambientales de los desechos de la acuicultura en comparación con los sistemas de flujo continuo. Los sistemas RAS eliminan los desechos sólidos a través de sedimentación y filtros de malla (Ebeling & Timmons, 2012). Aunque el RAS puede eliminar una gran parte de los desechos sólidos mediante la sedimentación, no es eficaz para eliminar los sólidos finos del sistema (Piedrahita, 2003), de ahí la necesidad de un filtro de malla complementario junto con la técnica de sedimentación. Singh, Ebeling y Wheaton (1999) no detectaron en la calidad del agua entre el RAS con filtro de malla y el de sedimentación, aunque el volumen de agua de renovación necesario fue significativamente mayor en RAS con sedimentación. Generalmente, los filtros de malla o de gránulos flotantes tienen una mejor eficiencia de eliminación de sólidos en comparación con los depósitos de sedimentación, aunque la eliminación total de sólidos tampoco es posible con los filtros de malla (Patterson, Watts y Timmons, 1999). Una cantidad sustancial de partículas sólidas en RAS tiene menos de 10 μm y puede causar problemas en RAS, si no se elimina de manera efectiva. Pueden obstruir los biofiltros, dar lugar a una producción secundaria de amoníaco, tener impactos negativos en otros componentes de los sistemas y en la salud de los peces producidos (Patterson *et al.*, 1999). Ni los filtros de malla, ni los depósitos de sedimentación pueden eliminar las partículas de menos de 50 μm de manera eficaz del tanque de producción, pero la eficiencia de eliminación de los medios granulares puede ser mejor (Waller, 2001). Aunque se considera que la eliminación de desechos sólidos es comparativamente más barata y fácil que otros tipos de desechos en el sistema de producción de peces, es extremadamente importante emplear técnicas efectivas que los eliminen lo más rápido posible. La eliminación eficaz de los desechos sólidos puede asegurar la reducción de

algunos otros nutrientes en el agua de producción, especialmente fósforo y materia orgánica, que se liberan en gran medida como material particulado (Piedrahita, 2003). Según Martins *et al.* (2010), un RAS tiende a eliminar del 85 al 98% de la materia orgánica y los sólidos en suspensión y del 65 al 96% del fósforo mediante la eliminación eficaz de los desechos sólidos.

1.4 Impacto ambiental derivado de la actividad piscícola

La producción acuícola mundial continúa creciendo en el nuevo milenio, ha adquirido dimensiones no imaginadas, evolucionando en el rubro de la innovación tecnológica y el desarrollo, se ha adaptado de forma excelente para satisfacer las necesidades de alimento que demanda la población, esta alcanzó la cifra de 205 millones de toneladas (Figura 1) (FAO, 2020). Otro elemento muy importante de citar es el registro documentado de unas 600 especies acuáticas producidas en todo el mundo con diversos sistemas e instalaciones, con diferentes grados de utilización de insumos y complejidad tecnológica, utilizando agua dulce, salobre y marina, contribuyendo notablemente a la producción de pesca de captura establecidos mediante sistemas de producciones, particularmente en aguas continentales. (Ovando, 2013)

El efecto de la acuicultura sobre el medio ambiente ha resultado un foco de atención en los últimos años y objeto de múltiples investigaciones, particularmente en instalaciones de piscicultura intensiva de mar abierto, como son las jaulas flotantes donde se engordan especies como el salmón atlántico en aguas del norte de Europa, o como la dorada y la lubina en las costas del Mediterráneo y Suratlánticas europeas. Los lagos, ríos y océanos han sido utilizados históricamente por la especie humana como fuentes de alimento y vías de transporte. En las últimas décadas de industrialización, estas aguas comenzaron a ser usadas además para la descarga de residuos y desechos procedentes de nuestras actividades. Las emisiones de aguas de uso urbano y residuos industriales, combinadas con los efectos difusos de la agricultura intensiva, han alterado muchos ríos, lagos y zonas costeras hasta tal punto que casi no pueden ya ser empleadas con otro propósito que el de meros recipientes de estos desechos. Todas las actividades humanas ejercen una influencia sobre el medio que las rodea, y la producción de organismos acuáticos en estanques, lagos, ríos y áreas costeras no es una excepción, al utilizar recursos del medio ambiente y producir a su vez cambios ambientales. La mayoría de estos efectos han sido hasta la fecha beneficiosos, como la rehabilitación de zonas rurales a través de la reutilización de terrenos degradados, el aumento de los ingresos y el empleo, la obtención de intercambios exteriores y la mejora de la nutrición en muchas zonas geográficas donde se practica. Si bien la mayoría de las prácticas acuícolas han tenido poco efecto negativo en los ecosistemas circundantes, es también cierto que se han dado algunos casos de degradación del medio ambiente en zonas costeras.

Los principales problemas ambientales relacionados con las instalaciones de acuicultura y en particular de la trucha derivan de la descarga de nutrientes en dilución, básicamente el fósforo (nutriente limitante en aguas continentales), y el nitrógeno (limitante en aguas marinas), además de la emisión de materia orgánica en forma particulada. Las fuentes de residuos de la acuicultura son: el alimento no ingerido, el alimento no digerido, la excreción de los organismos producidos, y los productos químicos empleados en las operaciones de producción. (Vegara *et al.* 2005). También están cobrando cada vez mas importancia el posible impacto derivado de los escapes accidentales a los entornos fluviales.

En la década de 1970 las empresas aun no consideraban la variable ambiental en los procesos de producción, los daños ocasionados al medio no eran tomados en cuenta y en consecuencia era evidente que el desarrollo se limitó por años a un crecimiento en lo económico y social, pero no reflejado en el ámbito ambiental, esta despreocupación de las empresas por los impactos que su actividad venían generando en el entorno, ha evidenciado el grado de consumo de los recursos naturales de tal forma que los niveles de contaminación producidos han causado un impacto ambiental al planeta tierra con las repercusiones que hoy conocemos. Sin embargo, estas prácticas han ido cambiando, desde hace más de una década la sociedad se ha organizado y ha creado mayor conciencia por el cuidado al medio ambiente, en forma tal que los gobiernos de los países del mundo continúan promoviendo iniciativas de ley para establecer normas jurídicas que permitan el ordenamiento acuícola y pesquero. (Ovando, 2013).

1.5 Sostenibilidad ecológica

Los temas más importantes relacionados con la sostenibilidad ecológica de las explotaciones acuícolas son el agua, los nutrientes, el área utilizada para la piscifactoría y la energía. Con relación al agua, es importante considerar tanto la cantidad necesaria como su calidad. Debe ser un objetivo importante en todos los sistemas acuícolas reducir la cantidad de agua necesaria para aliviar los ecosistemas naturales. Pero además es igualmente importante controlar la salida de nutrientes en los vertidos para evitar la eutrofización del medio, bien sea reduciendo los niveles de descarga u optimizando el tratamiento de los efluentes. La mejor práctica de gestión, naturalmente, depende del tipo de acuicultura.

El uso eficiente de los nutrientes necesarios también es esencial para la sostenibilidad ambiental. Una gestión ajustada del régimen de alimentación (dosis, horarios, etc.), unida a la adecuada selección de los piensos (elevada digestibilidad) es el primer paso para reducir las pérdidas de alimento.

El área empleada para las granjas acuícolas es altamente dependiente del tipo de explotación y de las circunstancias locales. En general, la necesidad de producir alimentos y recursos renovables pone más presión sobre el uso de la tierra. La disminución de la superficie utilizada en algunos sistemas de recirculación puede ser una contribución (Jacumar,2020).

1.6 Sostenibilidad económica

La acuicultura es una actividad económica y como tal debe contemplarse desde la perspectiva de que las empresas que la desarrollan tienen como fin último obtener una rentabilidad de la inversión que realizan sus inversores y que la actividad genere más o menos beneficios en el transcurso en su desarrollo.

En este sentido la sostenibilidad económica se relaciona frecuentemente con términos como crecimiento, desarrollo, eficiencia, inversión, planificación, estrategia, beneficios, estabilidad o balance entre muchos otros y suele estar asociada al mantenimiento de la actividad en el tiempo como consecuencia del equilibrio de los balances y estados financieros de la empresa. Desde esta vertiente cobran especial relevancia, en el caso de la acuicultura, aspectos relacionados con la optimización de las condiciones de la producción, especialmente todo lo relacionado con la

salud y el bienestar de los peces y el refuerzo de la competitividad empresarial, estrechamente ligada a la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación.

Cada vez con mayor frecuencia, se observa como las tendencias de consumo cambian muy rápidamente, resultando difícil para las empresas responder a estos cambios con la suficiente celeridad y en algunos casos anticipación. El sector acuícola no es ajeno a esta tendencia a la que se suma un claro interés por parte de terceros países por introducirse en el atractivo mercado de productos pesqueros españoles y en general europeos.

La acuicultura europea y española en concreto, tiene a su favor que puede dar una información fiable y transparente sobre su origen, modo de obtención, trazabilidad y sostenibilidad de su producción. En el otro lado de la balanza encontramos que una de las debilidades más claras del producto acuícola es la relacionada con las fases de transformación y comercialización. Actualmente el producto acuícola español presenta porcentajes de transformación por debajo del 20%. El transformado y la comercialización diferenciada son pasos obligados para que el sector español pueda competir en el mercado y obtener una mayor rentabilidad. (FOESA, 2013)

2. Justificación y objetivos

Los sistemas de recirculación se presentan como una alternativa de producción frente a los sistemas abiertos y a aquellos impactos ambientales que acarrearán según la FAO. Gracias a ellos se espera disminuir la generación de residuos vertidos al río, así como minimizar considerablemente la cantidad de agua necesaria para la producción, permitiendo optimizar el uso racional del agua y minimizar el impacto ambiental. Siempre y cuando estén dimensionados de forma adecuada, aquellos sistemas de producción que presenten un sistema de recirculación otorgan la capacidad de establecer un ambiente óptimo para el crecimiento y sanidad de los peces.

La producción de truchas en España presenta algunos problemas de sostenibilidad económica, que hacen deseable buscar alternativas productivas para que resulten más rentables. Una de las vías para mejorar la rentabilidad de la producción es la diversificación, pero no solo la diversificación de especies, sino también la diversificación del producto. Por ello, en el presente estudio se analizan 4 alternativas diferentes de producción de trucha arcoiris con el fin de evaluar el efecto de recircular para reducir la demanda de agua y cómo influiría en los beneficios comercializar una parte del producto dándole valor añadido. En una de ellas se plantea una opción de comercialización más importante, llevando uno de los lotes a tamaño de reproductores para obtener huevas, enlatarlas y comercializarlas y al mismo tiempo aprovechar los lomos de los ejemplares para ahumarlos en frío y venderlos empaquetados.

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar las distintas alternativas posibles en el diseño de una piscifactoría de trucha arcoiris, desde la fase de alevinaje hasta su venta con un peso final de aproximadamente 300 gramos, considerando diferentes alternativas de planificación y manejo, las cuales se describen a continuación:

- Un volumen de producción (500 Toneladas)

- Cuatro alternativas diferentes de producción:
 - Sistema abierto.
 - Un sistema de recirculación todo el año manteniendo una temperatura de 15°C.
 - Un sistema mixto con RAS en los meses en los que se requiera de un caudal mayor de 500 m³/h.
 - La misma alternativa que la anterior, pero llevando el primer lote de la producción a un peso de final de 800 gramos con el objetivo de realizar una comercialización de filetes ahumados y huevas para estudiar su impacto en la viabilidad económica

3. Materiales y métodos

3.1 Metodología aplicada para el diseño zootécnico

La planificación de una piscifactoría debe de efectuarse con anterioridad al comienzo de la producción mediante el dimensionado y diseño adecuado de las instalaciones. Para la planificación y el diseño, se han seguido las directrices y metodologías descritas en por Jover et al. (2003). Se procede a la comparación de diferentes alternativas, considerando los diferentes sistemas de producción que se abordan.

3.2 Alternativas zootécnicas propuestas

En el presente estudio se propone realizar el diseño zootécnico de 4 alternativas diferentes de producción, tal y como quedan resumidas en la Tabla 6.

Se debe determinar el volumen de producción, la distribución de los lotes y el medio de producción. De modo que en primer lugar se fija que el volumen de producción será de 500 tm/año, en segundo lugar, esta producción se distribuirá en 6 lotes, obteniendo producción cada 2 meses.

A lo largo del presente estudio se va a hacer referencia a las diferentes alternativas con los nombres expuestos en la tabla 6, cuyas condiciones se describen a continuación:

· **ABIERTO:** Hace referencia a la alternativa cuyo ciclo de producción se lleva a cabo por completo en abierto, tomando agua directamente del Río Palancia.

· **RAS 15°C:** Se refiere a la alternativa cuyo ciclo de producción se lleva a cabo con un sistema de recirculación calentando el agua procedente del Río Palancia a 15°C en todos los meses menos en aquellos donde la temperatura del agua supere este valor, tal y cómo ocurre en los meses de Julio y Septiembre con temperaturas de 15,8 y 15,4°C, respectivamente.

· **RAS VERANO:** Alternativa dónde únicamente se recircula en aquellos meses donde los requerimientos de caudal superen valores de 500 m³/h, sin calentar el agua que procede del Río Palancia.

· **RAS VERANO AHUMADO:** Alternativa con diseño idéntico a RAS VERANO donde los ejemplares del primer lote de la producción alcanzan un peso final de 800 gramos, con el fin de obtener filetes ahumados y huevas para su posterior comercialización.

Todas las alternativas serán dimensionadas teniendo en cuenta el caudal necesario para la eliminación de amoníaco, aportando oxígeno.

Tabla 6. Alternativas propuestas.

ABIERTO
RAS 15°C
RAS VERANO
RAS VERANO AHUMADO

3.3 Localización de la piscifactoría

La piscifactoría se diseñará para tener una localización en alguna de las inmediaciones al río Palancia, ubicado en la Comunidad Valenciana entre las provincias de Valencia y Castellón, donde la orografía pudiese resultar beneficiosa.



Figura 8. Localización del Río Palancia.

3.4 Estimación de las curvas de crecimiento

Para el diseño de la instalación y plan de producción se consideraron peces con un peso inicial de 0,4 g y peso final de 300 g, excepto para la última alternativa donde se llevarán a los peces de uno de los lotes a un peso final de 800 gramos, teniéndose en cuenta 3 fases de la producción de la trucha:

- Alevinaje de 0.4 – 3 g.
- Preengorde hasta los 20 g.
- Engorde hasta el peso de producción que se fija en 300/800 g, dependiendo de la alternativa.

El diseño y planificación se basa en la estimación del crecimiento de los peces mediante la obtención de curvas de crecimiento según el modelo del Coeficiente Térmico de Crecimiento (CTC) donde se tiene en cuenta la temperatura media mensual y temperatura efectiva para la especie en concreto, en este caso la trucha arco iris, con una temperatura efectiva de 3°C.

$$CTC = \frac{\sqrt[3]{Pf} - \sqrt[3]{Pi} (g)}{\sum ^\circ C ef}$$

Pf: peso final

Pi: peso inicial

$\sum ^\circ C ef$: Sumatorio de temperaturas medias diarias efectivas

$$\sum ^\circ C ef = (T^\circ media - T^\circ efectiva) \times Días$$

Se consideró un valor de CTC igual a 0,00158 y las temperaturas medias mensuales fueron propuestas a partir de un registro.

3.5 Elección de lotes y plan de producción

Serán establecidos según convenga, tras realizar y determinar las curvas de crecimiento de los lotes, se elegirán aquellos que presenten mejor desarrollo, así como, los que finalicen en fechas que muestren interés. Para las alternativas con sistema RAS VERANO y con la finalidad de realizar una comparación más efectiva se elegirán los mismos lotes determinados en el sistema abierto.

Para el desarrollo de las curvas de crecimiento se utilizaron datos obtenidos a partir del modelo del Coeficiente Térmico de Crecimiento (CTC). Se puede estimar la evolución del peso medio de los peces en función de las temperaturas medias.

$$Pf = \left(\sqrt[3]{Pi} + CTC \times \sum ^\circ C ef \right)^3$$

3.6 Cálculo del número de tanques necesarios

En el cálculo del número de tanques se debe estimar: el número máximo de tanques para cada una de las fases del ciclo (alevinaje, preengorde y engorde) y el número de tanques para cada mes de un lote de producción. Este valor dependerá del número de peces en cada mes de un lote, teniendo en cuenta la mortalidad final acumulada y la mortalidad relativa (depende del peso de los peces). Este valor se estimará según la siguiente ecuación:

$$N^\circ Peces\ mes/lote = \frac{N^\circ Pi}{Supervivencia\ relativa}$$

$$N^\circ Pi = \frac{N^\circ Pf}{Supervivencia\ final}$$

Pi: N° peces iniciales

Pf: N° peces finales

La supervivencia relativa varía dependiendo del peso del pez y se consideró bajo los siguientes valores estandarizados (Tabla 7).

Tabla 7. Supervivencia relativa según el peso de los peces.

Peso de un pez (g)	Supervivencia (%)
0,4 – 3	95
3 – 20	91
20 – 100	88
100 – 300	85
300-800	75

Se consideró una supervivencia acumulada igual a 85%, excepto para la alternativa donde se llevan los peces de uno de los lotes a 800 gramos, caso en el que se consideró una supervivencia acumulada del 75%. Para los pesos intermedios se debió distribuir la supervivencia entre los días de los meses en los cuales los peces se encontraban en pesos intermedios. Este cálculo de distribución de la supervivencia se realizó siguiendo la siguiente ecuación:

$$\text{Distribución Sup.} = \text{Sup. mayor} - \left(\frac{\text{Sup. mayor} / \text{Sup. menor}}{\sum \text{Días meses}} \right) \times \text{N}^\circ \text{ Días del mes en cuestión}$$

Sup. mayor: Supervivencia mayor, es aquella supervivencia del peso mayor al peso intermedio en cuestión.

Sup. menor: Supervivencia menor, es aquella supervivencia del peso menor al peso intermedio en cuestión.

\sum *Días meses:* Sumatorio de los días de todos los meses donde sea necesario distribuir la supervivencia.

La densidad óptima se establecerá según la especie, el sistema de producción y las fases del ciclo de producción (alevinaje, preengorde y engorde), por lo tanto, dependerá de los gramos del pez al igual que el tamaño del tanque a elegir (Tabla 8).

Tabla 8. Tamaño de los tanques y densidades recomendadas

Peso peces (g)	0.4 – 3	Hasta los 20	20 – 800
Tipo tanque	Alevinaje	Preengorde	Engorde
Superficie tanque (m ²)	30	100	300
Volumen tanque (m ³)	15	75	375
Densidad máxima (Kg/m ³)	5	15	25

Se utilizan valores estándares (Tabla 8) para la asignación de densidad óptima y tipo de tanque a utilizar para cada mes dentro de un lote de producción.

El número de tanques teóricos a utilizar dependerá del volumen de agua para mantener una biomasa y densidad óptima, y se puede calcular según las siguientes ecuaciones:

$$N^{\circ} \text{ teórico de tanques} = \frac{\text{Vol. Agua (m}^3\text{)}}{\text{Vol. Tanque (m}^3\text{)}}$$

Vol. tanque: Volumen de tanque (Tabla 13).

Vol. Agua: Volumen de agua necesaria para mantener la densidad óptima y biomasa.

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Biomasa (kg)}}{\text{Densidad óptima (kg/m}^3\text{)}}$$

Se estimarán la cantidad de tanques teóricos para cada mes en cada lote de producción, los cuales serán la base para la estimación de tanques reales, con el objetivo de realizar la menor cantidad de desdobles posible y así, evitar pérdidas de organismos por estrés o por manipulación. Para finalizar el número de tanques de la instalación será el solapamiento de las necesidades de tanques para cada mes de cada lote.

En los diseños hay meses en los que el paso de alevinaje a preengorde se retrasa y no se cambia la biomasa a tanques de preengorde justo cuando alcanzan 3 gramos, con el fin de que coincidan el mismo número de tanques para todas y cada una de las fases de alevinaje. Como es poco tiempo, se estima que el pequeño aumento de densidad en los tanques no tendrá ninguna repercusión en el estudio.

3.7 Alimentación

Con la finalidad de saber la cantidad total de pienso que se emplea en la instalación, para así tenerlo en cuenta a la hora de comparar alternativas, en primer lugar, se determinará la biomasa presente en la instalación y, en segundo lugar, la Tasa de Alimentación Diaria (TAD), que dependerá directamente de la propia biomasa del sistema.

Estimación de la biomasa máxima mensual

Definiendo biomasa como, la cantidad de materia biológica presente en un sistema, y expresada en kilogramos o toneladas, vendrá determinada por la cantidad de stock que interese tener al final de la producción de toda la piscifactoría según la alternativa. A partir de la producción anual, se podrán establecer las biomásas correspondientes a cada uno de los lotes, así como el número de peces finales que requerirá la instalación.

De esta forma, se puede calcular el número de peces finales por lote atendiendo a la expresión:

$$N^{\circ} \text{peces finales/lote} = \frac{(\text{Producción anual (kg)}/N^{\circ} \text{ lotes})}{\text{Peso final pez (kg)}}$$

A partir del peso inicial de los peces (g) y del número de peces iniciales (obtenido a partir de los porcentajes de supervivencia) se establecerá la biomasa inicial para cada lote a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa inicial} = [(\text{Peso inicial peces (g)}/1000) \times N^{\circ} \text{ peces iniciales}] \text{ (kg)}$$

A partir del peso final de los peces (g) y del número de peces finales (obtenidos a partir de los porcentajes de supervivencia) se establecerá la biomasa final para cada lote a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa final} = [(\text{Peso final peces (g)}/1000) \times N^{\circ} \text{ peces finales}] \text{ (kg)}$$

Cálculo de incremento de biomasa se realizará por cada mes de un lote y para cada año de producción según la siguiente ecuación:

$$\text{Incr. Biomasa} = B \text{ final} - B \text{ inicial (kg)}$$

Para cada año de producción el incremento de biomásas se considerará como biomasa inicial y final la suma de las biomásas iniciales y finales respectivamente para cada lote dentro de un mismo año de producción.

Tasa de alimentación diaria (TAD)

Para realizar los cálculos de la alimentación, y con la finalidad de obtener la cantidad total de pienso, tanto para pienso extrusionado y migas, así como estimar los residuos se emplea el pienso denominado ECOTEX 30.

La tasa de alimentación diaria, en adelante conocida como TAD, viene definida como la cantidad de pienso (kg pienso), por 100 kg de biomasa por día que, además va a ser específica para cada

peso medio y temperatura, de este modo, TAD, se calculará a partir de los datos que proporciona el pienso ECOTEX 30.

Para ello, hay que determinar el peso medio para cada uno de los meses, que se obtiene de realizar el promedio entre el peso final (en el último día del mes) y el peso inicial (0.3 g).

A partir del cálculo de la TAD, que se realiza para cada mes y lote, se obtiene la cantidad total de pienso de nuestra instalación, a partir de la fórmula:

$$Kg \text{ pienso} = \frac{[(TAD \text{ (kg pienso/100 kg pez día)} \times B \text{ media (kg pez)} \times \text{días})]}{100}$$

Siendo la Biomasa media el promedio de la biomasa del mes en cuestión y la biomasa del mes anterior.

3.8 Cálculo índice de conversión para cada lote y para cada año de producción

El Índice de Conversión (IC) del alimento se utiliza para conocer los kilogramos de pienso a suministrar para que el pez aumente su peso en un kilogramo. Se calculará el IC de migas, pienso extrusionado y general (suma de migas y extrusionado) para cada lote según la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{kg \text{ pienso}}{Incr. \text{ biomasa}}$$

3.9 Producción de residuos

Para los residuos sólidos se tendrán en cuenta las heces producidas y el pienso no ingerido por los peces, mientras que para el TAN (Nitrógeno Amoniacal Total) total se deberá estimar los aportes de pienso no ingerido, heces y excreciones. Estos valores dependerán del tipo de pienso que se suministre, en este caso se aportará pienso ECOTEX 30.

La generación de residuos sólidos vendrá determinada por:

$$Pienso \text{ no digerido} = P \text{ ing. (kg)} \times (1 - CDms)$$

$$Total \text{ residuos sólidos} = Pienso \text{ no digerido (kg)} + P \text{ no ing. (kg)}$$

P ing: Pienso ingerido por los peces

P no ing: Pienso no ingerido por los peces

CDms: Coeficiente digestibilidad de la materia seca

Aportes de TAN:

$$N \text{ pienso no ing.} = P \text{ no ing. (kg)} \times \%PB \times \%N$$

$$N \text{ heces} = P \text{ ing. (kg)} \times \%PB \times \%N \times (1 - CDpb)$$

$$N \text{ particulado} = N \text{ pienso no ing.} + N \text{ heces}$$

$$N \text{ excretado} = P \text{ ing. (kg)} \times \%PB \times \%N \times CDpb \times \text{Texcreción}$$

$$N \text{ total} = \text{TAN pienso no ing.} + \text{TAN heces} + \text{TAN excretado}$$

Otra posible alternativa para el cálculo de residuos sería considerar el balance de masas según Cho et al, (1998). La cual se resume entendiendo que, todo aquel nitrógeno que no es depositado como tejido en los peces, tras la ingesta del alimento, acabará excretado en el agua. Y se resume en las siguientes expresiones:

$$N \text{ Cho} = \text{Pienso (kg)} \times \%PB \times \%N - (\text{Incr. Biomasa} \times \%N \text{ pez} \times 0.16)$$

$$N \text{ excretado según Cho} = N \text{ Cho} - N \text{ heces} - N \text{ pienso no ing.}$$

P no ing: Pienso no ingerido por los peces

%PB: Porcentaje proteína bruta del pienso

%N: Porcentaje nitrógeno del pienso

CDpb: Coeficiente digestibilidad de la proteína bruta del pienso

Texcreción: Tasa excreción de los peces

Incr. Biomasa: Incremento de biomasa (Bf-Bi)

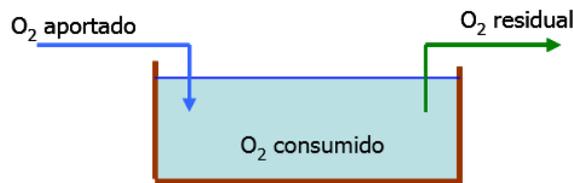
Estos resultados serán necesarios a la hora de dimensionar los biofiltros y filtros de tambor, y para ello se tendrá en cuenta el valor más elevado del mes durante el año de plena producción. En el caso del nitrógeno disuelto se optará siempre por la estimación mayor entre el TAN excretado y el N excretado según Cho (1998), por principio de seguridad al dimensionar.

3.10 Estimación de caudales

El caudal necesario para la instalación será aquel que aporte el oxígeno necesario para la supervivencia de los peces, al igual que sea capaz de eliminar el amoniaco producido por la actividad biológica de los mismos. Por lo tanto, será necesario calcular el caudal de aporte de oxígeno, así como el caudal de eliminación de amoniaco.

· Cálculo del caudal para aportar oxígeno

En una piscifactoría de circuito abierto, para cada uno de los tanques, se considerará, que el oxígeno será aportado por el propio caudal de entrada de agua, y al presentarse en condiciones de equilibrio (Figura 9), el caudal minimo necesario será aquel que aporte el oxígeno necesario para el consumo en la instalación. Se expresa de forma esquemática a continuación.



$$\mathbf{O_2 \text{ consumido} = O_2 \text{ aportado}}$$

Figura 9. Flujo de oxígeno en un tanque.

Teniendo en cuenta que, el oxígeno consumido variará en función de la biomasa de peces que se encuentre en el estanque (B) y de la tasa en la que se consuma (Tc), esta última dependerá, del peso medio, así como de la temperatura en la cual se encuentre el agua, se presenta la siguiente formula:

$$O_2 \text{ consumido} = B \text{ (kg)} \times Tc \text{ (mg/kg/h)}$$

Al otro lado del equilibrio, el oxígeno aportado, dependerá del caudal de entrada y por el oxígeno disponible en el agua, que a su vez se verá alterado por la solubilidad del propio oxígeno, así como de la mínima concentración tolerable para la especie problema, se representará mediante la siguiente formula:

$$O_2 \text{ aportado} = Q \text{ (l/h)} \times Od \text{ (mg/l)}$$

Si se representa el equilibrio igualando ambas fórmulas, se podrá calcular el caudal:

$$Q(O_2) = \frac{B \text{ (kg)} \times Tc \left(\frac{mg}{kg} / h\right)}{Od \text{ (mg/l)}} \text{ (l/h)}$$

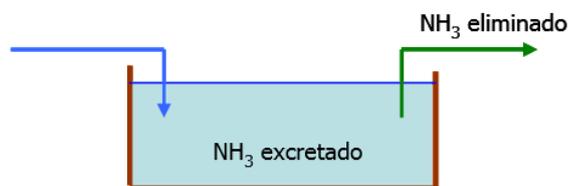
Od: Oxígeno disponible

Tc: Tasa consumo oxígeno

Teniendo en cuenta que *Od* viene reflejado por la expresión $Od = S - C_m$. Siendo *S*, la saturación de oxígeno y *C_m*, la concentración mínima.

Cálculo del caudal para eliminar amoniaco

Atendiendo a que el sistema está en equilibrio (Figura 10), para el cálculo del caudal para eliminar amoníaco excretado, se verá expresado de la siguiente forma. Siendo el amoníaco eliminado el mismo al excretado por los peces del estanque.



$$\text{NH}_3 \text{ excretado} = \text{NH}_3 \text{ eliminado}$$

Figura 10. Flujo de amoníaco en un tanque.

Teniendo en cuenta que, el amoníaco excretado variará en función de la biomasa de peces que se encuentre en el estanque (B) y de la tasa de excreción (Te), esta última dependerá, del peso medio y de la temperatura del agua, se presenta la siguiente expresión:

$$\text{NH}_3 \text{ excretado} = B \text{ (kg)} \times \text{Te} \text{ (mg/kg/h)}$$

Al otro lado del equilibrio, el amoníaco aportado, dependerá del caudal de entrada y por la máxima concentración (Cm) tolerable por la especie problema, que, se representará mediante la siguiente formula:

$$\text{NH}_3 \text{ eliminado} = Q \text{ (l/h)} \times \text{Cm} \text{ (mg/l)}$$

Si se representa el equilibrio igualando ambas fórmulas, se podrá calcular el caudal:

$$Q(\text{NH}_3) = \frac{B \text{ (kg)} \times \text{Te} \text{ (mg/kg/h)}}{\text{Cm} \text{ (mg/l)}} \text{ (l/h)}$$

Te: Tasa eliminación amoníaco

Cm: Concentración máxima amoníaco en el sistema

El cálculo de caudal de agua requerido para la instalación es de gran importancia, establecer un óptimo aporte de oxígeno para satisfacer sus necesidades respiratorias, así como la adecuada eliminación del amoníaco excretado por los peces y restos de pienso. Los caudales que se calcularán corresponderán en los meses más desfavorables, los cuales serán aquellos donde en la instalación se presente la mayor biomasa y/o más temperatura.

Para el cálculo de caudales se consideró el agua con un pH: 7.3, Tc y Te dependientes del peso de los peces y las siguientes concentraciones máximas y mínimas de NH₃ y O₂ respectivamente:

Tabla 9. Concentraciones máximas y mínimas para NH₃ y O₂ respectivamente según el ciclo de producción.

	Máxima concentración de NH ₃ (mg/l)	Mínima concentración de O ₂ (mg/l)
Alevines	0,0025	6
Juveniles	0,005	5,5
Engorde	0,01	5

Para las diferentes alternativas con circuito cerrado, el procedimiento para el cálculo del caudal a aportar se realizará de forma diferente, ya que la gran ventaja de un sistema RAS es el ahorro de recurso hídrico, pero teniendo en cuenta los mismos parámetros de concentraciones (Tabla 9). Para ello, al contrario que en un sistema abierto en el cual se tendrá que escoger el caudal más alto (ya sea de aporte de oxígeno o de excreción de amoníaco), se basará siempre en el caudal de eliminación de amoníaco, ya que el oxígeno requerido por los organismos se podrá satisfacer mediante sistemas de oxigenación.

Se considerará que un 10% del caudal a diario es renovado, la renovación es la entrada de agua nueva en el sistema, y se calculará a partir del volumen existente en el sistema en un determinado momento (mes) y se determinará en (m³/h).

El caudal de recirculación es el volumen de agua que debe de ser filtrado y tratado previamente para volver al sistema, y vendrá determinado por el caudal necesario para eliminar el amoníaco. De este modo, el caudal necesario de recirculación será la diferencia del caudal para eliminar amoníaco y el caudal de renovación del sistema, ya que esta agua será aprovechada para cambiar agua contaminada con NH₃.

$$Q \text{ recirculación} = Q \text{ NH}_3 - Q \text{ renovación}$$

3.11 Necesidades de O₂

Las necesidades de oxígeno de la piscifactoría variarán en función de las alternativas, para aquellas en circuito abierto donde no haya aporte de oxígeno mediante difusores u otros sistemas de oxigenación, solamente se tendrá en cuenta los requerimientos de oxígeno de la biomasa, que será suministrado directamente por el caudal, se podrá calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$O_2 (g/h) = B (t) \times Tc (g/t/h)$$

Tc: Tasa consumo oxígeno

B: Biomasa

Si se pretende realizar un sistema en circuito abierto, donde el caudal elegido sea el de eliminación de amoníaco, para satisfacer la demanda de oxígeno, será necesario suministrar fuentes de oxígeno. Este oxígeno se determinará realizando la diferencia entre el oxígeno requerido por la biomasa y el oxígeno disponible en el caudal de eliminación de amoníaco, para calcular dicho oxígeno:

$$O_2 \text{ en } Q \text{ de NH}_3 = Q \text{ NH}_3 (m^3/h) \times Od (g/m^3)$$

En circuito cerrado, se considera que tanto el caudal de renovación como el caudal de recirculación vuelven completamente oxigenados debido a los movimientos de trasiego ejercidos por las bombas de recirculación. En circuito cerrado, además de considerar la demanda

de oxígeno por parte de la biomasa, calculado también con la fórmula anterior, se tomará en consideración el oxígeno consumido por el biofiltro a la hora de consumir nitrógeno, atendiendo a una relación donde, por cada 1 g de N se consumirán 4,8 g de O₂, dicho oxígeno se suministraría mediante la aireación del biofiltro. Una vez se obtiene el oxígeno que requiere la biomasa y el biofiltro, se tiene que calcular el oxígeno disponible en el caudal de renovación, el cual se le restará a la suma total de oxígeno requerido, dando lugar al oxígeno total que precisará la instalación.

A efectos prácticos, el consumo de oxígeno estimado por parte de los biofiltros es despreciable en comparación con los requerimientos de la instalación, por tanto, no se tendrán en cuenta en los costes de aportación de oxígeno.

$$O_2 \text{ en } Q \text{ de renovación} = Q \text{ renovación (m}^3\text{/h)} \times Od \text{ (g/m}^3\text{)}$$

3.12 Dimensionado de elementos básicos para RAS

El agua en los sistemas de recirculación debe de ser tratada y pasada por varias fases, filtración mecánica y biológica, con la finalidad de que dichos elementos cumplan siempre con el propósito.

- Filtro de malla de tambor o Drumfilter

La filtración mecánica, será la primera barrera a la que se enfrente el agua, para mantener una calidad del agua óptima con un máximo de 25 mg/l de sólidos suspendidos se precisa de un sistema de filtrado eficiente, con mayas lo suficientemente finas como para impedir la entrada al sistema de desechos sólidos, y como para tener un caudal regular acorde a la producción, y así, no producir efectos indeseables en los organismos como es la abrasión en las branquias.

Tabla 10. Características filtro de tambor para calidad del agua de 25 mg/l disuelto máximo.

Maya (micras)	l/s/m ²	mg/s/m ²
36	15.9	397.7
40	21.5	536.9
63	29.5	738.6
80	37.7	943.2

Se pretende instalar un filtro de tambor para cada una de las fases del ciclo de producción, para la de alevinaje se opta por emplear una maya de 40 micras, y para preengorde y engorde una maya de 63 micras, por lo tanto, la carga hidráulica corresponderá a 21.5 l/s/m² y 29.5 l/s/m² respectivamente (Tabla 10). Donde a partir de la carga hidráulica se puede estimar la superficie de maya requerida para cada una de las fases, dividiendo el caudal máximo requerido en la fase entre su carga hidráulica correspondiente. Para el cálculo del dimensionado se tendrá en cuenta el mes más desfavorable de cada una de las fases de producción, puesto que no tiene por qué coincidir el mes de máxima biomasa global con la máxima biomasa de cada fase de producción.

$$Maya (m^2) = Q (l/s) / HLR (l/s/m^2)$$

- Biofiltro

Se desea realizar un biofiltro para cada una de las fases de producción (alevinaje, preengorde y engorde), para ello, en primer lugar, se debe determinar la capacidad de eliminación del biofiltro, que dependerá de la temperatura, y viene dada por la siguiente expresión:

$$r_{TAN} = 0.096 \times e^{0.093 \times T^{\circ}C} (g_{TAN}/m^2 \text{ y día})$$

En segundo lugar, empleando la capacidad de eliminación, se calculará el área del material del biofiltro, empleando el nitrógeno amoniacal total del mes más desfavorable, con la fórmula:

$$\dot{A} (m^2) = TAN (g/día) / r_{TAN} (g_{TAN}/m^2 \text{ y día})$$

A continuación, asumiendo que la superficie específica del material del biofiltro es de 265 (m² / m³) y con la siguiente expresión se determinará el volumen del material filtrante:

$$V(m^3) = \dot{A} (m^2) / Sup.esp (m^2 / m^3)$$

Atendiendo a que el caudal empleado para el cálculo será el del momento más desfavorable y que la carga hidráulica utilizada es de 360 (m³ / m² y día), el área seccional del biofiltro vendrá determinada por la ecuación siguiente:

$$\dot{A} \text{ seccional} (m^2) = Q (m^3/día) / HSL (m^3 / m^2 \text{ y día})$$

El dimensionado finalmente será determinado por el diámetro y la altura del biofiltro.

$$Diámetro (m) = 2 \times \sqrt{\dot{A} \text{ seccional} / \pi}$$

$$Altura (m) = \frac{V}{\dot{A} \text{ seccional}}$$

3.13 Presupuesto

· **Obra Civil**

Para poder realizar un presupuesto para un anteproyecto se necesita una idea bastante concreta de cómo va a ser nuestra instalación, una vez conocidos los requerimientos de nuestra instalación.

Primeramente, hay que localizar una ubicación adecuada para captar agua del río aprovechando su orografía, tomando el agua aguas arriba y devolviéndola a su cauce aguas abajo, aprovechando las pendientes que nos proporcionan las curvas de nivel.

Una vez ubicada la instalación, se delimita la parcela con el perímetro pertinente, de manera que se puede determinar por qué punto sale y entra el agua de la instalación. Con el perímetro de la parcela, se estima el precio del terreno, a un coste de 5€/m², y el coste de los cerramientos del perímetro, a un coste de 11€/m lineal. En todas las alternativas estudiadas se estima un montante general de 100.000 € para las tomas de agua y devoluciones al río, precio en el que están incluidos los permisos y licencias correspondientes.

Continuamos con la ubicación de los tanques dentro de la instalación (Tabla 8). Son construidos por parejas y hay que tener en cuenta la solera (50€/m²) y el volumen de los muros de cada tanque (450€/m³). Deben dejarse espacios entre los tanques, que serán acondicionados con caminos (6€/m²) longitudinales y paralelos a los mismos de 1 metro de longitud para poder ejecutar las maniobras necesarias por los operarios, los caminos acondicionados en las cabeceras tendrán una longitud de 3 metros de ancho para facilitar las operaciones con maquinaria, en el caso que fuera necesario.

En todas las alternativas se utilizan cubiertas en los estanques de alevinaje para evitar posibles depredaciones por aves, el coste de la cubierta viene determinado por el área de los tanques de alevinaje, a 60€/m².

En la instalación se requiere de un sistema de canales de entrada y salida de agua a un coste de 40€/m³. Dependiendo de la alternativa, se precisará o no de un estanque de tierra impermeabilizado para las decantaciones de agua, a un coste de 15€/m².

Por último, se estima un coste de 500€/m² del edificio principal de la instalación.

A parte de estas estimaciones comunes a todas las alternativas, dependiendo del sistema de producción pueden requerirse otras construcciones, tal y como ocurre en la alternativa RAS 15°C (Cerramientos de los tanques de engorde, cubiertas térmicas, nave para calentadores y bombas, etc). Las estimaciones de los precios de la obra civil se observan en la Tabla 11.

Tabla 11. Costes asociados a la obra civil de una granja acuícola.

	COSTE
TERRENO	5€/m ²
CERRAMIENTOS	11€/m
TOMA DE AGUA Y CANALES	100.000 €
SOLERA ESTANQUES	50€/m ²
MUROS TANQUES	450€/m ³
CUBIERTA ESTANQUES ALEVINAJE	60€/m ²
CAMINOS ENTRE TANQUES	6€/m ²
CANALES	40€/m ³
ESTANQUES DE TIERRA IMPERMEABILIZADO	15€/m ²
EDIFICIO	500€/m ²
NAVE PARA CALENTADORES, BOMBAS, etc.	40.000€
CERRAMIENTOS TIPO INVERNADERO ENGORDE	20€/m ²
NAVE AHUMADO Y HUEVA	40.000€

• Maquinaria

Una vez estimado el presupuesto de la obra civil, se ha de determinar el presupuesto de los equipos y maquinarias necesarios para la producción. La maquinaria y el equipamiento difieren entre las alternativas dependiendo del método de producción.

En instalaciones piscícolas de estas características, aunque la mayor parte de la alimentación sea de forma manual, se requiere de 2-4 alimentadores automáticos (Reduce el estrés de la biomasa), dependiendo del tipo de estanque, a un coste de 110€/unidad.

También se necesitan en la instalación aireadores hidroeyector, a pesar de que se tengan controlados los requerimientos de agua y oxígeno sirve como medida de auxilio en casos de emergencia, se estima un hidroeyector para cada tanque a 1800€/unidad.

Para cada alternativa se ha determinado la necesidad de una bomba de peces en el caso que fuera necesaria, ya que con el sistema de canales no sería imprescindible, a un coste de 24.000€. Un clasificador de peces con una capacidad de procesado de entre 3-6tn/h a un precio de 20.000€, un contador de peces con un coste de 15.000€, incubadores de huevos con capacidad de 70.000 huevos a un precio de 800€/unidad. Por último, una estación electrógena, como medida de seguridad, con un precio estimado de 12.000€ y cámaras frigoríficas a un precio de 500€/unidad.

En las alternativas con recirculación también hay que estimar otros costes de maquinaria como lo son los filtros de tambor, biofiltros, etc. lo que se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Resumen de costes de equipamiento.

	COSTE
ALIMENTADORES AUTOMÁTICOS	110 €
AIREADORES HIDROEYECTOR	1.800 €
BOMBA DE PECES	24.000 €
CLASIFICADOR	20.000 €
CONTADOR DE PECES	15.000 €
INCUBADOR DE HUEVOS	800 €
CÁMARA FRIGORÍFICA	500 €
ESTACIÓN ELECTRÓGENA	12.000 €
CALENTADOR AGUA	100.000 €
BOMBA RECIRCULACIÓN	300-500€
DRUMFILTER ENGORDE	6.000 €
DRUMFILTERPREENGORDE/ALEVINAJE	3.000 €
FILTRO UV	300 €
FILETEADORA DE PESCADO	2.000 €
AHUMADORA EN FRÍO	8.000 €
ENVASADORA DE HUEVAS	6.000 €
ENVASADORA AL VACÍO	1.000 €

A partir de la suma del presupuesto de la obra civil y la maquinaria, se obtiene el total de inversión de la instalación, cifra a la que hay que sumarle ciertos gastos que se van acumulando, un 5% de gastos generales, seguido de un 6% de beneficio del constructor, un 0,5% en concepto de tasas, permisos y licencias; y un 3% final por el proyecto y dirección de obra.

Se estima que los equipos durarán 12,5 años, es decir, cuando pase ese tiempo se ha de renovar la maquinaria. La instalación se estima que dura los 25 años de vida que se le ha otorgado. Por tanto, dividiendo el coste total de la maquinaria y la instalación entre su vida útil respectivamente, se obtiene el valor de amortización necesario para el estudio económico estático.

Con todos los gastos estimados se obtiene la inversión unitaria (€/kg), que son los euros que se invierten por cada kilo de trucha, dividiendo las toneladas de producción entre el precio total estimado de la granja.

3.14 Estudio económico estático

Estudio económico en el año de plena producción con el fin de observar la rentabilidad de la explotación.

En primer lugar, se requiere de estimar las necesidades de personal. En las instalaciones en tierra, se estima que cada trabajador se ocupa de entre unas 75-100 t de forma que al ser 500 t de producción en cada alternativa se considera que se necesitan unos 7 trabajadores, con la excepción de la alternativa en la que se alarga el primer lote a los 800 gramos con el objetivo de

obtener huevas y filetes ahumados, caso en el que se requerirá de más personal. En la Tabla 13 se pueden apreciar las aproximaciones salariales de los trabajadores.

Tabla 13. Estimación de los costes salariales de los empleados en la explotación.

	Salario Bruto anual	Salario bruto anual *1,66
Gerente	55.000,00 €	91.300,00 €
Director de Producción	35.000,00 €	58.100,00 €
Director Técnico	35.000,00 €	58.100,00 €
Jefe de alimentación	21.438,00 €	35.587,08 €
Alimentadores	12.985,00 €	21.555,10 €
Técnico	15.269,00 €	25.346,54 €

En este estudio económico también se ha de tener en cuenta los costes de amortización calculados en el presupuesto, el número de huevos, que se calcula dividiendo la producción final entre el peso final que adquieren los peces, dividido entre la supervivencia acumulada y por el porcentaje de eclosión, cuyo precio es de 0,015€/huevo. El coste del pienso y las migas, a un precio de 0,75 y 1 €, respectivamente. Una serie de gastos generales, en los que se incluye energía, que se estima en 60.000€ de base, cifra que puede verse aumentada debido a la necesidad de calentar el agua en la alternativa RAS 15°C pagando 0,12€/kW/h (Cálculo de energía extra necesaria en RAS 15°C en la Tabla 24 en Anexos); y oxígeno, con un coste de 0,21€/kg (Comunicación personal, Fernando Pérez Díez). La estimación del seguro se realiza en torno al valor de la biomasa máxima, a 0,0015€/kg. Por último, se suma un 8% de todos los valores anteriores para otros gastos varios que pudieran no estar contemplados en el estudio.

Una vez obtenido el coste total, si se divide este valor entre la producción se obtiene el coste unitario, es decir, lo que cuesta producir un kilo de truchas.

3.15 Estudio económico dinámico

Estudio económico realizado para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, es decir, para observar si realmente es rentable o no la explotación acuícola. Para ello hay que tener en cuenta las siguientes variables:

· Flujos de caja: Hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene un proyecto en un período determinado, es la diferencia entre los cobros y los pagos anuales.

$$R = C - P$$

· Flujos de caja actualizados: El valor del dinero es temporal, es decir, no tiene el mismo valor cobrar un dinero hoy que dentro de un año. La Tasa de Actualización i , es lo que relaciona ambos valores en el año j R_j y el valor R_{hoy} de la siguiente forma:

$$R_{hoy} = R_j / (1+i)^j$$

· Valor Actualizado Neto (VAN): Mide el beneficio absoluto a tiempo 0 de la inversión.

$$VAN = \sum_{j=0}^n R_j / (1 + i)^j - I_0$$

· Ratio beneficio/inversión: Estima la ganancia por cada unidad monetaria invertida.

$$Q = VAN / I_0$$

· Plazo de recuperación: Número de años que han de transcurrir para que se cumpla la siguiente ecuación.

$$0 = \sum_{j=0}^n R_j / (1 + i)^j - I_0$$

· Máximo Endeudamiento Neto (MEN): Valor máximo negativo que se acumula en el flujo de caja acumulado. Estima cuánto dinero actualizado se necesita disponer no solo para iniciar la actividad, sino para soportarla hasta que se empiecen a obtener beneficios.

· Tasa Interna de Rentabilidad (TIR): Es la tasa de actualización que haría el VAN=0, es decir, el interés que se obtiene por la inversión realizada

$$VAN = \sum_{j=0}^n R_j / (1 + i)^j - I_0 = 0$$

4. Resultados y discusión

4.1 Planificación de la producción

En la Tabla 14 se observa el número de alevines requeridos, para cumplir con las 500 toneladas objetivo de producción, y el número de peces finales por lote teniendo en cuenta el porcentaje de mortalidad del 85% al finalizar el lote a 300 gramos de peso del pez en las tres primeras alternativas, en la última se tiene en cuenta un porcentaje de mortalidad del 75% puesto que el primer lote finaliza con 800 gramos de peso.

Tabla 14. Resumen alevines por lote y número de peces finales por lote para 500 tm de producción y 6 lotes.

Alternativa	Nº alevines/lote	Nº peces finales/lote
ABIERTO	326785	277767
RAS 15°C	326785	277767
RAS VERANO	326785	277767
RAS VERANO AHUMADO	292320	248472

El número de alevines y de peces finales varía en función del peso final alcanzado y de la supervivencia, el número de lotes y la producción. De esta forma se puede realizar y comparar diferentes alternativas en la planificación de producción y observar cómo estas variarán con los cambios en la temperatura. Al ser la misma producción para todas las alternativas se requerirán el mismo número de ejemplares para todas ellas, excepto en la última alternativa, ya que el primer lote se engorda hasta los 800 gramos.

En la tabla siguiente (Tabla 15) se resumen el plan de producción para cada una de las alternativas. Estas han sido realizadas tras estudiar las curvas de crecimiento de cada una de las alternativas, que se pueden observar en Figura S18-S21 en el apartado de Anexos.

Tabla 15. Elección de lotes anuales para la producción distribuida en 6 lotes anuales para 500 toneladas.

		6 Lotes anuales						
		Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Duración promedio del lote
ABIERTO	Inicio	14-feb	26-abr	9-jul	7-sep	21-oct	12-nov	435,5 días
	Fin	30-abr	30-jun	30-ago	31-oct	30-dic	28-feb	
	Peso final (g)	300,4	300,1	300,4	300,2	300,1	301	
	Duración (días)	440	429	417	419	435	473	
RAS 15° C	Inicio	14-feb	22-abr	22-jun	20-ago	21-oct	22-dic	312,5 días
	Fin	31-dic	28-feb	30-abr	30-jun	30-ago	30-oct	
	Peso final (g)	302,1	302,1	302,1	302,1	302,1	302,1	
	Duración (días)	312	312	312	314	313	312	
RAS VERANO	Inicio	14-feb	26-abr	9-jul	7-sep	21-oct	12-nov	435,5 días
	Fin	30-abr	30-jun	30-ago	31-oct	30-dic	28-feb	
	Peso final (g)	300,4	300,1	300,4	300,2	300,1	301	
	Duración (días)	440	429	417	419	435	473	
RAS VERANO AHUMADO	Inicio	14-feb	26-abr	9-jul	7-sep	21-oct	12-nov	460,2 días
	Fin	25-sep	30-jun	30-ago	31-oct	30-dic	28-feb	
	Peso final (g)	803,6	300,1	300,4	300,2	300,1	301	
	Duración (días)	588	429	417	419	435	473	

Entendiéndose duración promedio del lote, la media del tiempo que tarda cada lote en completarse para cada alternativa, se puede observar cómo estos valores difieren entre las alternativas. Se observa que el aumento de la temperatura durante todo el ciclo de producción, tal y como ocurre en RAS 15°C, reduce drásticamente la duración de los lotes. Como es lógico, al llevar el primero de los lotes a un peso final de 800 gramos cuando se ahuma y producen huevas se incrementa el valor de duración promedio del lote.

4.2 Número de tanques necesarios

La Figura 11 refleja la cantidad de tanques necesarios en la instalación en cada una de las alternativas de diseño, agrupadas para un volumen final de producción de 500 toneladas.

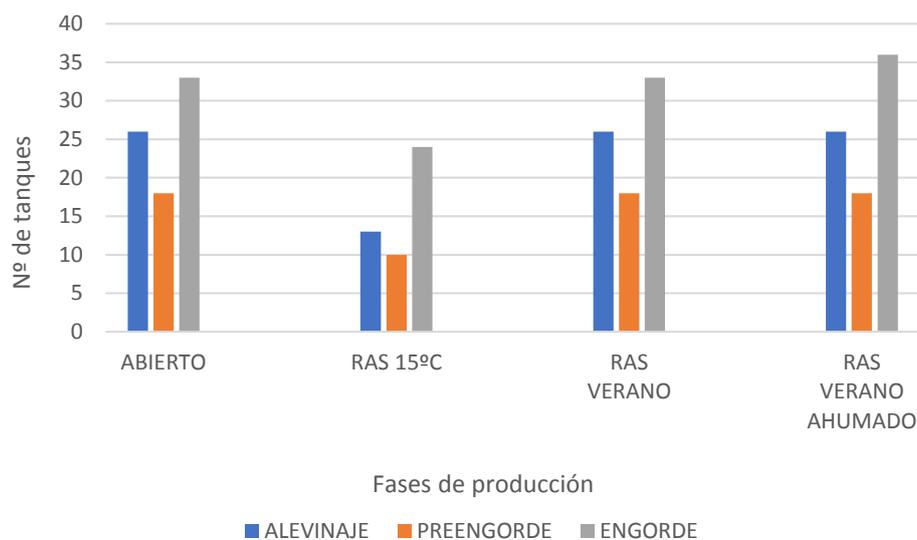


Figura 11. Número de tanques necesarios en cada una de las fases con un volumen final de producción de 500.

La cantidad de tanques en una instalación debe de ir acorde a la planificación de la producción deseada, puesto que esto limitará el volumen de producción, y ésta a su vez, vendrá determinada por la durabilidad del ciclo de producción y por la cantidad de subdivisiones (lotes) anuales de la producción.

Se puede observar que el número de tanques varía según la alternativa, para un mismo volumen de producción, la alternativa con el ciclo de producción más corto requerirá menos tanques que aquellas con el ciclo más longevo debido a que hay un menor solapamiento entre los distintos lotes en el mismo intervalo de tiempo.

El sistema RAS 15°C, según la Figura 11, supone una disminución en el número de tanques respecto a los otros sistemas, hecho que conlleva a una disminución en los costes de amortización de la obra civil. Al recircular solo en unos meses concretos de la producción, tal y como ocurre en RAS VERANO, no se observan efectos notables en el número de tanques, respecto al sistema abierto.

También cabe destacar que al alargar un lote y llevar sus ejemplares a un peso final de 800 gramos se aumentan los requerimientos de tanques de engorde, ya que se incrementa el solape en el tiempo.

4.3 Cantidad de pienso e índice de conversión

La Tabla 16 reúne los datos del volumen final real de la producción, así como el pienso total que es necesario para alcanzarlo e Índice de Conversión (ICA), utilizado para ver la eficiencia de las alternativas, en un año de plena producción. De forma que, cuanto menos pienso se demande para alcanzar una misma biomasa menor será su Índice de Conversión y más eficiente será, la alternativa RAS 15°C es la que posee el ICA más bajo, debido a un mejor aprovechamiento del alimento derivado de la temperatura.

Tabla 16. Resumen del volumen final real de producción, junto con el pienso que se requiere para llegar a dicho volumen y el índice de conversión para cada una de las alternativas.

Alternativa	Incr. Bi (kg)	Pienso (kg)	ICA
ABIERTO	499196	721582	1,44
RAS 15°C	499196	589967	1,18
RAS VERANO	499196	721582	1,44
RAS VERANO AHUMADO	499196	716654	1,43

La principal ventaja de los sistemas de recirculación es la posibilidad de optimizar el crecimiento y el aprovechamiento nutritivo, mediante el control de la temperatura a aquellas temperaturas óptimas para el desarrollo de los peces, como se pone de manifiesto en la Tabla 16.

Los peces son animales poiquilotermos, por lo que solo crecen cuando la temperatura del agua está en un rango óptimo, por lo que la temperatura será el factor más importante para tener en cuenta. La TAD, se verá influenciada por la temperatura, representado mediante las tablas de material suplementario donde, aquellas alternativas más cercanas a la temperatura óptima de crecimiento de la trucha arco iris 13-18 °C (FAO, 2009), presentarán TADs superiores, los peces presentarán mayor actividad, requiriendo más pienso, pero mostrando un mejor patrón de crecimiento. De este modo, se aprecia como se requerirá menos pienso para alcanzar la misma biomasa en la alternativa en sistema cerrado a 15°C, donde la temperatura media del ciclo de producción es más elevada.

En el trabajo, se observa cómo mejora el índice de conversión en este sistema de recirculación completo, obteniendo un valor de 1,18, frente a valores de 1,43-1,44. Esto supone un ahorro de algo más de 100.000 kg de pienso, lo que puede suponer, aproximadamente, un ahorro de pienso de alrededor 100.000 €/año por el hecho de usar un sistema de recirculación. Este beneficio podrá destinarse a gastos más elevados en otras partidas de los sistemas RAS, como el oxígeno o la amortización de instalaciones y equipos.

4.4 Caudal y necesidades de oxígeno

En la Figura 12 se muestran las necesidades de caudal, para aportar oxígeno y del caudal para eliminar amoníaco para cada una de las alternativas

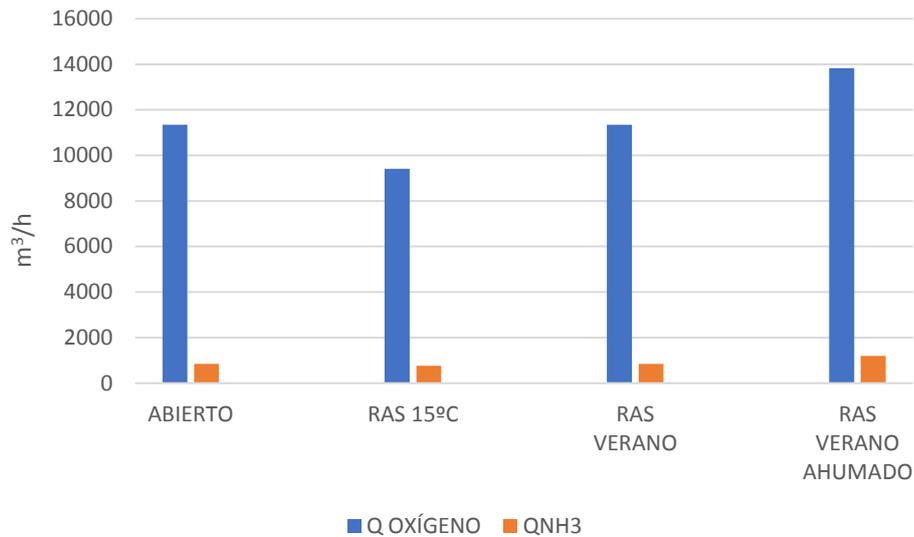


Figura 12. Caudal necesario para eliminar amonio y necesidades de agua para aportar oxígeno, en el mes de máxima biomasa en la instalación.

Se puede apreciar que la alternativa RAS VERANO AHUMADO, donde se llevan los ejemplares del primer lote a tamaño reproductor requiere de una mayor necesidad tanto de agua como de oxígeno, posiblemente debido a la duración del primer lote. Por otra parte, al recircular a 15°C los ciclos se acortan y la biomasa presente en la explotación es menor, por tanto, la demanda de oxígeno es menor. La biomasa promedio en RAS 15°C es de 145 t, mientras que en ABIERTO es de 233 t, de forma que es una diferencia más que notable a la hora de oxigenar. También cabe destacar que la demanda de oxígeno por parte del biofiltro es despreciable, del orden de unos 20 kilos/mes, que comparado con el requerimiento de los peces es muy bajo.

En la Figura 13 se comparan las necesidades de oxígeno no proporcionado por el caudal, en sistema RAS y circuito abierto con el caudal de eliminación de amoniaco, para un volumen final de producción de 500 toneladas, pudiendo ser útil a la hora de realizar una estimación de la inversión monetaria en cada una de las alternativas.

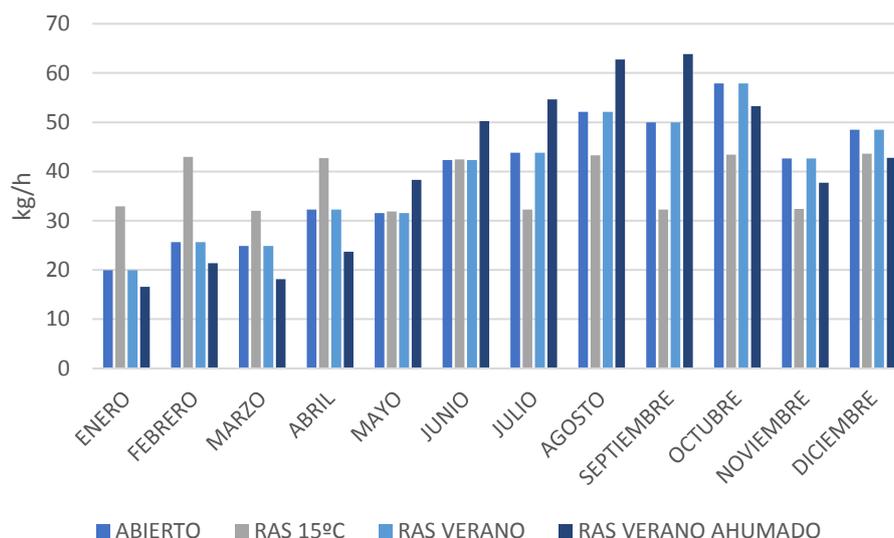


Figura 13. Necesidades de Oxígeno requerido por la biomasa en la instalación para las alternativas con oxigenación en un volumen de producción de 500 toneladas durante un año de máxima producción.

La demanda de oxígeno es igual a la biomasa por oxígeno disponible, el sistema RAS 15°C presenta menos fluctuación de biomasa y de temperatura y, por tanto, la demanda de oxígeno es más estable. Por otra parte, se observa que en esta alternativa en los meses de invierno la demanda es mayor que en los otros sistemas, debido precisamente a que la temperatura en estos meses es mayor.

En lo referente a las temperaturas, se aprecia que aquellos meses con las temperaturas más altas exigen mayor cantidad de oxígeno puesto que a mayor temperatura, mayor es la demanda y menor la solubilidad.

En el presente estudio se pone de manifiesto una de las principales ventajas de los sistemas RAS frente a los sistemas abiertos, el volumen de agua requerido (Figuras S22-S25 en Anexos). En los sistemas abiertos todo el volumen de agua requerido (bien para aportar oxígeno y/o eliminar amoníaco) será tomada de forma directa, mientras que, para un sistema RAS, con sus tratamientos y filtraciones se reduce de forma notoria el caudal, evitando consigo impactos ambientales.

Tabla 17. Oxígeno líquido anual total necesario en la instalación para cada una de las alternativas.

Medio	O ₂ (kg/año)
ABIERTO	344927
RAS 15°C	329730
RAS VERANO	344927
RAS VERANO AHUMADO	353858

En la Tabla 17, se representa el oxígeno líquido anual total que hay que aportar en cada una de las alternativas. Se puede apreciar que la alternativa RAS 15°C presenta el valor más bajo debido a que la duración del ciclo de producción se ve disminuida de forma notable y por lo tanto la suma de biomazas de los distintos lotes coincidentes se reduce. Por otra parte, en RAS VERANO AHUMADO al alargar el primer lote las exigencias de oxígeno líquido durante un año aumentan, presentando esta alternativa el valor más elevado.

4.5 Estimación de Deshechos

En la Figura 14 se comparan los kilogramos de desechos que producen los peces en la instalación, por cada tonelada producida en el año de máxima producción para cada una de las alternativas. Los desechos engloban aquellos residuos sólidos procedentes, tanto del pienso que ingieren, pero no digieren, como del pienso que llegan a ingerir. Además de los residuos sólidos se deben tener en cuenta, los residuos disueltos que generarán porque no podrán ser eliminados por métodos mecánicos, los cuales se exponen en el siguiente apartado.

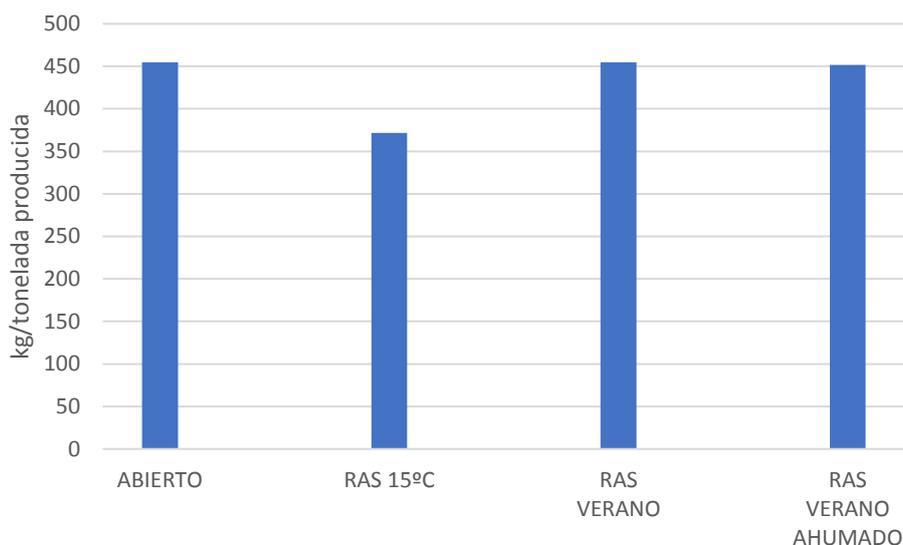


Figura 14. Cantidad de residuos sólidos que se generan por tonelada producida para cada alternativa.

La cantidad de desechos varía respecto a la duración del ciclo y sobre todo con el índice de conversión, los casos con ciclos más cortos y mejores índices de conversión requerirán menos pienso y, por tanto, menos desechos ocasionarán, tal y como ocurre en la alternativa RAS a 15°C.

Cuando se compara el sistema abierto con el sistema de recirculación completo, se observó una notable mejoría en la producción de residuos a favor del sistema cerrado, a la temperatura de 15°C.

4.6 Elementos básicos de un Sistema RAS

4.6.1 Filtro de malla de tambor

La filtración mecánica será la primera barrera a la que se someta el agua, en acuicultura se persigue que los sólidos en suspensión no sobrepasen los 25 mg/l, como se especifica en materiales y métodos.

En la Figura 15 se observa el dimensionado del filtro de tambor para cada una de las alternativas en circuito cerrado durante el mes más desfavorable. Comparando los metros cuadrados de maya que se requieren, como es lógico se requerirá mayor superficie de maya para las fases de engorde, momento en el que los caudales son mayores.

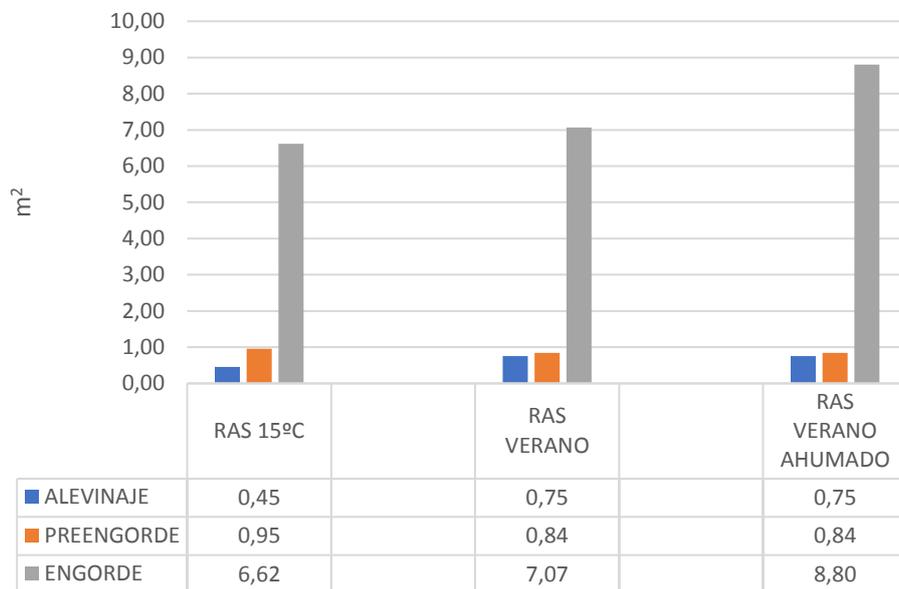


Figura 15. Superficie de maya requerida en cada uno de los filtros de malla.

4.6.2 Biofiltro

Tras la filtración mecánica y eliminar con ella los sólidos suspendidos, el filtro biológico convertirá el amoníaco excretado por los peces en nitrato, menos tóxico.

En la Figura 16 se expresa el volumen necesario de material filtrante para cada una de las fases de producción. Se Observa que cuanto más corto es el ciclo de producción, menor volumen se requiere de material filtrante, como ocurre en la alternativa que se recircula durante todo el ciclo.

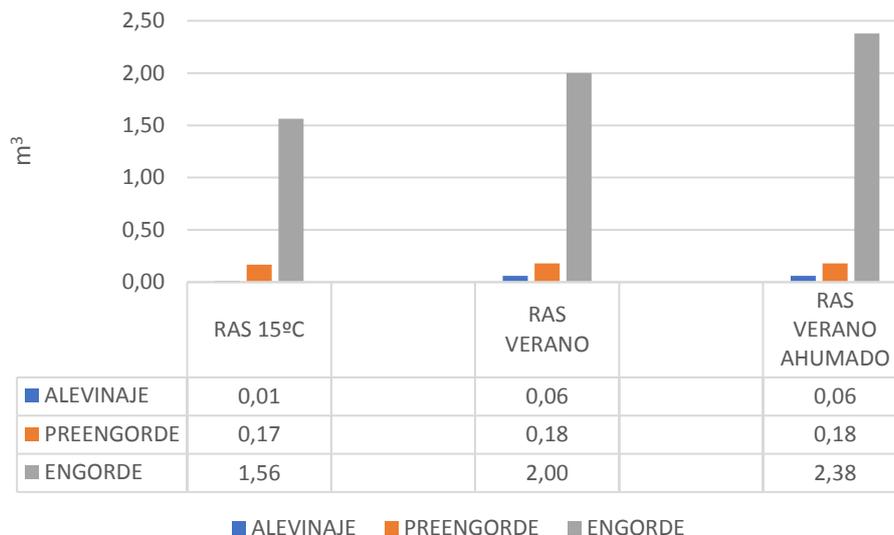


Figura 16. Volumen del material filtrante necesario para las tres fases en las diferentes alternativas.

El dimensionado de los elementos básicos de un sistema RAS dependerá de las excreciones en cada alternativa, puesto que se tiene que diseñar con la finalidad de abarcar sus necesidades. Al seguir el mismo patrón que los desechos, aquellas alternativas que presenten mayor excreción, también requerirán de mayor material filtrante, tanto filtro de malla, como biofiltro.

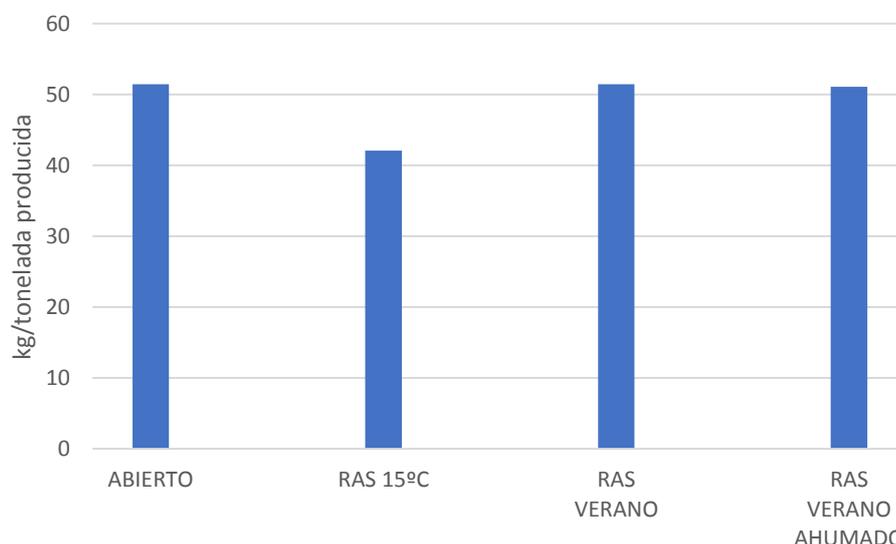


Figura 17. Cantidad de Nitrógeno Total Amoniacal (TAN) por cada tonelada producida.

A la ventaja de la mejora de la eficiencia de la alimentación en los sistemas de recirculación, hay que añadirle que además en estos sistemas se produce un mejor tratamiento de los residuos y, por lo tanto, la cantidad de vertidos que se producen al medio es menor.

También en este punto hay que considerar el oxígeno necesario para una correcta nitrificación. Se sabe por estequiometría que por cada gramo de nitrógenos en forma de TAN se van a consumir 4,18 de oxígeno, consumo de oxígeno que deberá de tenerse en cuenta a la hora del

cálculo de las necesidades de oxigenación, aunque comparado con el requerido por los peces, es un nivel muy bajo.

4.7 Presupuesto

En la Tabla 18 se observa el presupuesto total de la granja. Como es obvio, el equipamiento y la obra civil más económica es la alternativa en abierto, ya que requiere de menos estructuras y maquinarias que aquellas en las que se recircula.

Todas las alternativas en las que se recircula, ya sea el ciclo de producción completo o los meses de verano, requieren a parte de los ítems planteados en el apartado 3.13 otros tipos de maquinaria, como bombas de recirculación, filtro de malla de tambor y biofiltros para cada fase de producción o filtros UV, entre otros. La necesidad de esta maquinaria es el causante del engorde del presupuesto inicial frente al presupuesto de la alternativa en abierto.

Se aprecia que la alternativa con recirculación a 15°C durante todo y la alternativa con recirculación en verano donde se obtienen filetes ahumados y huevos poseen un presupuesto mayor al resto de opciones. En el primer caso, este aumento del presupuesto es debido a la necesidad de mantener la temperatura a 15ª, de forma que se requiere una máquina de calor, cubiertas térmicas, cerramientos en los tanques, una nave para bombas y calentadores, etc. En el segundo caso, el aumento del coste viene determinado principalmente por la necesidad de una nave y maquinaria adecuada para el ahumado de filetes de trucha y la obtención y empaquetado de huevos.

Todo lo expuesto explica las diferencias de inversión unitaria en cada alternativa.

Tabla 18. Presupuesto total (Obra civil + Equipos) e inversión unitaria para cada alternativa.

	ABIERTO	RAS TODO EL AÑO	RAS VERANO	RAS VERANO AHUMADO
PRESUPUESTO	1.764.308,18 €	2.476.668,59 €	2.211.875,81 €	2.344.275,52 €
INVERSIÓN UNITARIA	5,07 €/kg	5,71 €/kg	5,10 €/kg	5,40 €/kg

4.8 Estudio económico estático

En la Tabla 19 se muestra cómo difieren los costes dependiendo de la alternativa estudiada. En primer lugar, las alternativas RAS 15°C y RAS VERANO AHUMADO presentan un mayor coste de amortización derivado de su mayor necesidad de maquinaria y obra. En segundo lugar, en RAS VERANO AHUMADO se precisará de más personal en la instalación al tener que llevar a cabo las tareas de ahumado y obtención de hueva, concretamente se han de ahumar 41665 kilos de filetes y se tienen que procesar 5000 kilos de huevas en un lapso de 2 meses, hecho por el cual se añaden 4 técnicos a la plantilla. En cuanto al pienso (variable en la que más dinero se invierte en todos los casos), se observa que en RAS 15°C se reducen de forma notoria la cantidad de pienso, debido a un mejor aprovechamiento del alimento derivado de la temperatura. Los gastos

generales comprenden la energía y oxígeno requerido en las instalaciones, los cuales se ven incrementados al recircular a 15°C a causa de calentar el agua procedente del río, para ello se han estimado los kilovatios extra que se necesitan para mantener la temperatura de 15°C en la instalación, se requieren de 127kW/h para elevar la temperatura 5°C de 500m³ según las fichas técnicas de los calentadores y el volumen total de la instalación se enfría a un ritmo de 1°C/día, se puede observar la estimación de los kilovatios en la Tabla S24 en Anexos.

También se aprecia que el valor total unitario más elevado pertenece a la alternativa donde se ahuman filetes y se obtienen huevas, probablemente debido a la alta demanda de pienso y a la necesidad de un mayor número de trabajadores para poder desarrollar las labores de comercialización de los productos mencionados.

Tabla 19. Resumen de variables del estudio económico estático, con el total y total unitario.

	ABIERTO	RAS 15°C	RAS VERANO	RAS VERANO AHUMADO
AMORTIZACIÓN (OBRA+MAQUINARIA)	99.480,33 €	112.623,36 €	100.539,07 €	106.702,43 €
PERSONAL	311.543,82 €	311.543,82 €	311.543,82 €	412.929,98 €
HUEVOS	33.422,46 €	33.422,46 €	33.422,46 €	31.286,18€
PIENSO	544.002,82 €	443.604,31 €	544.002,82 €	539.930,54 €
GASTOS GENERALES	136.282,98 €	319.492,81 €	155.202,22 €	138.342,55 €
TOTAL	1.214.711,00€	1.318.341,70 €	1.236.287,22 €	1.327.527,02€
TOTAL UNITARIO	2,43€/kg	2,64€/kg	2,47€/kg	2,66€/kg

4.9 Estudio económico dinámico

En la Tabla 20 se puede apreciar un resumen del estudio económico dinámico de todas las alternativas propuestas. A simple vista se observa que la alternativa más rentable (Mayor VAN y mayor TIR) sería aquella donde se recirculan los meses en los que se requiere un caudal mayor de 500 m³/h y se venden filetes ahumados y huevas empaquetadas en tarros de 100 mL, esta opción de comercialización es el causante de la alta rentabilidad de la explotación.

Por otra parte, la alternativa menos rentable sería, a priori, aquella que se lleva a cabo en circuito abierto, puesto que posee el VAN y el TIR más bajo.

Tabla 20. Resumen del estudio económico dinámico (En orden: Valor Actualizado Neto, Tasa Interna de Rentabilidad, Máximo Endeudamiento Neto, Plazo de Recuperación de la Inversión).

	ABIERTO	RAS TODO EL AÑO	RAS VERANO	RAS VERANO AHUMADO
VAN	12.861.868,43 €	15.271.126,63 €	12.863.607,59 €	16.353.661,87 €
TIR	25%	27%	25%	29%
MEN	-2.565.838,43 €	-2.906.809,69 €	-2.579.309,56 €	-2.683.064,93 €
PRI	5	4	5	4

La principal desventaja de los sistemas RAS es el elevado coste inicial, puesto que se deben de adquirir elementos de alto coste, no obstante, se ha podido demostrar que una producción en RAS es capaz de realizar ciclos de producción más cortos, hecho que puede provocar que se obtengan beneficios antes que, en un sistema abierto, sacando más finales de lotes por año.

En los apartados 4.8 y 4.9 se muestra la diferencia de rentabilidad que hay entre cada una de las alternativas expuestas. Pese a que la alternativa RAS 15°C y la alternativa RAS en verano con la opción de venta de filetes ahumados y hueva requieren de una inversión mayor que las otras dos alternativas debido a los altos costes de la maquinaria e instalaciones necesarias, son las dos opciones más viables en el marco económico.

En la alternativa RAS VERANO AHUMADO, una vez alcanzado el peso final del primer lote se obtienen filetes y huevas como ya se ha mencionado anteriormente, se estima que el rendimiento de filete es del 50%, es decir, si el peso final es de 800 gramos, se obtiene 400 gramos de filete ahumado por ejemplar, que son 41665 kilos totales de filete, que tras ser empacutados son puestos a la venta a un precio final de 30€/kg, pero normalmente el primer eslabón de la comercialización recibe aproximadamente 1/3 del valor final según el estudio (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2011) lo que supone percibir 10 €/kg de filete o lo que es lo mismo 5€/kg de trucha producida, hecho que supone un beneficio anual extra frente a las otras alternativas de 416.650 €. Por otro lado, se estima que un 12% del peso final de las hembras (50% de los peces finales se consideran que serán hembras) serán huevas que tras ser empacutadas en tarros de 100mL son puestas a la venta a un precio final de 9€/unidad, de los que la productora se estima que percibe 3€, lo que generaría un beneficio extra de 149.994 €.

5. Conclusiones

Comparando las distintas alternativas se ha obtenido las siguientes conclusiones.

- Al recircular la producción se reduce drásticamente la necesidad de tomar agua por parte del río.
- El ICA se ve reducido al recircular la producción a 15°C, debido a un mejor aprovechamiento del alimento derivado de la producción a de la especie a la temperatura óptima.
- La opción de comercialización de filetes ahumados supone un beneficio muy elevado frente a las otras alternativas, que supone un montante de 566.644 € extra cada año y un periodo de retorno inferior al resto de alternativas.
- El sistema abierto puede suponer inicialmente una inversión menor, aunque, las opciones de RAS y de RAS AHUMADO son mejores desde el punto de vista mediambiental y económico, respectivamente.

Para finalizar, sería interesante realizar el estudio de una granja RAS a 15°C comercializando únicamente filetes ahumados, en vista de los resultados es la alternativa de la que más rentabilidad se obtendría.

6. Bibliografía

- 1) **Aquaculture methods** (2018) European Commission. Dirección URL: https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/aquaculture_methods_es
- 2) **Camacho E; Moreno M A; Rodríguez M; Luna C & Vázquez M** (2000) Guía para el cultivo de trucha. *Impresora Marte* pp 1-137
- 3) **Costa-Pierce B** (2005) Urban Aquaculture. *CABI Publishing* p 161
- 4) **Ebeling J & Timmons M B** (2012) Recirculating aquaculture systems. *Aquaculture production systems* pp 245-278
- 5) **FAO** (2020) El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020
- 6) **FOESA** (2013) Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura española. *FOESA* pp 88
- 7) **Garavito A J** (2000) Trucha arcoíris: Condiciones para su cultivo. Táchira, Venezuela
- 8) **Hardy R W; Fornshell G C G & Brannon E L** (2000) Rainbow trout culture. In: R. Stickney (ed.). *Fish culture* pp 716-722
- 9) **Jenner A** (2010) Recirculating aquaculture systems: The future of fish farming. *Christian Science Monitor*
- 10) **Lawson T B** (1995) Fundamentals of Aquaculture Engineering. *Springer US* p 192
- 11) **Martins C; Eding E; Verdegem M; Heinsbroek L; Schneider O; Blancheton J; d'Orbaster E & Verreth J** (2010) New developments in recirculating aquaculture systems in Europe. *Aquacultural Engineering* pp 83-93
- 12) **Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación** (2011) Estudio de la cadena de valor y formación de precios de la trucha arco iris de acuicultura. *Observatorio de Precios de los Alimentos MARM*
- 13) **Ovando M** (2013) La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Espacio I+D Innovación más desarrollo* pp 61-80
- 14) **Patterson R N; Watts K C & Timmons M B** (1999) The power of law particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering* pp 259-273
- 15) **Pedersen P B; Svendsen L M; Sortkjaer O; Ovesen N B; Skriver J & Larsen S E** (2008) Environmental benefits achieved by applying recirculation technology at Danish trout farms (Model trout farm). *Proceedings of the aquacultural engineering society's fourth Issues forum* pp 139
- 16) **Piedrahita R H** (2003) Reducing the potential environmental impact of tank aqua-culture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* pp 35-44
- 17) **Rawlison P** (2000) The economics of Recirculation Aquaculture. *Oregon State University*

- 18) **Romero E S & Suralá G T** (2006) Modelo de un cultivo intensivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).
- 19) **Singh S; Ebeling J M & Wheaton F** (1999) Water quality trials in four recirculating aquaculture system configurations. *Aquacultural Engineering* pp 75-84
- 20) **SustainAqua** (2009) Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture. *SustainAqua handbook*
- 21) **Timmons M B & Ebeling J B** (2013) Recirculating Aquaculture (3rd ed.) *Publishing Company Publishers* p 3
- 22) **Van Rijn J** (2013) Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* pp 49-56
- 23) **Vergara J M; Haroun R; González M N; Molina L; Briz M; Boyra A; Gutiérrez L & Ballesta A** (2005) Evaluación del Impacto Ambiental de Acuicultura en Jaulas en Canarias. *Oceanográfica* pp 110
- 24) **Waller U** (2001) Tank culture and recirculating systems. *Environmental impacts of aquaculture* pp 99-127

7. Anexos

Tabla S21. Temperatura media mensual Río Palancia. Fuente: elaboración propia.

	Día	T°C	Σ°C ef-d
Enero	31	6	93
Febrero	28	7,1	120,4
Marzo	31	9	189,1
Abril	30	10,1	225
Mayo	31	12,5	248
Junio	30	13	270
Julio	31	15,8	303,8
Agosto	31	14,1	313,1
Septiembre	30	15,4	306
Octubre	31	13,6	251,1
Noviembre	30	11,8	180
Diciembre	31	11,1	155

Tabla S22. Alimentación alevines pienso ECOTEX 30.

Peso del pez (gr.)	< 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 2,9	2,9 -10
6	A	2,80	2,60	2,20	1,80
8	D	3,40	3,00	2,60	2,10
10	L	4,10	3,70	3,10	2,50
12	I	4,80	4,30	3,70	3,10
14	B	5,20	4,70	4,00	3,40
16	I	5,60	5,10	4,30	3,60
18	T	4,90	4,50	3,90	3,30
20	U	3,90	3,60	3,00	2,60
	M				
Pienso	Microbaq 0 -	Microbaq 1 -	Microbaq 8 -	Microbaq 10 -	Microbaq 15 -

Tabla S23. Alimentación pienso ECOTEX 30

Peso del pez (gr.)	8- 40	40 - 100	100 - 400	400 - 1000
Temperatura	ecotex30			
6	1,50	1,08	0,80	0,56
8	1,60	1,18	0,89	0,66
10	1,70	1,27	0,99	0,75
12	1,80	1,36	1,08	0,85
14	1,90	1,46	1,18	0,94
16	1,95	1,50	1,22	0,99
18	1,90	1,36	1,08	0,85
20	1,75	1,18	0,89	0,66
GRANULO	ATX5	3,5 m.m.	5 m.m.	7 m.m.

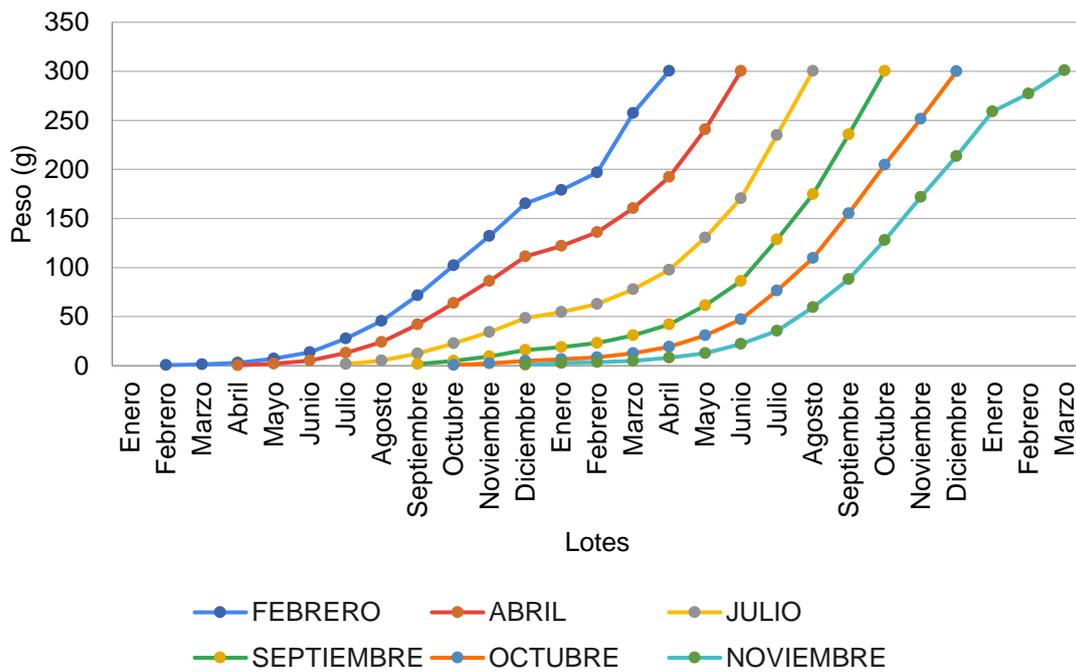


Figura S18. Curvas de crecimiento alternativa ABIERTO.

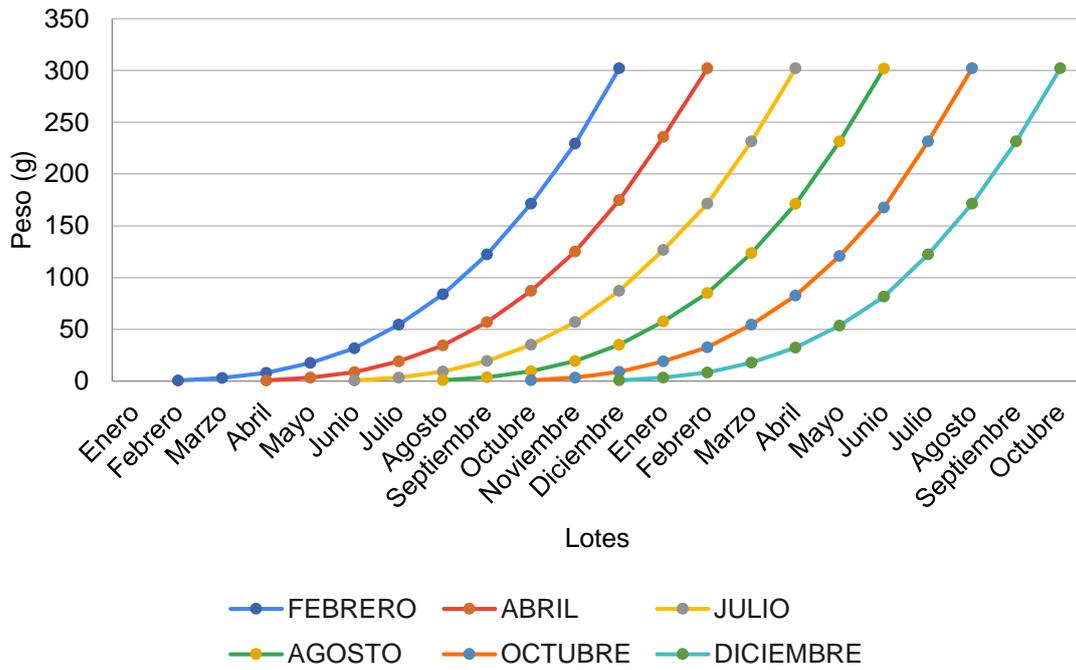


Figura S19. Curvas de crecimiento alternativa RAS 15°C

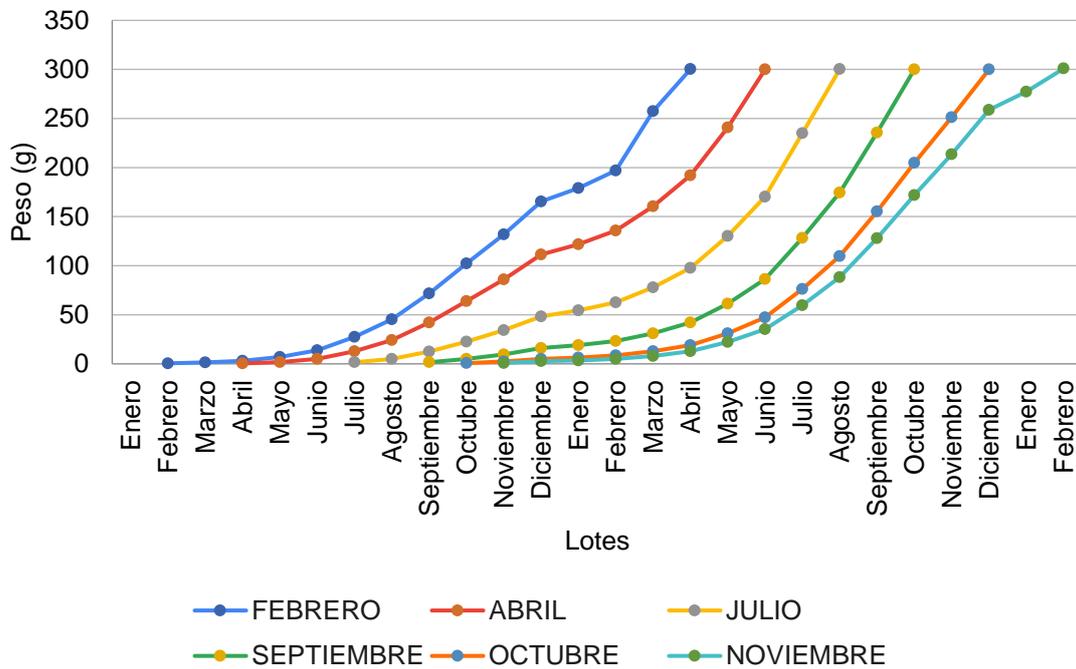


Figura S20. Curvas de crecimiento alternativa RAS VERANO.

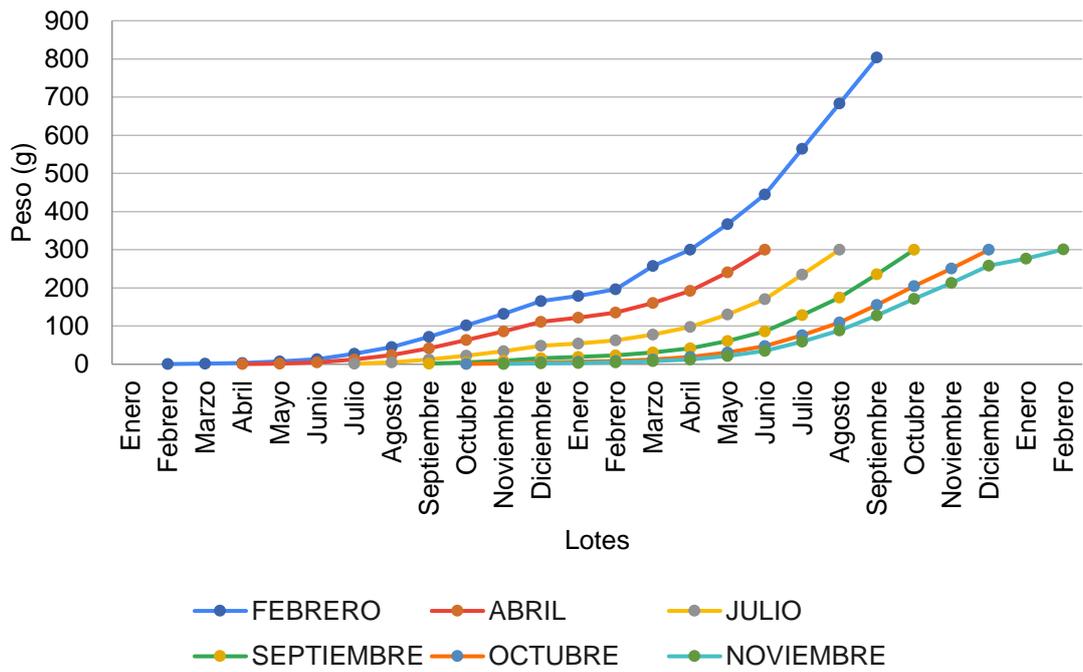


Figura S21. Curvas de crecimiento RAS VERANO AHUMADO.

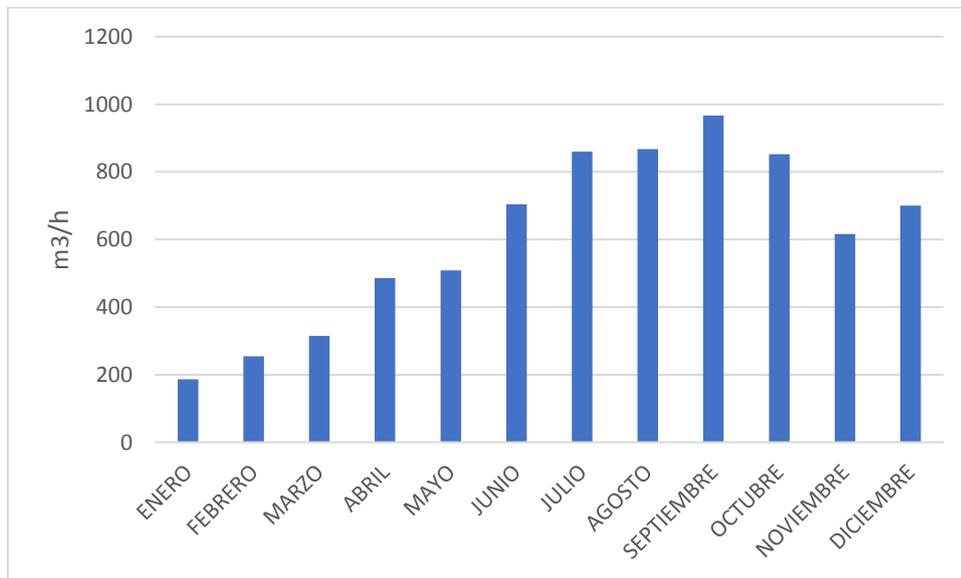


Figura S22. Volumen de captación de agua del río ABIERTO.

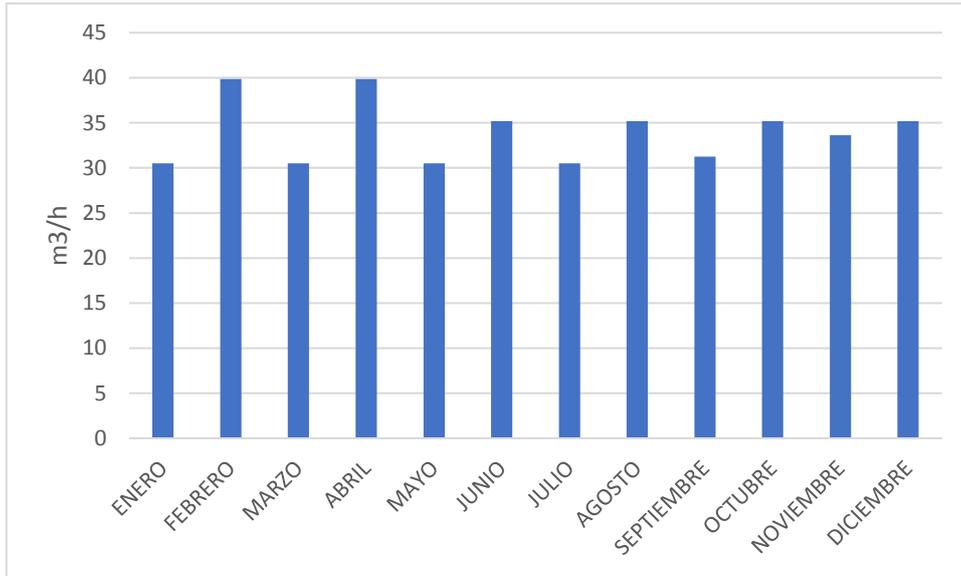


Figura S23. Volumen de captación de agua del río RAS 15°C.

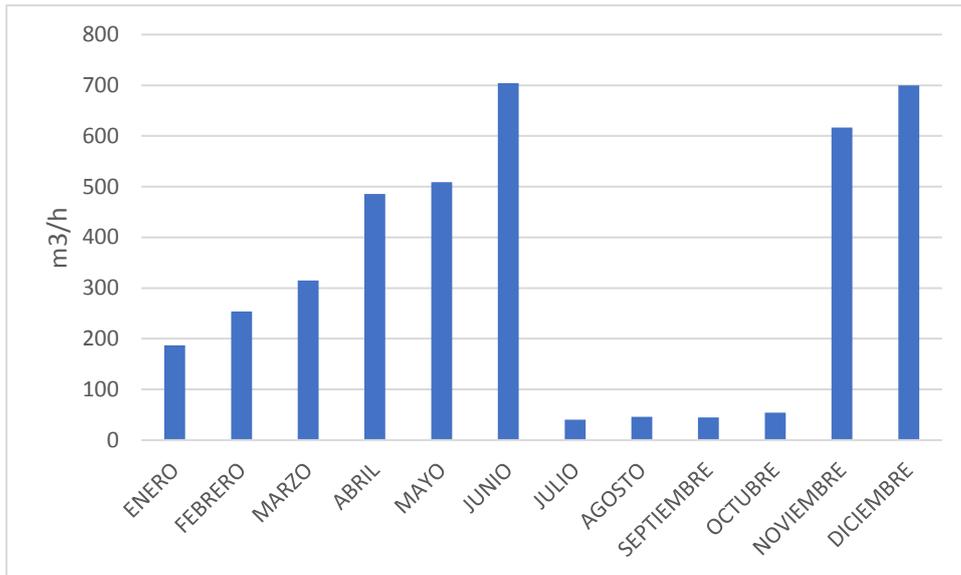


Figura S24. Volumen de captación de agua del río RAS VERANO.

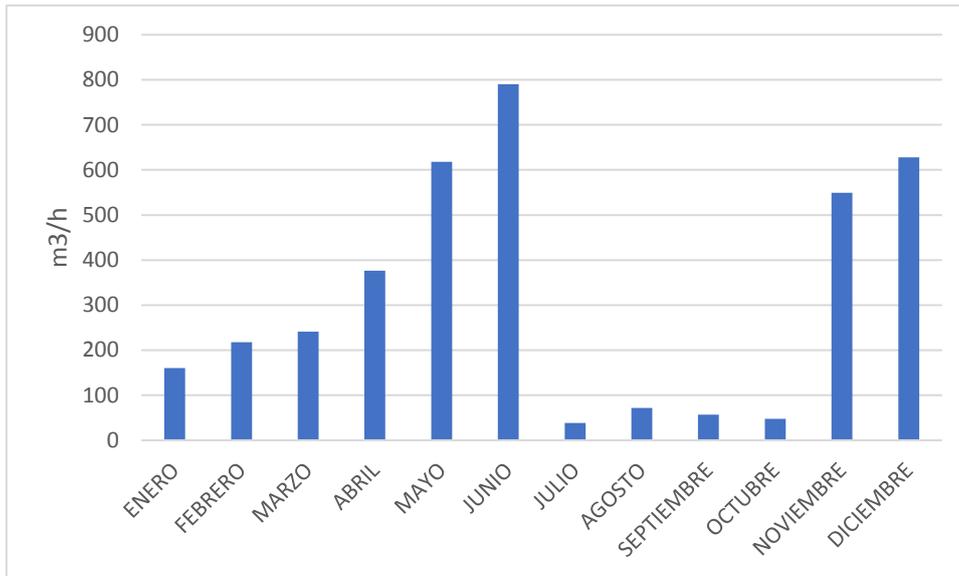


Figura S25. Volumen de captación de agua del río en RAS VERANO AHUMADO.

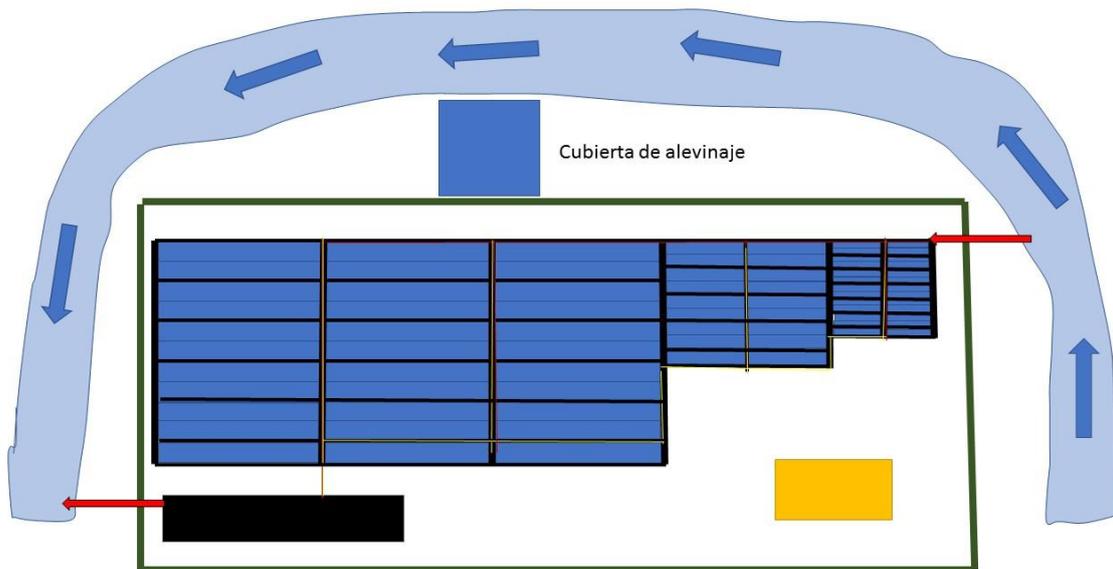


Figura S26. Croquis de la instalación ABIERTO.

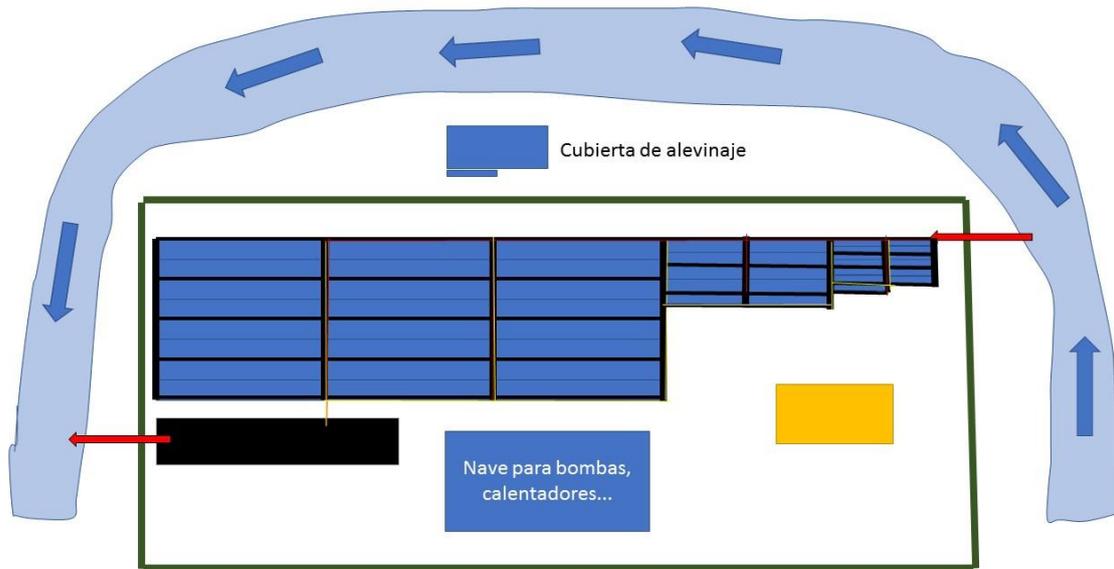


Figura S27. Croquis de la instalación RAS 15°C.

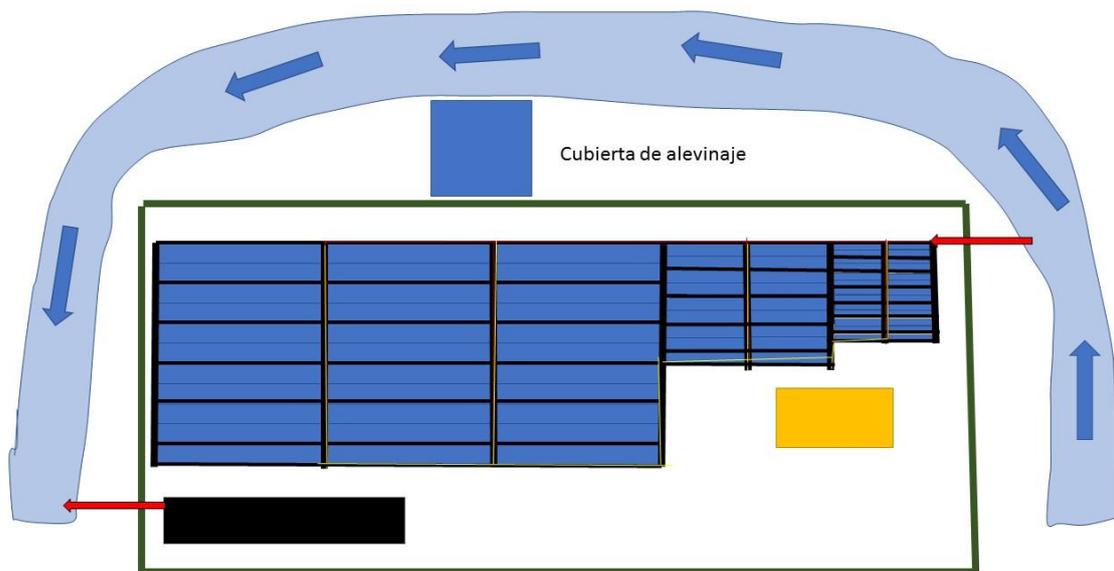


Figura S28. Croquis de la instalación RAS VERANO.

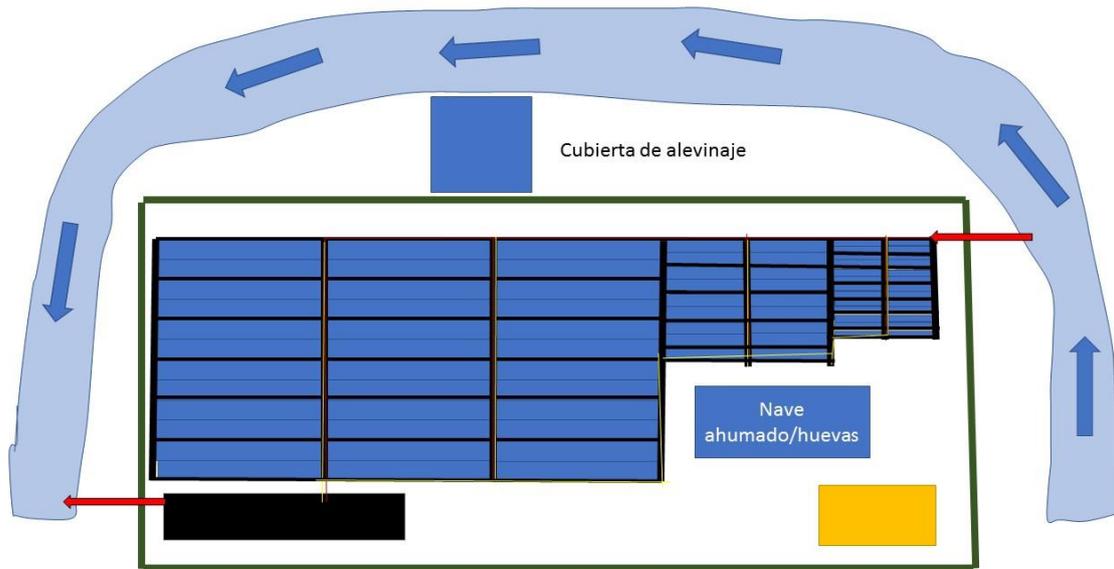


Figura S29. Croquis de la instalación RAS VERANO AHUMADO.

VOLUMEN TOTAL DE LA INSTALACIÓN	9945 m ³
VOLUMEN RENOVADO	994,5 m ³

127kW/H necesarios para calentar 500 m ³ 5°C
$(994,5 \cdot 127) / 500 = 252,603$ kW/h se necesitan para calentar 994,5 m ³ 5°C
El volumen de la instalación se enfría a un ritmo de 1°C/día.
$(9945 - 994,5) = 8950,5$ m ³ restantes
$8950,5 / 24h = 372,375$ m ³ /h hay que calentar 1°C
Si se requieren 127kW/h para subir 5°C, se requieren $127/5=18,945$ kW/h para subir la temperatura de 500m ³ 1°C
kW/h totales = 252,6+18,94= 271,54 kW/h

Tabla S24. Estimación de los kilovatios/hora extra que se requieren en la alternativa RAS 15°C.