

## **Títol del treball:**

Influència de l'estrès múltiple sobre cianobacteris productors de geosmina

---

Estudiant: Núria Pou Solà

Grau en Biologia

Correu electrònic: u1934067@campus.udg.edu

Tutor: Helena Guasch

Cotutor\*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor (i cotutor\*):

Nom del tutor: Helena Guasch

Nom del cotutor\*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Correu(s) electrònic(s): helena.guasch@udg.edu

\*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

## Resum

---

*Oscillatoria* sp. és el principal cianobacteri productor de geosmina en els ecosistemes fluvials. La geosmina és una molècula amb característiques organolèptiques que no és nociva per la salut, però produeix en l'aigua olor a florit de manera estacional a la primavera. Determinar les condicions ambientals en que apareix aquest organisme serviria per evitar el problema abans de que es desencadeni. Aquest estudi vol aconseguir comprovar l'efecte de la llum i la velocitat de l'aigua sobre *Oscillatoria* sp. mitjançant canals experimentals, l'avantatge respecte un experiment *in situ* és que les variables d'interès es poden modificar. Els canals, localitzats a Manlleu al centre del CERM-UVic, rebien aigua directament del riu Ter, en el qual ha s'hi ha trobat presència de geosmina anteriorment. Per caracteritzar l'efecte dels factors d'estudi, s'ha realitzat primer la identificació, recompte i mesura de les espècies de cianobacteris i algues trobades als canals. Les dades obtingudes es van passar a unitats de biovolum per superfície per obtenir una millor interpretació i es van tractar amb el programa RStudio. També es va realitzar un experiment de rendiment fotònic al laboratori, per tal de comprovar la producció fotosintètica del biofilm en diferents irradiàncies conegudes. Com que prèviament es coneixeria en quins tractaments és favorable l'aparició d'*Oscillatoria* sp., tot exposant el biofilm a diferents intensitats de llum i fent-ne la mesura del rendiment fotònic, es podrien elaborar les corbes P/I que descriurien la seva producció en cada irradiància. Amb els resultats obtinguts, s'ha pogut determinar les condicions de llum i velocitat de l'aigua en que l'aparició i creixement d'*Oscillatoria* sp. és favorable, concretament s'ha confirmat que la seva abundància relativa és significativa en condicions de baixa llum i velocitats de l'aigua baixes. No s'esperava que també fos significatiu el seu creixement en condicions de elevada llum i velocitats de 1m/s. Tot i que la seva producció fotosintètica és anòmalament baixa, comparada amb altres tractaments, en les primeres condicions descrites, és possible que sigui el motiu que porta a *Oscillatoria* sp. a produir el metabòlit secundari, geosmina.

## Resumen

---

*Oscillatoria* sp. es la principal cianobacteria productora de geosmina en los ecosistemas fluviales. La geosmina es una molécula con características organolépticas no nocivas para la salud, pero produce en el agua un olor a moho de manera estacional en la primavera. Determinar las condiciones ambientales en que aparece este organismo serviría para evitar el problema antes de que se desarrolle. Este estudio quiere comprobar el efecto de la luz y la velocidad del agua sobre *Oscillatoria* sp. mediante canales experimentales, el beneficio de éste respecto a un experimento in situ es que las variables de interés se pueden modificar. Los canales, localizados en Manlleu en el centro del CERM-UVic, recibían agua directamente del río Ter, en el cual se ha encontrado presencia de geosmina anteriormente. Para caracterizar el efecto de los factores de estudio, se ha realizado primero la identificación, recuento y medido las especies de cianobacterias y algas encontradas en el biofilm de los canales. Los datos obtenidos se convirtieron en unidades de biovolumen por superficie para obtener una mejor interpretación, y se trataron con el programa RStudio. También se realizó un experimento de rendimiento fotonico en el laboratorio, para comprobar la producción fotosintética del biofilm en diferentes irradiancias conocidas. Como previamente se conocía en que tratamientos era favorable la aparición de *Oscillatoria* sp., exponiendo el biofilm a diferentes intensidades de luz y realizando la medida del rendimiento fotónico, se podían elaborar curvas P/I que describirían la producción en cada irradiancia. Con los resultados obtenidos, se pudo determinar las condiciones de luz i velocidad del agua en que la aparición y crecimiento de *Oscillatoria* sp. es favorable, concretamente se ha confirmado que su abundancia relativa es significativa en condiciones de baja luz y velocidad del agua baja. No se esperaba que también saliera significativo el crecimiento en elevada luz y velocidad de 1m/s. Su producción fotosintética baja de manera anómala, comparada con el resto de los tratamientos, en las primeras condiciones descritas, es posible que este sea el motivo que lleva a *Oscillatoria* sp. a producir el metabolito secundario geosmina.

## **Abstract**

---

The main cyanobacteria that produces geosmin in freshwater ecosystems is *Oscillatoria* sp.. Geosmin is a molecule with organoleptic features without harmful effect on humans, but it produces a nuisance odour on spring seasonally. Determining the environmental conditions in which this organism appears will be useful to avoid the problem before it starts. This study aims to check the effect of light and water velocity on *Oscillatoria* sp. through experimental channels. The advantage of those in front of *in situ* experiments is that the variables can be modified. The channels, located in Manlleu in the CERM-UVic centre, received water directly from the Ter river, where previously other studies had found geosmin. To define the effect of the chosen factors, cyanobacteria and algae identification, counting and measurement were performed using an optical microscope. The obtained data was converted to biovolume to obtain an easy interpretation, and they were analysed with RStudio program. The photonic efficiency experiment was also performed in the laboratory to verify the photosynthetic production of the biofilm in different known light intensities. Due to the latter results, we had learned under which treatments *Oscillatoria* sp. growth is favourable, and by exposing all the biofilm samples to a light intensity range and measuring its photonic efficiency, the P/I curves were elaborated. Those results will describe their production under each light intensity. With the obtained results, we can define the light and water velocity conditions favourable to *Oscillatoria*'s growth. Specifically it was confirmed that its presence is significant in low light and low velocity conditions. Also it wasn't expected the significant growth in high light and 1m/s water velocity conditions. Although its photosynthetic production is anomalously low, compared to other treatments in the first favourable conditions described. This may be the reason that leads *Oscillatoria* sp. to produce geosmin.

# ÍNDEX

---

1. Introducció .....	2
1.1. La geosmina .....	2
1.3. El riu Ter.....	2
1.4. Els rius experimentals.....	3
2. Objectives .....	3
3. Metodologia .....	4
3.1. Rius experimentals i mostreig .....	4
3.2. Estructura de la comunitat fitobentònica .....	5
3.3. Corba de producció i irradiància.....	6
4. Resultats i discussió .....	8
4.1. La comunitat fitobentònica.....	8
4.1.1. La llum.....	11
4.1.2. La velocitat .....	12
4.1.3. La interacció.....	15
4.2. La corba de producció i irradiància .....	17
4.2.1. La llum i les interaccions.....	17
4.2.2. La velocitat .....	19
5. Conclusions .....	20
6. Criteris ètics i de sostenibilitat.....	21
7. Agraïments .....	22
8. Bibliografia .....	22

## **1. Introducció**

---

És necessari establir la relació entre l'aparició d'un contaminant d'origen biològic al medi amb els paràmetres fisico-químics que el desencadenen, per tal de poder prevenir-ho i realitzar els controls necessaris amb l'objectiu de que no es produeixi. L'origen d'una contaminació pot ser molt divers, antropològic o per causes naturals, entenent per causes naturals organismes presents a l'aigua o lligats a aquesta<sup>1</sup>. Tot i que moltes vegades també té com antecedent l'activitat humana, la qual desencadena o afavoreix indirectament al causant del contaminant, com per exemple abocaments de matèria orgànica<sup>2</sup>.

Una bona qualitat de l'aigua que consumim sol anar lligada a un augment de la complexitat dels controls i tractaments que pateix, per tal que el producte final sigui de la qualitat esperada. A part dels controls químics de l'aigua, que donen resultats immediats, uns bons indicadors de la qualitat del riu són les diatomees, ja que reflecteixen l'estat de l'ecosistema amb la seva dinàmica i presència<sup>3</sup>. Però també, els cianobacteris han estat objectiu d'estudi, ja que poden produir metabòlits secundaris nocius per la salut dels consumidors i per tant empitjorar la qualitat de l'aigua<sup>4</sup>. En aquest estudi, el component d'interès no és nociu per la salut, tot i que pot donar problemes a les instal·lacions de l'aigua i en rebaixa la qualitat del producte final, ja que es fa molest pel consumidor, es tracta de la geosmina<sup>1</sup>.

### **1.1. La geosmina**

La geosmina és un anell terpenoid bicíclic produït per cianobacteris o actinomicets<sup>5</sup>, aquest compost té característiques organolèptiques, ja que quan es troba a l'aigua fa olor a florit i és detectable a baixes concentracions pels consumidors. El procés d'eliminació és complex i requereix processos addicionals abans del consum d'aquella aigua<sup>6</sup>.

Als rius va lligada a la presència de cianobacteris bentònics, concretament *Oscillatoria* sp., la qual forma agregacions estacionals que poden produir geosmina<sup>6</sup>. La producció i alliberament al medi d'aquesta molècula podria tenir funció beneficiosa per les algues que la rodegen, ja que l'estructura de la geosmina és similar a la del beta-carotè i la vitamina A, les dues molècules amb funció protectora de l'efecte nociu de la llum solar<sup>7</sup>.

### **1.3. El riu Ter**

El lloc d'estudi és el riu Ter, on de manera estacional hi ha presència de geosmina<sup>8</sup>. La causa de la seva aparició és l'elevat desenvolupament de les poblacions d'*Oscillatoria*

sp., conseqüència lligada amb la concentració de nutrients<sup>9</sup> i altres paràmetres físics i químics, com podria ser la llum i el cabal. Pel que fa als nutrients, el creixement d'*Oscillatoria* sp. és favorable quan abans del seu pic de creixement, la relació de nitrogen i fòsfor és baixa, és a dir quan la concentració de P a l'aigua és major que la del N inorgànic dissolt<sup>10</sup>. En el cas de la llum i el cabal s'ha observat que són favorables valors baixos però no s'ha realitzat una comprovació experimental, és en aquest punt on s'inicia aquest estudi.

#### **1.4. Els rius experimentals**

Per arribar a definir quines són les condicions de llum i velocitat de l'aigua en què apareix *Oscillatoria* sp., l'ús de canals experimentals és la millor opció<sup>11</sup>. Amb aquest mètode, els paràmetres d'estudi es poden manipular de la manera desitjada per veure els canvis que provoquen a la variable i finalment observar els resultats. Al contrari que en un experiment al medi natural, es pot realitzar un seguiment de la resta de variables i d'ajustar-les segons l'interès. Així es pot assegurar que els únics factors que estan produint un efecte a la variable d'estudi són els d'interès i per tant, els resultats són fiables.

La corba P/I és una opció per poder mesurar, mitjançant el rendiment fotònic, l'efecte dels tractaments en l'adaptació dels organismes autotròfics a diferents condicions de llum. D'aquesta manera s'esperaria trobar un major rendiment a baixa irradiància per algues que han crescut en aquestes condicions, i tot el contrari per algues desenvolupades en altes irradiàncies<sup>12</sup>.

## **2. Objectives**

The main objective of this investigation is to better understand the role of light and water flow on the growth of *Oscillatoria* sp.

To achieve this goal, physiological and community composition parameters of epilithic biofilms that had grown in outdoor channels under different light and flow conditions were analysed. On one hand, the genus identification and counting of epilithic photosynthetic organisms was used to elucidate their response to light and water flow treatments.

On the other hand, production/irradiance curves were performed at community level to describe the influence of light and water flow on light adaptation and the link that this adaption may have on the growth of *Oscillatoria* sp.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Rius experimentals i mostreig

Els rius experimentals, estaven instal·lats al centre d'estudis de rius Mediterranis (CERM-UVic-UCC) a Manlleu (Fig. 1). L'aigua s'obtenia d'un canal paral·lel al riu Ter mitjançant bombes submergibles que alimentaven quatre bidons (Fig. 1 i 2) que servien per decantar el material particulat i



Figura 1. Rius experimentals. Font pròpia.

distribuir l'aigua als diferents canals (2-3 canals/bidó) per gravetat. Cada bidó aportava aigua als canals mitjançant cavitats de diàmetres diferents a la part inferior d'aquests, tot causant un gradient de cabals. També s'alternava el tractament de llum, tapant o no, amb una tela opaca que reduïa el 80% de la llum incident.

<b>Bidó 1</b>	•-	• Canal 1	High light (HL)	(2,00 m/s)
		• Canal 2	Low light (LL)	(0,50 m/s)
<b>Bidó 2</b>	•-	• Canal 3	High light (HL)	(0,30 m/s)
		• Canal 4	Low light (LL)	(2,00 m/s)
<b>Bidó 3</b>	•	• Canal 5	Low light (LL)	(0,30 m/s)
		• Canal 6	High light (HL)	(1,00 m/s)
		• Canal 7	Low light (LL)	(0,15 m/s)
<b>Bidó 4</b>	•	• Canal 8	High light (HL)	(0,50 m/s)
		• Canal 9	Low light (LL)	(1,00 m/s)
		• Canal 10	High light (HL)	(0,15 m/s)

Figura 2. Rius experimentals i tractaments corresponents. Font pròpia.

Per permetre el desenvolupament dels organismes epilítics característics del riu, els canals contenien un mínim de 30 pedres de superfície similar, prèviament autoclavades, per així simular el substrat al qual es poden adherir en un ecosistema fluvial. En total, es van estudiar els biofilms de deu canals amb els particulars tractaments de llum i velocitat de l'aigua (Fig. 2)

El manteniment i presa de mostres d'aigua al llarg de l'experiment el van dur a terme els investigadors del CERM-UVic. El treball que es presenta es va realitzar amb mostres de biofilm recollides dels 10 canals al final de l'experiment. Segons dades no publicades proporcionades pels investigadors del CERM-UVic, les condicions experimentals es van mantenir força estables al llarg de l'experiment, amb valors força baixos de concentració de nutrients:  $7,00 \pm 1,05 \mu\text{g/L N-NO}_2$ ;  $864 \pm 24 \mu\text{g/L N-NO}_3^-$  i  $12,9 \pm 2,6 \mu\text{g/L P-PO}_4^{3-}$  (mitjana  $\pm$  desviació estàndard de 5 mesures realitzades al llarg de l'experiment en els 10 canals). Aigua força freda, ben oxigenada, amb pH



lleugerament alcalí i mineralització mitjana: temperatura  $9,6\pm 0,1$  °C; oxigen dissolt  $11,26\pm 0,18$  mg/L ( $98,8\pm 1,3$  % saturació; pH  $8,38\pm 0,02$ ; conductivitat  $335,5\pm 2,6$  µS/cm) (mitjana±desviació estàndard de 5 mesures realitzades al llarg de l'experiment en els 10 canals, font investigadors del CERM-UVic).

L'experiment es va iniciar el dia 19/03/18, col·locant les pedres autoclavades als canals i regulant-los. El mostreig del biofilm es va realitzar els dies 38 i 45 d'experiment. Aquest període era necessari per permetre al sistema i al biofilm establir-se i desenvolupar-se. Al final de l'experiment es van recollir mostres de biofilm que servien per determinar l'efecte dels diferents tractaments gràcies a la identificació a nivell de gènere de les comunitats i per fer les corbes P/I.

Al primer mostreig, el dia 38 d'experiment, es van recollir tres pedres amb biofilm: una del tram superior, del mig i del final del canal. Aquestes es destinarien a l'estudi de l'estructura de la comunitat. Les pedres amb biofilm escollides per tractament equivalen a tres pseudorèpliques, d'aquesta manera es pot incloure la variabilitat de cada canal. De cadascuna es va extreure una superfície circular coneguda de 2 cm de diàmetre mitjançant l'extrem tallat d'una xeringa. El biofilm obtingut es va emmagatzemar en vials de vidre, a baixa temperatura (4°C) i a la foscor, afegint 1ml de formol i 9ml d'aigua del canal corresponent, d'aquesta manera es fixa la mostra fins al moment de la seva identificació al microscopi.

Al mostreig del dia 45, es van recollir 5 mostres de cada canal amb l'objectiu de realitzar un experiment al laboratori per obtenir una corba de producció i irradiància, però el dia anterior es va espantillar la bomba que omplia el primer bidó i conseqüentment es van perdre els canals 1 i 2. Com a conseqüència de l'assecamment dels canals, es van recollir mostres dels canals restants, és a dir del 3 al 10. Les mostres es van recollir amb el mateix mètode que el dia anterior, es van conservar en un vial de vidre a baixa temperatura (4°C) i amb 10 ml d'aigua sense formol, ja que per les mesures de l'experiment de la corba P/I les cèl·lules han d'estar vives.

### **3.2. Estructura de la comunitat fitobentònica**

En totes les mostres (tres per cada canal) es va aplicar el mateix protocol: primer s'extreia 1ml del vial de vidre, prèviament agitat per tal d'homogeneïtzar la suspensió, i es dipositava en un tub tipus falcon. Al tractar-se de mostres amb formol, la seva manipulació es va fer sempre sota la campana. Mitjançant una pipeta Pasteur es va col·locar una gota de la mostra sobre un portaobjectes i tot seguit es va cobrir amb un cobreobjectes per realitzar squash i premsar la mostra, evitant que quedin les cèl·lules en diferents plans, fet que dificultaria el recompte al microscopi. Finalment, es va fer la

identificació al microscopi òptic a 400 augments, recompte i mesura de les cèl·lules d'un mínim de 6 camps de visió per mostra. Es van comptar tres mostres de cada canal (30 en total)<sup>13 14</sup>.

Per poder tractar les dades, es va calcular el biovolum de cada gènere per unitat de superfície ( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ ). Per fer el càlcul es van utilitzar els següents factors de conversió:

$$\frac{\text{Biovolum Total gènere \# } (\mu\text{m}^3)}{n^{\circ} \text{ camps de visió}} \times \frac{1 \text{ camp de visió a X400}}{0.002 \text{ cm}^2} \times \frac{4.84 \text{ cm}^2 \text{ cobreobjectes}}{20 \mu\text{l gota observació}} \times$$

$$\frac{10 \text{ ml mostra total}}{\pi \cdot 1^2 \text{ cm}^2 \text{ xeringa}} \times \frac{1000 \mu\text{l}}{1 \text{ ml}}$$

Els efectes de cadascun dels tractaments (velocitat de l'aigua i llum) i de la seva interacció sobre el biovolum i l'abundància relativa (en tant per cent) dels taxons estudiats van ser analitzats estadísticament aplicant ANOVAs de dos factors: llum (amb 2 nivells) i velocitat de l'aigua (amb 5 nivells).

### 3.3. Corba de producció i irradiància

El florímetre de pulsos amb llum modulada (Pulse Amplitude Modulation, PAM), permet mesurar el rendiment fotònic d'una mostra amb clorofil·la gràcies a la saturació dels pigments fotosintètics. S'aconsegueix mitjançant la irradiació d'un puls de llum durant un instant. Si la mostra s'adapta prèviament a la foscor (20 minuts), s'obté el rendiment fotònic màxim, ja que es garanteix que tots els centres de reacció de les cèl·lules estiguin oberts<sup>15 16</sup>. Amb aquest aparell es pot mesurar el rendiment fotònic, que anomenem Photon Yield (o Yield) d'una comunitat fitobentònica, és el que es realitza en aquest cas.

Al laboratori, les 40 mostres (8 tractaments amb 5 pseudorèpliques cada un) es van sotmetre a una aclimatació de 20 minuts a la intensitat desitjada abans de cada lectura. Les diferents intensitats de mesura es van acordar segons el màxim mesurat als canals experimentals (40.000 lux), i es van realitzar un mínim de 2 lectures de Yield per mostra. Les diferents intensitats de llum de l'experiment es van comprovar gràcies a l'aparell HOBO, que



**Figura 3.** Mostres en agitació i temperatura controlada durant les mesures del Yield per la corba P/I.

Font pròpia.

permet obtenir dades contínues de temperatura i llum. Les intensitats escollides van ser les següents: 0 (foscor), 1.000, 2.500, 4.000, 12.000, 20.000 i 35.000 lux, equivalents a un rang de 10 fins a 500 microsiemens/cm. Durant tot l'experiment (incloent aclimatació i mesures del yield amb el PAM) es van mantenir les mostres a una temperatura de 10°C i en agitació (Fig. 3), per tal de simular les condicions de creixement i evitar la formació de gradients.

Amb les dades obtingudes de Yield, es van realitzar diverses ANOVA mitjançant el programa RStudio i així, complementant amb l'estadística, els gràfics que representen la corba de P/I i permetran avaluar l'efecte dels tractaments. L'anàlisi dels resultats es va estructurar de manera que fos possible analitzar els tres factors per separat.

La primera ANOVA tenia com a factors la llum de laboratori, la de camp i la velocitat. Amb aquesta es va determinar l'efecte dels tractaments de HL i LL, de les diferents irradiàncies, velocitats i interaccions. En aquest anàlisi es van utilitzar 6 tractaments, concretament els canals de velocitats iguals que tenien el seu homòleg de HL i LL, cal recordar que es van perdre els dos primers canals i per tant una parella de tractaments els hi manca informació de HL o bé de LL. Per tant, els tractaments que es van utilitzar en l'ANOVA van ser els de les velocitats de 0.15, 0.30 i 1.00 m/s, ja que són els únics que tenien la seva parella de dades corresponent. Aquesta ANOVA també serviria per veure si les interaccions entre els factors és significativa per la variable del rendiment fotònic.

El següent anàlisi estadístic, també una ANOVA, permetria veure si la velocitat en què s'ha desenvolupat el biofilm arriba a produir un efecte significatiu en el Yield quan s'exposa a diferents intensitats de llum. Per tant, les mitjanes de Yield obtingudes es van dividir segons el tractament de llum de camp rebut perquè en l'estadística la variable només estigués condicionada per la velocitat del canal i no per la llum en què s'han desenvolupat. Per una banda, els canals de HL que formarien part de la primera ANOVA tenien les velocitats següents: 0.15, 0.30, 0.50 i 1.00 m/s. L'ANOVA del LL estaria formada per les dades de Yield dels canals amb velocitats de 0.15, 0.30, 1.00 i 2.00 m/s. En els dos casos hi ha representació del gradient de velocitats.

## 4. Resultats i discussió

### 4.1. La comunitat fitobentònica

Es van identificar un total de 16 gèneres, dels quals 2 eren cianobacteris, 1 era una alga verda i la resta eren diatomees. Els gèneres identificats són els següents:

- CIANOBACTERIS
  - *Oscillatoria* sp.
  - *Gomontiella* sp.
- ALGUES VERDES
  - *Scenedesmus* sp.
- DIATOMEES
  - *Melosira* sp.
  - *Cymbella* sp.
  - *Nitzschia* sp.
  - *Gomphonema* sp.
  - *Cocconeis* sp.
  - *Navicula* sp.
  - *Achnantes* sp.
  - *Gyrosigma* sp.
  - *Surirella* sp.
  - *Pinnularia* sp.
  - *Hantzschia* sp.
  - *Cymatopleura* sp.
  - *Fragilaria* sp.



**Figura 4.** *Oscillatoria* sp. envoltada de *Melosira* sp. del tractament LL i 0.15m/s, observada amb microscopi òptic a 400 augments. Font pròpia.

Els resultats de les ANOVAs de 2 factors obtingudes per la variable biovolum per superfície i en tant per cent es presenten a continuació (Taula 1):

#### 1. Biovolum total per tractament

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	1.0590e+20	1	1.4823	0.2376
Velocitat..m/s.	2.5695e+20	4	0.8992	0.4830
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	5.3327e+20	4	1.8662	0.1559
Residuals	1.4288e+21	20		

#### 2. Biovolum algues verdes

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	6179586430522	1	2.8751	0.10547
Velocitat..m/s.	23574385257910	4	2.7421	0.05733
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	23574385257910	4	2.7421	0.05733
Residuals	42986514365394	20		

#### 3. Biovolum *Gomphonema* sp.

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	1.2929e+16	1	4.4478	0.04775 *
Velocitat..m/s.	3.3655e+15	4	0.2894	0.88135
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	3.7480e+15	4	0.3223	0.85965
Residuals	5.8137e+16	20		

**4. Biovolum *Navicula* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	1.0292e+17	1	0.2574	0.61747
Velocitat..m/s.	8.5804e+17	4	0.5365	0.71057
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	4.3208e+18	4	2.7015	0.05997 .
Residuals	7.9970e+18	20		

**5. Biovolum *Nitzschia* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	1.2151e+18	1	6.7544	0.01717 *
Velocitat..m/s.	1.0639e+18	4	1.4785	0.24610
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	2.4096e+18	4	3.3486	0.02975 *
Residuals	3.5979e+18	20		

**6. Biovolum *Oscillatoria* sp**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	4.4866e+16	1	0.1764	0.67893
Velocitat..m/s.	1.9773e+18	4	1.9440	0.14234
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	3.5210e+18	4	3.4617	0.02642 *
Residuals	5.0856e+18	20		

**7. Biovolum *Pinnularia* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	9.9139e+17	1	4.3612	0.04976 *
Velocitat..m/s.	2.8382e+18	4	3.1214	0.03789 *
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	3.1237e+18	4	3.4354	0.02716 *
Residuals	4.5464e+18	20		

**8. Biovolum *Scenedesmus* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	6179586430522	1	2.8751	0.10547
Velocitat..m/s.	23574385257910	4	2.7421	0.05733 .
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	23574385257910	4	2.7421	0.05733 .
Residuals	42986514365394	20		

**9. % *Cyanobacteris***

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	6.57	1	0.1028	0.75181
Velocitat..m/s.	1314.60	4	5.1437	0.00514 **
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	196.86	4	0.7703	0.55719
Residuals	1277.87	20		

**10. % *Diatomees***

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	6.32	1	0.0990	0.756325
Velocitat..m/s.	1313.06	4	5.1376	0.005169 **
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	197.44	4	0.7725	0.555821
Residuals	1277.89	20		

**11. % *Cymbella* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	144.48	1	2.0261	0.17003
Velocitat..m/s.	669.07	4	2.3456	0.08953 .
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	563.95	4	1.9771	0.13695
Residuals	1426.20	20		

**12. % *Melosira* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	394.7	1	1.5115	0.23318
Velocitat..m/s.	2772.7	4	2.6546	0.06318 .
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	3603.3	4	3.4499	0.02675 *
Residuals	5222.3	20		

**13. % *Navicula* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	73.90	1	1.0198	0.32462
Velocitat..m/s.	425.32	4	1.4674	0.24934
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	654.58	4	2.2584	0.09892 .
Residuals	1449.21	20		

**14. % *Oscillatoria* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	71.26	1	4.4054	0.0487241 *
Velocitat..m/s.	462.31	4	7.1449	0.0009628 ***
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	633.93	4	9.7972	0.0001479 ***
Residuals	323.52	20		

**15. % *Pinnularia* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	100.58	1	4.2525	0.05242 .
Velocitat..m/s.	272.79	4	2.8833	0.04906 *
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	297.05	4	3.1397	0.03715 *
Residuals	473.05	20		

**16. % *Surirella* sp.**

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum..H/L.	3.034	1	1.4327	0.24533
Velocitat..m/s.	28.586	4	3.3741	0.02896 *
Llum..H/L.:Velocitat..m/s.	4.547	4	0.5367	0.71043
Residuals	42.360	20		

**Taula 1.** Resultats de les ANOVAs de 2 factors (llum i velocitat) sobre la variable biovolum per superfície i biovolum en tant per cent.

Al resultat de l'ANOVA 1 (Taula 1), s'observa que els tractaments no van afectar al biovolum total, per tant, tampoc a la biomassa total d'organismes fotosintetitzadors. La relació amb els factors de llum i velocitat és no significativa en tots dos casos, incloent-hi la interacció entre aquests. Es pot assegurar que quan varien les condicions entre tractaments s'afavoreixen unes o altres espècies, per tant es produeixen substitucions a nivell de nínxol ecològic, però el biovolum total és similar.

En el gràfic (Fig. 5) s'observa valors similars en els dos grups de dades (HL i LL), tot i que cal destacar la gran variabilitat de biovolum per superfície que hi ha en un mateix canal, concretament el de HL de velocitat 0.5m/s.

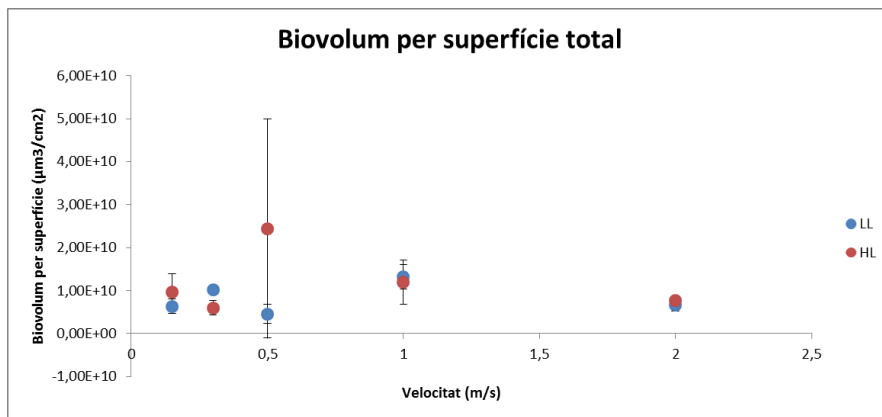


Figura 5. Diagrama de dispersió del biovolum total del conjunt de tractaments.

#### 4.1.1. La llum

Al realitzar les ANOVAs corresponents (Taula 1), amb les dades dels 10 canals, s'ha trobat significació del factor llum en alguns dels grups i gèneres. En el cas de la variable biovolum per superfície, només s'ha obtingut significació en tres gèneres (Taula 1). Pel que fa a les classificacions taxonòmiques superiors com la classe de diatomees, el fílum dels cianobacteris i les algues verdes, cap d'elles mostra una resposta significativa pel que fa al tractament de la llum.

Classe	Gènere	Efecte
Diatomea	<i>Nitzschia</i> sp.	HL>LL
Diatomea	<i>Gomphonema</i> sp.	HL>LL
Diatomea	<i>Pinnularia</i> sp.	HL<LL

Taula 2. Efecte de la llum en el biovolum per superfície.

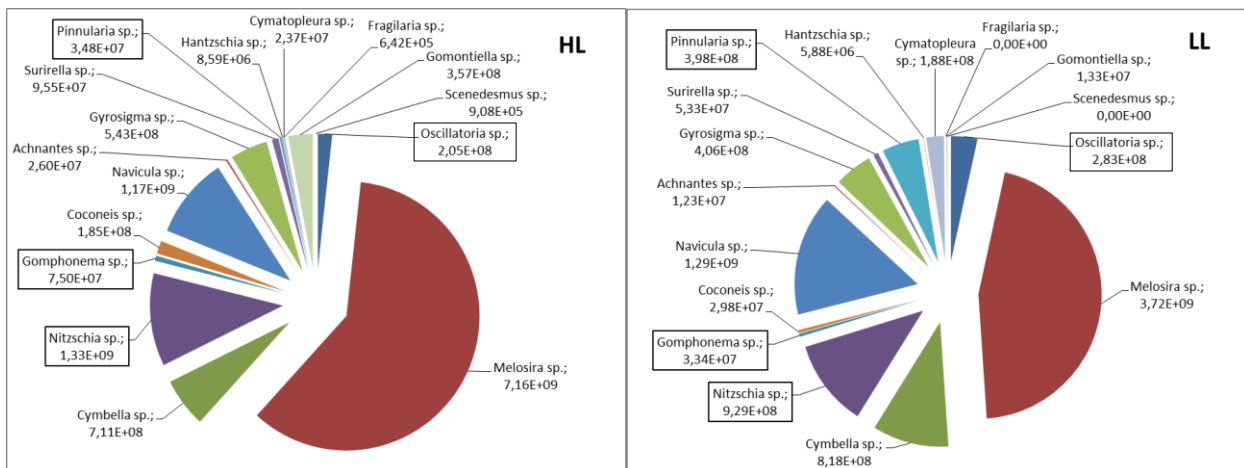


Figura 6. Gràfics de sectors del valor mitjà de totes les velocitats de la variable biovolum per superfície dividit segons el tractament de llum. També expressa la proporció que representa cada

L'efecte de la llum en els tres gèneres anteriors s'observa de manera més clara en el gràfic de sectors (Fig. 6) on hi ha representades les mitjanes dels gèneres de tots els canals de HL i en el consecutiu els de LL. L'augment de *Pinnularia* sp. en condicions de LL respecte HL, és molt remarcable, ja que en el primer cas tot i que el biovolum no és nul, és inferior que a LL. També seria l'únic gènere dels quals s'ha obtingut un

resultat significatiu en el tractament de la llum que es veu afavorit en condicions de LL. En el cas de *Nitzschia* sp. i *Gomphonema* sp. presenten un biovolum significativament més gran en condicions de HL (Taula 2). En el cas de *Nitzschia* no es pot atribuir a una espècie en concret perquè actualment hi ha més de 1.000 espècies identificades<sup>17</sup>, per tant es pot dir que en general les espècies trobades que formen part del gènere de *Nitzschia* habiten zones HL. *Gomphonema* sp. també presenta un augment significatiu en condicions de HL, tot i que en LL també hi és present, ja que és un gènere típic de zones eutrofitzades<sup>18</sup>. *Oscillatoria* sp. no presenta una resposta significativa als diferents tractaments de llum segons l'ANOVA, ja que com es pot observar el seu biovolum mitjà és similar ( $2,05 \cdot 10^8$  a HL i  $2,83 \cdot 10^8 \mu\text{m}^3/\text{cm}^2$  a LL).

En expressar el biovolum en tant per cent, analitzem l'abundància relativa de cada gènere dins la comunitat fitobentònica. Es va trobar significació del factor llum en només dos gèneres: *Oscillatoria* sp. i *Pinnularia* sp. (Taula 3). En cap dels grups taxonòmics superiors es va trobar un resultat de l'ANOVA significatiu.

Classe	Gènere	Descripció
Cianobacteri	<i>Oscillatoria</i> sp.	HL<LL
Diatomea	<i>Pinnularia</i> sp.	HL<<LL

**Taula 3.** Efecte de la llum en el biovolum per superfície en tant per cent.

Al gràfic de sectors de biovolum per superfície anterior (Fig. 6), es mostren les proporcions dels gèneres identificats (aquests equivaldrien al percentatge). En general es veu un desplaçament de la presència de *Melosira* sp. i augment dels altres gèneres quan es passa de HL a LL, però els únics que presenten un resultat significatiu a aquest canvi de condicions són *Oscillatoria* sp. i *Pinnularia* sp (Taula 3). És a dir, hi ha un efecte significatiu de la llum en la proporció que representen aquests gèneres dins la comunitat i es veuran afavorits en condicions de LL.

#### 4.1.2. La velocitat

Pel que fa a la velocitat, també s'han analitzat per separat el biovolum per superfície i el tant per cent de cada gènere o grup. En el primer cas, s'han obtingut resultats parcialment significatius en el grup dels cloròfits o algues verdes, amb un pvalor de 0.057. Tot seguit es veurà com aquest resultat coincideix amb l'únic gènere identificat que forma part d'aquest grup. Els gèneres que presenten resultats de l'ANOVA significatius o parcialment significatius en el factor de velocitat són *Pinnularia* sp. i *Scenedesmus* sp. (Taula 4).



Classe	Gènere	Descripció
Cloròfit	<i>Scenedesmus</i> sp.	↑ vel. de 0.3
Diatomea	<i>Pinnularia</i> sp.	↑ vel. baixes

Taula 4. Efecte de la velocitat en la variable biovolum per superfície.

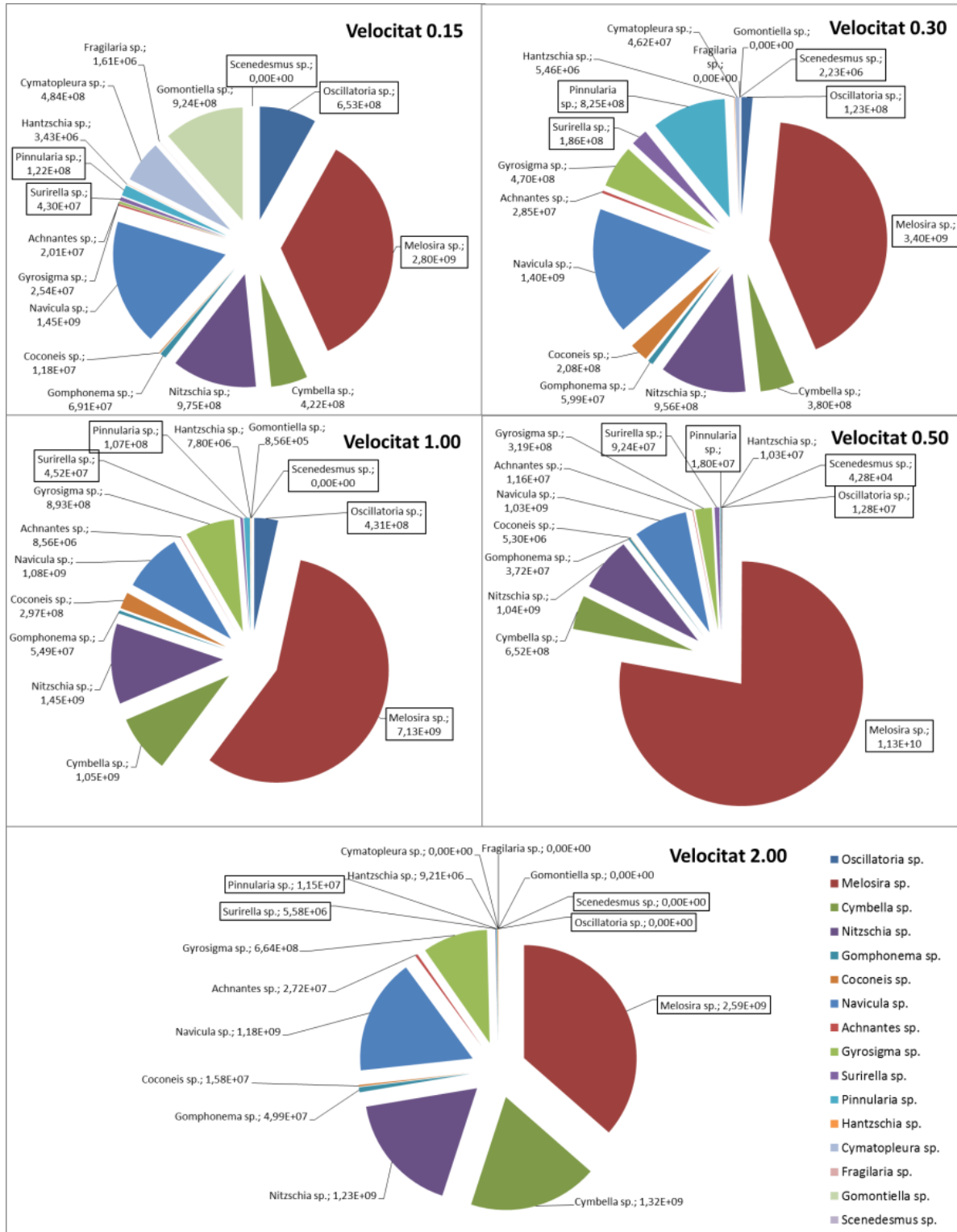


Figura 7. Gràfics de sectors de la variable biovolum per superfície dividit segons el tractament de velocitat amb la mitjana dels dos tractaments de llum. També expressa la proporció que representa cada gènere dins del total.

Primer de tot cal remarcar l'augment de biovolum per superfície que mostra *Scenedesmus* en el tractament de 0,3 m/s (Fig. 7), ja que en cap altre la seva presència és prou destacable. També és destacable el resultat significatiu de *Pinnularia* sp. que mostra un major biovolum per superfície en velocitats baixes, és a dir 0.15 i 0.3 m/s, que no pas en velocitats elevades. Aquesta és una espècie que majoritàriament es troba en aigües netes i de baix pH, per tant és lògic que es trobi en velocitats menors, ja que no hi haurà tanta abundància de nutrients en aigües tranquil·les<sup>19</sup>.

Però, tot i que no s'hagin obtingut resultats significatius en altres gèneres és interessant observar els que més canvien en les diferents velocitats, com per exemple *Melosira* sp. que presenta el seu pic d'abundància a la velocitat de 0.5 m/s amb un  $1.13 \cdot 10^{10} \mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ . Un altre cas seria el de *Cymbella* sp., que a mesura que augmenta el la velocitat de l'aigua, aquest gènere també augmenta el seu biovolum per superfície. La gran diversitat d'espècies que presenta el gènere de *Nitzschia* sp. podria explicar la seva presència amb valors similar en totes les condicions de velocitat estudiades. Finalment, és necessari remarcar els efectes de la velocitat sobre *Oscillatoria* sp., el gènere clau de l'estudi. S'observen augments de biovolum en velocitats molt baixes e intermèdies, però biovolum nul d' *Oscillatoria* sp. a velocitats elevades, segurament relacionat amb el factor llum i es mostrarà amb el resultat de la interacció.

La variable de biovolum en tant per cent també va ser analitzada amb la mateixa ANOVA, que inclou a part del factor llum, el factor velocitat. Tant el grup de cianobacteris com el de diatomees van presentar un resultat significatiu a l'ANOVA per aquest factor, amb uns pvalors de 0.00514 i 0.005169 respectivament. Els resultats dels gèneres amb resultats significatius són els següents:

Classe	Gènere	Efecte
Cianobacteri	<i>Oscillatoria</i> sp.	↑ vel. baixes
Diatomea	<i>Pinnularia</i> sp.	↑ vel. baixes
Diatomea	<i>Surirella</i> sp.	↑ vel. 0.3 m/s
Diatomea	<i>Cymbella</i> sp.	↑ vel. elevades
Diatomea	<i>Melosira</i> sp.	↑ vel. 0.5 m/s

**Taula 5.** Efecte de la velocitat en el el biovolum per superfície en tant per cent

*Oscillatoria* sp. presenta una resposta significativa en aquesta variable i als gràfics (Fig. 7) es pot veure com la proporció del sector que la representa és major en velocitats baixes i nul en la velocitat més elevada. *Pinnularia* sp., tot i tenir una representació dins la comunitat molt petita, destaca pel seu augment en velocitats baixes, com en la variable anterior. *Surirella* sp. i *Melosira* sp. presenten màxims en velocitats determinades, concretament en 0.3 i 0.5 m/s respectivament, tot i que *Melosira* sp. és molt abundant en tots els tractaments a causa de que es troba en trams fluvials eutrofitzats<sup>18</sup>. Finalment, *Cymbella* sp. manté constant el seu percentatge al llarg dels tractaments de velocitat però té el seu màxim amb un 18.6% a les condicions de velocitat més elevada (2.00 m/s) (Fig. 7).

#### 4.1.3. La interacció

Finalment, l'última part de les ANOVAs realitzades per cada grup i gènere, expressava si l'efecte de la interacció entre el factor llum i velocitat era significatiu sobre la variable resposta. Els cloròfits, com a classificació taxonòmica superior a gènere, presentaven un resultat parcialment significatiu en biovolum per superfície, amb un pvalor de 0.05733. Els gèneres amb una resposta significativa són *Oscillatoria* sp., *Pinnularia* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. i *Scenedesmus* sp.

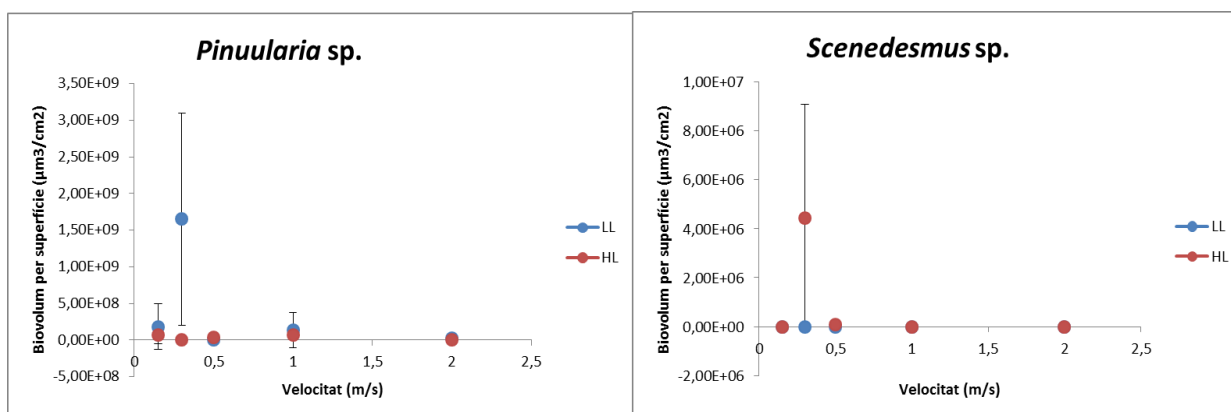
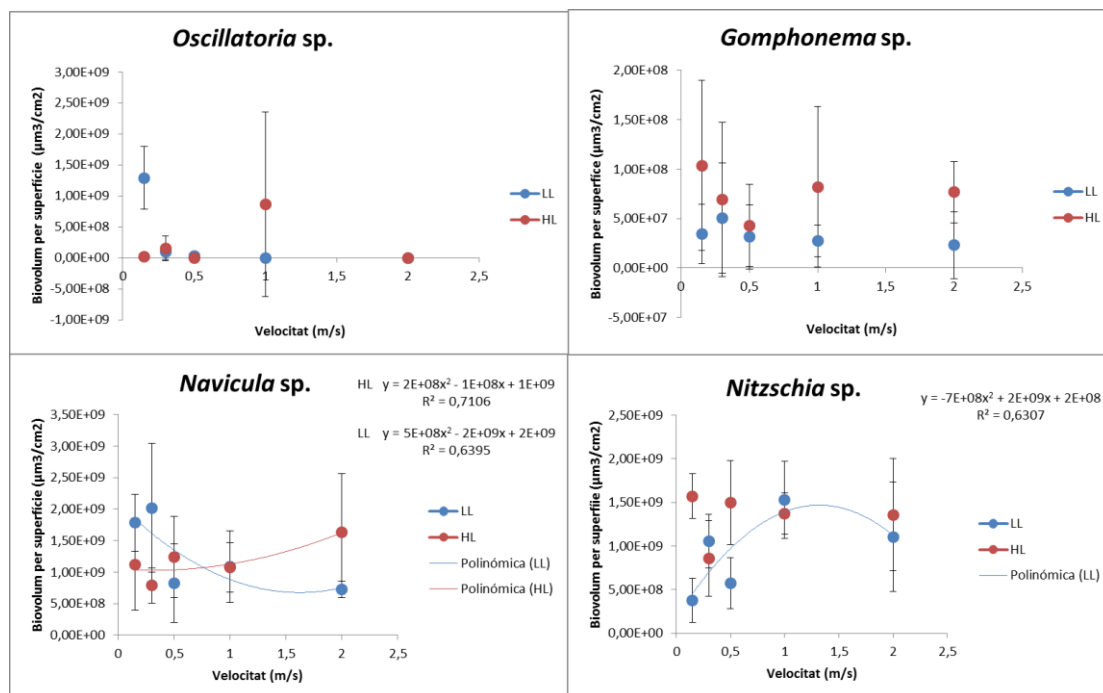


Figura 8. Mitjana i desviació estàndard del biovolum de *Pinnularia* sp i *Scenedesmus* sp. en funció de la velocitat en els tractaments de LL i HL.

La Figura 8 permet apreciar la interacció entre els dos factors estudiats per dos gèneres: *Scenedesmus* sp. i *Pinnularia* sp., els quals tenen respostes complementàries. Per una banda, *Scenedesmus* sp. Assoleix el seu biovolum per superfície màxim quan les condicions són de molta llum i velocitats baixes, 0.3 m/s concretament. Tampoc hi és present en cap de les condicions de LL, això indica que les seves condicions de creixement han d'incloure una irradiació elevada, a part de la velocitat esmentada. En canvi *Pinnularia* sp. destaca en la mateixa velocitat però en condicions de LL, és a dir que les seves condicions ideals de creixement es

complementarien pel que fa la irradiància, i dependria de quina llum hi hagués al tram fluvial de 0.30 m/s, trobaríem un gènere o un altre.



**Figura 9.** Mitjana i desviació estàndard del biovolum de *Oscillatoria* sp., *Gomphonema* sp., *Navicula* sp. i *Nitzschia* sp. en funció de la velocitat en els tractaments de LL i HL.

*Navicula* sp. presenta una interacció de llum i velocitat significativa (Taula 1), es pot observar al gràfic (Fig. 9) com una combinació concreta d'aquests dos factors permet un elevat desenvolupament de biovolum per superfície. Concretament la tendència descriu com a velocitats baixes es veu afavorit en condicions de LL i en velocitats elevades les condicions de HL. Però, com ja s'ha esmentat anteriorment aquest gènere és molt ampli i els resultats inclourien espècies amb requeriments ecològics de desenvolupament ben diferents. Per tal d'acotar-ho s'hauria de fer la identificació a nivell d'espècie.

No es veu una tendència clara en la interacció entre la velocitat i la condició de HL en *Nitzschia* sp. (Fig. 9), sinó que més aviat es manté constant per sobre de les condicions de LL. Però en el tractament de LL, es defineix clarament un pic a velocitats intermèdies i per tant es troba aquesta resposta significativa de l'anàlisi estadístic.

*Oscillatoria* sp. pot arribar a ser competitiva en condicions de LL i velocitats baixes, ja que és on trobem el seu màxim. També es pot trobar en abundància en altres condicions, tal com s'observa al gràfic (Fig. 9), en HL i velocitat intermèdia, però mai en velocitats superiors a 1 m/s. L'altre cianobacteri identificat, *Gomontiella* sp., també

es va trobar en condicions de velocitat baixa però en major abundància als tractaments de HL.

Finalment, s'ha afegit el gràfic de *Gomphonema* sp. (Fig. 9) per poder contrastar els resultats de les interaccions significatives amb un exemple en que el resultat significatiu només estava present en el tractament de la llum. Per tant, el que s'observa al gràfic no és un efecte combinat entre les velocitats i la llum, sinó que s'observa una tendència similar en els tractaments de velocitat, però les dades prenen altures diferents a causa de l'efecte significatiu de la llum comentat anteriorment.

La variable de biovolum en tant per cent també va ser testada amb una ANOVA (Taula 1), es van obtenir resultats significatius respecte a la interacció en alguns gèneres que coincideixen amb els anteriors, però també n'han aparegut de nous. L'anàlisi del tant per cent dóna un altre punt de vista als resultats, ja que no es centra en si el biovolum d'un gènere augmenta o disminueix de manera significativa en els diferents tractaments, sinó si els canvis de biovolum són significatius a nivell de la seva representació dins el total de la comunitat fitobentònica.

*Oscillatoria* sp. va ser el gènere amb més significació en la interacció, respecte a l'abundància relativa, fet que remarca la importància d'aquests dos factors al medi per poder regular la seva aparició i conseqüentment la producció de geosmina. La resta de gèneres: *Pinnularia* sp.; *Melosira* sp. i *Navicula* sp. També presenten significació en la interacció, per tant la seva presència dependrà de la combinació del factor llum i velocitat.

## 4.2. La corba de producció i irradiància

### 4.2.1. La llum i les interaccions

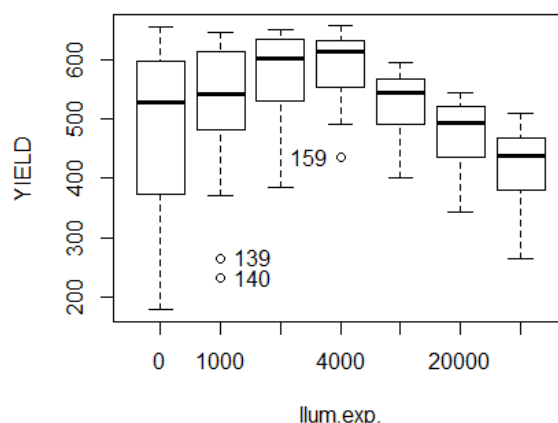
En aquesta anàlisi s'ha obtingut la significació o no de cada factor i les interaccions d'aquests sobre la variable del Yield. El resultat de l'ANOVA de 3 factors va ser el següent:

Response: YIELD

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Llum P/I	1211540	6	59.7965	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
Llum H/L.	6930	1	2.0523	0.1529
Velocitat m/s	261377	2	38.7013	$6.537 \cdot 10^{-16}$ ***
Llum P/I.:Llum H/L	377800	6	18.6466	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
Llum P/I.:Velocitat m/s	188047	12	4.6406	$5.257 \cdot 10^{-07}$ ***
Llum.H/L.:Velocitat m/s	230664	2	34.1538	$2.819 \cdot 10^{-14}$ ***
llum.P/I.:Llum.H/L.:Velocitat m/s	58432	12	1.4420	0.1448
Residuals	1181896	350		

**Taula 6.** Resultats de l'ANOVA per la variable Yield, amb els factors llum de camp, de laboratori i velocitat.

Gràcies als resultats de l'ANOVA (Taula 6) es pot afirmar que la llum utilitzada per fer les corbes PI afecta al Yield del biofilm (Fig. 10).



**Figura 10.** Diagrama de caixes del resultat de l'ANOVA de tres factors (llum de laboratori/experimental, llum de camp i velocitat dels canals).

Al diagrama (Fig. 10) es pot veure com el conjunt de mostres que formen part de diferents tractaments, coincidiria en un rendiment fotònic elevat al voltant de 4.000 lux d'irradiació. Però, encara que en aquesta intensitat les dades s'agrupin en un Yield elevat i tinguin poca desviació, no significa que sigui la intensitat òptima de totes les mostres, ja que a les llums experimentals més baixes la desviació de les dades creix, això significa una major varietat de resultats entre els tractaments.

L'ANOVA anterior (Taula 6) també resol la relació entre les condicions de llum de creixement als canals i el Yield. Com es pot veure el pvalor que s'obté és no significatiu (0.1529), per tant el fet que el biofilm es desenvolupi en unes condicions de LL o HL, sense cap altre factor interaccionant, no influirà en el rendiment fotònic de la comunitat fitobentònica. Ara bé, quan aquestes s'exposin a diferents irradiàncies la resposta es veurà afectada per les condicions en les que han crescut. Tal i com es mostra a la Figura 11, les comunitats del tractament HL tenen valors de rendiment fotònic superiors a les de LL, a irradiàncies elevades. Aquests resultats mostren que les comunitats s'han adaptat a les condicions de llum imperants durant el creixement. És a dir, que si s'han desenvolupat en condicions de poca llum (LL), poden presentar el Yield màxim a una llum experimental de laboratori baixa, i tot el contrari en les mostres que s'han desenvolupat en HL <sup>20</sup>.

La velocitat també apareix significativa (Taula 6) però es testarà en el pròxim apartat tot separant les velocitats en condicions de HL i les de LL per evitar possibles efectes de la llum sobre aquest altre factor. Per altra banda, quan els tractaments de velocitat es combinen amb el factor llum de camp o de laboratori, és significatiu en tots dos

casos, és a dir les condicions de velocitat de l'aigua en que han crescut les algues afecten al seu rendiment fotònic quan s'exposen a diferents irradiàncies al laboratori i entre els tractaments de llum HL/LL.

Finalment, la interacció dels tres tractaments (Taula 6) sobre el Yield també ha sigut significativa. Els resultats indiquen que el desenvolupament del biofilm a unes certes condicions de llum i velocitat de l'aigua afecta la seva activitat fotosintètica quan s'exposa a diferents irradiàncies.

#### 4.2.2. La velocitat

Pel que fa a la velocitat, com que s'ha obtingut un resultat significatiu en l'anàlisi anterior, però només inclouen 3 tractaments de velocitat, es separaran els tractaments segons la llum de camp rebuda i es faran dos ANOVAs per separat. En primer lloc els canals de HL de les velocitats: 0.15, 0.30, 0.50 i 1.00 m/s :

Response: YIELD

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
llum.exp.	397859	6	10.637	$2.156 \cdot 10^{-10}$ ***
VELOCITAT	327688	3	17.522	$2.968 \cdot 10^{-10}$ ***
llum.exp.:VELOCITAT	69351	18	0.618	0.8839
Residuals	1396404	224		

**Taula 7.** Resultats de l'ANOVA per la variable Yield, dels factors velocitat i llum de laboratori en condicions de HL.

El resultat significatiu de la velocitat amb un pvalor  $<0,0001$  indica que sense tenir en compte el tractament de llum rebut als canals, la velocitat de l'aigua sí que influirà significativament en el rendiment fotònic de la comunitat. Tant a irradiàncies baixes com a irradiàncies elevades, els valors baixos de rendiment fotònic els presenta la comunitat del tractament de 0.5m/s, seguit pel de 1m/s. Per altra banda, les velocitats més baixes (0.15 i 0.3 m/s) tenen un rendiment fotònic més elevat (Fig. 11).

En el tractament de LL el resultat de l'ANOVA per les velocitats de 0.15, 0.30, 1.00 i 2.00 m/s va ser significatiu pel tractament de la velocitat:

Response: YIELD

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
llum.exp.	2414787	6	119.661	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
VELOCITAT	491197	3	48.681	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
llum.exp.:VELOCITAT	641627	18	10.598	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
Residuals	847572	252		

**Taula 9.** Resultats de l'ANOVA per la variable Yield, dels factors velocitat i llum de laboratori en condicions de LL.

Aquest resultat torna a afirmar que sense la influència del tractament de la llum, la velocitat també afecta a la producció fotosintètica màxima quan el biofilm s'exposi a diferents irradiàncies. Si més no, la resposta depèn de la irradiància, tal com mostra el

resultat de la interacció ( $p < 0,00001$ ). Mentre que a irradiàncies baixes els valors més baixos de rendiment fotònic els presenta la comunitat que es desenvolupa a 0.15 m/s, el patró s'inverteix a irradiàncies elevades. En aquesta part de la corba, els valors més elevats de rendiment fotònic els presenta el tractament de 0.3 m/s, seguit dels de 0.15 i 1 m/s i els mes baixos el de 2 m/s (Fig. 11).

Concretament, al tractament de velocitat en què s'ha trobat més *Oscillatoria* sp. de HL (1.00 m/s), no presenta significació en la interacció, és a dir totes les velocitats presenten el mateix patró de rendiment fotònic. Però, on si hi ha significació és a les condicions de LL, és justament la velocitat on es troba *Oscillatoria* sp. el canal que difereix del patró i provoca la significació. S'observa menys producció a les condicions de 0.15 m/s, tot i que després la producció fotosintètica canvia i augmenta a major irradiància.

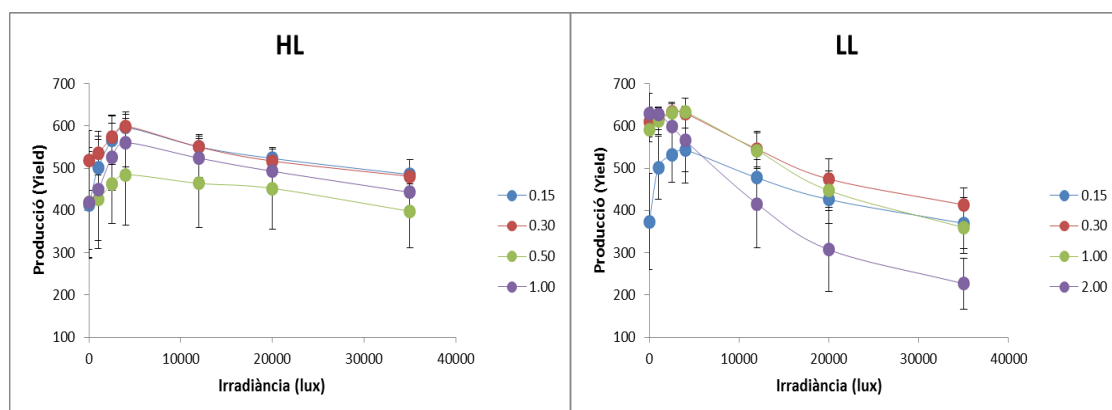


Figura 11. Diagrama de dispersió de la corba P/I per el tractament de HL i el tractament de LL.

## 5. Conclusions

After analysing the factors in two different ways, physiologically with the production and irradiance curve, and biologically with the genus identification process, it can be assumed that very particular conditions will lead the phyto-benthic community to *Oscillatoria* development. It has been proven that its growth is bounded by very strict environmental conditions, this also doesn't mean that the presence of *Oscillatoria* sp. will induce geosmin production, for this it will be needed a larger development of its community and changes in its metabolism.

First, light and water flow factors will only determine *Oscillatoria* sp. representation over all algae community; they will not cause any effect to its biovolume, as seen in community identification results and statistical analysis. But the interaction between the two factors at the same time is significant over the biovolume and its representation in percentage over the community. Therefore, among the different channels and



treatments there were particular ones where *Oscillatoria* sp. has a great presence, moreover this was supported by the statistical analysis. In particular, low light conditions were more favourable than high light, also low velocity over high water velocity. Finally, when the two factors were interacting there was one main treatment with high *Oscillatoria* sp. growing; low light plus low velocity channel and a secondary one with high light but 1 m/s velocity channel.

However, the P/I curve results shows that the previous channel algae haven't the higher production in its conditions. In particular, water flow velocity and lab experimental light factors on their own were more significant over yield measurements. Also the interactions between two or three factors were all significant, and they affect the algae community production. In fact, as it was observed, when low light conditions and water flow velocity treatments are expressed over the different lab light irradiances; the channel with larger *Oscillatoria* sp. representation didn't get the maximum production. In other words, *Oscillatoria* sp. organisms are developing in the lower production conditions; maybe this will lead them to produce geosmin.

## **6. Criteris ètics i de sostenibilitat**

En l'elaboració d'aquest treball s'ha generat el mínim impacte a nivell de despesa econòmica i energètica, però també de materials i productes utilitzats. El desplaçament fins als rius experimentals a Manlleu els dies de mostreig, es va planejar i acordar amb antelació per tal de reduir els vehicles implicats en el transport. La mateixa estructura que conformava els canals, no només va ser utilitzada en aquest estudi, sinó que forma part d'una tesi doctoral en col·laboració amb els investigadors del CERM, per tant s'ha utilitzat amb diversos objectius durant un llarg període de temps, però també es reutilitzarà en un futur per més experiments relacionats amb la tesi. Cal recordar que l'aigua utilitzada en l'experiment s'extreia directament del riu mitjançant unes bombes i s'hi retornava gràcies a un sistema de canalització, per tant no hi havia un mal ús. Finalment, al laboratori també es va treballar de manera conscient amb els productes utilitzats, per exemple, el formol i les mostres que en contenien només es van manipular sota la campana d'extracció i després es van abocar al bidó de residus inorgànics, tot el material es rentava i reutilitzava per així evitar plàstics o cobreobjectes d'un sol ús.

## 7. Agraïments

---

Vull agrair tot el suport i ajuda rebuda dels investigadors relacionats amb aquest treball final de grau. Primer de tot a la meva tutora Helena, per guiar-me i ajudar-me a fer que aquest treball prengui forma tant en la part de la memòria com en la pràctica, ja que han sigut uns quants els entrebancs que ens hem trobat en l'elaboració de la part pràctica, però tot i així ha sortit tot endavant. També, als investigadors del CERM-UVic per deixar-nos les instal·lacions dels rius experimentals, però especialment a la Carmen, amb la qual ha sigut un plaer treballar, compartir i ajudar-la en algunes ocasions en la recollida de mostres per la seva tesi doctoral.

## 8. Bibliografia

---

1. Sabater, F., Guasch, H., Martí, E., Armengol, A. & Sabater, S. (1995). *The Ter a Mediterranean river Case-Study in Spain in River and Stream Ecosystems. Ecosystems of the World*, 22. Cushing, C.E., Cummins, C.W. & Minshall, W. (Eds). Chapter 13 419-438. Elsevier, New York Print. ISBN 9780444888228
2. Kaplan, L. A., & Newbold, J. D. (1995). Measurement of streamwater biodegradable dissolved organic carbon with a plug-flow bioreactor. *Water Research*, 29(12), 2696-2706. Doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00135-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00135-8)
3. Armengol, J., Guasch, H., Martí, E., Sabater, F., Sabater, S. & Romaní, A.M. (1993). *Variacions en la càrrega de nutrients a la conca del riu Ter i el seu efecte sobre les comunitats d'indicadors biològics*. Memòria final. *Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i Junta de Sanejament del Departament del Medi Ambient*. 60p.
4. Dow, C. S., & Swoboda, U. K. (2000). Cyanotoxins. *The ecology of Cyanobacteria* (613-632). Doi: [https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7\\_22](https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7_22)
5. Vilalta, E. (2004). *Structure and function in fluvial biofilms: implications in river DOC dynamics and nuisance metabolite production* (Tesi doctoral). Recuperat de: [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1430/TESI\\_E.VILALTA.pdf?sequence=1](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1430/TESI_E.VILALTA.pdf?sequence=1)
6. Sabater, S., Muñoz, I., García-Berthou, E., & Cullerés, D. B. (2014). Multiple stressors in Mediterranean freshwater ecosystems: *The Llobregat River as a paradigm. Contributions to science*, 161-169. Doi: <https://doi.org/10.2436/20.7010.01.200>

7. Sklenar, K. S., & Horne, A. J. (1999). Effect of the cyanobacterial metabolite geosmin on growth of a green alga. *Water science and Technology*, 40(6), 225-228. Doi: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0302>
8. Romero, J., & Ventura, F. (2000). Occurrence of geosmin and other odorous compounds of natural origin in surface and drinking waters. A case study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 77(3), 243-254. Doi: <https://doi.org/10.1080/03067310008032686>
9. Myklestad, S. (1977). Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. II. Influence of the NP ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate, and production of cellular and extracellular carbohydrates by *Chaetoceros affinis* var. *willei* (Gran) Hustedt and *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 29(2), 161-179. Doi: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(77\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0022-0981(77)90046-6)
10. Sabater, S., Vilalta, E., Gaudes, A., Guasch, H., Munoz, I., & Romani, A. (2003). Ecological implications of mass growth of benthic cyanobacteria in rivers. *Aquatic Microbial Ecology*, 32(2), 175-184. Doi: <https://doi.org/10.3354/ame032175>
11. Zischke, J. A., Arthur, J. W., Nordlie, K. J., Hermanutz, R. O., Standen, D. A., & Henry, T. P. (1983). Acidification effects on macroinvertebrates and fathead minnows (*Pimephales promelas*) in outdoor experimental channels. *Water Research*, 17(1), 47-63. Doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90285-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90285-3)
12. Corcoll i Cornet, N. (2012). *The use of pulse amplitude modulated fluorescence techniques for metal toxicity assessment in fluvial biofilms* (Tesi doctoral). Recuperat de: <http://hdl.handle.net/10256/4593>
13. Canter-Lund, H. & WG Lund, J. (1995). *Freshwater algae: their microscopic world explored*. Hong Kong: Biopress
14. Prescott, G.W. (s.d.). *How to know the freshwater algae* (3rd Edition). Mc Graw Hill.
15. Schreiber U. (2004) *Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) Fluorometry and Saturation Pulse Method: An Overview*. In: Papageorgiou G.C., Govindjee (eds) *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration*. Vol 19. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11)
16. Sanclemente, M. A., & Peña, E. J. (2008). Growth and Photosynthetic Efficiency of *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) Under Different Concentrations of Nitrogen. *Acta Biológica Colombiana*, 13(1), 175-186. Recuperat de: <http://ref.scielo.org/x6cqgh>

17. Guriry, M.D.(2018). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication in Guiry, M.D. & Guiry, G.M, National University of Ireland, Galway. Recuperat el 2 de juliol del 2018 de: <http://www.algaebase.org>
18. Vélez-Azañero, A., Lozano, S., & Cáceres-Torres, K. (2016). *Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la cuenca baja del río Lurín, Lima, Perú. Ecología aplicada*, 15(2), 69-79. Recuperat de: <http://ref.scielo.org/x6cggh>
19. Toledo, L., & Comas, A. (2011). Especies dulciacuícolas del género *Pinnularia* (Bacillariophyceae) de Cuba. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 32/33, 285-292. Recuperada de: <http://www.jstor.org/stable/23725933>
20. Dennison, W. C. (1987). *Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. Aquatic Botany*, 27(1), 15-26. Doi: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(87\)90083-0](https://doi.org/10.1016/0304-3770(87)90083-0)