



## Nuevas especies para la acuicultura de la UE

### Folletos técnicos - Lucioperca (*Sander lucioperca*)



**Líder de especie y organizador del seminario:** Dr. Pascal Fontaine (Universidad de Lorraine, Francia)

**Otros científicos participantes:** Dr. Rocío Robles (CTAQUA, España), Dr. Costas Tsigenopoulos, Dr. D. Tsaparis (Centro Helénico de Investigación Marina, HCMR, Grecia), Dr. Alain Pasquet, Dr. Tatiana Colchen (University of Lorraine), Dr. Patrick Kestemont, Mr. Sebastien Baekelandt, Mme. Najlae El Kertaoui, Dr. Robert Mandiki (Universidad de Namur, Bélgica), Dr. Ivar Lund (Universidad Técnica de Dinamarca, Dinamarca), Dr. Gemma Tacke, Dr. Machiel Reinders, Dr. Robert Stokkers (Universidad de Wageningen, Países Bajos), Marija Banovic (Universidad de Aarhus, Dinamarca), Luis Guerrero (IRTA, España).





## Contenido

<b>Reproducción y genética</b> .....	<b>4</b>
<i>Variabilidad genética en poblaciones de lucioperca domesticadas y salvajes</i> .....	4
<b>Nutrición</b> .....	<b>6</b>
<i>Efecto de determinados nutrientes en el desarrollo y la competencia de las larvas de lucioperca</i> .....	6
<i>Efecto de los ácidos grasos en la nutrición temprana en la sensibilidad al estrés, el comportamiento y el metabolismo a corto y largo plazo</i> .....	9
<b>Cultivo larvario</b> .....	<b>11</b>
<i>Combinaciones óptimas de factores para mejorar el cultivo larvario</i> .....	11
<i>Protocolo industrial propuesto para la producción de lucioperca</i> .....	14
<b>Engorde</b> .....	<b>14</b>
<i>Efecto de las prácticas de cultivo y los factores ambientales en el crecimiento y el estatus inmunológico y fisiológico</i> .....	14
<i>Caracterización del crecimiento y el estatus fisiológico e inmune de la lucioperca en condiciones de producción</i> .....	17
<i>Efecto del grado de domesticación y el origen geográfico en el crecimiento y la sensibilidad al estrés de la lucioperca</i> .....	19
<b>Mercado, percepción de los consumidores, nuevos productos y modelo de negocio</b> .....	<b>20</b>
<i>Análisis de mercado</i> .....	20
<i>Desarrollo de nuevos productos</i> .....	21
<b>Referencias</b> .....	<b>23</b>



## Introducción

Este pez de agua dulce es considerado el de mayor potencial para la diversificación de la acuicultura continental en Europa (Wang et al., 2008; Kestemont et al., 2015). A través de los proyectos europeos LUCIOPERCA y LUCIOPERCIMPROVE y de proyectos nacionales, se ha conseguido demostrar el control reproductivo (Kucharczyk et al., 2007) y la viabilidad bio-económica del cultivo intensivo de la lucioperca (Steenfeldt and Lund, 2008; Dalsgaard et al., 2013). La demanda de lucioperca ha crecido a consecuencia del marcado declive de las capturas desde 50.000 t en 1950 hasta las 17.000 t en 2014 (FAO, 2015). En la última década se han instalado nuevas granjas en Europa para el cultivo de la lucioperca en sistemas de recirculación (RAS), que producen unas 1.000 t. Numerosas iniciativas comerciales están en fase de diseño y/o desarrollo en Bélgica, República Checa, Dinamarca, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Polonia, Portugal, Países Bajos y Suiza. La producción de lucioperca durante todo el año requiere temperaturas elevadas constantes (24-26 °C) para asegurar tasas de crecimiento relativamente altas (peces de 1,2 kg procedentes de líneas no seleccionadas en 15-18 meses), lo que solamente es posible en sistemas RAS. Los RAS también permiten densidades de cultivo de hasta 80-100 kg m<sup>-3</sup> (Dalsgaard et al., 2013). La carne de la lucioperca tiene un sabor neutro, lo que la hace adecuada para distintos tipos de preparación, y los filetes carecen de espinas, a diferencia de los de la carpa, que compite por el mismo segmento de mercado. En la actualidad, la lucioperca se vende entera en tamaños de 600 a 3.000 g o en filetes de 100 a 800 g, en Europa (principalmente en áreas del norte, este y oeste) y en Norteamérica, y presenta una fuerte demanda. El precio de mercado es alto, entre 8 y 11 € en primera venta para el pescado entero.



Seleccionada en una encuesta dirigida a productores acuícolas durante la preparación de DIVERSIFY, los principales cuellos de botella hoy en día para la expansión del cultivo de lucioperca incluyen (a) alta sensibilidad al estrés, la manipulación y los procedimientos de cultivo que dan lugar a mortalidades elevadas de forma repentina, (b) baja supervivencia larvaria (típicamente 5-10 %) y alta incidencia de malformaciones, y (c) falta de conocimiento acerca de la variabilidad genética de los reproductores. La identificación de relaciones genéticas entre los diferentes reproductores, fenómenos de consanguinidad y la pérdida de heterocigosis es importante en acuicultura ya que puede dar lugar a fallos reproductivos y de productividad (baja supervivencia de la progenie, crecimiento reducido y menor eficiencia de conversión del alimento, además de mayor frecuencia de malformaciones). Además, es importante conocer en qué se diferencian los individuos domesticados de las poblaciones salvajes, que podrían constituir un suministro de ejemplares para introducir en programas de selección genética. Superar los cuellos de botella citados anteriormente es de gran importancia para disminuir los costes de producción y poder así expandir la producción acuícola de esta especie en la UE, y constituye uno de los objetivos de DIVERSIFY.



## Reproducción y genética

### *Variabilidad genética en poblaciones de lucioperca domesticadas y salvajes*

El objetivo fue utilizar marcadores genéticos para evaluar los parámetros genéticos poblacionales (riqueza alélica, índices de heterocigosidad, coeficientes de consanguinidad) en grupos de reproductores en cautividad, y compararlos con los valores estimados en poblaciones salvajes de lucioperca (**Tabla 1**). Se analizaron 13 poblaciones en cautividad y 8 poblaciones salvajes (950 peces) para un grupo de 10 microsátelites.

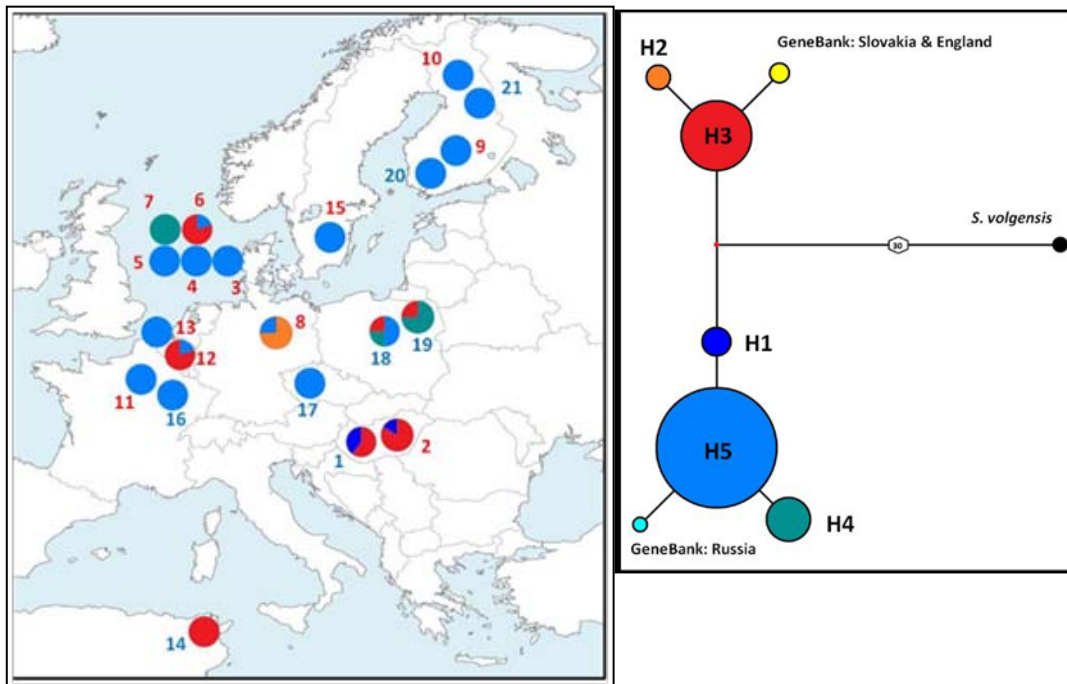
**Tabla 1.** Parámetros genéticos básicos para poblaciones salvajes (negro) y domesticadas (rojo): media de alelos por locus, riqueza alélica ( $A_R$ ), heterocigosidad observada ( $H_O$ ) y esperada ( $H_E$ ), y coeficiente de consanguinidad ( $F_{IS}$ ). Los asteriscos indican significación a  $p=0,05$ .

	Población	Tamaño de muestra	Origen	Número medio de alelos	$A_R$	$H_E$	$H_O$	$F_{IS}$
1	Hungría-1	53		6.2	4.9	0.6826	0.7472	-0.08424
2	Hungría-2	49	Hungría	7.8	5.4	0.7182	0.6759	<b>0.06962*</b>
3	Dinamarca-1	54	Países Bajos	2.6	2.4	0.4675	0.6796	-0.44607
4	Dinamarca-2	38	República Checa	3.3	2.7	0.4616	0.4882	<b>-0.04401*</b>
5	Dinamarca-3	14	Países Bajos	2.8	2.6	0.3408	0.4100	-0.16229
6	Dinamarca-4	73	Hungría	8.2	5.5	0.7194	0.7165	<b>0.01110*</b>
7	Dinamarca-5	19	Dinamarca	3.1	2.7	0.4169	0.3985	<b>0.07185*</b>
8	Alemania	46	Alemania	5.7	3.9	0.5567	0.5502	<b>0.02343*</b>
9	Finlandia-1	31	Finlandia	3.7	3.1	0.5257	0.5819	-0.09055
10	Finlandia-2	20	Finlandia	2.8	2.6	0.4743	0.6032	-0.24757
11	Francia-1	63	Francia	5.4	3.9	0.5940	0.5913	0.01261
12	Bélgica-1	100	Alemania	7.2	5.1	0.7224	0.8099	<b>-0.11621*</b>
13	Bélgica-2	100	Países Bajos	4.7	3.6	0.6156	0.6465	-0.04510
14	Tunisia	59		3.7	2.7	0.4013	0.3585	<b>0.11512*</b>
15	Suecia	30	Suecia	4.4	3.6	0.5250	0.5817	-0.08989
16	Francia-2	51		4.6	4.0	0.5923	0.6706	-0.12237
17	República Checa	70		3.8	2.9	0.4692	0.4382	<b>0.07357*</b>
18	Polonia-1	14		4.6	4.2	0.5763	0.5643	<b>0.05780*</b>
19	Polonia-2	11		4.2	4.1	0.6149	0.6764	<b>-0.05217*</b>
20	Finlandia-3	32		4.8	3.6	0.5946	0.5995	<b>0.00787*</b>
21	Finlandia-4	31		4.7	3.9	0.6034	0.5340	<b>0.13148*</b>

En acuicultura, las poblaciones reproductoras son vulnerables a la depresión por consanguinidad ya que se espera una pérdida de variabilidad genética debida a la deriva y a la selección. Sorprendentemente, la riqueza alélica media y la heterocigosidad esperada no corregida estimada en las 13 poblaciones en cautividad son solamente un poco más bajas que las de las poblaciones salvajes, y no hay diferencias significativas. Los valores del coeficiente de consanguinidad ( $F_{IS}$ ) muestran que las poblaciones domésticas en general no son consanguíneas, y que algunas poblaciones salvajes pueden también experimentar cruzamientos entre parientes (**Tabla 1**). Además, se secuenciaron parcialmente 95 muestras (4-5 peces por población) para



un fragmento del gen del citocromo b mitocondrial y se construyó una red de haplotipos para inferir las relaciones filogeográficas (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Distribución geográfica de los haplotipos para cyt-b de la lucioperca, y red de haplotipos. Cada línea que conecta los haplotipos representa una mutación a menos que se indique un número diferente.

Las principales conclusiones del análisis genético son:

- La mayoría de las poblaciones muestran niveles de diversidad genética medios a bajos y algunas de ellas pueden sufrir de consanguinidad.
- Los valores medios de heterocigosidad y de riqueza alélica no son significativamente diferentes entre poblaciones salvajes y domesticadas.
- El análisis de microsatélites muestra al menos dos grupos genéticamente diferenciados:
  - El primero se encuentra en el norte de Europa desde Países Bajos/Dinamarca en el oeste hasta al menos Polonia en el este, y hasta el norte de Finlandia.
  - El segundo grupo comprende todas las poblaciones restantes en Centroeuropa hasta Tunicia (y probablemente España, Italia y el norte de Grecia).
- En el grupo centroeuropeo, las poblaciones húngaras parecen tener una posición clave, diferenciándose de las poblaciones adyacentes, p.e. de la República Checa y Alemania.



## Nutrición

### *Efecto de determinados nutrientes en el desarrollo y la competencia de las larvas de lucioperca*

#### **La importancia de los fosfolípidos y los ácidos grasos esenciales para el desarrollo larvario y su implicación en las malformaciones esqueléticas en la lucioperca**

No existen dietas comerciales peletizadas específicamente formuladas para la lucioperca, y existe una necesidad de desarrollar alimentos con la composición adecuada para asegurar la supervivencia, el crecimiento y el bienestar, y reducir el estrés. El origen y el contenido de los lípidos de la dieta, así como su composición de ácidos grasos han demostrado ser muy importantes para el desarrollo de las larvas de lucioperca. Así, las larvas de lucioperca presentan requerimientos de ácidos grasos esenciales (EFA, ácidos grasos  $\omega$ -3) y por un tipo de lípidos, los fosfolípidos, que se encuentran fundamentalmente en algunos aceites de pescado o de origen marino y no en aceites vegetales. Estos requerimientos se observan comúnmente en especies marinas, pero son inusuales en larvas de peces de agua dulce. El contenido de fosfolípidos es generalmente bajo en los aceites usados en los piensos para peces, pero algunos aceites de pescado presentan niveles elevados. Los fosfolípidos pueden ser particularmente importantes en las larvas, ya que estos lípidos tienen una importante función durante el desarrollo larvario y son especialmente abundantes en el cerebro de la larva y en las membranas celulares. Los fosfolípidos pueden ayudar a la digestión y a la utilización de los lípidos de la dieta y tienen efectos positivos en el desarrollo larvario. Por tanto, es importante determinar los niveles óptimos de fosfolípidos y EFA en los alimentos secos para el desarrollo y la competencia de las larvas de lucioperca.

Se ensayaron tres niveles de fosfolípidos en las dietas secas para larvas (PL1-PL3) y se observó su efecto en el crecimiento y desarrollo larvario. Adicionalmente, se evaluó la suplementación con EFA en otras tres dietas (PL1H1-PL3H3) (**Tabla 2**). Los principales ingredientes de las dietas eran harina de pescado, concentrado soluble de proteína de pescado y harina de krill, y como fuente de grasa se usó aceite de oliva. Se incluyó lecitina de soja a distintas concentraciones para regular los niveles de fosfolípidos, y se incluyó una fuente de EFA en las dietas PL1H1-PL3H3 para regular los niveles de estos ácidos grasos. Las larvas recibieron las dietas desde el día 10 post-eclosión (10 dpe) hasta el día 30 post-eclosión (30 dpe). La composición de las dietas se muestra en la **Tabla 2**.

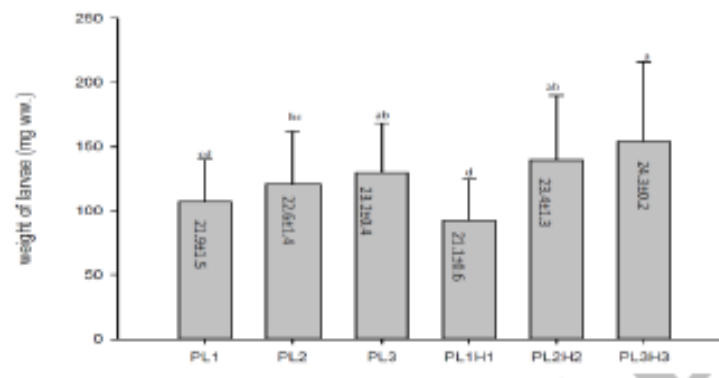
**Tabla 2.** Composición proximal de las seis dietas experimentales. Contenido analizado (% en peso húmedo).

	PL1	PL2	PL3	PL1H1	PL2H2	PL3H3
Proteína total	54.1	54.7	55.6	54.1	55.8	55.3
Lípidos totales	26.8	25.9	24.6	26.6	25.6	24.8
Fosfolípidos totales (TPL)	<b>3.73</b>	<b>8.19</b>	<b>14.38</b>	<b>3.70</b>	<b>8.32</b>	14.51
Ácidos grasos $\omega$ -3 esenciales (% de inclusión)	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.55</b>	<b>2.0</b>	<b>3.4</b>





Los resultados muestran un efecto específico de los ácidos grasos  $\omega$ -3 esenciales, o bien un efecto combinado de los fosfolípidos y los ácidos grasos. La suplementación combinada de un 14,5 % de fosfolípidos y ácidos grasos  $\omega$ -3 esenciales dio lugar al mayor crecimiento (**Fig. 2**) y al nivel más bajo de anomalías (**Tabla 3**). La supervivencia fue mucho menor en los grupos de larvas alimentados con el nivel más bajo de fosfolípidos (PL1 y PL1H1). El contenido más alto de fosfolípidos y EFA mejoró la actividad enzimática en el tracto digestivo de las larvas, probablemente debido a una mayor maduración junto con una mejora del crecimiento. Varias de las proteínas expresadas en el hígado (el principal órgano metabólico del cuerpo), como la FAS (ácido graso sintasa) mostraron un marcado incremento cuando las larvas se alimentaron con bajos niveles de EFA, lo que sugiere una mayor demanda energética por parte de estas larvas más pequeñas. Un incremento en los fosfolípidos de la dieta del 3,7 % al 8,2 % no disminuyó la incidencia de malformaciones esqueléticas, pero la inclusión de un 14,5 % de fosfolípidos sí provocó una disminución de varios tipos de malformación, que fue máxima en las larvas que recibieron un 14,5 % de fosfolípidos + EFA. La mayoría de las anomalías se encontraron en los radios de las aletas o en el cráneo (**Tabla 3**).



**Figura 2.** Peso de las larvas a los 30 dpe en función de las dietas.

**Tabla 3.** Incidencia media ( $\pm$ SD) de malformaciones esqueléticas observadas en larvas de lucioperca de 30 dpe tras 20 días de alimentación con las dietas experimentales (n= 3).

Dieta	PL1		PL2		PL3		PL1H1		PL2H3		PL3H3	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
<i>Prevalencia de tipos de anomalías (%)</i>												
Graves	86,7 <sup>a</sup>	18,9	81,5 <sup>a</sup>	13,9	54,2 <sup>ab</sup>	13,7	96,7 <sup>a</sup>	4,7	75,1 <sup>ab</sup>	11,4	35,2 <sup>b</sup>	10,9
Dentarias	26,5 <sup>ab</sup>	11,6	59,1 <sup>a</sup>	15,8	19,1 <sup>b</sup>	7,1	35,2 <sup>ab</sup>	7,3	25,3 <sup>ab</sup>	9,1	18,8 <sup>b</sup>	14,9
Radios branquios-tegales	76,3 <sup>b</sup>	8,2	17,0 <sup>a</sup>	11,9	3,3 <sup>a</sup>	3,3	90,0 <sup>b</sup>	5,8	18,6 <sup>ab</sup>	7,4	0,0 <sup>a</sup>	0,0
Malformaciones craneales	86,7 <sup>a</sup>	18,9	66,5 <sup>ab</sup>	17,6	25,5 <sup>b</sup>	11,2	96,7 <sup>a</sup>	4,7	61,0 <sup>ab</sup>	19,8	18,8 <sup>b</sup>	14,9

Los valores en una misma fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). PL1, PL2, PL3 (lecitina de soja (SBL): 3%, 10%, 19 %). PL1H1, PL2H2, PL1H3 (SBL: 3%, 10%, 19 % + Algatrium DHA 70: 0.55%, 2.05, 3.4%).



En conclusión, se observó que la lucioperca requiere un nivel de fosfolípidos en las microdietas elevado para mantener un crecimiento óptimo, ya que una inclusión de un 14,5 % de fosfolípidos suplementados como lecitina de soja dio lugar al mejor crecimiento. Además, los datos sugieren un posible efecto beneficioso adicional de los EFA (DHA + EPA). Un contenido elevado de fosfolípidos en la dieta redujo la incidencia de malformaciones esqueléticas, indicando efectos positivos adicionales de la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA). En general, los resultados indican que los EFA no necesitan ser incorporados en la fracción de fosfolípidos de la dieta, y por tanto los EFA podrían ser suplementados como triacilglicéridos (en aceite normal) para proporcionar un efecto beneficioso en el desarrollo de las larvas de lucioperca.

#### **Niveles óptimos de nutrientes esenciales: LC-PUFAs, vitaminas (A, E, C, D) and minerales (Ca/P)**

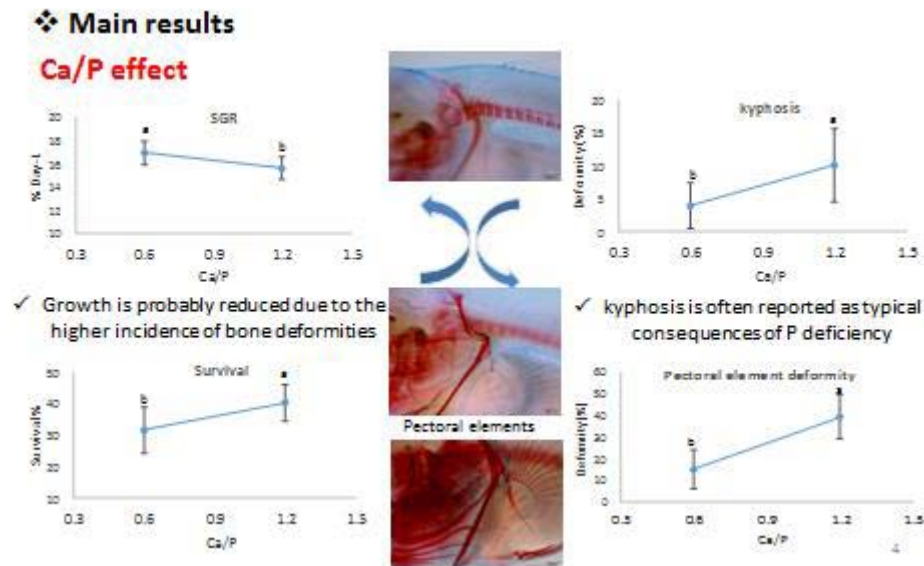
Los requerimientos de nutrientes esenciales (vitaminas A, E, C, D) y ácidos grasos no se han determinado en larvas de lucioperca durante el destete a las dietas secas. Las dietas comerciales que se utilizan para la alimentación de los pércidos de agua dulce han sido desarrolladas para especies marinas, por lo que los niveles adicionales de Ca y P pueden no ser óptimos, y se conoce poco su implicación en la mineralización de los huesos. Este estudio examinó el desarrollo y la competencia larvaria, la capacidad digestiva y las malformaciones esqueléticas utilizando 16 dietas con dos niveles de 8 variables: Ca/P, EPA+DHA, ARA, vitaminas E, D, C, A y Se, de acuerdo con la **Tabla 4**. Las dietas fueron similares en contenido de proteínas y lípidos.

**Tabla 4.** Variables nutricionales y los dos niveles de cada una aplicados en las dietas experimentales.

<b>Variables nutricionales</b>	<b>Nivel bajo</b>	<b>Nivel alto</b>
Ca /P	0,6	1,2
DHA+EPA (%)	1,25	3,5
ARA (%)	0,8	1,6
Vit. E (mg/kg)	1.000	3.000
Vit. C (mg/kg)	2.000	3.600
Vit. A (mg/kg)	8.000	30.000
Vit. D (mg/kg)	2.800	28.000
Se mg/kg	3	12

La mayor tasa de supervivencia se obtuvo en las larvas alimentadas con una relación Ca/P alta (**Fig. 3**), pero el peso final y la tasa de crecimiento específico (SGR) fue menor; además estas larvas presentaron una mayor incidencia de cifosis (curvatura de la espina dorsal) y malformaciones en las aletas (**Fig. 3**).





**Figura 3. Efecto de la relación Ca/P en el peso, SGR, supervivencia e incidencia de cifosis en las larvas.**

El crecimiento fue probablemente menor debido a la alta incidencia de malformaciones óseas. La relación Ca/P, los ácidos grasos y su interacción parecen ser factores nutricionales clave en el desarrollo larvario de la lucioperca.

### *Efecto de los ácidos grasos en la nutrición temprana en la sensibilidad al estrés, el comportamiento y el metabolismo a corto y largo plazo*

Durante el desarrollo inicial de las larvas de lucioperca, las dietas bajas en LC-PUFAs, y en particular en DHA, pueden causar un incremento de la mortalidad y síndromes de shock. Existe una falta de información acerca de la influencia de la composición lipídica de la dieta en la ontogenia y la robustez de los peces cultivados. Se examinó si la composición de ácidos grasos de la dieta afectaba al comportamiento en respuesta a desafíos de larvas y juveniles, y si podría afectar al aprendizaje y la respuesta al estrés en los juveniles. Durante la fase larvaria esto se llevó a cabo estudiando las reacciones de comportamiento a ataques de depredadores simulados visualmente y las respuestas de escape rápido frente a estímulos sensoriales bruscos. En la fase juvenil se repitió el test de respuesta de escape rápido, se estudió la capacidad de aprendizaje mediante un test de laberintos y los efectos sobre las respuestas al estrés se cuantificaron mediante los niveles plasmáticos de cortisol.

Se prepararon 4 emulsiones dietéticas sustituyendo el aceite de oliva por EFAs, ácidos grasos  $\omega$ -3, el denominado aceite DHA compuesto por 500 mg DHA/g  $\pm$  100 mg EPA/g o un aceite de pescado rico en fosfolípidos. Entre los 7 y los 27 dpe, los grupos de larvas se alimentaron con *Artemia* (INVE *Artemia* Systems) enriquecida con una de las cuatro emulsiones (0,6 de emulsión L<sup>-1</sup> durante 24 h). Las larvas alimentadas con bajos niveles de EFAs, es decir EPA + DHA mostraron una tendencia al retardo en las respuestas de escape ante un predador simulado



y un pico de aceleración más lento durante las respuestas de escape tras un estímulo sensorial. Este efecto fue consistente hasta 90 días después de finalizar el tratamiento dietético, lo que demuestra los efectos a largo plazo de la historia nutricional temprana en los peces. Esto se traduce en un perfil de comportamiento más ansioso en los juveniles alimentados con dietas bajas en EPA + DHA y sugiere cambios en el patrón de desarrollo cerebral, lo que constituye la causa de estos efectos en el comportamiento. La inclusión de ácidos grasos esenciales en las dietas tempranas para las larvas de lucioperca parece por tanto importante para el comportamiento y desarrollo óptimo de las larvas y los juveniles.

### **Metabolismo de los ácidos grasos esenciales**

Las combinaciones de los requerimientos nutricionales y las condiciones de cría durante la ontogenia temprana están poco estudiados en la lucioperca. La sustitución de aceites marinos por aceites vegetales redujo la tolerancia al estrés y provocó cambios neurofisiológicos en las larvas de lucioperca, pero el efecto de los inductores ambientales es limitado. El agua salada influye en una serie de funciones fisiológicas durante la ontogenia temprana de las larvas de peces y puede afectar al metabolismo de los ácidos grasos, de forma que las larvas se vuelven más eficientes convirtiendo ácidos grasos no esenciales a esenciales, disminuyendo así el requerimiento de ácidos grasos esenciales proporcionados por el alimento. Se alimentó a larvas iniciando la alimentación con dos dietas experimentales a base de *Artemia* diferentes en cuanto a su nivel de ácidos grasos no esenciales 18:2n-6 (LA) y 18:3n-3 (ALA) debido al enriquecimiento en aceite de girasol o de lino respectivamente. Las larvas se mantuvieron a condiciones de salinidad ambientales (0, 5 y 10 ppt) hasta los 30 dpe. Se examinaron los efectos en la competencia, las malformaciones esqueléticas y la sensibilidad al estrés de las larvas. La salinidad no tuvo ningún efecto sobre el crecimiento. Las larvas mostraron una marcada especificidad para incorporar y esterificar ácidos grasos  $\omega$ -3 esenciales en sus lípidos, especialmente ARA, EPA y DHA. La salinidad tampoco tuvo efecto en la capacidad de las larvas para esterificar e incorporar precursores insaturados de los PUFAs y por tanto para biosintetizar clases de lípidos conteniendo EFAs. Un test de estrés por confinamiento provocó una elevada mortalidad aguda en todos los grupos (50-70 %), que sin embargo fue significativamente menor en el grupo control que recibió niveles elevados de ácidos grasos  $\omega$ -3 esenciales. La prevalencia de diversas malformaciones esqueléticas fue en general alta, afectando sobre un 75 % de la población de larvas, y los efectos negativos se incrementaron con la salinidad.

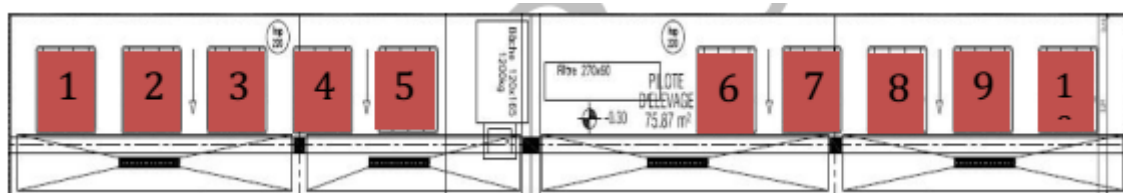
Se recomienda por tanto suplementar las dietas para las larvas de lucioperca con ácidos grasos  $\omega$ -3 esenciales (EPA + DHA), con el fin de lograr un desarrollo normal y reducir la sensibilidad al estrés. Los resultados destacan una alta incidencia de malformaciones en los huesos endocondrales, que se incrementa con la salinidad elevada.



## Cultivo larvario

### *Combinaciones óptimas de factores para mejorar el cultivo larvario*

Hasta el momento, varios cuellos de botella han impedido el éxito en el cultivo larvario de la lucioperca: (1) alta mortalidad debida principalmente al canibalismo, (2) alta tasa de malformaciones y (3) una gran heterogeneidad de tamaños entre cohortes larvarias en varias fases del desarrollo ontogénico. Utilizando un sistema piloto para el cultivo larvario (RAS, 10 tanques de 700 L, **Fig. 4**) y en base a los protocolos existentes usados por las PYMEs, se llevaron a cabo sucesivos experimentos usando diseños factoriales (4 factores y 8 unidades experimentales), que son métodos eficientes para optimizar con éxito los protocolos larvarios. Esta metodología permite (i) integrar los efectos de cada factor individual ensayado y las interacciones entre ellos, (ii) clasificar y evaluar los efectos provocados por factores o interacciones, (iii) identificar rápidamente una combinación óptima de factores que incrementen la supervivencia larvaria, y (iv) establecer un modelo inicial del complejo determinismo multifactorial de los resultados. Este método ya se ha aplicado con éxito en larvicultura (Trabelsi et al., 2011). Nuestro objetivo era estudiar sucesivamente los efectos de variables ambientales, nutricionales y poblacionales. Para cada experimento, la selección de factores buscó un equilibrio entre los datos disponibles en la literatura y las limitaciones de nuestro sistema (es decir, la imposibilidad de variar la temperatura de cada tanque). De acuerdo con los resultados obtenidos en cada experimento, los factores y sus rangos de mayor influencia se mantuvieron y se integraron en el siguiente experimento, con el fin de optimizar el protocolo.



**Figura 4.** Esquema de la instalación experimental (UR AFPA, Vandœuvre-lès-Nancy, Francia): 10 tanques (2 filas de 5) de 700 l a cubierto, en recirculación dotados de filtración mecánica y biológica, además de una unidad de esterilización UV (la misma calidad de agua en todos los tanques). Los tanques 2- a 9 se usaron durante los experimentos, mientras que el tanque 1 se usó como un lecho de filtración adicional.

### **Efecto de los factores medioambientales**

Se estudiaron los efectos de la intensidad luminosa (5 o 50 lx), la tasa de renovación del agua (50 % o 100 % por h), la dirección de la corriente (sobre el fondo o en la superficie del tanque) y la hora de limpieza del tanque (mañana o tarde). El diseño experimental multifactorial se basó en la aplicación de 8 combinaciones de factores. Se obtuvieron 500.000 larvas recién eclosionadas del desove de reproductores en cautividad de la PYME Asialor (Pierrevillers, Francia). A continuación las larvas se distribuyeron en 8 tanques (62.500 por tanque, 90 larvas l



<sup>1</sup>), con una temperatura inicial del agua de 15-16 °C. El fotoperíodo se ajustó a 12 h de luz y 12 h de oscuridad (Hamza et al. 2007) con un incremento progresivo de la intensidad luminosa (de 0 a 5 o 50 lx) de 07:30 a 08:00 y una disminución (de 50 o 5 a 0 lx) de 19:30 a 20:00. La temperatura se incrementó gradualmente 1 °C por día hasta los 20 °C (Hamza et al., 2007; Kestemont et al., 2007; Szkudlarek y Zakes, 2007). La frecuencia de alimentación fue de una toma cada 1,5 h durante el período de luz (Hamza et al., 2007; Kestemont et al., 2007). El oxígeno disuelto se mantuvo por encima de los 6 mg l<sup>-1</sup>. En este experimento (39 días), se demostró que se pueden producir juveniles destetados de 0.50±0.06 g de peso medio en 5 semanas, pero las tasas de supervivencia (0,3-2,6 %) fueron muy bajas. Finalmente, parece que la entrada de agua en el fondo del tanque es más adecuada para reducir la heterogeneidad de tamaños. Considerando todos los resultados, se recomienda aplicar una intensidad luminosa de 50 lx, una renovación de agua del 100 %, limpiar el tanque durante la tarde y situar la entrada de agua en el fondo del tanque. De acuerdo con el comportamiento de los peces, este primer experimento nos permitió averiguar que es posible determinar el carácter de los juveniles, y tal vez en un futuro la conexión entre carácter y canibalismo.

### **Efecto de los factores nutricionales**

Se llevó a cabo un segundo experimento (53 días) con el fin de evaluar los efectos de 4 factores relacionados con la alimentación: el momento de inicio del destete (10 o 16 dpe), el método de distribución del alimento (continuo o discontinuo durante el período de luz), el uso o no de coalimentación (6 días antes del período de destete) y la duración del destete (3 o 9 días). Las larvas (240.000, 30.000 larvas por tanque, unas 43 larvas l<sup>-1</sup>) se obtuvieron de Asialor (Pierrevillers, Francia). Los resultados sugieren que un inicio tardío y una mayor duración del destete, seguido de una alimentación discontinua, mejora la supervivencia y el crecimiento larvarios, y reduce las malformaciones en poblaciones de lucioperca.

### **Efecto de los factores poblacionales**

En el tercer experimento (52 días), se evaluaron los efectos de la densidad larvaria inicial (50 o 100 larvas l<sup>-1</sup>), la retirada de los individuos de rápido crecimiento o “jumpers” (sí o no), la estabulación de grupos de larvas hermanas o no hermanas (larvas de una o dos hembras) y el peso de la hembra (< 2,8 kg o > 3,3 kg). Las larvas (420.000) se obtuvieron en Asialor (Pierrevillers, Francia) y se transfirieron a la plataforma experimental de la Universidad de Lorraine (UR AFPA, Vandœuvre-lès-Nancy, Francia). Una biomasa final elevada parece correlacionarse con una densidad inicial de larvas mayor (100 larvas l<sup>-1</sup>) y el uso de larvas procedentes de hembras de mayor tamaño, pero es independiente de la retirada o no de los peces de crecimiento rápido y el uso de poblaciones de hermanos.

### **Identificación de las combinaciones óptimas de factores**

De acuerdo con los mejores resultados obtenidos en los experimentos anteriores, se propuso una combinación óptima de factores (**Tabla 5**) para mejorar el cultivo larvario de la lucioperca, que se evaluó en el mismo sistema de cultivo utilizando 7 réplicas (52 días).



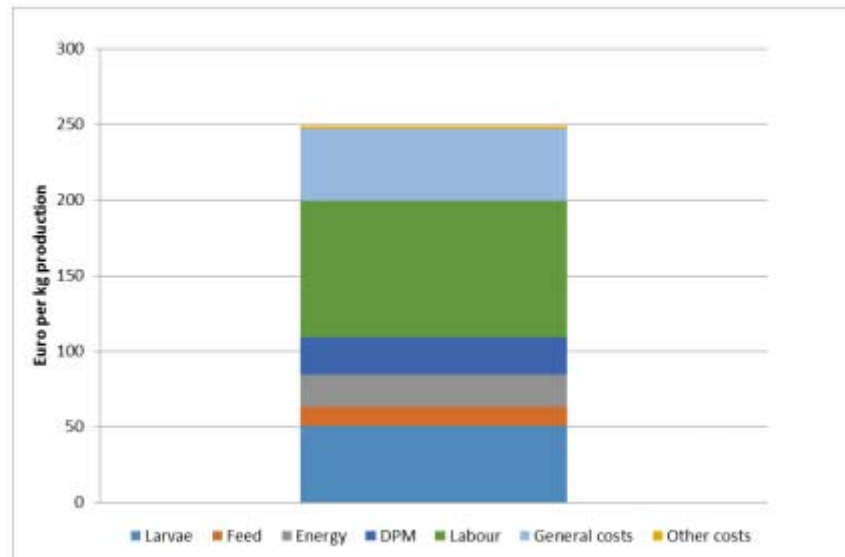
**Tabla 5.** Modalidad aplicada de cada factor. Esta combinación de factores se repitió en 7 tanques experimentales (n = 7).

Factor	Modalidad
Densidad	100 larvas l <sup>-1</sup>
Retirada de los peces de crecimiento rápido	No
Parentesco	No hermanos
Peso de la madre	Grande (> 3,3 kg)
Alimentación	Discontinua
Fotoperiodo	12:12
Intensidad luminosa	50 lx
Edad de inicio del destete (dpe)	16
Duración del destete (días)	9
Renovación del agua (volúmenes tanque h <sup>-1</sup> )	1
Horario de limpieza de los tanques	Mañana
Dirección del flujo de agua	De arriba a abajo

**Tabla 6.** Resumen de los parámetros de competencia registrados en todos los tanques.

Tanque	Inflado de la vejiga natatoria (%)	Biomasa inicial (g)	Biomasa final (g)	Peso corporal medio inicial (mg)	Peso corporal medio final (mg)	Supervivencia (%)	SGR (% día <sup>-1</sup> )	FCR
2	90,8	34,6	9526	0,49±0,02	710,0 ±161,7	19,2	14,8	0,66
3	96,9	34,6	9722	0,55±0,06	938,3 ±177,4	14,8	15,2	0,65
5	88,1	34,6	9754	0,57±0,03	945,4 ±311,9	14,0	15,1	0,65
6	94,7	34,6	9638	0,52±0,01	740,6 ±258,0	13,7	14,8	0,65
7	90,4	34,6	9658	0,47±0,03	806,8 ±259,0	14,0	15,2	0,65
8	95,5	34,6	9483	0,34±0,24	827,8 ±273,6	14,7	15,9	0,66
9	91,8	34,6	9075	0,52±0,03	740,6 ±163,4	13,7	14,8	0,69
Media	92,6	34,6	9550,9	0,49±0,13	816,0 ±248,8	14,9	15,1	0,66

La combinación óptima de factores permitió la producción de juveniles de 0,8 g (tasa media de crecimiento específico del 15 % diario) en 52 días con una tasa de inflado de la vejiga natatoria por encima del 90 %, una tasa de supervivencia entre e, 13,7 % y el 19,2 %, una biomasa final de 9,5 kg por tanque y una tasa de conversión de alimento de 0,66 (**Tabla 6**). Se calcularon los costes de producción (**Fig. 5**), siendo de 0,2 €por juvenil.



**Figura 5.** Costes de producción por kg de juveniles de 0,8 g en RAS.

### *Protocolo industrial propuesto para la producción de lucioperca*

Como última fase, se propone un protocolo industrial (cultivo larvario + destete) que se ha ensayado en una PYME (Socio 39, FISH2BE) en 2018 para mejorar el crecimiento de las larvas y reducir de forma significativa el canibalismo y la mortalidad. Este protocolo integra las limitaciones de las PYMEs.

## **Engorde**

### *Efecto de las prácticas de cultivo y los factores ambientales en el crecimiento y el estatus inmunológico y fisiológico*

Las elevadas (y ocasionalmente repetidas) mortalidades y la impredecible tasa de crecimiento en las distintas fases de desarrollo son los principales cuellos de botella para el despegue de la acuicultura de lucioperca. Estos problemas pueden estar relacionados con la intensa respuesta al estrés, ya que a menudo se observan después de manipular a los peces. Un estudio previo demostró que los juveniles de la perca eurasiática *Perca fluviatilis*, un pércido próximo a la lucioperca, son más sensibles al manejo en cautividad que las especies con una larga historia de domesticación, como la trucha arco iris. Además, varios estudios han demostrado que un estrés fisiológico elevado suprime la competencia inmune en los peces y reduce su resistencia a la enfermedad. Así, los objetivos de este estudio fueron: (1) caracterizar los efectos de los principales factores ambientales y de cultivo en los parámetros relacionados con el crecimiento, además de en las respuestas fisiológicas e inmunes de la lucioperca cultivada y (2) identificar





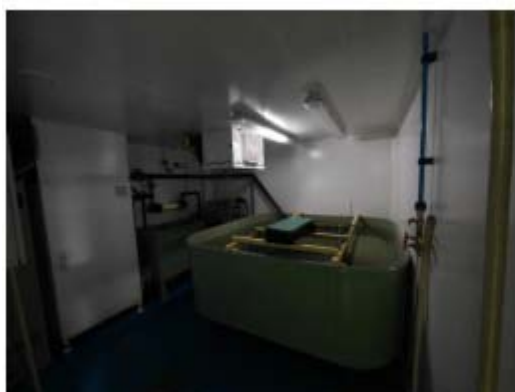
las condiciones óptimas de cultivo y ambientales para mejorar las tasas de crecimiento y supervivencia, además del bienestar de la lucioperca en cultivo intensivo.

Estos objetivos se alcanzaron mediante un diseño experimental aplicando un protocolo multifactorial. Este diseño experimental utilizó 16 combinaciones (8 factores en 2 modalidades, **Tabla 7**) de condiciones de cultivo y ambientales con el fin de identificar las más adecuadas.

**Tabla 7.** Modalidades seleccionadas para los 8 factores ambientales.

Factor	Niveles	
Intensidad luminosa (lx)	100	10
Espectro luminoso (Fig. 6)	Blanco industrial	Rojo (610 nm)
Fotoperiodo (luz:oscuridad)	24:00	10:14
Densidad (kg m <sup>-3</sup> )	30	15
Temperatura (°C)	26	21
Saturación de oxígeno (%)	90	60
Tipo de alimento	Semiflotante	No flotante
Clasificación	Sí	No

Los resultados (**Tabla 8**) demostraron efectos significativos y positivos de la intensidad luminosa baja en la supervivencia. Se calcularon también interacciones positivas cuando la intensidad luminosa se asoció con otros factores como la temperatura y la densidad de cultivo. Así, se observaron tasas de mortalidad altas en condiciones experimentales compuestas por intensidad luminosa alta (100 lx) y temperatura baja (21 °C), confirmando que la lucioperca prefiere intensidades luminosas bajas. Las interacciones negativas entre las características de la iluminación y la densidad alta se observaron incluso si los niveles de densidad de cultivo no excedían los límites conocidos para los juveniles de lucioperca.



**Figura 6.** Tanques experimentales (Universidad de Lorraine, Francia) con diferentes condiciones de iluminación.

Los resultados relacionados con el crecimiento se vieron afectados fundamentalmente por el tipo de alimento, con efectos positivos del pienso no flotante. Se obtuvieron interacciones positivas entre el tipo de alimento y el espectro luminoso rojo, baja intensidad luminosa y baja temperatura o saturación de oxígeno elevada. El impacto de otros factores y modalidades, como



el fotoperiodo, varió enormemente entre tratamientos, sin ninguna tendencia concluyente. La información acerca del tipo de alimento en la eficiencia de las técnicas de cultivo de peces es limitada, y no está claro todavía si la lucioperca prefiere alimentos flotantes o no flotantes.

Algunos productores de lucioperca usan alimento flotante para facilitar el control de la ingesta, pero parece que es necesario habituar a los juveniles a una edad temprana para evitar el rechazo más adelante a este tipo de alimento. Por tanto, es posible que la estrategia de alimentación interfiriese ligeramente con el efecto positivo obtenido en el presente experimento, ya que los peces fueron previamente alimentados con pienso no flotante.

**Tabla 8.** Combinaciones (c1 - c16) de los factores testados y sus resultados. Heterogeneidad de peso final (CV); Espectro luminoso: W=blanco, R=rojo; Alimento: S=no flotante, F=semiflotante; Clasificación: Y=con manipulaciones simulando clasificación, N=sin clasificación. Las líneas grises se corresponden a las cinco mejores combinaciones de acuerdo con los valores totales de interés.

Variables evaluadas										Variables estudiadas			
Combinación de factores	Intensidad luminosa	Densidad (kg m <sup>-3</sup> )	Espectro lumínico	Fotoperiodo (h)	Temperatura (°C)	Tipo de alimento	Clasificación	Saturación de oxígeno (%)	Peso individual	Tasa de mortalidad	CV (%)	SGR (% d <sup>-1</sup> )	
c1	10	30	W	24	21	S	Y	90	168	4	37	0,9	
c2	100	15	R	10	26	F	N	60	146	3	50	0,7	
c3	100	15	W	24	21	S	N	60	172	13	40	1,0	
c4	100	30	R	10	21	S	N	90	143	31	29	0,7	
c5	10	15	R	10	21	S	Y	60	131	7	53	0,5	
c6	10	15	W	10	21	F	N	90	88	7	67	0	
c7	100	15	R	24	21	F	Y	90	113	24	61	0,3	
c8	10	15	W	24	26	F	Y	60	146	10	53	0,7	
c9	100	15	W	10	26	S	Y	90	158	13	39	1,1	
c10	100	30	W	10	21	F	Y	60	122	41	52	0,7	
c11	100	30	W	24	26	F	N	90	148	18	61	0,8	
c12	10	30	R	10	26	F	Y	90	114	24	57	0,3	
c13	100	30	R	24	26	S	Y	60	151	32	37	0,8	
c14	10	30	R	24	21	F	N	60	117	4	72	0,4	
c15	10	30	W	10	26	S	N	60	167	3	36	0,9	
c16	10	15	R	24	26	S	N	90	169	7	40	0,9	
<b>Media</b>									140	15	49	0,7	
<b>SD</b>									24	12	13	0,3	

Alimentando con pienso no flotante, las mayores eficiencias de crecimiento se obtuvieron sobre todo en condiciones experimentales compuestas por “luz roja - 10 lx - 24 h - 21 °C”, indicando la importancia de las condiciones lumínicas para la eficiencia de la lucioperca en RAS. Las mayores tasas de crecimiento de los peces cultivados en fotoperiodos largos se relacionan



generalmente con una alta ingesta de alimento. Nuestros resultados demuestran la misma tendencia para la lucioperca si el sistema de cultivo incluye pienso no flotante, luz roja y baja intensidad luminosa. También indican que la lucioperca presenta requerimientos específicos respecto a las características de la luz, quizás debido a la presencia de *tapetum lucidum*, una capa reflectante de la retina que puede amplificar el nivel de luminosidad, lo que explica por qué esta especie puede ser altamente sensible a intensidades luminosas elevadas.

Los resultados de este estudio no apoyan la hipótesis de que la temperatura elevada promueve el crecimiento en los juveniles de lucioperca, sino que corrobora que por encima de 25 °C el aumento de la tasa metabólica consume energía. En efecto, la temperatura no fue el factor más importante, y las interacciones positivas con el pienso no flotante se observaron en los tratamientos que incluían una temperatura baja, 21 °C.

En relación a la manipulación de los peces y la heterogeneidad de tallas, nuestros resultados no demostraron claramente que la clasificación fuese un factor de impacto determinante, ya que se obtuvieron buenos resultados de crecimiento en condiciones experimentales con y sin manipulaciones. Es posible que la frecuencia quincenal de clasificación y la baja intensidad de las manipulaciones no tuvieran efectos demasiado perjudiciales en la fase de desarrollo en la que se realizó el experimento.

En relación a los marcadores de estrés de este estudio, tanto el espectro de luz roja a baja intensidad como la luz blanca a alta intensidad indujeron un alto nivel de estrés. Sin embargo, se necesita más investigación sobre la interacción entre las características de la iluminación y el nivel de estrés en la lucioperca. En cuanto al estatus inmunitario, la actividad inmunitaria humoral se vio ligeramente afectada por alguno de los factores evaluados durante el periodo de 2 meses, y no es posible obtener ninguna conclusión sin más investigaciones.

### *Caracterización del crecimiento y el estatus fisiológico e inmune de la lucioperca en condiciones de producción*

En base a los resultados del experimento multifactorial, se compararon el crecimiento y el estatus fisioinmunológico de la lucioperca en diferentes etapas del desarrollo (de 10 a 100 g) en condiciones de cultivo en granja, entre condiciones de cultivo estándar habitualmente utilizadas por las pymes. Debido a que las características de la iluminación pueden ser un factor importante en el cultivo de lucioperca, se decidió mantener los peces bajo dos modalidades experimentales definidas como “óptimas” pero evaluando solamente luz roja vs. luz blanca, ya que otras modalidades factoriales indujeron menor variabilidad.

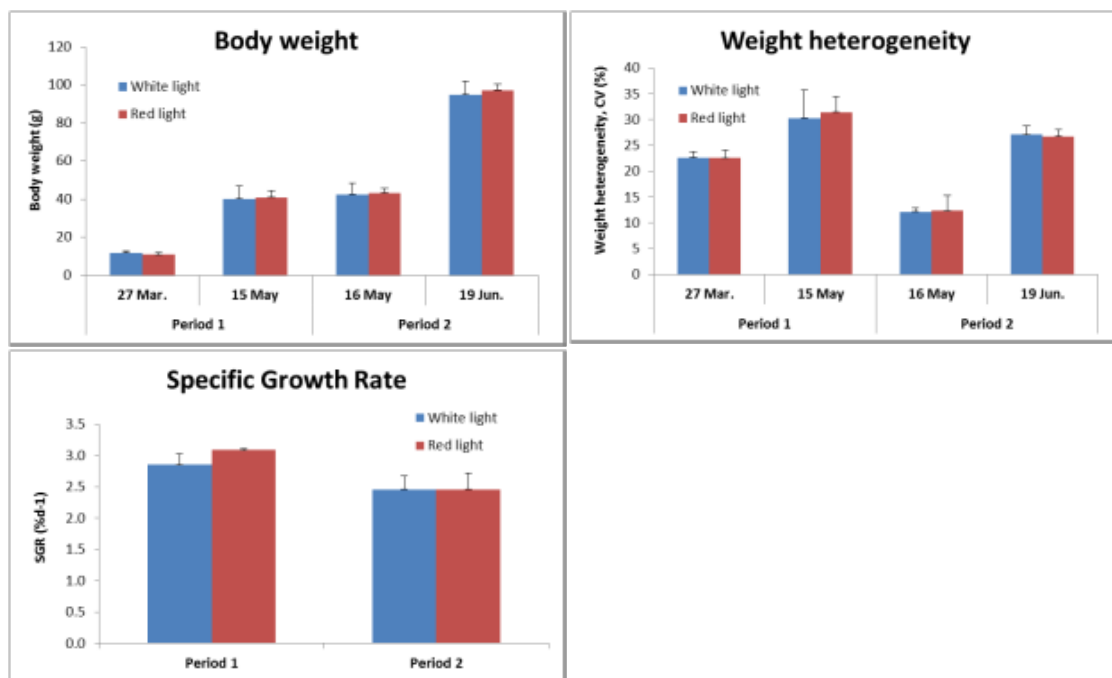
El experimento (periodos 1 y 2) fue llevado a cabo por la granja Fish2Be (Bélgica) y se observó buen crecimiento en todas las condiciones (sobre el 3,0 y el 2,5 % día<sup>-1</sup> para los periodos 1 y 2 respectivamente) (**Fig. 7**). Las manipulaciones de clasificación se realizaron en los días 49 (15 de mayo) y 83 (19 de junio) debido al incremento de la heterogeneidad de tallas. Sin embargo, solamente se descartaron algunos peces, y la pérdida acumulada de biomasa no superó el 10 %.



**Figura 7.** Tanque experimental en la granja de Fish2Be.

Los colores del entorno afectan a la visión de los peces, influyendo por ejemplo en la ingesta de alimentos, las señales de estatus jerárquico, la reproducción, el crecimiento e incluso la supervivencia. En la lucioperca, se vio que el uso de luz roja mejora la tasa de crecimiento específico y la eficiencia de alimentación sin ningún efecto claro en el estatus de estrés. En este experimento, el espectro lumínico (rojo o blanco) no afectó de manera significativa los parámetros de crecimiento o el nivel de estrés (**Fig. 8**). Sin embargo, la luz roja incrementó la actividad de la lisozima mientras que la luz blanca industrial incrementó la actividad de la peroxidasa, lo que sugiere que los colores del entorno pueden influir en el estatus inmune y la susceptibilidad a enfermedades. No obstante, según nuestros conocimientos, hasta el momento ningún estudio se ha centrado en el posible vínculo entre los colores ambientales y la inmunidad en los peces.

Debido a que la luz parece ser un factor importante en el cultivo de la lucioperca, se decidió realizar otro experimento para comprender mejor los efectos de la intensidad luminosa (10 vs. 120 lx) y el espectro (blanco vs. rojo) en el estatus inmunológico y de estrés de los juveniles. Brevemente, los peces se mantuvieron inicialmente bajo luz blanca a baja intensidad. En el día 1, los tanques se expusieron a las nuevas condiciones de luz, que incluían las dos intensidades luminosas (10 o 120 lx) y dos espectros lumínicos (blanco industrial o rojo a 610 nm). Los ejemplares se mantuvieron en estas condiciones con un fotoperíodo 12 h luz: 12 h oscuridad durante un mes. Los resultados indican un fuerte efecto de la luz en el estatus fisiológico de la lucioperca. El cambio en el entorno lumínico fue percibido como un factor de estrés a corto plazo, caracterizado por el incremento de los marcadores de estrés e inmunológicos. Sin embargo, 30 días de exposición a intensidad luminosa elevada provocaron una importante supresión de la actividad inmune. Combinado con los resultados previos, este experimento sugiere que el estrés inducido por la luz es de particular importancia en la lucioperca, y que para su cultivo debe preferirse una intensidad luminosa baja.



**Figura 8:** Eficiencia de crecimiento (peso corporal final, heterogeneidad y SGR) de la lucioperca cultivada bajo luz blanca (W) o roja (R) durante los periodos 1 (27 marzo a 15 mayo) and 2 (16 mayo a 19 junio). Cada condición de iluminación se aplicó a 3 tanques. Las letras en minúscula indican diferencias significativas entre los espectros lumínicos a  $p < 0,05$ .

### *Efecto del grado de domesticación y el origen geográfico en el crecimiento y la sensibilidad al estrés de la lucioperca*

Debido a que la acuicultura intensiva de la lucioperca es todavía reciente, se están cultivando poblaciones con diferentes grados de domesticación. La domesticación determina en gran medida el estatus inmunológico y de estrés de los peces en condiciones de producción. Se investigaron los efectos del proceso de domesticación (líneas salvajes vs. domésticas) y del origen geográfico. Se emplearon tres lotes, incluyendo una línea francesa F0 (lago de Lindre, Francia) y dos líneas checas, una salvaje (F0) y una domesticada (F1, 4º ciclo de reproducción). Los peces se distribuyeron al azar ( $5 \text{ kg m}^{-3}$ ) en 9 tanques de 800 l a cubierto (3 tanques por lote) para su aclimatación y crecimiento hasta que alcanzaron 20 g de peso corporal. Durante la aclimatación y el experimento, los peces se mantuvieron en condiciones constantes (temperatura 21 °C, intensidad luminosa 15 lx, fotoperiodo 12:12). Además, para caracterizar la respuesta al estrés de los distintos lotes, se expuso a los peces a una persecución durante 30 s. Las muestras se recogieron antes y después del evento estresante.

Mientras que no se detectaron efectos del origen geográfico, la respuesta al estrés fue más intensa en los peces de la línea checa con un alto grado de domesticación (F1) que en los salvajes. Si bien se ha sugerido que el estrés puede tener un impacto negativo en la defensa inmunitaria de los peces, la respuesta al estrés supone un ajuste fisiológico beneficioso para el mantenimiento de la homeostasis. Por tanto, el equilibrio entre los mecanismos de compensación



del estrés y la función inmune depende de la intensidad del estrés, y en peces puede depender de la especie. Por ejemplo, se ha propuesto que la reducción de las respuestas al estrés puede ser una parte importante de la domesticación, debido a la selección positiva de peces resistentes al estrés junto con una mejor adaptabilidad a lo largo de las generaciones. En los salmónidos, esta mejora está asociada con una baja respuesta de cortisol, que ha demostrado tener un alto grado de heredabilidad a lo largo de las generaciones. Sin embargo, la disminución de la respuesta al estrés con la selección puede variar con cada especie.

La línea checa domesticada se caracterizó además por marcadores inmunitarios elevados, lo que sugiere que la domesticación promueve la inmunocompetencia y eso limita los brotes infecciosos. No obstante este experimento fue concebido como un ensayo preliminar, y son necesarias investigaciones posteriores acerca del estrés, la inmunofisiología y el proceso de domesticación para comprender mejor los mecanismos involucrados en ellos.

## **Mercado, percepción de los consumidores, nuevos productos y modelo de negocio**

La investigación socioeconómica en DIVERSIFY incluye un enfoque sobre el desarrollo de mercados basado en la percepción de los productos de acuicultura, el estudio de la demanda de mercado, las preferencias de los consumidores, el desarrollo de nuevos productos (**Fig. 9**), el valor añadido y el desarrollo de mercados. Los estudios se han llevado a cabo en los cinco mercados más importantes del pescado en la UE: Francia, Alemania, Italia, España y el Reino Unido.

### *Análisis de mercado*

- El análisis de mercado demostró que los principales compradores (es decir, los comerciantes minoristas) en los cinco países encuentran muy difícil posicionar las seis nuevas especies (como la lucioperca) en relación a las especies actualmente en el mercado.
- Especies como la lucioperca son conocidas como productos de la pesca, pero menos como productos de acuicultura. Aun así, los grandes compradores no ven fácil posicionarlas en el mercado frente a otras especies. Los pescados blancos son muchas veces considerados todos iguales, por lo que el panga puede ser un competidor directo
- Los compradores están abiertos a nuevas especies bajo las siguientes condiciones:
  - El producto debe cultivarse de forma sostenible,
  - El producto debe estar disponible en fresco (especialmente en el sur de Europa),
  - El producto debe ser fácil de preparar y/o listo para consumir (Alemania y Reino Unido) y
  - El producto debe tener un precio competitivo





### Desarrollo de nuevos productos

- El co-desarrollo con los consumidores permitió identificar ideas de nuevos productos muy prometedoras en los países estudiados
- Los principales factores y barreras para la elección de ideas de nuevos productos han sido identificados y se han generado recomendaciones para el desarrollo de nuevos productos a partir de las especies seleccionadas.

### Caracterización sensorial de las nuevas especies y aceptación de los nuevos productos por los consumidores

- Las nuevas especies tienen que ser introducidas de forma apropiada para impulsar la diversificación en los mercados actuales.
- Los parámetros sensoriales, de composición y de textura, junto con las propiedades somáticas de las cinco especies de peces emergentes de DIVERSIFY –cherna, seriola, mújel, corvina y lucioperca– fueron examinados con objetivos de caracterización.
- En relación a los parámetros de composición, el contenido de grasa fue uno de los aspectos más relevantes para discriminar entre especies, mientras que entre los parámetros relacionados con la textura, la firmeza fue el más diferenciador.

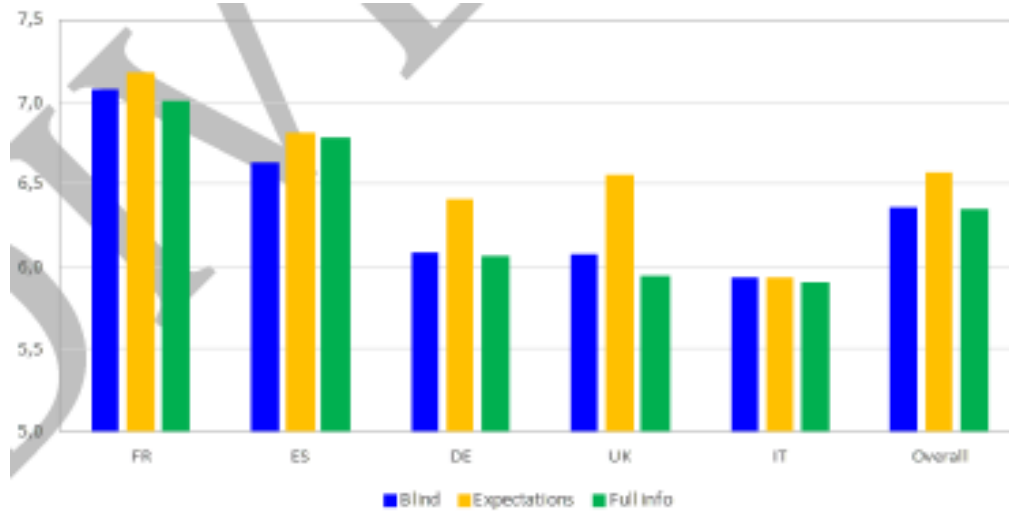


**Figura 9.** Ejemplos de muestras de nuevos productos para los participantes en la prueba.

- La seriola fue descrita como de sabor ácido, la lucioperca como un pescado blanco, pastoso y desmenuzable, y el mújel se caracterizó por su sabor amargo. La firmeza de la carne es un rasgo distintivo de la cherna, mientras que la corvina se describió como de textura jugosa.
- Las especies de este estudio presentan un amplio rango de características fisicoquímicas y sensoriales con un gran potencial explotable en el diseño de nuevos productos.



- En una prueba de aceptación con consumidores, se demostró la influencia de disponer previamente de la información sobre el producto en el grado de aceptación (**Fig. 10**).
- En el caso de la lucioperca, se elaboró un paté que obtuvo las máximas puntuaciones en las pruebas realizadas en España y Francia y las más bajas en el Reino Unido, Italia y Alemania. Esto significa que además de los filetes, otros productos pueden ser interesantes.



**Figura 10.** Resultados de las pruebas de aceptación por los consumidores de los nuevos productos desarrolladas en 5 países europeos. Los consumidores inicialmente no recibieron información sobre el producto (barras azules); a continuación, conociendo el producto a evaluar, se les preguntó sobre sus expectativas (barras naranjas), y finalmente recibieron la información completa antes de probar el producto (barras verdes).



## Referencias

- Crosetti, D., 2015. Current State of Grey Mullet Fisheries and Culture. *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*, 398–450.
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drenstig, A., Arvonen, K., Pedersen, P., 2013. Farming different 312 species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53, 2-13.
- Fang, Y.Z., Yang, S., Wu, G., 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 8, 872–879.
- FAO. FISHSTAT. Global Capture Production (Dataset/pikeperch). Accessed (18 July 2017). URL: <http://data.fao.org/ref/af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935.html?version=1.0>.
- Hamza, N., Mhetli, M., Kestemont, P., 2007. Effects of weaning age and diets on ontogeny of digestive activities and structures of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry* 33, 121–133.
- Izquierdo, M., Koven, W., 2011. Lipids. In: *Larval Fish Nutrition*. pp. 47-82, G.J. Holt (ed). Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Inc. U.K. 435pp.
- Izquierdo, M.S., Fernandez-Palacios, H., Tacon, A.G.J., 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture* 197, 25-42.
- Kestemont, P., Xu, X., Hamza, N., Maboudou, J., Imorou, Toko, I., 2007. Effect of weaning age and diet on pike perch larviculture. *Aquaculture* 264, 197-204.
- Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C., 2015. *Biology and culture of Percid fishes: principles and practices*, Springer, 901p.
- Koven, W., Van Anholt, R., Lutzky, S., Ben Atia, I., Nixon, O., Ron, B., Tandler, A., 2003. The effect of dietary arachidonic acid on growth, survival, and cortisol levels in different-age gilthead sea bream larvae (*Sparus aurata*) exposed to handling or daily salinity change. *Aquaculture* 228, 307-320.
- Kucharczyk, D., Kestemont, P., Mamcarz, A., 2007. *Artificial reproduction of pikeperch. Practical manual*, Polish Ministry of Science, 80 pp.
- Milstein, A., Alkon, A., Avnimelech, Y., Kochba, M., Hulata, G., Schroeder, G., 1991. Effects of manuring rate on ecology and fish performance in polyculture ponds. *Aquaculture* 96, 119-138.
- Mylonas, C.C., Fostier, A., Zanuy, S., 2010. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. *General and Comparative Endocrinology* 165, 516-534.
- Nash, C.E., Koningsberg, R.M., 1981. Artificial propagation. In: Oren, O.H. (ed.), *Aquaculture of Grey Mulletts*, Cambridge University Press, pp. 265-312.
- Omura, Y., Inagaki, M., 2000. Immunocytochemical localization of taurine in the fish retina under light and dark adaptations. *Amino Acids* 19, 593–604.
- Oren, O.H., 1981. *Aquaculture of Grey Mulletts*, Cambridge University Press, 506 pp.
- Pillay, T.V.R., 1993. *Aquaculture. Principles and Practices*. Fishing News Books, Oxford, UK, 575 pp.
- Rodríguez-Barreto, D., Jerez, S., Cejas, J.R., Martín, M., Acosta, N.G., Bolaños, A., Lorenzo, A., 2014. Ovary and egg fatty acid composition of greater amberjack broodstock (*Seriola dumerili*) fed different dietary fatty acids profiles. *European Journal of Lipid Science and Technology* 116, 584-595.
- Soliman, N., Yacout, D., 2016. Aquaculture in Egypt: status, constraints and potentials. *Aquaculture International* 24 (5), 1201-1227.



- Steenfeldt, S.J., Lund, I., 2008. Development of methods of production for intensive rearing of pikeperch juveniles. DTU Aqua Research Report no. 199-2008, Technical University of Denmark, Denmark (in Danish).
- Tocher, D. R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research* 41, 717-732.
- Trabelsi, A., Gardeur, J.-N., Teletchea, F., Fontaine, P., 2011. Multifactorial analysis of effects of nutritional, environmental and populational variables on burbot *Lota lota* weaning performances. *Aquaculture* 316 (1-4), 104-110.
- Wang, N., Milla, S., Fontaine, P., Kestemont, P., 2008. Abstracts of the Percid fish culture workshop: From research to production, January 23-24, Namur, Belgium.
- Wu, F.-C., Ting, Y.-Y., Chen, H.Y., 2002. Docosahexaenoic acid is superior to eicosapentaenoic acid as the essential fatty acid for growth of grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Journal of Nutrition* 132, 72-79.
- Zouiten, D., Khemis, I. Ben, Besbes, R., Cahu, C., 2008. Ontogeny of the digestive tract of thick lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) larvae reared in “mesocosms”. *Aquaculture* 279, 166-172.
- Szkudlarek, M., Zakęś, Z., 2007. Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions. *Aquaculture international* 15, 67-81.



Líder de comunicación: Dr. Rocío Robles, CT AQUA, [r.robles@ctaqua.es](mailto:r.robles@ctaqua.es)

Coordinador del proyecto: Dr. Constantinos C Mylonas, HCMR, [mylonas@hcmr.gr](mailto:mylonas@hcmr.gr)



Cofinanciado por el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea



Este proyecto de 5 años (2013-2018) está financiado por el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea para la investigación, el desarrollo tecnológico y la demostración (KBBE-2013-07 single stage, GA 603121, DIVERSIFY). El consorcio se compone de 38 socios de 12 países europeos –incluyendo nueve pymes, 2 grandes empresas, 5 asociaciones profesionales y una ONG de consumidores– y está coordinado por el Centro Helénico de Investigación Marina, Grecia. Más información en la página web del proyecto “[www.diversifyfish.eu](http://www.diversifyfish.eu)”.