

Títol del treball:

Creixement i demografia de les poblacions de l'espècie *Salmo trutta* introduïdes en diversos estanys d'alta muntanya dels Pirineus

Estudiant: Laia Busquets Casas

Grau en Biologia

Correu electrònic: laiabus93@gmail.com

Tutor: Lluís Zamora Hernández

Cotutor: Quim Pou Rovira

Empresa / institució: Sorelló, estudis al medi aquàtic S.L.

Vistiplau tutor (i cotutor):

Nom del tutor: Lluís Zamora Hernández

Nom del cotutor: Quim Pou Rovira

Empresa / institució: Sorelló, estudis al medi aquàtic S.L.

Correus electrònics: lluis.zamora@udg.edu i
quim.pou@sorello.net

Agraïments

Aquest treball ha estat possible gràcies a l'oportunitat que se'm va oferir des de l'empresa *Sorelló, estudis al medi aquàtic S.L.* i el *Centre d'Estudis avançats de Blanes* (CEAB-CSIC) de participar en el projecte *LIFE + LIMNOPIRINEUS*, el qual em va permetre conèixer de primera mà l'estat de conservació dels estanys dels Pirineus i col·laborar en la dinàmica de treball de la campanya científica, la qual cosa em va enriquir tant a nivell acadèmic com a nivell personal.

Sobretot agrair al Dr. Marc Ventura i al seu equip per facilitar-me la informació i les instal·lacions necessàries per dur a terme aquest treball.

Al tutor, Quim Pou Rovira pels seus coneixements transmesos al llarg de la realització del treball. I al tutor de la Universitat, Lluís Zamora per la revisió formal del treball.

A l'Andreu Porcar i a l'Eloi Cruset per donar-me un cop de mà amb les disseccions de les truites i fer més amena l'extracció d'otòlits.

I a totes les persones que en un moment o altre m'han ajudat en dubtes que m'han sorgit durant la realització del treball.

Moltes gràcies a tots.

Laia
Maig 2015

Resum

L'espècie *Salmo trutta* és un dels éssers vius més estudiats a Europa, malgrat tot, les seves poblacions als estanys dels Pirineus són poc conegudes. El fet més destacat d'aquest desconeixement és la ignorància que aquestes poblacions de peixos no són autòctones d'aquests hàbitats i, per tant, són una de les principals causants de la disminució de la biodiversitat en aquests ecosistemes.

El projecte *LIFE + LIMNOPIRINEUS*, iniciat l'estiu de l'any 2014 i que tindrà una durada de cinc anys, té com a objectiu millorar la conservació de les espècies i els hàbitats aquàtics d'alta muntanya dels Pirineus. L'eliminació d'aquesta espècie al·lòctona és una de les accions per aconseguir-ho i gràcies als individus mostrejats s'ha pogut realitzar el següent estudi que té per objectiu realitzar una caracterització de les poblacions de *Salmo trutta* presents als estanys d'alta muntanya dels Pirineus.

Aquesta caracterització es realitza a partir de les mesures de la llargada furcal i la determinació de l'edat de cada individu mitjançant la lectura dels otòlits, la qual cosa permet descriure el creixement i la supervivència de les poblacions presents en aquests hàbitats a partir de l'ajustament dels models de Von Bertalanffy i de supervivència constant, respectivament. A més a més, també es realitza una anàlisi del patró de coloració de cada truita que en permet conèixer el seu llinatge.

La lectura de les edats mostra unes poblacions desestructurades amb una escassa densitat d'individus joves. Els paràmetres obtinguts en l'ajustament de la corba de creixement indiquen unes longituds asimptòtiques amb valors moderats comparades amb altres masses d'aigua i unes taxes de creixement amb petites diferències.

Per altra banda, la taxa instantània de mortalitat, obtinguda amb l'ajustament del model de supervivència constant, és bastant semblant entre els diferents estanys. Tot i això, les petites diferències que hi apareixen es poden arribar a relacionar amb les característiques dels estanys com la profunditat, la superfície o la presència de l'espècie *Phoxinus sp.*

Per últim, l'anàlisi del patró de coloració permet separar els estanys en dos patrons: uns amb dominància del llinatge mediterrani i uns altres amb una destacada presència del llinatge atlàntic.

Paraules clau: *Salmo trutta*, otòlit, creixement, demografia, estanys d'alta muntanya, espècie introduïda, model de Von Bertalanffy.

Resumen

La especie *Salmo trutta* es uno de los seres vivos más estudiados en Europa, no obstante, sus poblaciones en los lagos de los Pirineos son poco conocidas. El hecho más destacado de este desconocimiento es la ignorancia de que estas poblaciones de peces no son autóctonas de estos hábitats y, por lo tanto, son una de las principales causantes de la disminución de la biodiversidad en estos ecosistemas.

El proyecto *LIFE + LIMNOPIRINEUS*, iniciado en verano del año 2014 y que tendrá una duración de cinco años, tiene como objetivo mejorar la conservación de las especies y los hábitats acuáticos de alta montaña de los Pirineos. La eliminación de esta especie alóctona es una de las acciones para conseguirlo y gracias a los individuos muestreados se ha podido realizar el siguiente estudio que tiene por objetivo realizar una caracterización de las poblaciones de *Salmo trutta* presentes en los lagos de los Pirineos.

Esta caracterización se realiza a partir de las medidas de la longitud furcal y la determinación de la edad de cada individuo mediante la lectura de los otolitos, la cual cosa permite describir el crecimiento y la supervivencia de las poblaciones presentes en estos hábitats a partir del ajustamiento de los modelos de Von Bertalanffy y de supervivencia constante, respectivamente. Además, también se realiza un análisis del patrón de coloración de cada trucha que permite conocer su linaje.

La lectura de las edades muestra unas poblaciones desestructuradas con una escasa densidad de individuos jóvenes. Los parámetros obtenidos en el ajustamiento de la curva de crecimiento indican unas longitudes asintóticas moderadas comparadas con otras masas de agua y unas tasas de crecimiento con pequeñas diferencias.

Por otro lado, la tasa instantánea de mortalidad, obtenida con el ajustamiento del modelo de supervivencia constante, es muy semejante entre los diferentes lagos. A pesar de todo, las pequeñas diferencias que aparecen se pueden llegar a relacionar con las características de los lagos como la profundidad, la superficie o la presencia de la especie *Phoxinus* sp.

Por último, el análisis del patrón de coloración permite separar los lagos en dos patrones: unos con dominio del linaje mediterráneo y otros con una destacada presencia del linaje atlántico.

Palabras clave: *Salmo trutta*, otolito, crecimiento, demografía, lagos de alta montaña, especie introducida, modelo de Von Bertalanffy.

Abstract

Salmo trutta is one of the most studied species in Europe, however, the populations that live in the lakes of the Pyrenees are little known. The most outstanding fact of this lack of knowledge is the ignorance that these fish populations are not native of these habitats and, therefore, they are one of the major causes of the decline of biodiversity of these ecosystems.

LIFE + LIMNOPIRINEUS, that began the summer of 2014 and that is going to run for five years, it has the objective of improving the conservation status of species and aquatic habitats in the high mountains of the Pyrenees. The removal of this non-native species is one of the actions to achieve this improving and with the sampled individuals from the lakes it has been possible to do the next research that have the aim to realize a characterization of the populations of *Salmo trutta* present in the high mountain lakes of the Pyrenees.

This characterization is done by the measurements of the furcal length and the determination of the ages of each individual by the otoliths reading, which allow to describe the growth and the survival of the populations present in these habitats by the adjusting of the models Von Bertalanffy and constant survival, respectively. Moreover, has been done an analysis of the body pigmentation pattern of each trout for knowing its lineage.

The ages obtained by the otoliths readings show unstructured populations with a poor density of young individuals. The parameters obtained by the growth curves indicated moderate asymptotic lengths compared with others freshwater ecosystems and little differences between the growth rates.

On the other hand, the mortality rates, obtained by the adjustment of the survival constant model, are quite similar between the different lakes. Nevertheless, these little differences can be related with the lakes characteristics like the depth, the surface or the presence of the specie *Phoxinus* sp.

Finally, the analysis of the body pigmentation pattern shows two different patterns: lakes with dominance of Mediterranean lineage or lakes with a strong presence of Atlantic lineage.

Keywords: *Salmo trutta*, otolith, growth, demography, high mountain lakes, introduced species, Von Bertalanffy model.

ÍNDEX

1. Introducció	1
1.1 <i>Salmo trutta</i>	1
1.2 Els estanys d'alta muntanya dels Pirineus	2
1.3 Otòlits.....	4
2. Objectives	4
3. Materials i mètodes	5
3.1 Estanys dels Pirineus: captura de peixos	5
3.2 Anàlisi fenotípica <i>Salmo trutta</i>	6
3.3 Extracció d'otòlits.....	7
3.4 Preparació i observació d'otòlits	8
3.5 Models de creixement	9
3.6 Model de supervivència constant.....	10
4. Resultats	11
4.1 Anàlisi fenotípica <i>Salmo trutta</i>	11
4.2 Anàlisi models de creixement	12
4.3 Anàlisi models de supervivència	16
5. Discussió	18
6. Conclusions	22
7. Bibliografia	23

1. INTRODUCCIÓ

1.1 *Salmo trutta*

La truita comuna, *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758), és un peix d'aspecte fusiforme de la família Salmonidae molt estudiat a Europa (Figura 1). Aquest és l'únic salmònid autòcton de les aigües fredes d'alta muntanya dels Països Catalans (Miró, 2011). Els hàbitats naturals de *Salmo trutta* són els rius d'aigües fredes amb altes concentracions d'oxigen. A més a més, aquesta espècie presenta molta sensibilitat a la contaminació orgànica, per tant, majoritàriament viu en ambients pobres en nutrients, és a dir, en ambients oligotròfics (Armstrong et al., 2003; Jonsson i Jonsson, 2011).

Salmo trutta és un consumidor carnívor oportunista que s'alimenta d'invertebrats i quan creix passa a una dieta més ictiòfaga, sempre adaptant-se als recursos alimentaris de què disposa. Els mascles assoleixen la maduresa sexual al cap de pocs anys, en canvi les femelles necessiten més edat per tenir una mida major, tot i que en estanys d'alta muntanya l'edat de maduresa augmenta significativament per ambdós sexes. La seva reproducció es dona durant els mesos freds, hivern i tardor, sent més primerenca quan augmenta la latitud i l'altitud, perquè les temperatures són més baixes i el temps d'incubació dels ous és més alt (Klemetsen et al., 2003).



Figura 1. Truita comuna (*Salmo trutta*). Font: www.fishbase.com

Originàriament era una espècie del continent europeu, de l'oest d'Àsia i del nord d'Àfrica, però els seus moviments migratoris i, sobretot, les introduccions humanes des de finals del segle XIX han fet que aquesta espècie animal es distribueixi per la gran majoria d'aigües continentals del planeta (Miró, 2011).

L'espècie *Salmo trutta* presenta diversitat gènica a causa dels diferents refugis genètics formats durant els períodes de glaciacions. Aquest fet ha provocat que aquesta espècie estigui formada per cinc llinatges diferents procedents del Danubi, l'Adriàtic, el Mediterrani, el Marmoratus i l'Atlàntic (Bernatchez, 2001). Les introduccions humanes d'aquesta espècie han causat la hibridació entre els diferents tipus de llinatges de truita, i això ha suposat una introgressió, és a dir, una entrada de gens al·lòctons a les poblacions natives de cada regió i aquest fet acaba portant a la disminució de la diversitat genètica de l'espècie i, per tant, a una pèrdua de les adaptacions locals de cada llinatge (Araguas et al., 2008).

La truita comuna està a la llista vermella d'espècies amenaçades de la Unió Internacional de Protecció de la Natura (IUCN, 2013), concretament es troba en la categoria de baix risc d'extinció, ja que alguns dels seus hàbitats naturals estan amenaçats per la contaminació de l'aigua. Però, per altra banda, també es troba dins la llista de les 100 espècies més invasores del món de la Unió Internacional de Protecció de la Natura (IUCN, 2006), ja que les seves constants introduccions en nous hàbitats han provocat el seu establiment i en conseqüència l'extinció de les espècies autòctones d'aquestes zones.

1.2 Els estanys d'alta muntanya dels Pirineus

Un exemple d'aquestes introduccions humanes el podem trobar en alguns dels estanys dels Pirineus, els quals originalment eren lliures de peixos, però els humans van portar-los en aquestes masses d'aigua sobretot com una font d'alimentació i una font econòmica (Miró, 2011). Aquestes introduccions han fet que la truita es convertís en el depredador superior d'aquests ecosistemes i això ha comportat efectes negatius sobre l'ecologia dels estanys, com l'extinció de les espècies autòctones (Miró i Ventura, 2013).

Les truites utilitzades en aquest treball han estat obtingudes durant la primera campanya del projecte *LIFE + LIMNOPIRINEUS* realitzada durant l'estiu de l'any 2014. Aquest projecte té com a objectiu la millora de l'estat de conservació d'espècies i hàbitats aquàtics d'interès europeu de l'alta muntanya dels Pirineus (Centre d'estudis avançats de Blanes, 2015). Una de les accions per aconseguir la restauració d'aquests hàbitats serà mitjançant l'eliminació dels peixos dels estanys d'alta muntanya dels Pirineus, els quals originalment no tenien presència de fauna íctica i, per tant, aquesta extracció de peixos al·lòctons permetrà la recuperació de les espècies autòctones que viuen als estanys dels Pirineus, tal com s'ha vist en altres estudis similars (Vredenburg, 2004).

Els estanys on es va capturar *Salmo trutta* són: Estany de Vilac, Estany Negre de Cabanes, Estany de Dellui, Estanyet de Dellui i Estany de Sarradé (Taula 1 i Figures 2, 3, 4, 5 i 6).

Taula 1. Principals característiques dels estanys d'on es va extreure *Salmo trutta*. Informació proporcionada per CEAB-CSIC obtinguda durant la campanya *LIFE + LIMNOPIRINEUS* del 2014.

Estany	Ictiofauna	Altura (metres)	Àrea (hectàrees)	Profunditat (metres)	Conductivitat ($\mu\text{S } 20^{\circ}\text{C}$)	Alcalinitat ($\mu\text{eq/L}$)	Clorofil·la a ($\mu\text{g/L}$)
Estany de Vilac	<i>S. trutta</i>	1638,31	0,13	2,40	96,31	651,74	1,29
Estany Negre de Cabanes	<i>S. trutta</i> i <i>Phoxinus sp</i>	2178,98	6,45	30,70	12,70	69,53	0,76
Estany de Dellui	<i>S. trutta</i>	2350,07	5,11	15,00	31,44	204,37	0,95
Estanyet de Dellui	<i>S. trutta</i> i <i>Phoxinus sp</i>	2315,20	1,08	6,20	20,72	123,04	1,48
Estany de Sarradé	<i>S. trutta</i>	2124,05	4,24	24,50	12,70	63,11	1,45

Aquests estanys són d'origen glacial i formen ambients amb condicions molt extremes, ja que les temperatures són molt baixes, a l'hivern hi ha coberta de gel, i les truites no disposen de molts nutrients (Catalan et al., 2006). Malgrat tot s'ha pogut observar que les truites en llacs d'alta muntanya poden arribar a edats molt avançades tot hi no viure en el seu òptim ecològic, ja que l'ambient és molt estable i les seves poblacions no estan explotades per l'home (Kraabøl, 2013).



Figura 2. Situació estany de Vilac, 1:10000.
Font: www.icc.cat

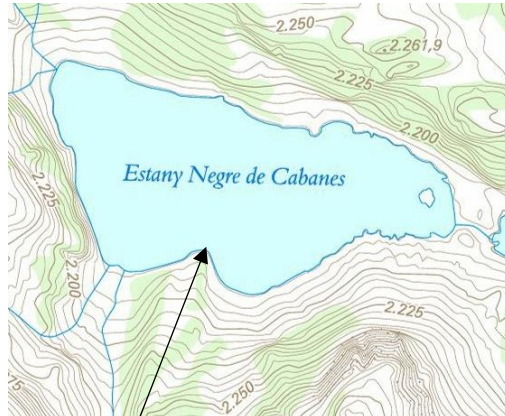


Figura 3. Situació estany Negre de Cabanes, 1:10000.
Font: www.icc.cat

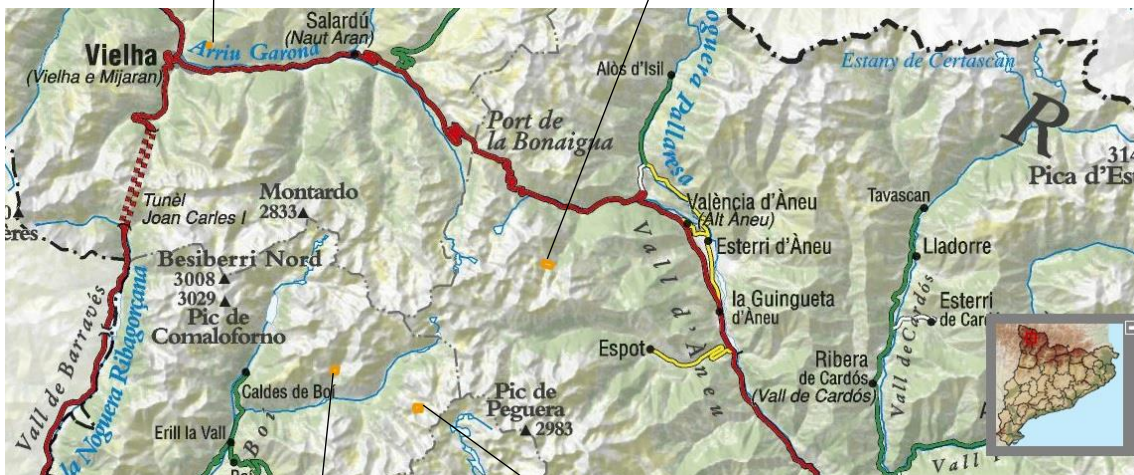


Figura 4. Mapa situació estanys, 1:500000. Font: www.icc.cat



Figura 5. Situació estany de Sarradé, 1:10000
Font: www.icc.cat



Figura 6. Situació estany Gran de Dellui i Estanyol de Dellui,
1:10000. Font: www.icc.cat

1.3 Otòlits

El coneixement de les edats dels individus d'una població és un factor bàsic per conèixer la dinàmica, l'ecologia i la biologia d'una espècie determinada. La determinació de l'edat en peixos teleostis s'acostuma a fer mitjançant els anells anuals de creixement que es formen en les estructures calcificades com escates, otòlits, vertebres, ossos operculars i radis d'aletes (Das, 1994).

Per tal de poder realitzar l'estructura demogràfica de les poblacions de truites dels estanys dels Pirineus s'utilitzaran els otòlits per determinar l'edat de cada truita, ja que s'ha demostrat que en peixos que viuen en ambients freds són molt més fiables que les escates (Das, 1994; Zymonas i McMahon, 2009 i Kraabøl et al., 2013), tot i això, aquestes són ideals per determinar l'edat sense necessitat d'haver de sacrificar el peix (Abecasis et al., 2008).

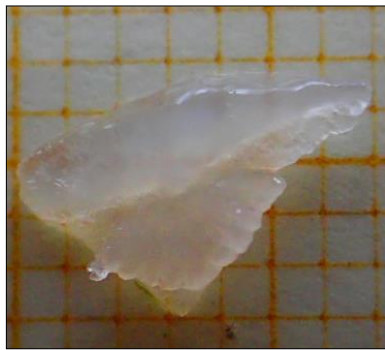


Figura 7. Otòlit de *Salmo trutta*. Font pròpia.

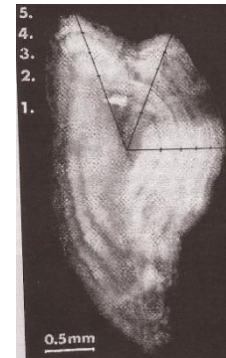


Figura 8. Anells otòlit *Salmo trutta*.
Font: Jonsson, B. i Jonsson, N., 2011.

Els otòlits són estructures dures de l'oïda interna compostes essencialment de carbonat càlcic i proteïna (Figura 7) responsables de l'equilibri i l'orientació del peix (Folch i Guillén i Sostoa, 1990). L'otòlit va creixent per deposició discontinua de capes de carbonat i va augmentant el seu gruix. Els anells hialins es formen durant l'hivern i la tardor (creixement lent) i els anells blancs opacs es formen durant l'estiu i la primavera (creixement ràpid) (Jonsson & Jonsson, 2011). Per tant, sabent els hiverns que ha passat el peix es pot arribar a deduir-ne la seva edat (Figura 8).

2. OBJECTIVES

This research is part of *LIFE + LIMNOPIRINEUS* because the samples use to do it were collected during the first fieldwork in summer 2014. Therefore, be able to do this study with this samples it is an exceptional opportunity, because without this project it would not be able to study these populations of *Salmo trutta*.

The main objective of this study is to realize a characterization of the *Salmo trutta* populations in high mountain lakes of the Pyrenees. To fulfil the main aim it is necessary to achieve the next objectives:

- Study of the individual growth of each population of *Salmo trutta* by adjusting the individual growth model of Von Bertalanffy. And compare the obtained parameters with other freshwater ecosystems.
- Study the demographic structure by comparing the observed ages in each lake and doing an adjustment with the constant survival model. And then compare and justify the differences of the mortality rates between the lakes.
- Obtain the genetic structure by observing the body pigmentation pattern of the *Salmo trutta* individuals, which allows knowing which the dominant lineage in each population is.
- Obtain results that allow knowing how to focus the next fieldworks of eradication of *Salmo trutta* of LIFE + LIMNOPIRINEUS by knowing the characteristics of each population.

3. MATERIAL I MÈTODES

3.1 Estanys dels Pirineus: Captura de peixos

A la campanya d'estiu de 2014 del projecte LIFE + LIMNOPIRINEUS es van capturar exemplars de *Salmo trutta* dels estanys: Estanyet de Dellui, Gran de Dellui, Sarradé, Vilac i Negre de Cabanes mitjançant la col·locació de trampes de tipus gànguil o barbil (Figura 9) i xarxes soltes multimalla (Figura 10). A causa de les baixes temperatures es van utilitzar neoprens i barques inflables per tal de facilitar-ne la col·locació. El nombre col·locat de xarxes i trampes depenia de la mida de l'estany, quan més gran era la massa d'aigua més se n'instal·laven.



Figura 9. Trampa col·locada a l'estany de Dellui.
Font pròpia.



Figura 10. Col·locació de xarxes a l'estany Gran de Dellui.
Font pròpia.

Es tornava a l'estany al cap de 24-48 hores per recollir les mostres pescades i retirar les xarxes i trampes. Un cop les truites eren extretes de les xarxes i de les trampes se'n mesurava la seva llargada furcal, és a dir, la llargada des del cap fins al punt mig de l'aleta caudal, amb un ictiometre (mil·límetres) i es pesaven amb una bàscula (grams).

Tot seguit s'etiquetava una bossa de plàstic hermètica (nom de l'estany pescat, dia, xarxa o trampa d'on s'ha tret el peix, número de peix pescat) es feia una fotografia de l'individu indicat (Figura 11). Finalment, es tancava el peix dins la bossa i es posava en una nevera portàtil i un cop es tornava dels estanys es posaven tots els individus pescats al congelador per tal de poder-los utilitzar en estudis posteriors.



Figura 11. Mesura de la llargada furcal amb un ictiometre de *Salmo trutta* a l'estany Sarradé. Font pròpia.

3.2 Anàlisi fenotípica de *Salmo trutta*

A partir dels individus i de les fotografies realitzades al camp es realitza una anàlisi fenotípica per tal de determinar a quin llinatge de *Salmo trutta* pertany cada individu. Això és possible perquè s'ha vist que diversos caràcters fenotípics tenen una base genètica (Aparicio et al., 2005). Els caràcters que es van observar són:

- El nombre de punts negres a l'opercle.
- El color del marge de l'aleta dorsal (absent, blanc o blanc i negre).
- El color del marge de l'aleta anal (absent, blanc o blanc i negre).
- La presència d'un patró de quatre bandes verticals fosques als costats del cos, indicadora del llinatge mediterrani.
- La presència d'una marca preopercular.

A partir d'aquest anàlisi es pot determinar a quin llinatge pertany cada truita mitjançant el model de classificació següent (Figura 12), extret d'un estudi genètic del patró de coloració de la truita comuna (Aparicio et al., 2005), en el qual es mostren els caràcters típics del llinatge mediterrani, l'híbrid (barreja del llinatge mediterrani i l'atlàntic) i el llinatge atlàntic, viver.

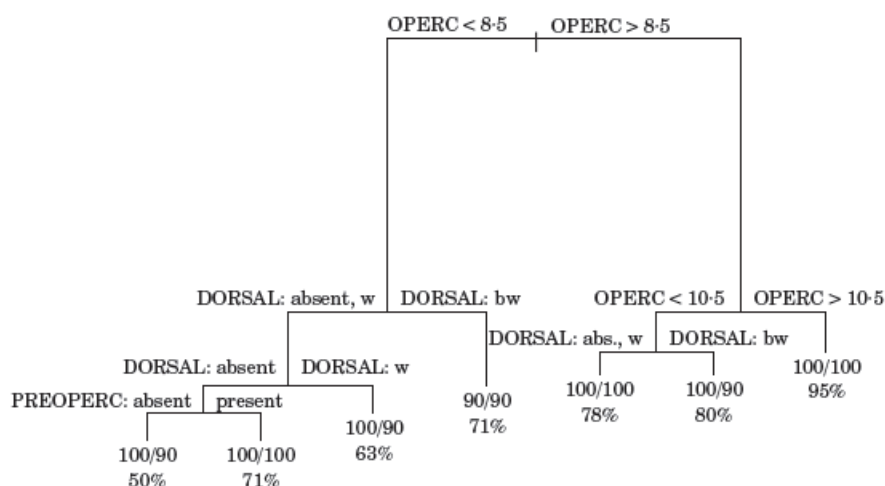


Figura 12. Classificació de l'origen de *Salmo trutta* segons els patrons de coloració. 100/100 correspon al llinatge mediterrani, 100/90 correspon a l'híbrid i 90/90 correspon al llinatge atlàntic. Font: Aparició et al., 2005.

3.3 Extracció d'otòlits

Per tal de facilitar la dissecció dels peixos aquests s'han de treure del congelador 24 hores abans de l'extracció dels otòlits. D'aquestes truites se'n mesura la llargada furcal i el pes en cas que no s'hagués fet al camp. Tot seguit, de cada truita se'n talla l'aleta adiposa i es posa dins d'un *ependorff* amb alcohol, per posteriors estudis genètics i en un altre *ependorff* s'hi guarden les escates extretes de sobre la línia lateral mitjançant unes pinces, que podran ser utilitzades per la determinació de l'edat (Figura 13).

A continuació, amb les tisores, es fa un tall de l'anus fins al cap de cada truita, deixant al descobert les vísceres de l'individu, s'observen les gònades i se'n determina el sexe, si les gònades són blanquinoses serà mascle, si són més ataronjades serà femella. En el cas que sigui femella se'n determina el grau de desenvolupament gonadal. Un cop fetes aquestes observacions s'extreuen totes les vísceres, posant l'estómac i els intestins dins d'un pot amb alcohol, el qual servirà per realitzar un estudi posterior de l'alimentació de *Salmo trutta* en els estanys dels Pirineus. I per últim es torna a pesar la truita sense aquestes vísceres (pes avisceral).

Finalment, es passa a serrar el crani de la truita amb un ganivet deixant el cervell al descobert (Figura 14), aquest es treu amb les pinces i es busquen els dos otòlits dins de les càpsules òtiques, un cop trobats es netegen i es guarden en un altre *ependorff*. Per acabar es talla el cap i es guarda en una bossa de plàstic i s'extreu un tros de múscul que també es guardarà en un *ependorff*, el qual servirà per estudis posteriors d'isòtops.



Figura 13. *Salmo trutta*. Amb una fletxa hi ha marcada l'aleta adiposa i amb unes pinces la zona d'on s'extreuen les escates. Font pròpia.

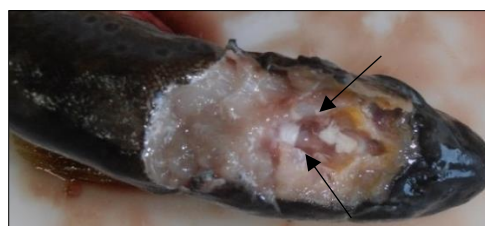


Figura 14. Crani de *Salmo trutta* amb el cervell extret, els otòlits es troben a la zona de la punta de les fletxes. Font pròpia.

Cal tenir present que s'ha d'etiquetar correctament cada un dels recipients amb el numero de truita, l'estany i la part d'organisme que conté (aleta, otòlits, escates, múscul, cap i estómac). El cap i el múscul s'han de guardar dins del congelador, l'estómac i l'aleta adiposa es conserven amb alcohol a temperatura ambient i els otòlits i les escates es poden deixar també a temperatura ambient.

3.4 Preparació i observació dels otòlits

L'observació dels otòlits es pot realitzar amb tot l'otòlit sencer o amb una secció d'aquest otòlit, en aquest treball es van valorar les dues metodologies, però per limitacions temporals es va optar per fer les observacions de l'otòlit sencer, tot i que la secció d'aquest permet detectar millor els falsos anells (Sequeira et al., 2013).

Primer de tot, en una placa de Petri de vidre s'hi posa oli d'immersió (oli d'oliva) i dins d'aquest oli, amb l'ajuda d'unes pinces, s'hi submergeixen els otòlits, aquest fluid ajuda a la filtració de la llum i a la reducció de l'enlluernament. Tot seguit, aquesta placa s'observa sota d'una lupa binocular amb dos tipus de llum: la llum incident, en que la llum ve de dalt i s'observen les bandes opaques de color blanquinós, i la llum transmesa, en la qual s'observen les bandes fosques ja que la llum ve de baix (Figura 15).

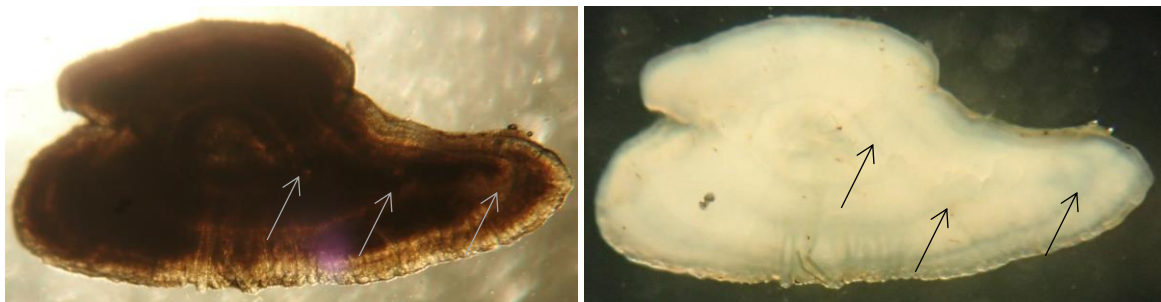


Figura 15. Otòlit de *Salmo trutta* de l'estany de Sarradé. A l'esquerra observat sota la lupa amb llum transmesa i a la dreta observat sobre la lupa amb llum incident. Les fletxes indiquen els tres anells de creixement. Font pròpia.

Comptar el nombre dels anells no és fàcil, ja que no tots els anells són observables clarament, per tant sempre llegirà els anells la mateixa persona per reduir l'error. A més a més, s'anotarà una lectura amb el nombre d'anells que es vegin amb seguretat (Edat 1) i una altra lectura amb els anells que es vegin amb seguretat més aquells que és vegin amb una claredat menor (Edat 2).

Un cop comptats el nombre d'anells es transformaran a edat (anys) sumant 1,6 anys a cada lectura, ja que aquestes poblacions, tot i no disposar d'estudis previs, segurament neixen cap a finals d'hivern perquè el temps d'incubació augmenta amb l'altitud (Klemetsen et al., 2003) i per tant com que van ser pescats mig any després (Juliol) els individus nascuts aquell any no hauran pogut formar l'anell d'aquell hivern. Per tant, els individus que presentin un anell tindran dos anys, ja que al primer any no es va formar l'anell, més el mig any que hi ha des de la formació del primer anell fins a les dates que es van pescar els individus.

Per últim, caldria fer un esment als mètodes de validació d'aquestes lectures dels anells a les estructures calcàries, tot i que en aquest treball no s'han pogut realitzar.

Per tal de tenir l'absoluta certesa que l'anell que es mira és un anell anual s'hauria de fer un tractament de marcatge-recaptura. Aquest consistiria en marcar les estructures calcificades internes de cada individu capturat, per exemple amb oxitetraciclina (OTC) i quan es tornés a capturar el següent any es podria veure quins són els anells anuals veritables (Beamish i McFarlane, 1983). Malgrat tot, aquest mètode presenta l'inconvenient de disminuir la supervivència dels individus marcats. Per altre banda, un mètode més fàcil, ràpid i menys costós seria la realització de lectures paral·leles, encara que no seria una validació, sinó una pseudo-validació. Aquest consistiria en la lectura independent de dues persones expertes per veure si els resultats són semblants (Pou-Rovira, 2004).

3.5 Models de creixement

Per tal de descriure el creixement individual de l'espècie *Salmo trutta* s'utilitza el model de Von Bertalanffy (VBGM), ja que s'ha vist que és un bon descriptor del creixement dels peixos, el qual relaciona la longitud furcal amb l'edat de l'individu extreta de la lectura dels otòlits:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (\text{Equació 3.5.1})$$

En aquesta equació L_t correspon a la longitud furcal(mm) a l'edat t (anys). L_∞ correspon a la longitud màxima assequible per l'individu o longitud asimptòtica, i per altra banda K és la velocitat amb la que s'acosta a aquesta longitud, per tant, la taxa de creixement. El paràmetre t_0 , el qual no té una versemblança biològica, correspon a l'edat teòrica en que la longitud és zero (Pou-Rovira, 2004).

Però aquest model té certes limitacions, del fet més qüestionable és que K no sigui constant al llarg del temps, això suposa que aquest paràmetre es transformi en una funció exponencial:

$$K_t = K^1 e^{-\lambda^1 t} \quad (\text{Equació 3.5.2})$$

El paràmetre λ^1 representa el ritme en que es produeix la disminució de K_t i K^1 és el valor de K_t en el moment t_0 . Quan es substitueix l'equació de K a l'equació del model VBGM, s'obté:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{\left(\frac{K^1}{\lambda^1}\right)(e^{-\lambda^1 t} - e^{-\lambda^1 t_0})}) \quad (\text{Equació 3.5.3})$$

En algunes poblacions de peixos s'ha vist que el fet de disposar de poques mostres d'individus joves fa que el paràmetre t_0 presenti un valor negatiu força alt que causa un augment del pendent de la corba i que provoca que els individus amb edats 0 presentin un valor de llargada furcal molt alt, el qual no és propi d'alevins. Per evitar això s'ha eliminat el valor de t_0 substituint-lo pel valor de 0 i així el començament de la corba

sempre serà a l'origen de coordenades. Per tant el model VBGM presentarà la següent forma:

$$Lt = L\infty(1 - e^{-kt}) \quad (\text{Equació 3.5.4})$$

Aquests models seran ajustats a partir d'una regressió no lineal mitjançant el programa estadístic IBM SPSS. S'aplicaran independentment a cada una de les poblacions de *Salmo trutta* i a més a més, també s'aplicaran a cada una de les dues lectures d'edats d'otòlits obtingudes. Cal destacar que no es diferenciarà per sexes a l'hora de fer l'ajustament, ja que el nombre de mostres totals és molt limitat i les diferències observables entre sexes són molt subtils.

Tot seguit, a partir del coeficient de determinació (R^2) es determinarà quina de les quatre lectures té més bon ajustament, quan el valor del paràmetre és més proper a 1 més bo serà l'ajustament. I per altra banda, amb el coeficient anomenat criteri d'informació de Akaike (AIC) es podrà determinar quin dels models matemàtics té més bon ajustament amb les mateixes dades, ja que el millor model a nivell estadístic serà aquell que presenti el valor de AIC més baix.

Finalment, un cop escollides les dades i els models més ajustats a la realitat es podran realitzar els ajustaments de les corbes de creixement adients les quals proporcionaran els valors de paràmetres de creixement: t_0 , K i L^∞ .

3.6 Model de supervivència constant

Per tal d'estimar la taxa de mortalitat instantània (Z) de cada població de peixos s'utilitza el següent model exponencial negatiu:

$$N_t = N_0 e^{-Zt} \quad (\text{Equació 3.6.1})$$

On N_t correspon al nombre final de la població, N_0 correspon al nombre inicial de la població, t correspon a l'edat o el temps i Z és la taxa de mortalitat instantània. Aquesta Z està formada per M i la F , les quals corresponen a les taxes instantànies de mortalitat natural i de pesca, respectivament. Per tant en el cas de les poblacions de *Salmo trutta* dels estanys dels Pirineus la Z serà igual a la M ja que les poblacions no són explotades pels humans.

Després d'aplicar logaritmes neperians al model anterior s'obté la següent recta:

$$\ln N_t = Zt + \ln N_0 \quad (\text{Equació 3.6.2})$$

On $\ln N_t$ és la variable dependent (y) i correspondrà al logaritme neperià de les captures per unitat d'esforç (CPUE), la t corresponen a la variable independent (x) i es substituirà per les classes d'edats de les captures. Un cop ajustada la recta s'obindrà el valor del pendent de la recta, corresponen al paràmetre Z , el qual ens indicarà quina és la taxa instantània de mortalitat per cada població.

4. RESULTATS

4.1 Anàlisi fenotípica

Després de realitzar l'anàlisi fenotípic mitjançant l'observació del patró de morfologia de les truites comunes i deduir-ne el llinatge segons l'arbre de classificació (Figura 12) s'han pogut realitzar els següents gràfics:

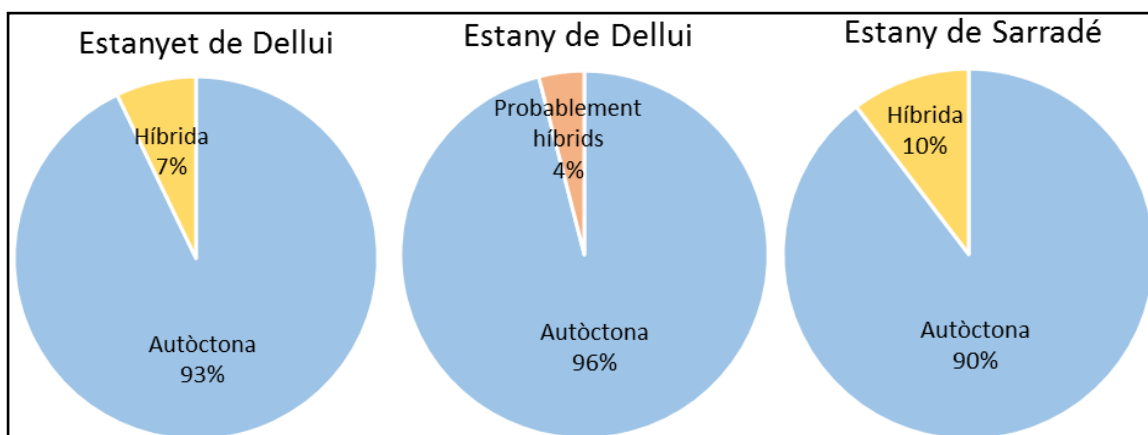


Figura 16. Probable origen genètic de *Salmo trutta* en l'Estanyet de Dellui, l'estany de Dellui i l'estany de Sarradé.
Font: Dades originals.

En les representacions gràfiques de la *Figura 16* es pot observar que el llinatge predominant és l'autòcton dels rius dels Pirineus, és a dir, el mediterrani. Els estanys que presenten aquest patró són l'estanyet de Dellui i l'estany de Dellui, els quals estan un al costat de l'altre, per tant la composició ha de ser molt semblant, ja que estan connectats. D'aquesta manera tot i no tenir tots els caràcters necessaris en l'estany de Dellui per assegurar que el 4% d'individus són híbrids, se'n pot fer una suposició ja que en l'estanyet de Dellui s'ha vist que els pocs individus que no eren de llinatge mediterrani eren híbrids. El tercer estany, que té una presència gairebé absoluta de llinatge mediterrani, és l'estany de Sarradé, el qual, té un tant per cent d'híbrids un pèl més elevat que les altres dues masses d'aigua, però a primer cop d'ull no sembla significatiu.

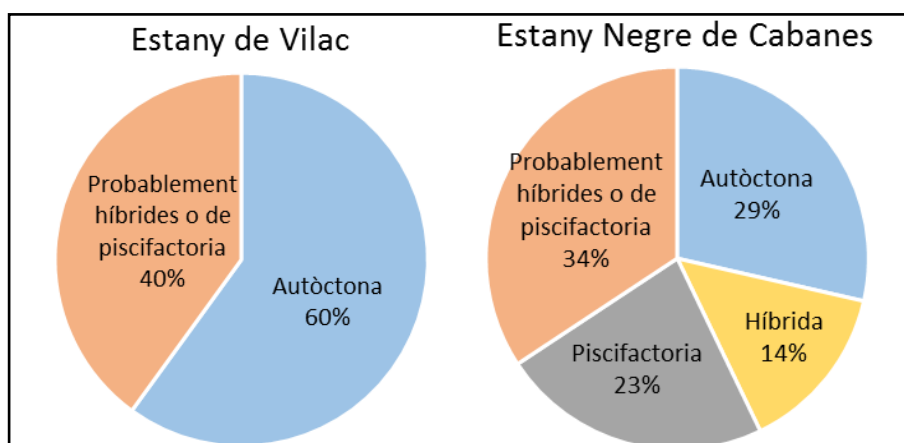


Figura 17. Probable origen genètic de *Salmo trutta* en l'estany de Vilac i en l'estany Negre de Cabanes.
Font: Dades originals.

Per altra banda en la *Figura 17* s'hi pot observar un patró totalment diferent al dels altres tres estanys. En l'estany de Vilac i l'estany Negre s'hi ha trobat una destacada presència

d'híbrids, i fins i tot, de truites provinents de piscifactories, això significa que en aquests dos estanys el llinatge atlàntic té un paper important i provoca la pèrdua del llinatge autòcton de la zona. Pel que fa a l'estany Negre de Cabanes el percentatge de truites de piscifactoryria és gairebé del 25% i se situa molt a prop del 29% de les truites autòctones. En canvi, a l'estany de Vilac no s'ha pogut confirmar que les no autòctones fossin híbrides o de piscifactoryria, però tot sembla indicar que n'hi haurà tant d'híbrides com de llinatge atlàntic, ja que el percentatge d'autòctones és força baix respecte els estanys de la *Figura 16*, per tant presentarà una composició més semblant a l'estany de Vilac, amb una destacada presència de llinatge atlàntic.

4.2 Anàlisi models de creixement

Després d'ajustar els tres models de creixement es va decidir utilitzar l'equació de Von Bertalanffy fixant la t_0 a 0 (Equació 3.5.4) ja que el fet de disposar de molt pocs o gens d'individus joves comportava resultats sense significat biològic, com per exemple, individus amb edat 0 amb longituds furcals corresponents a les d'un adult.

Per altra banda, de les dues lectures diferents es va escollir aquella que presentaven un major ajustament estadístic, observant els valors de R^2 es va decidir utilitzar els valors de l'Edat 2, ja que presentava uns valors lleugerament més consistents.

En les *Figures 18, 19, 20, 21 i 22* es presenten les corbes predites a partir de l'ajustament del model de Von Bertalanffy mitjançant una regressió no lineal dels valors de l'Edat 2.

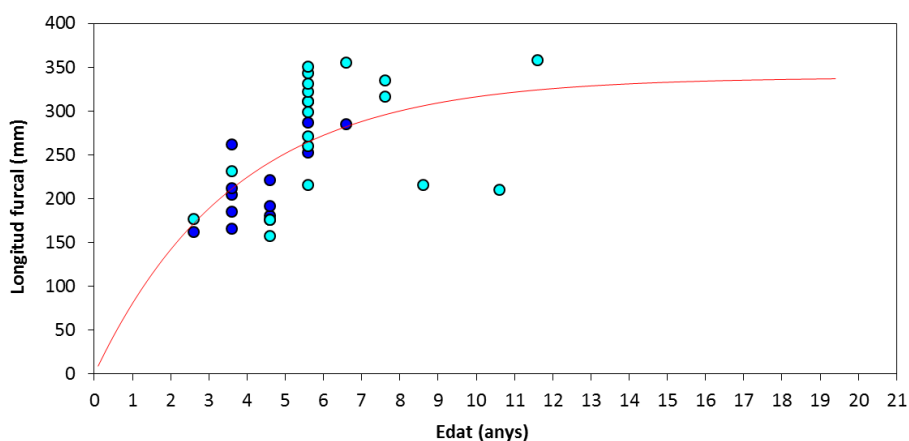


Figura 18. Corba predite de l'ajustament per regressió no lineal del model de creixement de Von Bertalanffy amb el paràmetre t_0 ajustat a 0 sobre les dades de longitud i edat obtingudes dels individus extrets de l'estany Negre de Cabanes. Els punts blau clar mostren els valors de les femelles mostrejades i els punts blau fosc mostren els valors dels mascles. Font: Dades originals.

En la corba de creixement de l'estany Negre de Cabanes (Figura 18) es pot observar que l'edat màxima trobada és d'uns 12 anys, en canvi no hi ha dades de peixos amb edats menors de 2 anys. Per altra banda, la longitud furcal de l'espècie més alta que s'ha mostrejat correspon a uns 350 mm. I per últim, si s'observa el gràfic amb detenció semblaria ser que les femelles presenten mides més grans que els mascles en la majoria dels casos, però si existeixen aquestes petites diferències el dimorfisme sexual seria molt subtil.

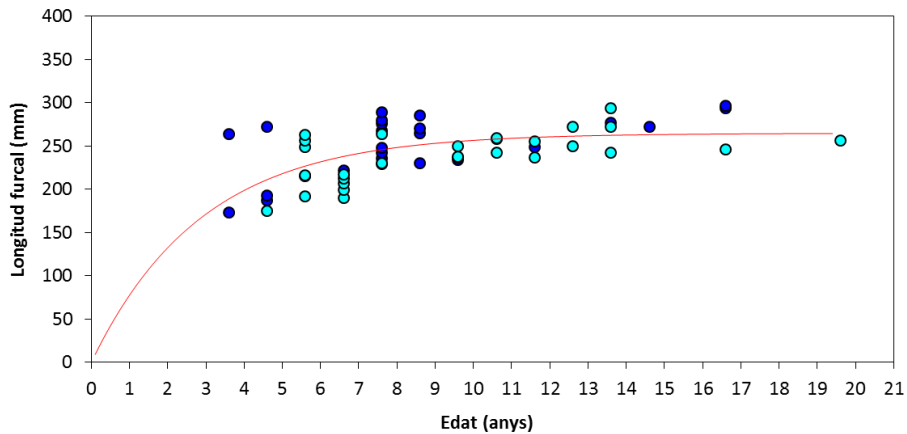


Figura 19. Corba predita de l'ajustament per regressió no lineal del model de creixement de Von Bertalanffy amb el paràmetre t_0 ajustat a 0 sobre les dades de longitud i edat obtingudes dels individus extrets de l'estany de Sarradé. Els punts blau clar mostren els valors de les femelles mostrejades i els punts blau fosc mostren els valors dels mascles mostrejats. Font: Dades originals.

El primer que destaca en el gràfic de Sarradé (Figura 19) és que l'individu més vell trobat té al voltant d'uns 20 anys, en canvi no hi ha cap individu de menys de 3 anys, per tant, semblaria ser que és l'estany amb una població més envellida. Pel que fa a la longitud furcal no s'ha trobat cap individu amb una mida major de 300 mm.

Si es comparen les dades de la corba de creixement de l'estany Negre de Cabanes (Figura 18) amb les d'aquesta corba (Figura 19) es pot observar que els individus de l'estany de Sarradé quan arriben a una certa longitud furcal s'estabilitzen i augmenten l'edat, però en canvi la longitud furcal es manté al voltant del valor 200-250 mm.

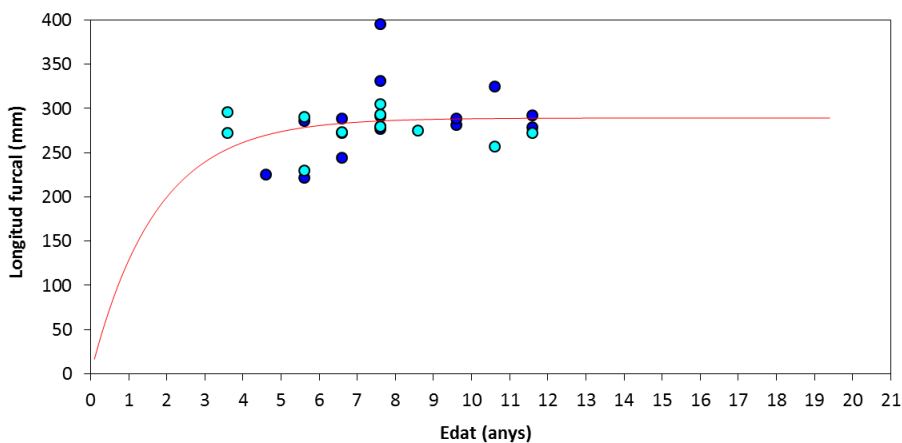


Figura 20. Corba predita de l'ajustament per regressió no lineal del model de creixement de Von Bertalanffy amb el paràmetre t_0 ajustat a 0 sobre les dades de longitud i edat obtingudes dels individus extrets de l'estanyet de Dellui. Els punts blau clar mostren els valors de les femelles mostrejades i els punts blau fosc mostren els valors dels mascles mostrejats. Font: Dades originals.

A l'estanyet de Dellui (Figura 20) a primer cop d'ull es pot veure que les dades estan força agrupades, això significarà que les edats i les longituds obtingudes ocupen un rang més petit respecte la resta d'estanys observats, concretament les edats van dels 3 als 12 anys i les longituds furcals van de 200 a 400 mm, però aquest fet potser també es causa dels pocs individus que s'hi van capturar, per tant es podria deduir que la quantitat de *Salmo trutta* és menor que a la resta d'estanys.

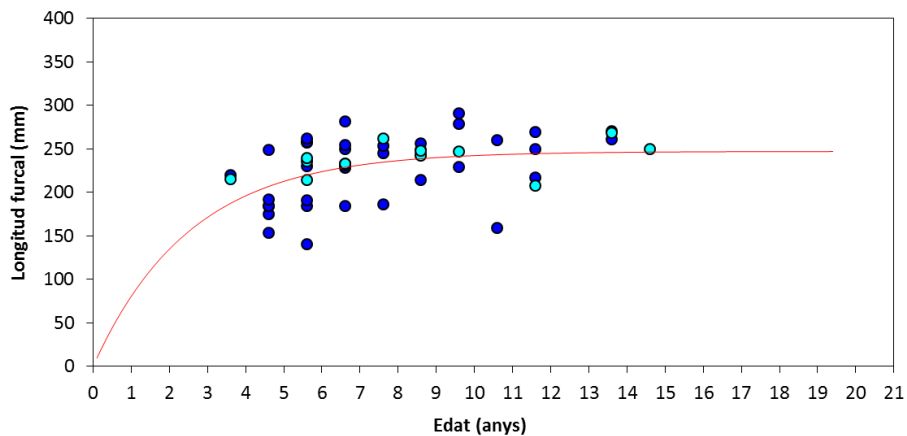


Figura 21. Corba predita de l'ajustament per regressió no lineal del model de creixement de Von Bertalanffy amb el paràmetre t_0 ajustat a 0 sobre les dades de longitud i edat obtingudes dels individus extrets de l'estany de Dellui. Els punts blau clar es mostren els valors de les femelles mostrejades i en punts blau fosc es mostren els valors dels mascles mostrejats. Font: Dades originals.

En l'estany de Dellui (Figura 21) l'individu més vell pescat és una femella d'uns 14 anys i com a la majoria d'estanys no s'han trobat individus amb edats menors de 3 anys. Les mides d'aquesta població de truites van dels 100 als 300 mm. La forma que té la corba predita de l'ajustament és semblant a la de l'estany de Sarradé (Figura 19), per tant tindran un creixement semblant, ja que també es pot arribar a veure que a partir dels 12 anys la longitud furcal s'estabilitza. Per altra banda, en aquest gràfic també semblaria haver-hi una certa tendència que les femelles tinguin longituds més altes, però si es el cas, també semblaria ser un dimorfisme molt subtil.

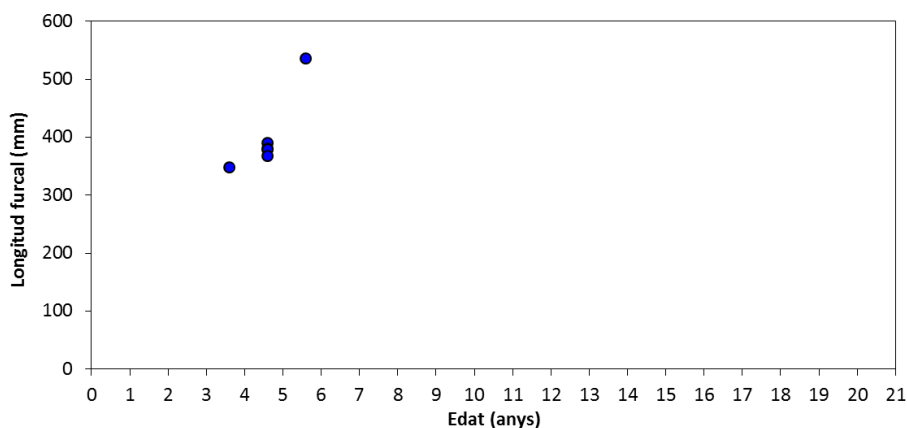


Figura 22. Representació de les dades de longitud i edat obtingudes dels individus extrets de l'estany de Vilac. Font: Dades originals.

I per últim en l'estany de Vilac (Figura 22) no s'ha pogut realitzar cap ajustament de la corba de creixement degut a les poques mostres de les que es disposa, ja que en fer-ne l'ajustament no es formava una corba, sinó una recta. Tot i això, a simple cop d'ull es pot observar que s'han trobat individus de poca edat, d'entre 3 i 6 anys, però en canvi de gran longitud, d'entre 300 i 600 mm, aquestes mides indiquen que és l'estany amb exemplars capturats de talla més gran.

Els paràmetres de creixement obtinguts un cop ajustada la corba de creixement de cada estany es presenten en la *Taula 2*.

Taula 2. Paràmetres obtinguts amb els ajustaments del model Von Bertalanffy amb la t_0 fixada a 0 en els diversos estanys, en vermell hi ha marcades les dades sense significat biològic. Font: Dades originals.

Nom estany	L^∞ (mm)	K	R^2	Model de creixement
Estany Negre de Cabanes	338,530	0,272	0,375	$Linf*(1-exp(-K*t))$
Estany de Sarradé	264,683	0,347	0,297	$Linf*(1-exp(-K*t))$
Estanyet de Dellui	289,216	0,587	0,042	$Linf*(1-exp(-K*t))$
Estany de Dellui	247,015	0,394	0,416	$Linf*(1-exp(-K*t))$
Estany de Vilac	20401,160	0,004	0,758	$Linf*(1-exp(-K*t))$

Tal com es pot veure en la *Taula 2* l'estany de Vilac és el que presenta la longitud asimptòtica (L^∞) més alta, malgrat tot, com es pot observar aquesta longitud no serà mai assequible per una truita, per tant no té significat biològic. Per aquesta raó no té sentit ajustar-ne una corba de creixement, tot i això aquesta longitud tant gran ens indica que en aquest estany les mides de les truites són molt significatives.

Si s'observa l'estany Negre de Cabanes es pot veure que presenta la longitud asimptòtica més gran comparat amb els altres estanys, deixant de banda el cas de Vilac. Per tant, justament aquests dos estanys on tot sembla indicar que les mides de *Salmo trutta* són més altres justament són les que presenten més dominància del llinatge atlàntic.

L'estany de Dellui és la massa d'aigua on les longitud asimptòtica és més baixa, quasi bé uns 100 mm menys que en l'estany de Negre de Cabanes. Els altres dos estanys mostrejats, Sarradé i l'estanyet de Dellui, presenten unes longituds intermèdies entre 250 i 300 mm.

Pel que fa a la taxa de creixement, es pot observar que a l'estanyet de Dellui és on el valor d'aquest paràmetre és més alt, per tant és la massa d'aigua on els peixos creixeran més ràpid en mida, en canvi, a l'estany Negre de Cabanes és on creixen més a poc a poc cap a la longitud asimptòtica. L'estany de Sarradé i l'estany de Dellui se situen en valors al voltant del 0,3.

Per últim destacar que els coeficient de determinació (R^2), tot i triar les corbes més ajustades estadísticament, tenen valors molt baixos, ja que no hi ha cap valor que arribi a 0,5. Per exemple, en l'estanyet de Dellui el valor del coeficient de determinació no arriba a 0,1, per tant, les estimacions extrems segurament contenen una certa desviació amb la realitat. En canvi, l'estany de Dellui que forma part de la mateixa vall té el valor més alt del coeficient, amb un valor de 0,416. Els altres dos estanys, Negre de Cabanes i Sarradé, presenten valors que no arriben a 0,4, però més grans de 0,2.

Per tal de poder realitzar una anàlisi dels paràmetres de creixement obtinguts s'han buscat alguns estudis de l'espècie *Salmo trutta* on també s'obtinguessin paràmetres de creixement per tal de poder-ne fer una comparació (Taula 3).

Taula 3. Paràmetres de creixement extrets de diversos estudis de *Salmo trutta* en diferents masses d'aigua. També hi ha descrits algunes característiques de l'hàbitat estudiat.

Nom massa d'aigua	L_{∞} (mm)	K (1/any)	Altura (m)	Àrea (Km ²)	Profunditat (m)	Edat màxima (anys)	Font
Riu Tiber (Itàlia)	447 (TL*)	0,230	427		0,4		Pedicillo et al., 2010
Riu Vade (Portugal)	343 (FL*)	0,290	300-500			6	Maia i Valente, 1999
Riu Vèbre (França)	459(TL)	0,161	664				Pauly et al., 1995
Corrent de Yagli (Turquia)	285(TL)	0,195	2350	T= 6,2	0,45	8	Ozvarol et al., 2010
Llac Windermere (Regne Unit)	300 (TL)	0,360	39	14,73	21,25	8	Frost i Smyly, 1952
Llac Øvre Heimdalsvatn (Noruega)	368 (TL)	0,270	1090	0,78	4,7		Jensen, 1977
Llac Leven (Regne Unit)	406 (TL)	0,280	107	14	3,9		Thorpe, 1974

*TL=llargada total. FL: llargada furcal.

4.2 Anàlisi models de supervivència

El fet que en els estanys hi hagués una baixa densitat d'individus joves ha provocat desviaments en la recta de regressió necessària per extreure les taxes instantànies de mortalitat (Z) de cada població. Per tant, es procedeix a realitzar la regressió de la recta (Equació 3.6.2) a partir d'aquella edat on el nombre de captures sigui significatiu, d'aquesta manera s'aconseguirà saber només la mortalitat dels individus adults.

També s'ha de tenir en compte el fet que hi haurà edats on el nombre de captures tindrà un valor de 0, això suposarà un problema a l'hora de realitzar el logaritme neperià ja que el resultat no dóna un nombre real. Per tant, al valor y de la recte, és a dir, el logaritme neperià del nombre efectiu de captures (CPUE) es substituirà amb el valor del logaritme de CPUE més 1, així els logaritmes neperians del nombre 0, seran representants com a 0 en els gràfics de regressió lineal.

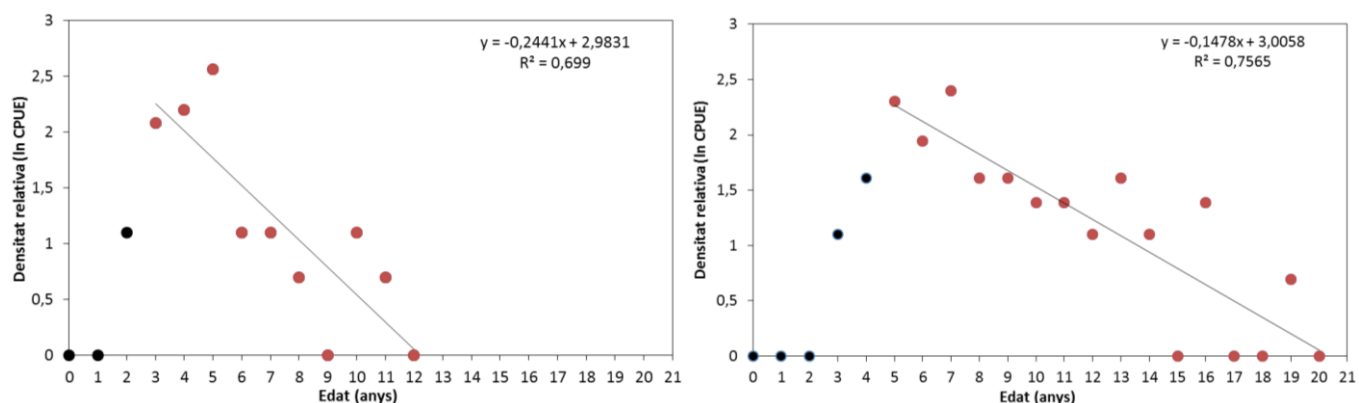


Figura 23. Representació de la densitat relativa de *Salmo trutta* per l'edat de l'estany Negre (esquerre) i l'estany de Sarradé (dreta) i posterior regressió lineal amb els punts de color vermells escollits. Font: Dades originals.

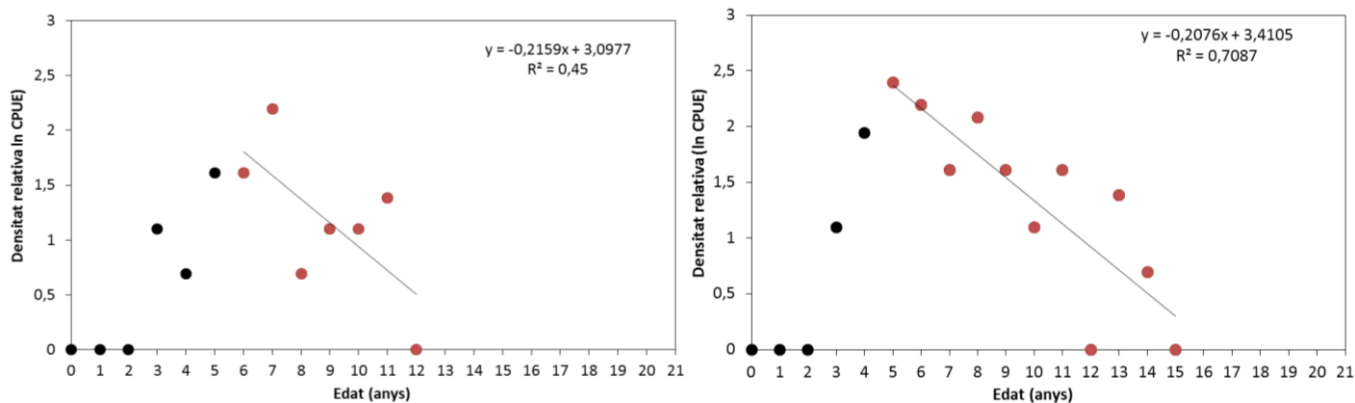


Figura 24. Representació de la densitat relativa de *Salmo trutta* per l'edat de l'estanyet de Dellui (esquerre) i l'estany de Dellui (dreta) i posterior regressió lineal amb els punts de color vermells escollits. Font: Dades originals.

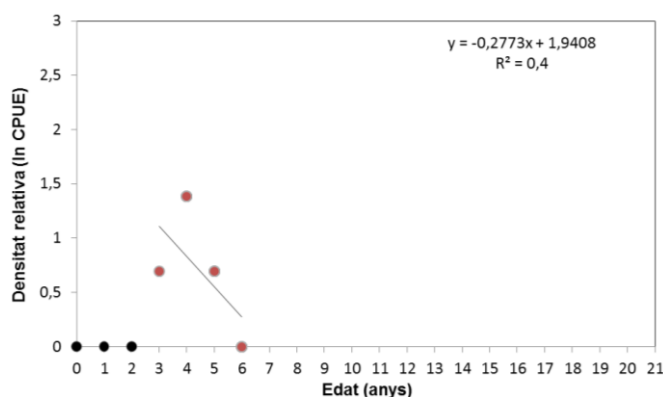


Figura 25. Representació de la densitat relativa de *Salmo trutta* per l'edat de l'estany de Vilac i posterior regressió lineal amb els punts de color vermell escollits. Font: Dades originals.

Taula 4. Quadre resum dels valors de la taxa instantània de mortalitat extreta de les rectes de regressió realitzades en les Figures 23, 24 i 25. Font: Dades originals.

Nom estany	Taxa instantània de mortalitat (z)	R ²
Estany Negre de Cabanes	0,2441	0,6990
Estany de Sarradé	0,1478	0,7565
Estanyet de Dellui	0,2159	0,4500
Estany de Dellui	0,2076	0,7087
Estany de Vilac	0,2773	0,4000

Tal com es pot observar en la *Taula 4* la taxa de mortalitat instantània més baixa és la de l'estany de Sarradé, el qual presenta un valor de 0,1478. En canvi la resta d'estanys presenten valors de Z molt semblants al voltant de 0,2, essent més alta aquesta taxa en l'estany Negre de Cabanes i l'estany de Vilac, justament els dos amb més presència de llinatg atlàntic.

Els coeficients de determinació en general són bastant ajustats estadísticament, tot i que en l'estanyet de Dellui i l'estany de Vilac se situen a valors propers a 0,4, segurament degut a les poques mostres disponibles, que provoquen un biaix en les dades.

5. DISCUSSIÓ

A la *Figura 16* s'ha pogut observar que en l'estany de Sarradé, l'estany de Dellui i l'estanyet de Dellui hi ha gairebé una absoluta dominància del llinatge autòcton, és a dir, del mediterrani, per tant tot sembla indicar que aquests individus provenen dels rius dels Pirineus, portats segurament pels habitants de la zona per tal de treure'n una font d'alimentació. En canvi, a l'estany Negre de Cabanes i a l'estany de Vilac l'origen de les truites ja és més incert, ja que hi ha una presència molt destacada del llinatge atlàntic. Això es podria relacionar amb una introducció de peixos per part de piscifactories per tal d'obtenir-ne una font econòmica, com per exemple la pràctica de la pesca esportiva (Miró, 2011). D'aquesta manera es pot concloure que les introduccions de llinatge atlàntic semblarien ser més modernes que les de llinatge mediterrani.

Tot i aquestes diferències de dominància de llinatges, en tots els estanys mostrejats hi ha una menor o major presència del llinatge atlàntic. Això significa que en aquests estanys ja no només hi ha el problema de *Salmo trutta* com a espècie invasora, sinó que també hi ha problemes d'introgressió gènica que produeixen la pèrdua de la diversitat genètica de les truites originals dels rius dels Pirineus. Per tant, l'eradicació d'aquestes truites per part del projecte *LIFE + LIMNOPIRINEUS* no només és necessària pel manteniment de les espècies autòctones d'aquets ecosistemes, sinó que també és necessària per impedir que la diversitat genètica de l'espècie *Salmo trutta* originària dels Pirineus es vegi alterada (Araguas et al., 2008).

Tal com s'ha pogut veure als resultats el baix nombre d'individus mostrejats d'entre 0 i 3 anys ha provocat que s'haguessin de fer modificacions en els models de creixement i de supervivència per tal de poder-ne extreure uns ajustaments significatius. La primera justificació davant d'aquest problema seria pensar que aquesta poca captura d'alevins es deu a un problema tècnic, com podria ser l'eficàcia de trapes i xarxes utilitzades en el mostreig enfront de peixos amb mides petites, però no és així, ja que amb aquests sistemes es van capturar espècies com *Phoxinus sp.* que tenen una mida semblant als alevins de *Salmo trutta*. Per tant, es pot deduir que aquestes poblacions estan desestructurades perquè tenen una densitat d'individus joves molt baixa. Una primera explicació de perquè no s'han pescat podria ser que aquests se situen en microhàbitats, com a les vores de l'estany o en algun rierol al voltant de l'estany. Una altra explicació, la qual semblaria ser la més probable, seria el canibalisme per part de les truites grans ja que és un comportament habitual en peixos depredadors (Atencio i Zaniboni, 2006). A més a més, una de les causes és la manca de disponibilitat d'aliment, cosa present en els estanys dels Pirineus, per tant alimentar-se dels individus joves és una solució efectiva. Així doncs, això suposa una mortalitat dels individus joves molt propera al 100% i provoca que sigui molt difícil que se'n capturin, perquè la seva abundància és realment molt baixa.

Dins dels cinc estanys estudiats l'estany de Vilac es tracta com un cas apart ja que les característiques de la població de truites presents dependran més del tipus de *Salmo trutta* que s'hi ha afegit que no pas de les característiques de l'estany, ja que se sap que les truites hi han aparegut fa molt poc temps. Per tant, com que el seu establiment és molt recent la població no està estabilitzada com en els altres estanys. El caràcter més

representatiu d'aquesta població és que tot i que les truites siguin joves, tenen al voltant dels 3-6 anys, presenten mides molt grans (Figura 22). Això podria ser degut a la quantitat de recurs de què disposaven al principi de la introducció, ja que se sap que en aquest estany hi havia una densitat molt alta d'amfibis. Per tant, l'alimentació per part de les truites d'aquests amfibis ha suposat un augment molt significatiu de la seva massa corporal, tot i això, ara, un cop acabat el recurs disponible, pot ser molt possible que la població vagi en decadència ja que semblaria ser que no hi ha reproducció entre els individus perquè no s'ha trobat cap individu jove i tots tenen edats molt semblants.

Les truites amb llargades furcals més grans com s'ha dit suara s'han trobat a l'estany de Vilac, amb alguna truita que arriba quasi als 600 mm (Figura 22), i a l'estany Negre de Cabanes amb alguna truita que supera els 350 mm (Figura 18) i si a més a més, d'aquest últim, se n'observa la L^∞ també es pot veure que és l'estany on és més alta, amb un valor de 338,530 mm (Taula 2). Justament aquests dos estanys són els que presenten més dominància de llinatge atlàntic, per tant es podria deduir que una de les diferències entre el llinatge atlàntic i el llinatge mediterrani és que les truites de llinatge atlàntic assoleixen mides més grans que les del llinatge autòcton.

Aquest augment de mida segurament els és beneficiós en el seu hàbitat natiu, en canvi als estanys dels Pirineus potser els suposa un inconvenient ja que tenir major mida requerirà més energia per moure's, per tant, necessitaran ingerir més aliment. Aquest desavantatge està reflectit a les taxes instantànies de mortalitat (Taula 3) on es pot observar que l'estany de Vilac i el Negre de Cabanes són els que tenen aquesta taxa més alta, per tant tot i que creixin en major mida, tenen més probabilitat de morir.

L'estanyet de Dellui i l'estany Negre de Cabanes presenten una peculiaritat comuna (Taula 1) ja que no només tenen la població de *Salmo trutta* a l'estany, sinó que també hi tenen una població de barb roig (*Phoxinus sp.*), tot i que a l'estany Negre de Cabanes la població és molt insignificant. Aquest petit ciprínid es va introduir originàriament com a esquer viu per la truita, pensant que així el salmònid tindria més recurs alimentari i els seria beneficiós pel desenvolupament de la població. Però, realment, aquestes dues espècies són competidores ja que tenen una dieta força semblant (Borgstrøm et al., 1996), per tant tot i que les truites més grans puguin depredar el barb roig, els seria més òptim no tenir-lo com a competidor i poder-se alimentar directament de les preses comunes. A més a més, també s'ha vist que els exemplars de barb roig poden depredar ous i alevins primerencs de *Salmo trutta*, cosa que augmenta l'impacte negatiu sobre els salmònids. Si es deixa de banda l'estany de Vilac, es pot veure que l'estany Negre de Cabanes i l'estanyet de Dellui són els estanys amb una Z relativament més alta que els altres dos estanys (Taula 4), ja que el fet d'haver-hi més organismes alimentant-se en l'estany suposa una disminució del recurs i per tant una disminució de la supervivència.

L'estany de Sarradé és l'estany amb menys mortalitat d'adults, per tant semblaria ser que aquest estany és el que més s'acosta a l'òptim ecològic de les truites. Aquest fet pot ser degut a que té una profunditat i una àrea bastant important (Taula 1), útil per tenir més espai disponible per cada individu i així disminuir la competència. A més a més, Sarradé també presenta una gran diversitat microhàbitats, com un bosc al costat de l'estany, un vessant d'un cim a l'altre costat, grans troncs i pedres dins de l'estany i zones amb aigua

clara sense cap material sòlid submergit, tot això suposarà més diversitat d'hàbitats i més amagatalls per les truites.

La realització de les corbes de creixement ha permès obtenir l'estimació de les taxes de creixement (K) de cada estany, la qual quan més gran és el seu valor més ràpid creix cap a la longitud asimptòtica (L^∞). Per tant, en els llacs d'alta muntanya estudiats es pot veure que les truites que creixen més ràpid corresponen a l'Estanyet de Dellui que presenta un valor de 0,587 (Taula 2), justament en aquest estany és on es veu més present l'efecte de les truites sobre l'ecosistema ja que ha fet disminuir el nombre de brostejadors per depredació i l'efecte cascada ha suposat un augment dels productors primaris, per tant de la producció primària (Taula 1). Malgrat tot, podria ser que aquesta estimació de la taxa de creixement fos incorrecte ja que a l'hora d'ajustar la corba de creixement el coeficient de determinació tenia un valor menor a 0,1 (Taula 2). Per tant, tot sembla indicar que aquesta K hauria de ser molt més baixa.

Per altra banda, l'estany Negre de Cabanes té la taxa de creixement més baixa, per tant necessita més anys per arribar a la longitud màxima assequible que els altres estanys. Però això sembla contradictori al fet que és un dels estanys amb mides de truites més grans, però és podria justificar perquè el fet de tenir una longitud asimptòtica més alta tot i que creixi a menor velocitat quan creix augmenta més de mida que un individu que tingui la K més alta però la L^∞ més baixa. Per altra banda, aquesta baixa taxa de creixement també la podem relacionar amb el fet comentant anteriorment del llinatge ja que hi ha una abundància del llinatge atlàntic força important, però el fet d'estar lluny del seu hàbitat natural els podria comportar disminucions en la taxa de creixement habitual. L'estany de Sarradé i l'estany de Dellui tenen una taxa de creixement molt semblant al voltant del 0,3 i per tant la corba de creixement presenta una forma molt semblant. Aquest fet el podríem relacionar amb la superfície dels dos llacs ja que és molt semblant, sent una mica més gran a l'estany de Dellui, potser per aquet motiu la K és un pèl més alta, perquè disposa de més superfície per obtenir aliment.

Si s'observa la *Taula 3* es pot veure que generalment en llacs la taxa de creixement és més alta que en rius, per tant *Salmo trutta* creix més ràpid en estanys que en rius. Això ja té lògica ja que en els estanys no hi ha corrent d'aigua i no és necessari que aquest peixos estiguin contínuament nedant i poden dedicar més recursos a créixer. Però tal com es pot observar les K predites pels estanys dels Pirineus són generalment més altes que les descrites per la bibliografia. Aquest fet indicaria que les truites estan en un hàbitat molt proper al seu òptim ecològic, cosa que sabem que no és així, per tant, això podria ser un indicatiu que les K calculades no representen el seu valor real. Una causa d'aquest error en l'estimació de la taxa de creixement podria ser la utilització del model de Von Bertalanffy (Equació 3.5.4) en què el fet de fixar la t_0 a 0 podria haver comportat una sobreestimació de la taxa de creixement.

En les taxes de creixement trobades a la bibliografia (Taula 3) s'ha vist que allà on és més alta és al Llac *Windermere* el qual és l'estany amb més profunditat de tots els comparats, per tant semblaria ser que la profunditat és un element beneficiós per les poblacions de *Salmo trutta*, ja que comporta una taxa de creixement més alta.

Pel que fa a la longituds asimptòtica obtingudes si es comparen amb altres masses d'aigua es poden considerar valors moderats, tot i que s'ha de tenir en compte que en alguns casos esta calculada per longitud total i no furcal, per tant si es volgués comparar el valor disminuiria una mica (Taula 3). Malgrat tot, aquests individus no s'arriben a apropar-se tant a la longitud asimptòtica com en el cas dels estanys dels Pirineus ja que tenen una menor longevitat d'uns 8 anys aproximadament (Taula 3), en canvi als estanys dels Pirineus s'ha trobat un exemplar al voltant dels 20 anys (Figura 19).

Finalment destacar que el projecte *LIFE + BIOAQUAE* que té per objectiu recuperar l'estat ecològic dels estanys d'alta muntanya dels Alps italians a través de l'eliminació dels peixos exòtics i el qual ja fa dos anys que està en funcionament, podrà servir com a referència pel projecte *LIFE + LIMNOPIRINEUS*. Un dels fets més importants observats en aquests estanys alpins es que si en els primers anys s'aconsegueixen eliminar tots els reproductors d'un estany la població present en aquest estany al cap de poc temps sucumbeix. En canvi, si queda un petit nombre de reproductors vius, aproximadament un 10%, al cap de poc temps hi haurà una situació inversa a la que hi havia originalment. Els reproductors s'hauran reproduït i els alevins nascuts hauran pogut créixer, perquè ja no tenen l'amenaça del canibalisme dels peixos grans, d'aquesta manera la població present serà una població rejuvenida amb una alta densitat d'individus joves, en canvi no hi haurà individus grans ja que hauran estat eliminats (Font: Comunicació oral Dr. Marc Ventura i Quim Pou). Per tant, primer de tot s'ha d'enfocar l'eradicació sobre els individus reproductors.

En resum, amb aquest estudi s'ha intentat conèixer com són les poblacions de *Salmo trutta* en els estanys d'alta muntanya dels Pirineus i quines són les característiques que més afecten al seu creixement i a la seva supervivència. Malgrat tot, el baix nombre de mostres ha provocat diversos problemes d'ajustaments de models que podrien ser causants d'interpretacions errònies. Per tant, aquest estudi hauria d'anar procedit per altres estudis similars durant els anys que el projecte estigui en funcionament per tal de fer un seguiment de la població i de validar-ne les conclusions extretes.

6. CONCLUSIONS

1. The cause of the *Salmo trutta* introductions are the humans, specifically the inhabitants of the zone and the fish farms. The introductions are from Mediterranean lineage and from Atlantic lineage, which seems to be more recent.
2. Populations of *Salmo trutta* present in the lakes of the Pyrenees are unstructured because the number of young fish is very low. The cause more probable of this low density it can be the cannibalism from the old brown trouts.
3. Characteristics of the trouts of the Vilac's lake depends more of the type of trouts introduced than the characteristics of the lake, because the introductions are recent. The individuals of this lake are young but with a big size, fact that can be related with the lineage present in the ecosystem and the availability of resources of the lake.
4. Atlantic lineage in the lakes of the Pyrenees reaches higher length than the Mediterranean lineage; however, it has got higher valour in the mortality rate and probably a low growth rate.
5. The presence of a population of *Phoxinus* sp. in the lake of Estanyet de Dellui it seems to have a negative effect on the survival of the population of *Salmo trutta*.
6. High depth and large surface of the lakes it seems to make that the growth rate increase and the survival rates decrease. But these depends of others questions like the lineage or the presence of *Phoxinus* sp., so it's difficult to ensure it.
7. The longevity of *Salmo trutta* in the lakes is higher than in the rivers found in other studies of *Salmo trutta* populations.
8. These conclusions are going to be useful for improving the techniques and systems used for trout eradication in the next fieldworks, because now these populations of *Salmo trutta* are best known.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abecasis, D. et al (2008). Ageing seabreams: A comparative study between scales and otoliths. *Fisheries Research*, 89, 37-48
- Aparicio, E; García-Berthou, E; Araguas, R. M; Martínez, P. i García Marín, J. L. (2005). Body pigmentation pattern to assess introgression by hatchery stocks in native *Salmo trutta* from Mediterranean streams. *Journal of Fish Biology*, 67, 931-949.
- Araguas, R. M; Sanz N; Fernández, R; Utter, F.M; Pla, C. i García-Marín, J. L. (2008). Genetic refuges for a self-sustained fishery: experience in wild brown trout populations in the eastern Pyrenees. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(4), 610-616.
- Armstrong, J; Kemp, P; Kennedy, G. J; Ladle, M. i Milner, N. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*, 62(2), 143-170.
- Atencio Garcia, V. i Zaniboni Filho, E. (2006). El canibalismo en la larvicultura de peces. *Revista MVZ Córdoba*, 11 Supl (1), 9-19.
- Beamish, R. i McFarlane, G. (1983). The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transactions of the American fisheries society*, 112, 735-743.
- Bernatchez, L. (2001). The evolutionary history of brown trout (*Salmo trutta* L.) inferred from phylogeographic, nested clade, and mismatch analyses of mitochondrial DNA variation. *Evolution*, 55(2), 351-379.
- Borgstrøm, R; Brittain, J; Hasle, K; Skjølås, S. i Dokk, J. (1996). Reduced recruitment in Brown trout *Salmo trutta*, the Role of interactions with the minnow *Phoxinus phoxinus*. *Nordic Journal Freshwater Research*, 72, 30-38
- Catalan et al. (2006). High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25, 551-584.
- Centre d'estudis avançats de Blanes, CEAB-CSIC (2015). *Life Limnopirineus*. Recuperat 30 d'abril de 2015 des de <http://www.lifelimnopirineus.eu/ca>
- Das, M. (1994). Age determination and longevity in fishes. *Gerontology*, 40, 70-96
- Folch i Guillén, A. i Sostoa R. (1990). *Història Natural dels Països Catalans: Peixos, Vol. 11*. Barcelona: Enciclopedia catalana.
- Frost, W. i Smyly, W. (1952). The Brown Trout of a Moorland Fishpond. *Journal of Animal Ecology*, 21(1), 62-86.
- Generalitat de Catalunya (2015). *Institut cartogràfic i geològic de Catalunya*. Recuperat 1 de maig de 2015 des de <http://www.icc.cat/>
- IUCN (2006). Global Invasive Species Database. Recuperat 1 de maig de 2015 des de <http://www.issg.org/database/welcome/>
- IUCN (2013). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperat 1 de maig de 2015 des de <http://www.iucnredlist.org/>
- Jensen, K. W. (1977) On the dynamics and exploitation of the population of brown trout, *Salmo trutta* L., in Lake Øvre Heimdalsvatn, southern Norway. *Ann. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm*, 56, 18-69.

- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a Template for Life Histories*. Nova York: Springer.
- Klemetsen, A. et al. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories" *Ecology of Freshwater Fish*, 12, 1-59.
- Kraabøl, M; Fjeld, G; Johnsen, S.I; Dokk, J.G; Dervo, B.K. i Skurdal, J. (2013). The old trout *Salmo trutta* in the pond. *Journal of Fish Biology*, 82(5), 1717-1719.
- Maia, C i Valente, A. (1999). The brown trout *Salmo trutta* L. populations in the river Lima catchment. *Limnetica*, 17, 119-126.
- Miró, A. (2011). *Les truites als estanys dels Pirineus: Tradicions, vivències i implicacions per a la conservació*. Lleida: Pagès editors.
- Miró, A. i Ventura M. (2013). Historical use, fishing management and lake characteristics explain the presence of non-native trout in Pyrenean lakes: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 167, 17-24.
- Ozvarol, Z; Yildirim, A; Bektas, S; Ozvarol, Y. i Yilmaz, S. (2010). Intrabasin variation in growth and condition of brown trout (*Salmo trutta*) inhabited Coruh Basin, Turkey. *Jorunal of Animal and Veterinary Advances*,9 (19), 2445-2454.
- Pauly, D; Moreau, J i Abad, N. (1995). Comparison of age-structured and length-converted catch curves of brown trout *Salmo trutta* in two French rivers. *Fisheries Research*, 22, 197-204.
- Pedicillo, G; Carosi, A; Ghetti, L. i Lorenzoni, M. (2010). Population size structure indices and growth standards for *Salmo (trutta) trutta* Linnaeus, 1758 in Central Italy. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 399, 02. DOI: 10.1051/kmae/2010030
- Pou-Rovira, Q. (2004). *Ecologia demogràfica de la perca americana (Micropterus salmoides) a l'estany de Banyoles*. Universitat de Girona: Institut d'ecologia aquàtica.
- Scarola, J. (1997). *Salmo trutta*. Recuperat 5 de maig de 2015 des de <http://www.fishbase.org>
- Sequeira, V. et al. (2013). Whole or sectioned otoliths? Choosing the best method for aging bluemouth, *Helicolenus dactyloterus* (Delaroche, 1809). *Fisheries Research*, 147, 235-239.
- Thorpe, J.E. (1974). Estimation of the number of brown trout, *Salmo trutta* (L.), in the Loch Leven, Kinross, Scotland. *Journal of Fish Biology*, 6, 135-152.
- Vredenburg, V. T. (2004). Reversing introduced species effects: Experimental removal of introduced fish leads to rapid recovery of a declining frog. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 7646-7650.
- Zymonas, N. D. i McMahon, T.E. (2009). Comparison of pelvic fin rays, scales and otoliths for estimating age and growth of bull trout, *Salvelinus confluentus*. *Fisheries Management and Ecology*, 16, 155-164.