



Caracterització de biosòlids aquícoles mitjançant una graella oscil·lant i tractament d'imatges

Treball de Final de Grau
Enginyeria dels Sistemes Biològics

Autor: Joan Ramon Ruiz Ramirez

Tutora: Íngrid Masaló Llorà

10 de juny de 2014



Índex

Índex de figures	3
Índex de taules	6
1. Introducció	10
1.1. Antecedents	10
1.2. L'aqüicultura i el seu impacte ambiental	10
1.3. Biosòlids i problemàtica	13
1.3.1. Graella oscil·lant en l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació	15
2. Objectius	16
3. Material i mètodes	17
3.1. Graella oscil·lant	17
3.2. Biosòlids	19
3.3. Imatges	20
3.4. Experiments	22
3.5. Protocol establert	24
3.6. Tractament d'imatges	26
3.7. Tractament de dades	27
3.7.1. Tractament 1	28
3.7.2. Tractament 2	28
3.7.3. Tractament 3	29
4. Resultats	30
4.1. Validació del nou mètode (anàlisi d'imatges)	30
4.2. Validació dels tractament 1 i 2	32
4.3. Estudi dels processos de resuspensió i sedimentació	33
4.3.1. Resultats de l'experiment 1: Estudi de dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de la seva recol·lecció	33
4.3.2. Resultats de l'experiment 2: Estudi d'un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de 24 hores de la seva recol·lecció	37
4.4. Estudi de la disgregació dels biosòlids	39



4.4.1.	Resultats de l'experiment 1: Estudi de dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de la seva recol·lecció	40
4.4.2.	Resultats de l'experiment 2: Estudi d'un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de 24 hores de la seva recol·lecció	41
5.	Discussió	43
5.1.	Estudi dels processos de resuspensió i sedimentació	43
5.1.1.	Resistència a la resuspensió i efecte del temps de consolidació.....	43
5.1.2.	Diferències entre biosòlids de peixos de mides diferents.....	47
5.1.3.	Comparació entre els tractaments 1 i 2	48
5.2.	Estudi de la disgregació dels biosòlids	49
6.	Conclusions	51
7.	Propostes de millora	52
8.	Bibliografia	53
ANNEX:	Protocol dels tractaments d'imatges	55
	Estudi de l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal	55
	Mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades	56
	Comptatge de partícules	58



Índex de figures

Figura 1. Esquema amb les dimensions de la graella utilitzada en aquest treball..	18
Figura 2. Imatge de la graella i el recipient utilitzats en aquest treball.	18
Figura 3. Imatge de la cabina on es van dur a terme els experiments realitzats en aquest treball.	21
Figura 4. Imatge del feix de llum emes pel làser.	22
Figura 5. Esquema resum on es mostra l'obtenció de dades dels experiments realitzats.	27
Figura 6. Correlació entre el percentatge de biosòlids presents a la columna d'aigua quantificats mitjançant el tractament 1 (atenuació de la intensitat del color vermell a través d'un eix transversal) i mitjançant la terbolesa de la mostra estreta.	31
Figura 7. Correlació entre el percentatge de biosòlids presents a la columna d'aigua quantificats mitjançant el tractament 2 (mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades) i mitjançant la terbolesa de la mostra estreta.	31
Figura 8. Atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal a tres nivells de turbulència (RMS) diferents.	32
Figura 9. Intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades (davant i darrera) a tres nivells de turbulència (RMS) diferents.	33
Figura 10. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig.	34
Figura 11. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig.	35
Figura 12. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig.	35
Figura 13. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig.	36



Figura 14. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	37
Figura 15. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	38
Figura 16. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	38
Figura 17. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	39
Figura 18. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig.....	40
Figura 19. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig.....	40
Figura 20. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	41
Figura 21. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).....	42
Figura 22. Imatge on s'observen els biosòlids inalterats utilitzats en els experiments realitzats en aquest treball.....	44
Figura 23. Imatge on s'observen els biosòlids alterats utilitzats en els experiments realitzats per Masaló <i>et al</i> (2008).....	44
Figura 24. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % de resuspensió, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores ($R_1S_1TC_0$) i en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores ($R_1S_1TC_{24}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig.....	46



Figura 25. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % d'intensitat mitjana, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores ($R_1S_1TC_0$) i en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores ($R_1S_1TC_{24}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig.....	46
Figura 26. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % de resuspensió, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores.....	47
Figura 27. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % d'intensitat mitjana, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores.....	48
Figura 28. Correlació entre el percentatge de biosòlids a la columna expressats en % Resuspensió (tractament 1) i en % d'intensitat mitjana (tractament 2).....	49
Figura 29. Imatge corresponent al blanc amb claror on es mostra la ROI utilitzada per estudiar l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal.	55
Figura 30. Imatge corresponent al blanc amb claror on es mostren les ROIs utilitzades en la mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades.	57
Figura 31. Imatge corresponent al blanc amb claror on es mostra la ROI utilitzada en el comptatge de partícules.	58
Figura 32. Exemple d'imatge on s'observen partícules resuspeses que travessen el pla de llum vermella generat pel làser.	59
Figura 33. Imatge on es poden apreciar les partícules, ara de color negre, després d'haver-li realitzar el procés de comptatge..	61



Índex de taules

Taula 1. Resum dels resultats obtinguts de la biometria realitzada en els llobarros dels tancs multivortex i circular dels quals es van obtenir mostres per dur a terme els experiments.....	19
Taula 2. Informació nutricional del pinso amb el qual s'alimentaven el peixos del tanc multivortex i els peixos del tanc circular.....	20
Taula 3. Processos realitzats en l'experiment 1, segons el tipus de mostra, el numero de processos i el temps de consolidació.....	23
Taula 4. Processos realitzats en l'experiment 2, segons el tipus de mostra, el numero de processos i el temps de consolidació.....	23
Taula 5. Relació entre RMS i rpm utilitzades en el procés de resuspensió.....	25
Taula 6. Relació entre RMS i rpm utilitzades en el procés de sedimentació.	25
Taula 7. Tractaments emprats en l'anàlisi de les imatges.	26



Resum

La gestió dels biosòlids generats en les instal·lacions aquícoles és difícil degut a les seves propietats (densitat molt pròxima a la de l'aigua, alta cohesivitat i alt contingut en matèria orgànica). Si aquests sedimenten i s'acumulen al fons dels tancs poden deteriorar la qualitat de l'aigua. Conèixer les característiques físiques d'aquests biosòlids constitueix un pas important en la recerca de la solució a la problemàtica exposada.

En aquest treball s'han caracteritzat biosòlids procedents de tancs amb peixos de diferents mides a través de l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació utilitzant una graella oscil·lant i l'anàlisi d'imatges. La graella oscil·lant permet introduir una turbulència coneguda en un recipient.

Es van dissenyar dos experiments: un primer experiment on es van realitzar dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació; i un segon experiment on es va realitzar un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids recol·lectats 24 hores abans. Els experiments es van dur a terme en un ambient exempt de llum. Els biosòlids recol·lectats es van resuspendre i sedimentar utilitzant uns nivells de turbulència coneguts. La quantificació del percentatge de biosòlids resuspesos a la columna d'aigua es va realitzar mitjançant la projecció d'un pla de llum vermella i l'adquisició d'imatges a cada nivell de turbulència.

Les imatges captades es van tractar amb el programa Image J. Es van utilitzar tres tractaments diferents: l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal (tractament 1), la mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades (tractament 2) i el comptatge de partícules (tractament 3).

Els estudis dels processos de resuspensió i sedimentació van mostrar que per a dos processos de resuspensió i sedimentació consecutius, el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua va ser major en el segon procés que en el primer per a un mateix nivell de turbulència. El percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, per a un mateix nivell de turbulència, va ser major en els processos de sedimentació que en els de resuspensió en tots els experiments, reproduint-se el fenomen d'histèresi descrit en estudis anteriors.

El temps de consolidació establert abans d'un primer procés de resuspensió de biosòlids inalterats va ser un paràmetre que no va afectar a la resistència a la resuspensió.

Amb el comptatge de partícules es va determinar que en el primer procés de resuspensió es podien comptar partícules fins a nivells de turbulència al voltant de 1.3 i 1.9 cm/s. A partir d'aquests RMS la disgregació dels biosòlids impedia comptar més partícules.

Finalment cal destacar que es van observar diferències entre els biosòlids de peixos de diferents mides. Així com la importància que té l'estat inicial dels biosòlids en els estudis dels processos de resuspensió i sedimentació.

L'anàlisi d'imatges es presenta com un mètode vàlid per caracteritzar diferents biosòlids a través de l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació.

Paraules clau: Biosòlids, aquicultura, graella oscil·lant, anàlisi d'imatges.



Resumen

La gestión de los biosólidos generados en las instalaciones acuícolas es difícil debido a sus propiedades (densidad muy próxima a la del agua, alta cohesividad y alto contenido en materia orgánica). Si estos sedimentan y se acumulan en el fondo de los tanques pueden deteriorar la calidad del agua. Conocer las características físicas de dichos biosólidos constituye un paso importante en la recerca de la solución a la problemática expuesta.

En este trabajo se han caracterizado biosólidos procedentes de tanques con peces de distintos tamaños a través del estudio de los procesos de resuspensión y sedimentación utilizando una parilla oscilante y el análisis de imágenes. La parilla oscilante permite introducir una turbulencia conocida en un recipiente.

Se diseñaron dos experimentos: un primer experimento donde se realizaron dos procesos consecutivos de resuspensión y sedimentación; y un segundo experimento donde se realizó un proceso de resuspensión y sedimentación con biosólidos recolectados 24 horas antes. Los experimentos se realizaron en un ambiente exento de luz. Los biosólidos recolectados se resuspendieron y sedimentaron utilizando unos niveles de turbulencia conocidos. La cuantificación del porcentaje de biosólidos en la columna de agua se realizó mediante la proyección de luz roja i la adquisición de imágenes a cada nivel de turbulencia.

Las imágenes captadas se trataron con el programa Image J. Se utilizaron tres tratamientos diferentes: la atenuación de la intensidad del color rojo a lo largo de un eje transversal (tratamiento 1), la medida de la intensidad mediana del color rojo en dos áreas opuestas (tratamiento 2) i el conteo de partículas (tratamiento 3).

Los estudios de los procesos de resuspensión i sedimentación mostraron que para dos procesos de resuspensión i sedimentación consecutivos, el porcentaje de biosólidos en la columna de agua fue mayor en el segundo proceso que en el primero para un mismo nivel de turbulencia. El porcentaje de biosólidos en la columna de agua, para un mismo nivel de turbulencia, fue mayor en los procesos de sedimentación que en los de resuspensión en todos los experimentos, reproduciéndose el fenómeno de histéresis descrito en estudios anteriores.

El tiempo de consolidación establecido antes de un primer proceso de resuspensión fue un parámetro que no afectó a la resistencia a la resuspensión.

Con el conteo de partículas se determinó que en el primer proceso de resuspensión se podían contar partículas hasta a niveles de turbulencia alrededor de 1.3 i 1.9 cm/s. A partir de estos RMS la disgregación de los biosólidos impedía contar más partículas.

Finalmente cabe destacar que se observaron diferencias entre los biosólidos de peces de distintos tamaños. Así como la importancia que tiene el estado inicial de los biosólidos en los estudios de los procesos de resuspensión y sedimentación.

El análisis de imágenes se presenta como un método válido para caracterizar diferentes biosólidos a través del estudio de los procesos de resuspensión i sedimentación.

Palabras clave: Biosólidos, acuicultura, parilla oscilante, análisis de imágenes.



Abstract

The management of biosolids generated in aquaculture facilities is difficult due to their properties (low specific gravity, high cohesiveness and high organic matter content). If these biosolids settle and accumulate at the bottom of the tanks can deteriorate water quality. Knowing the physical characteristics of these biosolids is an important step for finding the solution to the problems exposed.

In this project, biosolids from tanks with different fish sizes were characterized through the study of the processes of sedimentation and resuspension using an oscillating grid and image analysis. The oscillating grid allows to introduce a know level of turbulence.

Two experiments were designed: in the first experiment two consecutive resuspension and sedimentation processes were made; and in the second experiment a process of resuspension and sedimentation with biosolids collected 24 hours was conducted. The experiments were conducted in darkness. The biosolids collected were resuspended and sedimented using levels of know turbulence. Quantification of the percentage of biosolids resuspended in the water column was performed by projecting a red laser beam and image acquisition at each level of turbulence.

The images captured were analyzed with the software Image J. Three different treatments were used: the attenuation of the red light intensity along a transverse axis (treatment 1), the measurement of the average red intensity in two opposite areas (treatment 2) and particle counting (treatment 3).

Studies of the processes of resuspension and sedimentation showed that for two consecutives resuspension and sedimentation processes, the percentage of biosolids in the water column was higher in the second than in the first process for the same level of turbulence. The percentage of biosolids in the water column, for the same level of turbulence was higher in the sedimentation processes in all experiments, reproducing the hysteresis phenomenon described in previous studies.

When unaltered biosolids were placed undisturbed in the container during 24 h after their collection did not present resistance to resuspension.

Particle count only were possible in the first resuspension process (up to a RMS around 1.3 and 1.9 cm / s). From these RMS biosolids were disintegrated and the count were not possible.

Finally, differences were observed between biosolids from tanks with different fish sizes.

Image analysis is presented as a valid method to characterize different biosolids through the study of the processes of sedimentation and resuspension.

Key words: Biosolids, aquaculture, oscillating grid, image analysis.



1. Introducció

1.1. Antecedents

Abans de la realització d'aquest treball ja s'havia dut a terme una experiència similar. Concretament al 2008 Íngrid Masaló va estudiar les dinàmiques de resuspensió i sedimentació de diferents biosòlids generant diferents nivells de turbulència utilitzant una graella oscil·lant. En aquests estudis el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua es va quantificar mesurant la terbolesa de l'aigua als diferents nivells de turbulència generats.

1.2. L'aqüicultura i el seu impacte ambiental

L'aqüicultura és una activitat basada en l'explotació del medi aquàtic que comprèn el conjunt d'accions enfocades al cultiu d'organismes d'aigua dolça, salobre o salada, tals com peixos, mol·luscs, crustacis i vegetals. Els objectius de l'aqüicultura són la producció, el creixement i la comercialització d'aquells organismes que tenen o poden tenir un interès per l'home. Entre d'altres, algunes de les finalitats de l'activitat aqüícola són:


- Alimentació.
- Aquariofília.
- Bioremediació.
- Obtenció de substàncies de interès en l'àmbit industrial, farmacèutic, bioenergètic, etc.
- Repoblació.
- Recerca.

Per aconseguir assolir la producció, el creixement i la comercialització de les espècies cultivades l'aqüicultura es basa en el coneixement i la reproducció de part o tot el cicle biològic d'aquestes. Aquesta estratègia permet intervenir en aquest cicle amb la intenció de potenciar algun dels objectius anteriors.

Tradicionalment, els cultius aqüícoles s'han classificat segons els factors: hàbitat, espècie i densitat de cultiu. D'aquesta manera, per exemple, es pot parlar d'aqüicultura marina, si es cultiva a mar, o d'aqüicultura continental o d'aigua dolça, si es cultiva a terra. També es poden establir diferències segons el grau de control exercit en l'explotació i es pot distingir entre cultius intensius i cultius extensius, fent una analogia amb la ramaderia o l'agricultura.

També existeixen diverses opcions alhora d'escollir el sistema de producció a través del qual es durà a terme l'activitat aqüícola, cadascun amb els seus avantatges i els seus inconvenients. Una possible classificació dels sistemes de producció existent actualment seria:

- Sistemes de producció oberts: gàbies a mar, instal·lacions de flow-through, gàbies en fiords, etc.

- 
- Sistemes de producció tancats: instal·lacions amb diversos graus de recirculació de l'aigua.

La recerca en el camp de l'aqüicultura ha dedicat, fins el moment, la major part dels seus recursos en millorar la tecnologia existent o desenvolupar-ne de nova amb la finalitat d'incrementar els nivells de producció. Aquest fet, conjuntament amb l'augment d'àrees o zones destinades al cultiu d'organismes aquàtics, han permès que la producció aqüícola hagi experimentat un augment en els darrers anys. No obstant, aquest increment de la producció implica un requeriment de recursos molt major i alhora genera un augment en la producció de residus (Pillay, 1992).


Cal tenir present que l'aqüicultura desenvolupa la seva activitat en un medi on interacciona amb altres activitats que competeixen per la utilització dels mateixos recursos, activitats com la indústria, els ports, la construcció, el turisme i la pesca (Borja, 2002). El creixent requeriment de recursos i l'augment de residus generats podrien ocasionar conflictes amb aquestes activitats.

L'activitat aqüícola ha de dur a terme els seus objectius d'una manera sostenible a nivell econòmic, social i ambiental. A causa de la qualitat de l'aigua i els estrictes requeriments ambientals que han de mantenir les instal·lacions aqüícoles, poques vegades es té en consideració la possibilitat de que l'aqüicultura pugui esdevenir una font de contaminació (Pillay, 1992). Fins ara els estudis ambientals s'han limitat principalment a determinar les condicions òptimes requerides en les explotacions, deixant al marge l'avaluació dels impactes exercits sobre el medi ambient com a resultat de l'activitat d'aquestes (Pillay, 1992). En general, els enfocaments tècnics sobre la gestió dels residus aqüícoles es centren en qüestions de producció, extracció i transformació o eliminació (Brinker i Rösch, 2005). La reducció dels residus generats és un motiu de creixent preocupació degut a que la producció en cultiu de peix segueix augmentant (Davenport *et al*, 2003).

Els residus generats a l'aqüicultura, de la mateixa manera que altres activitats productives, poden plantejar greus problemes ecològics si no es gestionen i es tracten com calen. Els residus, tan orgànics com inorgànics, provinents de les instal·lacions aqüícoles poden causar problemes com per exemple l'enriquiment de nutrients en el medi i, fins i tot, eutrofització en el cas de que l'espai destinat al cultiu tingui poca renovació d'aigua (Borja, 2002).

L'aqüicultura també pot ocasionar altres problemes al medi ambient, tot i que aquests no són objecte d'estudi en aquest treball, com poden ser (Borja, 2002):

- Empobriment de la biodiversitat de l'ecosistema degut a la competència i hibridació, així com l'alteració de les cadenes tròfiques ocasionades per la introducció d'espècies al·lòctones.
- Canvis quantitius i qualitius en la flora microbiana, efectes tòxics en els organismes salvatges, alteracions en la biodiversitat, etc., per l'ús indiscriminat de fàrmacs i hormones.
- Alteracions greus dels ecosistemes per l'ús d'agents químics com pesticides i antiincrustants.

- 
- Sal·linització de sòls o aqüífers, acidificació de sòls, canvis en la vida salvatge, etc., en funció de la ubicació de l'activitat productiva.

La naturalesa i l'abast de l'impacte ambiental generat per una piscifactoria depenen en gran mesura de la seva ubicació i del seu sistema de producció; així com de l'espècie cultivada, el mètode de cultiu, la densitat de cultiu, la dieta i finalment les condicions ambientals (si es tracta d'instal·lacions a mar o instal·lacions a terra) (Pillay, 1992; Borja, 2002).

Sovint és difícil determinar, d'una manera aïllada, l'impacte generat en el medi per l'acció de l'aqüicultura, ja que normalment les conseqüències observades són en molts casos l'efecte acumulatiu de diversos factors que alteren l'estat natural de l'entorn (Pillay, 1992).


Ara bé, en aqüicultura cal tenir present un aspecte important que condiciona la gestió i el tractament dels residus generats i, per tant, els conseqüents problemes que aquests poden ocasionar. Aquest aspecte és el tipus de sistema de producció.

Com s'ha vist abans, existeix un ventall de possibilitats alhora de produir organismes aquàtics. Des del punt de vista de la gestió i tractament dels residus es podria fer una distinció entre els sistemes de producció oberts i els sistemes de producció tancats.

En el primer dels casos es tracta d'instal·lacions que pel seu caràcter i la seva ubicació compten amb un mínim o cap sistema de recollida de residus, podent aquests anar a parar al propi medi de cultiu o a les zones properes. Per tant, en aquesta classe d'instal·lacions és especialment important dur a terme un seguit de pràctiques amb l'objectiu de generar residus d'una manera controlada. De no ser així es podrien originar problemes com els que es van poder observar en estudis duts a terme en diverses instal·lacions aqüícoles, concretament en gàbies a mar, on es va demostrar que en certes ocasions es poden detectar i establir impactes ambientals significatius en un radi d'un quilòmetre al voltant de les instal·lacions, determinant que la zona de major incidència es troba al fons marí. Es van observar, entre d'altres efectes, un increment en la demanda d'oxigen, producció de sediments anòxics i de gasos tòxics, canvis en les comunitats i alteracions en la biodiversitat, disminució de la diversitat d'organismes bentònics (organismes que habiten el fons marí), desenvolupament d'espècies resistents a la contaminació que alhora poden resultar perjudicials per les espècies cultivades i *blooms* de fitoplàncton (Borja, 2002).

En el segon cas es tracta d'instal·lacions més tecnificades, que pel seu caràcter compten amb sistemes de recollida de residus. D'aquesta manera els residus són captats, en menor o major mesura, i poden ser posteriorment tractats. En principi, en aquesta classe d'instal·lacions no es compta amb el problema immediat de la contaminació de l'entorn proper. També cal tenir present l'obtenció d'un possible subproducte que, com en altres disciplines, és susceptible a ser destinat a algun procés de valorització extraient-ne així un possible benefici.

Per tant, és necessari emprendre un seguit de mesures sobre la producció aqüícola que siguin alhora tècnicament apropiades, econòmicament viables i socialment acceptades (Borja, 2002). L'objectiu d'aquestes hauria de ser el respecte i la conservació del medi ambient, realitzant accions que tendeixin a minimitzar els possibles impactes negatius que es deriven de la seva



activitat. Per això s'han d'elaborar un seguit de bones pràctiques que s'han de complir. Per elaborar-les és necessari tenir un bon coneixement del que succeeix a les instal·lacions i saber com això pot afectar a l'entorn. D'aquesta manera s'evitarà la creació de conflictes amb la resta d'activitats amb les quals interacciona.

1.3. Biosòlids i problemàtica

En l'apartat anterior s'ha abordat, en l'àmbit de l'aqüicultura, la generació de residus, els problemes que pot ocasionar i els impactes ambientals que se'n poden derivar des del punt de vista més general. Aquest treball però, centrarà la seva atenció en una part específica d'aquests residus, els biosòlids.

Els biosòlids generats en els tancs aquícoles tenen el seu origen, entre d'altres, en els aliments no consumits i els excrements dels peixos (Bergheim i Asgard, 1996; IDEQ, 1998; Cripps i Bergheim, 2000). Es pot veure doncs, que els biosòlids produïts a l'aqüicultura són bàsicament les femtes dels peixos, les restes d'aliment no consumit i altres partícules d'origen biològic presents a les instal·lacions.

Actualment, degut a la millora en els sistemes d'alimentació, la carrega sòlida d'una instal·lació aquícola moderna es compon bàsicament d'excrements i, en menor mesura, d'aliments no consumits (Summerfelt, 1999). Per tant, si la gestió de l'alimentació és correcta, la majoria dels biosòlids d'aquestes instal·lacions estan constituïts per les femtes dels peixos (Franco-Nava *et al*, 2004).

Tot i això, cal tenir presents i aplicar un seguit d'estratègies per reduir la producció de biosòlids, aquestes poden ser:

- Reduir la quantitat de biosòlids generats in situ (per exemple mitjançant l'optimització en la conversió d'aliment) (Cho i Dureau, 1997).
- Tractar els efluents per tal d'eliminar els residus abans d'abocar-los al medi ambient (per exemple a través de l'eliminació de partícules) (Bergheim i Brinker, 2003; Boyd, 2003; Davenport *et al*, 2003).

Generalment els biosòlids s'agrupen formant agregats de partícules i/o microflòculs, els quals sovint es veuen sotmesos a processos d'agregació i disgregació al llarg del temps, fet que provoca la modificació de les seves característiques físiques (Masaló *et al*, 2008).

És difícil definir unes característiques generals dels biosòlids procedents de l'aqüicultura, degut a que factors com l'espècie de peix produïda, la mida d'aquest, la dieta escollida, les estratègies d'alimentació adoptades i la relació d'hores de llum i foscor fan que aquestes puguin variar considerablement (Masaló, 2008).

Els biosòlids poden sedimentar, acumular-se i romandre en repòs al fons dels sistemes de cultiu en forma de lixiviats, formant d'aquesta manera una biopel·lícula. La resistència a la



resuspensió d'aquesta augmenta com a conseqüència de la seva consolidació al fons del tanc (Mehta *et al*, 2003) o per fenòmens de bioestabilització (Droppo *et al*, 2007).

Tenint en compte la importància que assoleix el medi de cultiu en l'aqüicultura, la formació d'aquesta biopel·lícula possibilita l'aparició d'un seguit de conseqüències negatives en les unitats de producció. Conseqüències com:

- Augment dels compostos nitrogenats causats per l'aparició de microorganismes nitrificadors.
- Aparició de patògens degut a la falta d'higiene.
- Disminució de l'oxigen per l'aparició dels microorganismes esmentats.
- Disminució de la qualitat de l'aigua que afecta al creixement i el benestar dels peixos.

Per tant, la resuspensió i posterior eliminació d'aquests biosòlids constitueix un procés cabdal en el tractament de l'aigua en les instal·lacions d'aqüicultura, sobretot en instal·lacions on hi ha recirculació. No obstant, l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació és especialment complex a causa de les propietats cohesives dels biosòlids (Masaló *et al*, 2008).

Si els biosòlids es mantenen en la columna d'aigua o bé es tornen a resuspendre del fons del tanc, es possible eliminar-los a través de la circulació d'aigua i a continuació separar-los per processos de filtració o sedimentació (Cripps i Bergheim, 2000).

El nivell de turbulència present en el tanc determina que els biosòlids es mantinguin en la columna d'aigua o pel contrari sedimentin. L'activitat natatòria dels peixos i el disseny del tanc (geometria i condicions d'entrada, Oca *et al*, 2004) són els principals factors que condicionen el patró de flux i que introdueixen turbulència en els tancs. La turbulència generada per l'activitat natatòria dels peixos té una gran importància en la hidrodinàmica dels tancs, especialment en sistemes intensius, on és comú trobar altes densitats de peix (Masaló *et al*, 2008).

Tot i que la turbulència és necessària per mantenir els biosòlids en la columna d'aigua, evitant així que aquests sedimentin i es dipositin al fons dels tancs, un excés de turbulència pot ser negatiu alhora d'eliminar-los. Com s'ha vist anteriorment els biosòlids poden agregar-se i disgregar-se. Si el moviment del fluid és massa enèrgic, aquest pot causar la ruptura dels biosòlids provocant que aquests es disgreguin en partícules més petites. Aquest procés de destrucció dificulta el procés d'eliminació ja que les partícules potencialment sedimentables es dissolen en la columna d'aigua reduint d'aquesta manera el rendiment dels tractaments d'eliminació.



1.3.1. Graella oscil·lant en l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació

L'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació de biosòlids aquícoles s'ha fet a través de diversos mètodes, com per exemple, la graella oscil·lant. Aquesta consisteix en una malla que es fa oscil·lar verticalment a l'interior d'un recipient generant d'aquesta manera una turbulència coneguda.

La graella oscil·lant és un aparell que permet estudiar i avaluar les dinàmiques que segueixen els processos de resuspensió i sedimentació de diversos materials. En aquest sentit ha estat un aparell utilitzat en l'estudi de diversos processos ambientals, ja que permet analitzar fàcil i ràpidament el comportament de diversos materials.

En aquicultura l'ús de la graella oscil·lant podria ser interessant ja que aquesta es presentaria com una eina útil a l'hora d'entendre i comprendre la dinàmica que segueixen els biosòlids generats a les instal·lacions. Degut a que la graella permet determinar la turbulència necessària per resuspendre i sedimentar els biosòlids, aquesta facilitaria, d'una banda, l'estudi dels efectes de la turbulència generada pels peixos; i per l'altra, l'estudi i el disseny d'estratègies per millorar l'auto neteja dels tancs (Masaló *et al*, 2008), ja que seria possible conèixer la turbulència necessària per mantenir els biosòlids a la columna d'aigua i també la turbulència a la qual es disgreguen aquests.



2. Objectius

Aquest treball pretén aportar informació per facilitar la comprensió del comportament dels biosòlids presents en les instal·lacions aquícoles, ja que aquests constitueixen una part important dels residus generats en l'aqüicultura.

Com en l'experiència anterior a aquest treball, s'utilitzà la graella oscil·lant per generar diferents nivells de turbulència i així poder estudiar les dinàmiques de resuspensió i sedimentació de diferents biosòlids. En aquest cas però, el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua es quantificava a través de l'anàlisi d'imatges enlloc de la terbolesa, ja que es va veure que aquest mètode tenia una limitació: el volum d'aigua es va reduint com a conseqüència del volum requerit per determinar la terbolesa.

L'objectiu principal plantejat en aquest treball va ser:

Caracteritzar biosòlids aquícoles a través de l'anàlisi d'imatges, determinant la turbulència necessària perquè aquests es resuspenguin.

A part de l'objectiu principal, altres objectius proposats varen ser:

- Determinar l'efecte de consolidació que es pot donar en els biosòlids.
- Caracteritzar la diferència entre biosòlids de peixos de diferents mides.
- Contrastar el nou mètode (anàlisi d'imatges) amb el mètode anterior (lectura de la terbolesa).



3. Material i mètodes

Els experiments realitzats en aquest treball es van dur a terme en el laboratori d'enginyeria de fluids i en el laboratori de peixos del grup de recerca AQUAL (Aqüicultura i Qualitat dels Productes Aquàtics) a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB).

3.1. Graella oscil·lant

Com s'ha vist anteriorment en la introducció, la graella oscil·lant consisteix en una malla que es fa oscil·lar verticalment a l'interior d'un recipient generant d'aquesta manera una turbulència coneguda.

Una manera d'expressar la turbulència és en termes de velocitat, aquesta es pot determinar empíricament a través dels quadrats de les velocitats mitjanes (RMS, de l'anglès Root Mean Square). L'RMS (eq. 1) és doncs una mesura estadística de la fluctuació de la velocitat.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_{ave})^2}{n}} \quad (eq.1)$$

On v_i és la mesura de la velocitat instantània, on v_{ave} és la velocitat mitjana del flux i n és el nombre de mesures de la velocitat instantània. L'RMS s'expressa en unitats de velocitat (cm/s).

La turbulència introduïda al recipient varia en funció de la freqüència d'oscil·lació de la graella (f), l'amplitud d'oscil·lació (S), la distància entre la graella i els biosòlids (z) i l'obertura de la malla de la graella (M). Hopfinger i Toly (1976) van descriure una equació empírica que relacionava l'RMS amb els paràmetres anteriors (eq. 2).

$$RMS = C \cdot M^{0,5} \cdot S^{1,5} \cdot f \cdot z^{-1} \quad (eq.2)$$

On C és una constant experimental que depèn de les característiques de la graella.

La graella oscil·lant que es va utilitzar en aquest treball tenia unes dimensions de 10.5x10.5 cm de costat i una obertura de malla de 1,2 cm (M) (Figura 1; Figura 2). Aquesta graella en concret havia estat caracteritzada prèviament per Masaló *et al* (2008) determinant que tenia una constant C de 0.253.

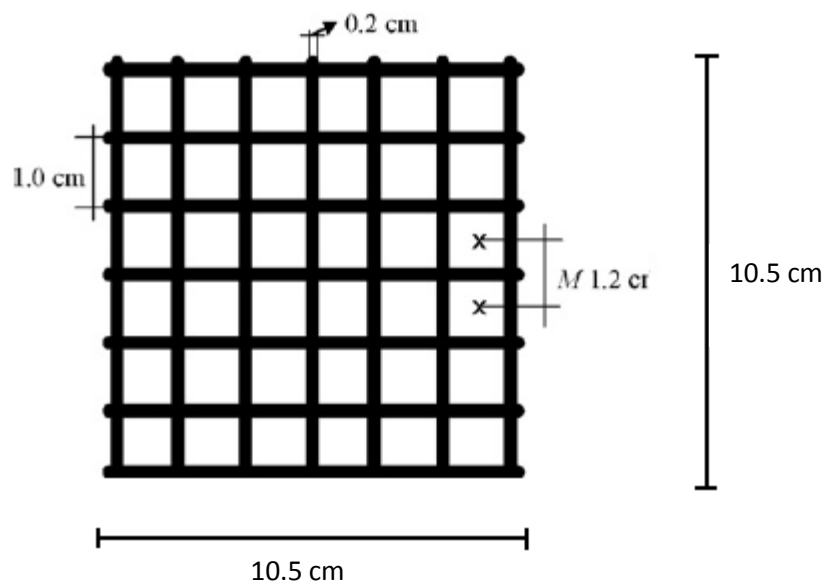


Figura 1. Esquema amb les dimensions de la graella utilitzada en aquest treball. On M és la obertura de la malla de la graella.



Figura 2. Imatge de la graella i el recipient utilitzats en aquest treball.

3.2. Biosòlids

Els biosòlids utilitzats en aquest treball provenien d'una instal·lació experimental de peixos. Es tracta d'una instal·lació petita on s'opera amb un sistema de circuit tancat recirculant la majoria de l'aigua utilitzada. Aquesta està formada per un conjunt d'unitats de producció, un mòdul de filtració i un sistema de canonades.

El mòdul de filtració, que equival al sistema de tractament d'aigua, compta amb:

- Un filtre de sorra, que al mateix temps actua també com a biofiltre. Aquest compta amb un seguit de vàlvules que permeten realitzar-ne una neteja.
- Un bescanviador de calor amb tractament ultravioleta (FC/UV).
- Un tanc d'expansió que té la funció de reservori.

El sistema de canonades consta d'una xarxa d'alimentació que transporta l'aigua des de la bomba al sistema de tractament i als tancs, i una xarxa col·lectora que transporta l'aigua dels tancs al tanc d'expansió i d'aquí s'envia a la bomba. Des de la bomba l'aigua és impulsada de nou al sistema de tractament i als tancs completant així la recirculació.

Les unitats de producció són els tancs que contenen l'aigua i els peixos, el conjunt d'aquestes està formada per:


- 4 tancs circulars de 1 m de diàmetre.
- 1 tanc circular de 1.5 m de diàmetre.
- 2 tancs tipus raceways de 4 m de longitud i 0.4 m d'amplada.
- 1 tanc multivortex de 4 m de longitud i 1 m d'amplada.

En el moment en el que es va dur a terme aquest treball la instal·lació acollia un cultiu de llobarro (*Dicentrarchus labrax*) amb diferents mides de peix segons el tanc en que es trobessin.

Per una banda es van obtenir mostres del tanc multivortex que contenia aproximadament uns 106 peixos de mida petita, amb una longitud total i un pes promig de 15.5 ± 1.2 cm i 50.4 ± 11.8 g respectivament. Les altres mostres es van agafar d'un tanc circular amb peixos d'una mida més gran, en total hi havia 14 peixos amb una longitud total i un pes promig de 23.4 ± 1.1 cm i 175.4 ± 25.2 g respectivament (Taula 1). Les dades es van obtenir d'una biometria realitzada amb els peixos que hi havia a la instal·lació.

Taula 1. Resum dels resultats obtinguts de la biometria realitzada en els llobarros dels tancs multivortex i circular dels quals es van obtenir mostres per dur a terme els experiments.

Tanc	Pes promig (g)	Longitud total (cm)	Volum tanc (m ³)	Densitat del tanc (kg/m ³)
Multivortex	50.4	15.5	0.56	9.5
Circular	175.4	23.4	0.2	12.5



La dieta dels peixos variava en funció de la mida d'aquests, per tant, els peixos del tanc multivortex s'alimentaven amb un pinso diferent del que rebien els peixos del tanc circular (Taula 2)

Taula 2. Informació nutricional del pinso amb el qual s'alimentaven el peixos del tanc multivortex i els peixos del tanc circular.

	Pinso dels peixos del tanc multivortex	Pinso dels peixos del tanc circular
Proteïna bruta (%)	57	43
Olis i greixos bruts (%)	18	20
Cendres brutes (%)	10.5	6.5
Fibra bruta (cel·lulosa) (%)	1.3	3.5
Fòsfor (%)	1.7	0.9

Les mostres utilitzades en els experiments es van obtenir manualment, es va procurar que la recollida fos el més delicada possible per tal de que els biosòlids patissin la mínima pertorbació. D'aquesta manera es va assegurar l'obtenció de mostres inalterades, aquestes bàsicament es composaven de femtes (partícules fecals) íntegres ja que no s'hi apreciaven partícules de pinso.

Els biosòlids es recol·lectaven del fons dels tancs sifonant-los amb un tub de plàstic d'uns 0.5 mm de diàmetre. Aquests anaven a parar immediatament a un recipient que es feia servir per dur a terme els experiments. El recipient emprat era de metacrilat, de geometria prismàtica i amb unes dimensions interiors de 11 x 11cm pel que fa a la base, i una alçada de 25,5 cm. Les parets tenien un gruix d'1 cm. L'aigua, que es recollia conjuntament amb les mostres, assolia a l'interior del recipient una alçada de 8,5 cm, el que equival a uns aproximadament 1030 cm³. Els biosòlids no ocupaven totalment el fons del recipient, aquests no superaven els 0.1 cm d'alçada del fons.

3.3. Imatges

Les imatges es van prendre amb una càmera fotogràfica de la marca Sony, model HDR-CX550VE. Aquesta es va configurar manualment de tal manera que interferís el mínim possible en la captura de les imatges.

Per fer les fotografies era necessari crear un ambient exempt de llum, per això els experiments es van dur a terme en una cabina formada per tres parets de fusta amb una entrada oberta. Aquest habitatge estava totalment envoltat d'una tela negra i opaca per tal de garantir la creació d'un espai el més fosc possible al seu interior (Figura 3).



Figura 3. Imatge de la cabina on es van dur a terme els experiments realitzats en aquest treball. També s'hi poden observar el làser, el recipient amb la graella i el motor elèctric.

A l'interior de la cabina es col·locava un làser de la marca Black & Decker, model LZR4. Aquest projectava un feix horitzontal de llum vermella que travessava el recipient que contenia els biosòlids, creant així un pla de llum a l'interior del recipient (Figura 4).



Figura 4. Imatge del feix de llum emès pel làser. La línia gris en cursiva marca el contorn del recipient.

3.4. Experiments

Amb la intenció de validar els objectius del treball es van dissenyar i realitzar dos experiments diferents:

- Experiment 1: Estudi de dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de la seva recol·lecció

En aquest primer cas es volien avaluar la resistència a la resuspensió i els efectes de la consolidació que es poden donar en els biosòlids inicialment inalterats. Per això es va dur a terme, immediatament després de la recol·lecció de les mostres (Temps de consolidació 0 h, TC_0) l'estudi d'un primer procés de resuspensió (R_1) seguit d'una posterior sedimentació (S_1). Es va efectuar un segon procés, amb la mateixa mostra, al cap de 48 hores (Temps de consolidació 48 h, TC_{48} ; segona resuspensió (R_2) i segona sedimentació (S_2)). Els biosòlids utilitzats en aquest experiment provenien de peixos del tanc multivortex (Pes promig aproximat de 50 g, X_{50}) i de peixos del tanc circular (Pes promig aproximat de 175 g, X_{175}) (Taula 3).

Taula 3. Processos realitzats en l'experiment 1, segons el tipus de mostra, el numero de processos i el temps de consolidació. On R: resuspensió, S: sedimentació i TC: temps de consolidació.

Experiment 1				
Mostra	Procés		Temps de consolidació (h)	Nomenclatura
Peixos 50.4 ± 11.8 g	Resuspensió + Sedimentació	1r	0	R ₁ S ₁ TC ₀₋₅₀
	Resuspensió + Sedimentació	2n	48	R ₂ S ₂ TC ₄₈₋₅₀
Peixos 175.4 ± 25.2 g	Resuspensió + Sedimentació	1r	0	R ₁ S ₁ TC ₀₋₁₇₅
	Resuspensió + Sedimentació	2n	48	R ₂ S ₂ TC ₄₈₋₁₇₅

- Experiment 2: Estudi d'un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de 24 hores de la seva recol·lecció

En aquest segon experiment es volien avaluar la resistència a la resuspensió i els efectes de consolidació que es poden donar en biosòlids inalterats, que ja portaven un temps en repòs i que no havien patit un procés previ. Per això es va realitzar l'estudi d'un procés de resuspensió (R₁) seguit d'una posterior sedimentació (S₁) amb mostres recol·lectades 24 hores abans (Temps de consolidació 24 h, TC₂₄). En aquest segon cas no es va realitzar cap repetició posterior del mateix procés. Com en el cas anterior els biosòlids utilitzats provenien de peixos del tanc multivortex (Pes promig aproximat de 50 g, X₅₀) i de peixos del tanc circular (Pes promig aproximat de 175 g, X₁₇₅) (Taula 4).

Taula 4. Processos realitzats en l'experiment 2, segons el tipus de mostra, el numero de processos i el temps de consolidació. On R: resuspensió, S: sedimentació i TC: temps de consolidació.

Experiment 2				
Mostra	Procés		Temps de consolidació (h)	Nomenclatura
Peixos 50.4 ± 11.8 g	Resuspensió + Sedimentació	1r	24	R ₁ S ₁ TC ₂₄₋₅₀
Peixos 175.4 ± 25.2 g	Resuspensió + Sedimentació	1r	24	R ₁ S ₁ TC ₂₄₋₁₇₅

Tant en l'experiment 1 com en l'experiment 2 es van realitzar dues repeticions de cada procés.

Comparant els resultats obtinguts dels experiments anteriors es volien avaluar les possibles diferències existents entre biosòlids provinents de peixos de diferents mides.



3.5. Protocol establert

El protocol que es va seguir a l'hora d'efectuar els experiments va ser:

Abans de començar els experiments era necessari recollir les mostres que posteriorment es farien servir per la seva realització. Com s'ha explicat en l'apartat 3.2, les mostres es van obtenir manualment i es van col·locar, amb la mínima alteració, a l'interior d'un recipient.

Un cop es tenien les mostres en el recipient es procedia a realitzar els experiments. En aquest moment s'introduïa la graella a l'interior del recipient, aquesta es va col·locar a una alçada de 2.4 cm (z) per sobre dels biosòlids i es va fer oscil·lar amb una amplitud de 2 cm (S).

Durant la realització dels experiments, a cada nivell de turbulència, es prenen diverses fotografies que posteriorment es tractaven i s'analitzaven. Inicialment, abans de posar el motor en marxa i començar a generar la turbulència a l'interior del recipient, es feien tres fotografies que corresponien a:

- Blanc amb claror: Imatge, amb llum, del recipient amb la graella oscil·lant i els biosòlids al fons. Aquesta imatge es feia servir per delimitar l'espai analitzat.
- Blanc amb claror i una mesura coneguda: És la mateixa imatge que l'anterior però aquesta contenia un objecte de mida coneguda. Aquesta imatge s'utilitzava per poder realitzar un anàlisi més exacte.
- Blanc amb foscor: Imatge, sense llum, del recipient amb la graella oscil·lant i els biosòlids al fons. Per aquesta imatge s'encenia el làser i s'obtenia una imatge control que corresponia al blanc, ja que en aquesta encara no s'havia resuspès cap biosòlid (RMS = 0).

Després d'aquestes tres fotografies es posava en marxa el motor i s'augmentava progressivament la freqüència d'oscil·lació en uns intervals de temps determinats.

El feix de llum emès pel làser es va col·locar a uns 5,5 cm per sobre dels biosòlids. A aquesta alçada el pla de llum generat no quedava molt allunyat de la posició més alta a la qual oscil·lava la graella, d'aquesta manera les partícules a la columna d'aigua travessaven el pla de llum generat.

En la resuspensió es partia del repòs i s'anava augmentant gradualment la velocitat de rotació, augmentant així la turbulència a l'interior del recipient, fins arribar a 360 rpm (revolucions per minut), que corresponia a la màxima velocitat que permetia assumir el motor. Per la resuspensió es van utilitzar els RMS de la Taula 5.

Taula 5. Relació entre RMS i rpm utilitzades en el procés de resuspensió.

RMS (cm/s)	rpm
0	0
0.675	124
0.898	165
1.121	206
1.328	244
1.551	285
1.724	320
1.960	360

A cada RMS s'efectuaven tres fotografies amb una freqüència d'aproximadament 15 segons entre elles. Entre dos nivells de turbulència consecutius, i durant els processos de resuspensió, es deixava un període de 20 minuts abans de tornar a agafar imatges, ja que 20 minuts és el temps necessari per assolir el règim permanent (Cheng i Law, 2001).

Els nivells de turbulència anteriors es van agafar com a referència per dos motius; primer perquè va ser una manera d'establir un procediment per tots els experiments, i segon perquè es va veure, en experiments anteriors que no es detallen en aquest treball, que amb diferències de RMS més petites no s'apreciaven canvis en la quantitat de biosòlids resuspesos.


Un cop s'assolia la màxima turbulència, i ja havien transcorregut els 20 minuts, es prenen les 3 fotografies i s'iniciava el procés de sedimentació. En aquest cas es partia de la màxima freqüència d'oscil·lació i s'efectuaven dues disminucions d'aquesta, disminuint així la turbulència a l'interior del recipient per tal de poder observar si es detectava el fenomen d'histèresi descrit per Masaló *et al* (2008). En la sedimentació es van utilitzar els RMS de la Taula 6.

Taula 6. Relació entre RMS i rpm utilitzades en el procés de sedimentació.

RMS (cm/s)	rpm
1.551	285
0.898	165
0	0

Com abans a cada RMS s'efectuaven tres fotografies amb una freqüència d'aproximadament 15 segons entre elles. En la sedimentació es va deixar un període de 30 minuts entre nivell dos nivells de turbulència (Masaló *et al*, 2008). Com en el cas anterior, el criteri seguit alhora de determinar la variació entre els nivells de turbulència va ser establir una pauta per la resta d'experiments, i agafar dues velocitats suficientment allunyades entre elles.

Un cop finalitzades la resuspensió i la sedimentació es parava el motor elèctric, es deixaven passar 30 minuts i es prenen 3 fotografies més, que corresponien a les imatges de RMS igual a 0.



Llavors s'extreien les imatges de la càmera fotogràfica i es passaven a l'ordinador per prosseguir amb el tractament i anàlisi d'aquestes (Annex 1).

Finalment, com s'ha explicat en l'apartat 3.3, si es tractava de mostra recollida per dur a terme un experiment amb un segon procés de resuspensió i sedimentació (experiment 1), es deixaven els biosòlids en el recipient durant 48 hores abans d'efectuar el segon procés (R₂S₂TC₄₈).

3.6. Tractament d'imatges

Després de realitzar el procediment descrit en l'apartat 3.5, s'obtenien en total unes 33 imatges per experiment.

Pel tractament de les imatges capturades es va emprar el programari informàtic Image J. Es tracta d'un software lliure molt polivalent que permet treballar amb diferents resolucions, 8, 16 i 32 bits, i formats, TIFF, GIF, JPEG, etc., d'imatges. També permet realitzar diverses operacions, amb diferents graus de complexitat, com per exemple editar, analitzar, processar, etc.

Per tractar les imatges es van emprar tres tractaments diferents (Taula 7): l'estudi de l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal (tractament 1), la mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades (tractament 2) i el comptatge de partícules (tractament 3).

Taula 7. Tractaments emprats en l'anàlisi de les imatges.

Tractament 1	Estudi de l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal
Tractament 2	Mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades
Tractament 3	Comptatge de partícules

3.7. Tractament de dades

Es van obtenir imatges dels experiments 1 i 2. D'aquestes imatges es van obtenir dades per cada tractament realitzat (Figura 5).

Les dades es van obtenir directament del programa Image J i es van tractar i analitzar amb un full de càlcul Excel (Microsoft Office , 2007).

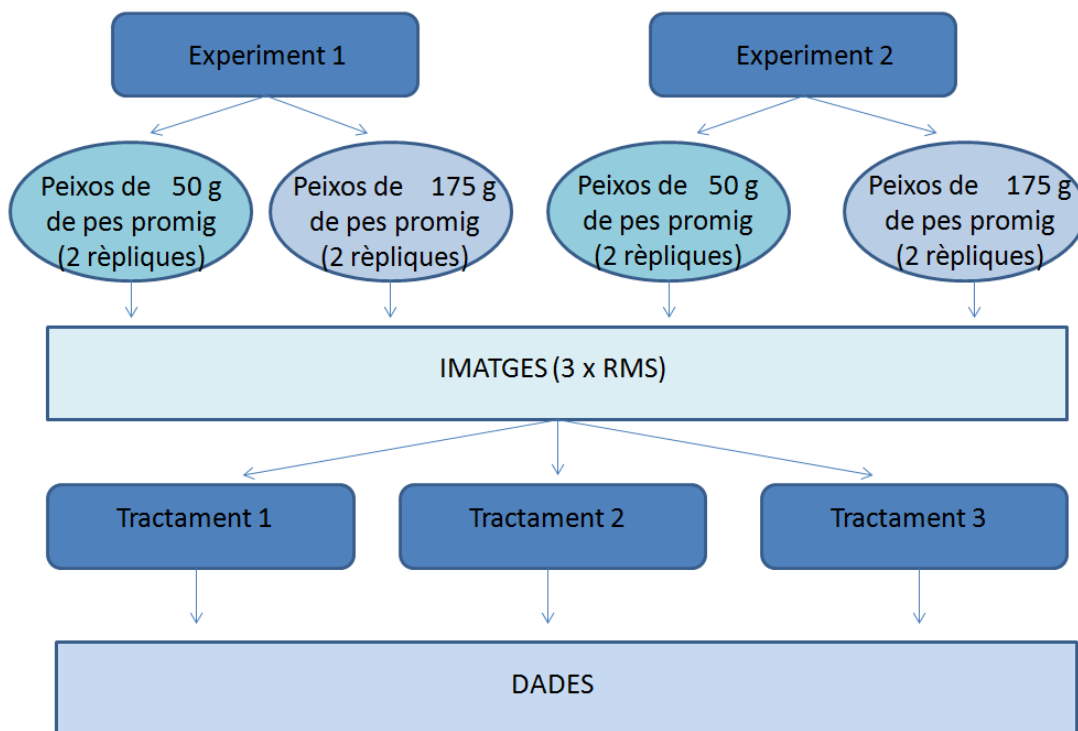


Figura 5. Esquema resum on es mostra l'obtenció de dades dels experiments realitzats. Aquestes es van obtenir després de tractar les imatges capturades als experiments 1 i 2 amb els tractaments 1,2 i 3.

El percentatge de resuspensió, el percentatge d'intensitat mitjana i el numero de partícules comptades prové de la mitjana de les tres imatges capturades a cada nivell de turbulència.

Els resultats dels experiments 1 i 2, pels tractaments 1 i 2, estan expressats com la mitjana de les dues rèpliques més menys la desviació estàndard. Els resultats dels experiments 1 i 2 pel tractament 3 estan expressats com la mitjana de les dues rèpliques.

3.7.1. Tractament 1

L'objectiu del tractament 1 era determinar si la intensitat del color vermell s'atenuava a mesura que la turbulència introduïda a l'interior del recipient augmentava.

Per això, i suposant una distribució uniforme dels biosòlids resuspesos, l'atenuació de la intensitat del color vermell per unitat de longitud al llarg de l'eix analitzat (dI/dx) hauria de ser proporcional a la intensitat del color vermell (I) i a la concentració de biosòlids resuspesos (C) (eq. 3).

$$\frac{dI}{I} = -k \cdot C \cdot dx \quad (eq. 3)$$

Integrant la variable intensitat de l'equació 3 s'obté:

$$I = b \cdot e^{(-k \cdot C)x} \quad (eq. 4)$$

On b i k són constants


Com es pot observar en l'equació anterior, la intensitat segueix una cinètica exponencial decreixent. El valor del producte $k \cdot C$ s'obté de l'ajust exponencial del perfil d'intensitats obtingut al llarg de l'eix analitzat. Aquest valor es va utilitzar per obtenir el percentatge de biosòlids resuspesos a la columna d'aigua a cada nivell de turbulència (RMS) emprat en els experiments (eq.5).

$$\% \text{ Resuspensió} = \frac{(k \cdot C)_i}{(k \cdot C)_{\text{màx}}} \cdot 100 \quad (eq. 5)$$

On $(k \cdot C)_i$ i $(k \cdot C)_{\text{màx}}$ són els valors de l'exponent $k \cdot C$ a un valor d'RMS determinat i al 100% de resuspensió respectivament. El 100% de resuspensió es va determinar a partir del tractament i l'anàlisi de les dades.

3.7.2. Tractament 2

L'objectiu del tractament 2 era determinar si la intensitat mitjana del color vermell augmentava a mesura que la turbulència introduïda a l'interior del recipient augmentava. Al mateix temps es va voler contrastar el tractament 2 amb el tractament 1, per tal de determinar si els resultats obtinguts en aquests eren similars o no.



Suposant una distribució uniforme dels biosòlids resuspesos, el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua (eq.6) a cada valor d'RMS emprats en els experiments es va determinar de la diferència entre la intensitat mitjana de l'àrea situada al davant del recipient menys la intensitat mitjana de l'àrea situada al darrera del recipient (Annex 1).

$$\% \text{ Intensitat mitjana} = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \cdot 100 \quad (\text{eq.6})$$

On I_i , I_{\max} i I_{\min} són els valors de la intensitat mitjana a un valor d'RMS determinat, al 100% de resuspensió (màxim RMS) i a RMS 0 respectivament. En aquest tractament es van aplicar uns valors de I_{\max} i I_{\min} diferents en la resuspensió i en la sedimentació. En cada cas es va utilitzar el valor de I_{\max} i I_{\min} corresponent.

3.7.3. Tractament 3

L'objectiu del tractament 3 era comptar les partícules fecals que s'anaven resuspenent i travessaven el feix de llum emès pel làser; així com determinar el moment en el qual es començaven a disgregar-se.

Per calcular el nombre de biosòlids resuspesos no es va emprar cap formula, aquest nombre era senzillament el nombre de biosòlids presents en la imatge i alhora comptats pel programa Image J.

4. Resultats

4.1. Validació del nou mètode (anàlisi d'imatges)

Per tal de validar l'anàlisi d'imatges com a mètode per estudiar els processos de resuspensió i sedimentació de biosòlids aquícoles, es va realitzar un primer pas que va consistir en contrastar els resultats obtinguts en aquest treball amb resultats obtinguts amb la metodologia anterior, on el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua es determinava a través de la lectura de la terbolesa d'una mostra. Per tant, es van comparar els resultats de l'estudi de l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal (tractament 1) i la mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades (tractament 2) amb la lectura de la terbolesa.

Es va realitzar un procés de resuspensió, seguint el protocol establert en aquest treball, utilitzant diferents nivells de turbulència (0, 0.746, 1.317 i 1.987 cm/s). A cada nivell de turbulència es van extreure 5 ml de mostra i se'n va llegir la terbolesa amb un fotòmetre (YSI9500).

A les dades obtingudes del programa Image J se'ls va aplicar el tractament 1 i 2, descrits en el punt 3.7 (eq.5 i eq.6 respectivament). El percentatge de biosòlids a la columna d'aigua obtingut de les lectures de la terbolesa es va calcular amb la següent equació (eq. 7):

$$\% \text{ Resuspensió} = \frac{FTU_i - FTU_{\text{mín}}}{FTU_{\text{màx}} - FTU_{\text{mín}}} \cdot 100 \quad (\text{eq.7})$$

On FTU_i , $FTU_{\text{màx}}$ i $FTU_{\text{mín}}$ són els valors de la lectura de la terbolesa a un valor d'RMS determinat, al 100% de resuspensió i a RMS 0 respectivament. El 100% de resuspensió es va determinar a partir del tractament i l'anàlisi de les dades.

Es van confrontar en un gràfic les dades obtingudes anteriorment. En l'eix d'ordenades es van col·locar les dades del % de resuspensió obtingudes del tractament 1 i 2 (Figures 6 i 7) respectivament, en l'eix d'abscisses hi han les dades obtingudes de la lectura de la terbolesa.

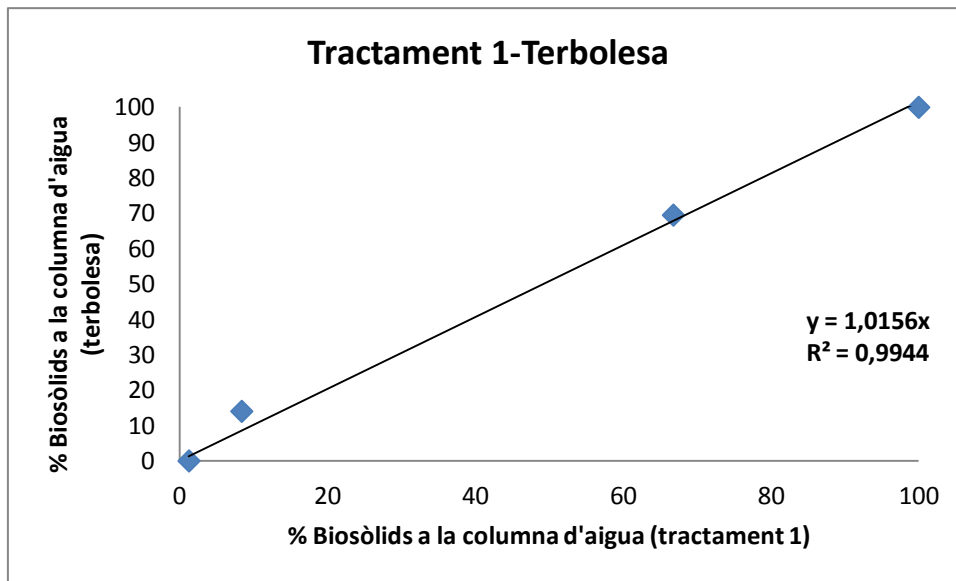


Figura 6. Correlació entre el percentatge de biosòlids presents a la columna d'aigua quantificats mitjançant el tractament 1 (atenuació de la intensitat del color vermell a través d'un eix transversal) i mitjançant la terbolesa de la mostra extreta.

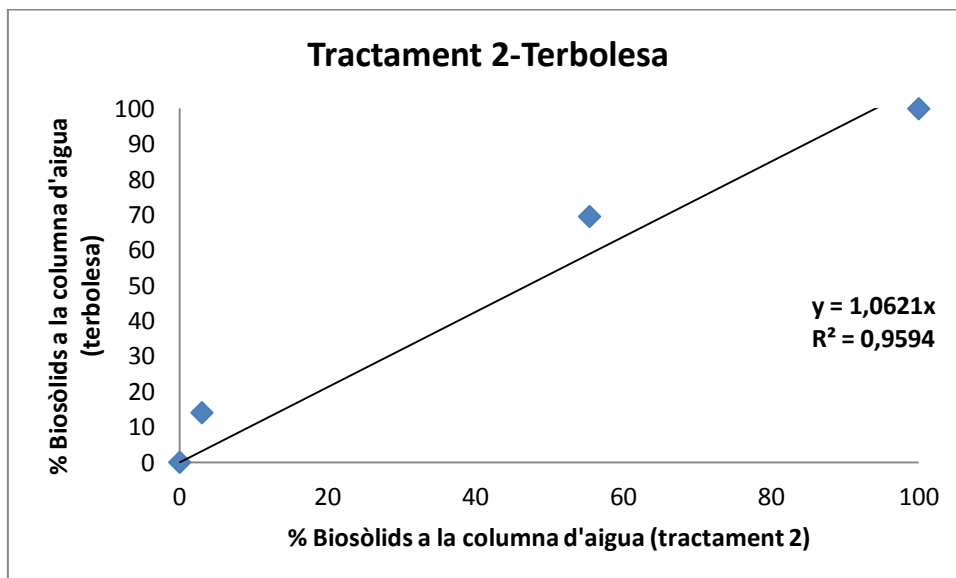


Figura 7. Correlació entre el percentatge de biosòlids presents a la columna d'aigua quantificats mitjançant el tractament 2 (mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades) i mitjançant la terbolesa de la mostra extreta.

Els resultats obtinguts en les figures anteriors mostren que els coeficients de correlació procedents de l'ajust lineal ($R^2=0,9944$) i ($R^2=0,9594$), respectivament, són prou elevats per afirmar que l'anàlisi d'imatges és un mètode vàlid per estudiar els processos de resuspensió i sedimentació seguits pels biosòlids.

Els resultats anteriors concorden amb els resultats descrits per Masaló *et al* (2008), on el percentatge de resuspensió augmentava alhora que també ho feia el valor de la turbulència a l'interior del recipient.

4.2. Validació dels tractament 1 i 2

Un cop validat el mètode i abans de començar a tractar i analitzar les dades, també es va procedir a validar els tractaments 1 i 2. En aquest cas es van elaborar dos gràfics amb les dades de les atenuacions de la intensitat al llarg d'un eix amb tres RMS diferents, pel tractament 1, i amb les dades de les intensitats mitjanes a dues àrees oposades amb tres RMS pel tractament 2 (Figura 8 i Figura 9) respectivament.

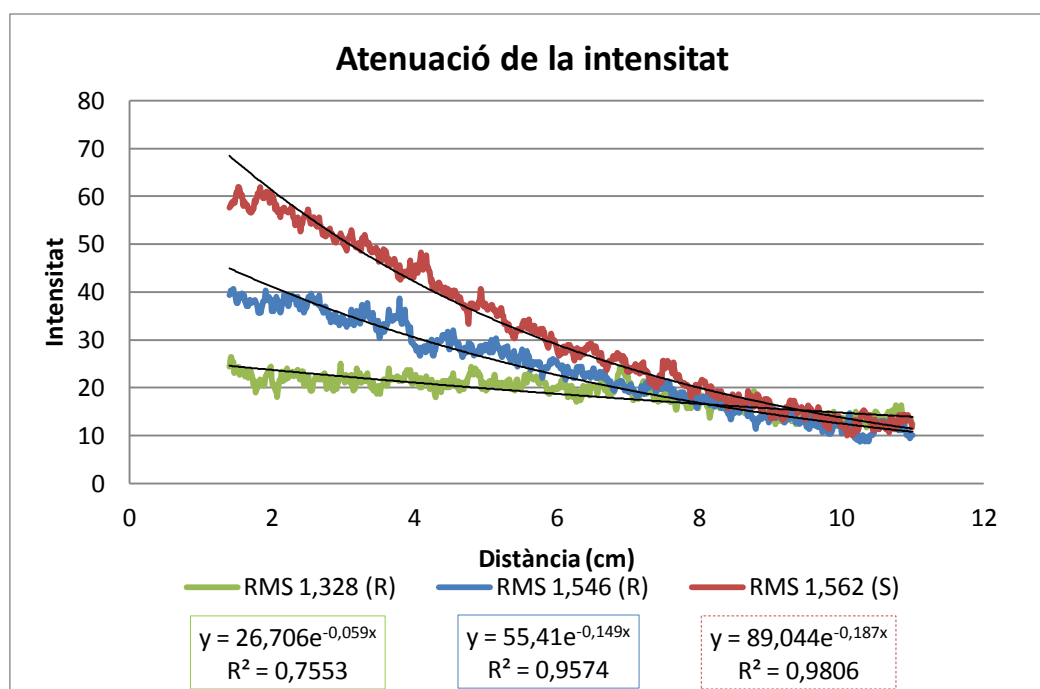


Figura 8. Atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal a tres nivells de turbulència (RMS) diferents. (R) indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, (S) indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

Com es pot comprovar en la Figura 8 hi ha una atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal a mesura que el nivell de turbulència va augmentat, tal i com confirmen els valors dels exponents (-0.059, -0.149 i -0.187 respectivament). Aquest fet indica que amb el tractament 1 es detecta que a nivells de turbulència més elevats l'atenuació de la intensitat del color vermell al recipient també és major. Per tant, a mesura que augmenta la turbulència a l'interior del recipient la quantitat de llum emesa pel làser que arriba al final d'aquest disminueix.

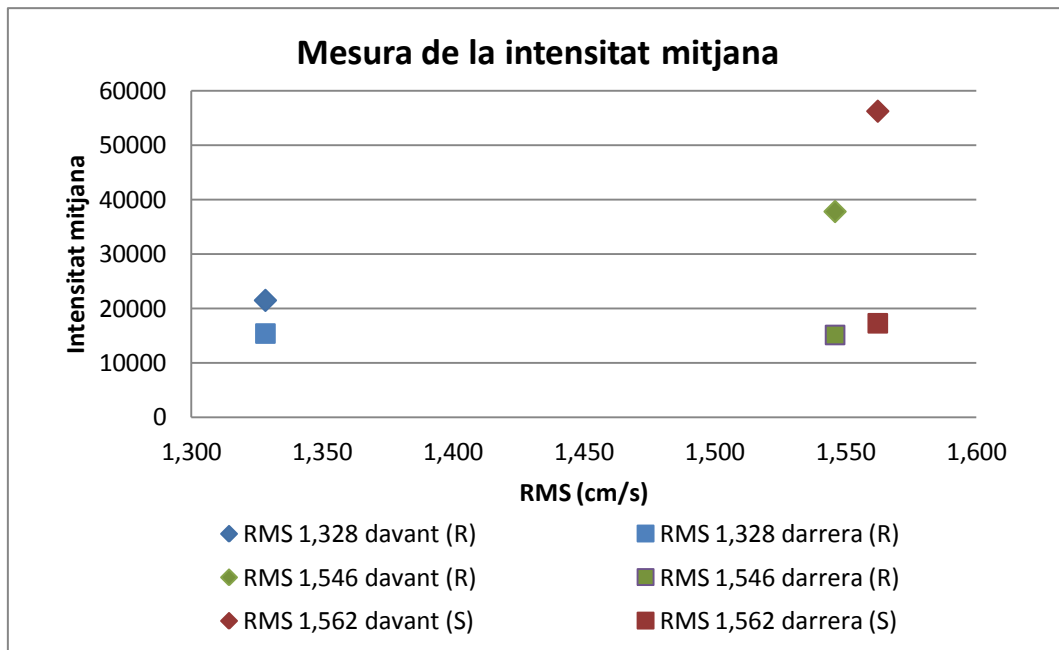


Figura 9. Intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades (davant i darrera) a tres nivells de turbulència (RMS) diferents. (R) indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, (S) indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

En la Figura 9 es pot observar com la diferència entre les intensitats mitjanes a les dues àrees oposades augmenta a mesura que el nivell de turbulència va augmentat. Aquest fet indica que amb el tractament 2 es detecta que a nivells de turbulència més elevats la intensitat del color vermell al davant del recipient és major que al darrera. Com en el cas anterior, a mesura que augmenta la turbulència a l'interior del recipient la quantitat de llum emesa pel làser que arriba al final d'aquest disminueix.

4.3. Estudi dels processos de resuspensió i sedimentació

Es van obtenir resultats dels processos de resuspensió i sedimentació realitzats en els experiments 1 i 2.

4.3.1. Resultats de l'experiment 1: Estudi de dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de la seva recollida

En l'experiment 1 es va realitzar un procés de resuspensió (R_1TC_0) seguit d'un procés de sedimentació (S_1TC_0) immediatament després de la recollida de les mostres (Temps de consolidació 0 h, TC_0). Es va efectuar un segon procés, amb la mateixa mostra, al cap de 48

hores (Temps de consolidació 48 h, TC_{48} ; segona resuspensió (R_2TC_{48}) i segona sedimentació (S_2TC_{48})).

Els biosòlids utilitzats en aquest experiment provenien de peixos amb un pes promig de 50 g (tanc multivortex) i de peixos amb un pes promig de 175 g (tanc circular).

Es van utilitzar el tractament 1 i 2 per estudiar els processos de resuspensió i sedimentació (Figura 10, Figura 11, Figura 12 i Figura 13).

- Tractament 1

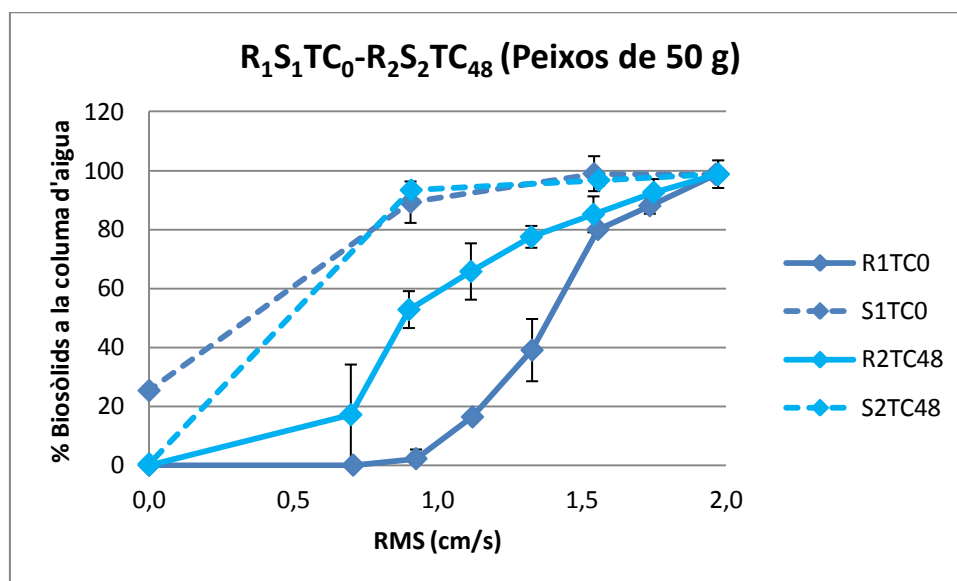


Figura 10. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig. R1TC0 i R2TC48 mostren el primer i el segon procés de resuspensió i S1TC0 i S2TC48 el primer i el segon procés de sedimentació.

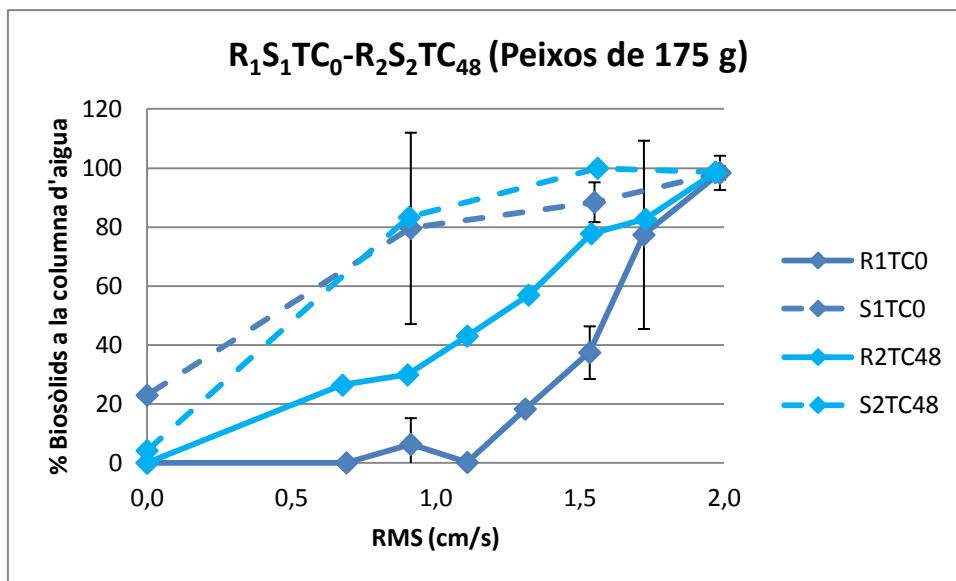


Figura 11. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig. R_1TC_0 i R_2TC_{48} mostren el primer i el segon procés de resuspensió i S_1TC_0 i S_2TC_{48} el primer i el segon procés de sedimentació. Els resultats del segon procés de resuspensió i sedimentació ($R_2S_2TC_{48}$) no estan expressats amb la mitjana de les dues rèpliques per problemes amb la mostra durant la realització d'un dels experiments.

- Tractament 2

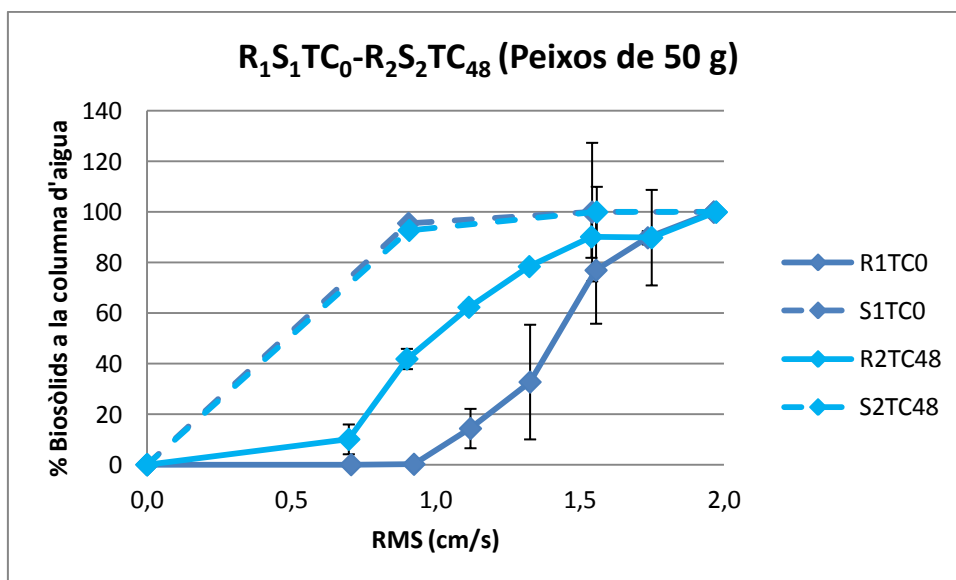


Figura 12. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig. R_1TC_0 i R_2TC_{48} mostren el primer i el segon procés de resuspensió i S_1TC_0 i S_2TC_{48} el primer i el segon procés de sedimentació.

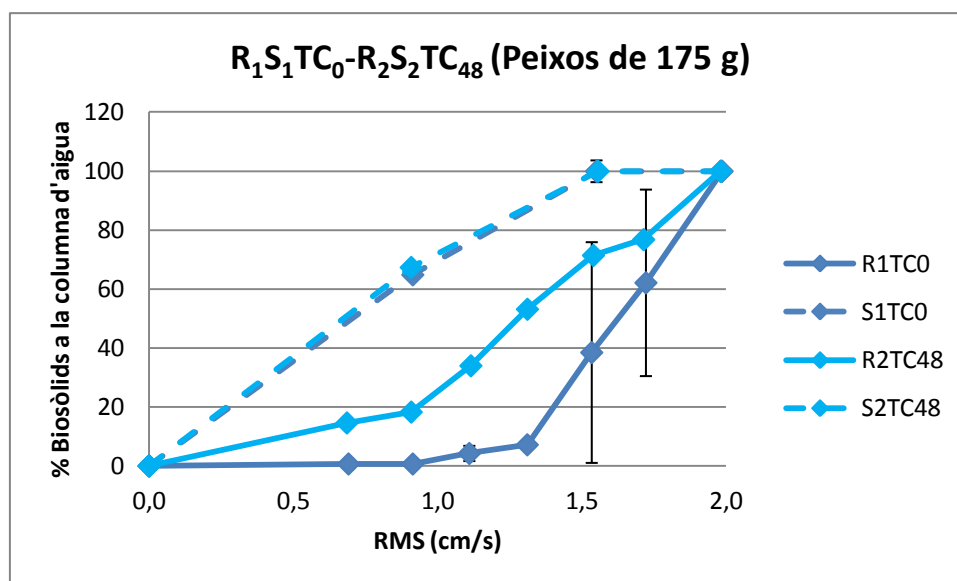


Figura 13. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació ($R_1S_1TC_0$) i en el segon ($R_2S_2TC_{48}$) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig. R_1TC_0 i R_2TC_{48} mostren el primer i el segon procés de resuspensió i S_1TC_0 i S_2TC_{48} el primer i el segon procés de sedimentació. Els resultats del segon procés de resuspensió i sedimentació ($R_2S_2TC_{48}$) no estan expressats com la mitjana de les dues rèpliques per problemes amb la mostra durant la realització d'un dels experiments.

La tendència general observada en l'experiment 1, independentment de la procedència de les mostres i del tipus de tractament, va ser força similar en tots els casos.

El percentatge de biosòlids a la columna d'aigua anava augmentant a mesura que augmentava el valor de la turbulència introduïda al recipient (R_1TC_0 i R_2TC_{48}). En ambdós processos de sedimentació (S_1TC_0 i S_2TC_{48}) el % de biosòlids a la columna d'aigua va disminuir alhora que disminuïa el valor de l'RMS (Figures 10,11,12 i 13).

Els resultats obtinguts en l'experiment 1 mostren que en el primer procés de resuspensió (R_1TC_0) el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua va ser menor que en el segon (R_2TC_{48}).

En els resultats obtinguts amb el tractament 1 s'observa que al final del procés de sedimentació S_1TC_0 encara quedaven biosòlids a la columna d'aigua. Aquest fenomen no es va apreciar en el procés (S_2TC_{48}).

Els resultats anteriors mostren que el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, per a un mateix nivell de turbulència, va ser major en el procés de sedimentació (S_1TC_0 i S_2TC_{48}) que en el procés de resuspensió (R_1TC_0 i R_2TC_{48}), per tant es va observar el fenomen d'histèresi.

4.3.2. Resultats de l'experiment 2: Estudi d'un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de 24 hores de la seva recol·lecció

En l'experiment 2 es va realitzar un procés de resuspensió (R_1TC_{24}) seguit d'un procés de sedimentació (S_1TC_{24}) amb mostres recol·lectades 24 hores abans (Temps de consolidació 24 h, TC_{24}).

Com en el cas anterior els biosòlids utilitzats provenien de peixos amb un pes promig de 50 g (tanc multivortex) i de peixos amb un pes promig de 175 g (tanc circular) i es van utilitzar el tractament 1 i 2 per estudiar els processos de resuspensió i sedimentació (Figura 14, Figura 15, Figura 16 i Figura 17).

- Tractament 1

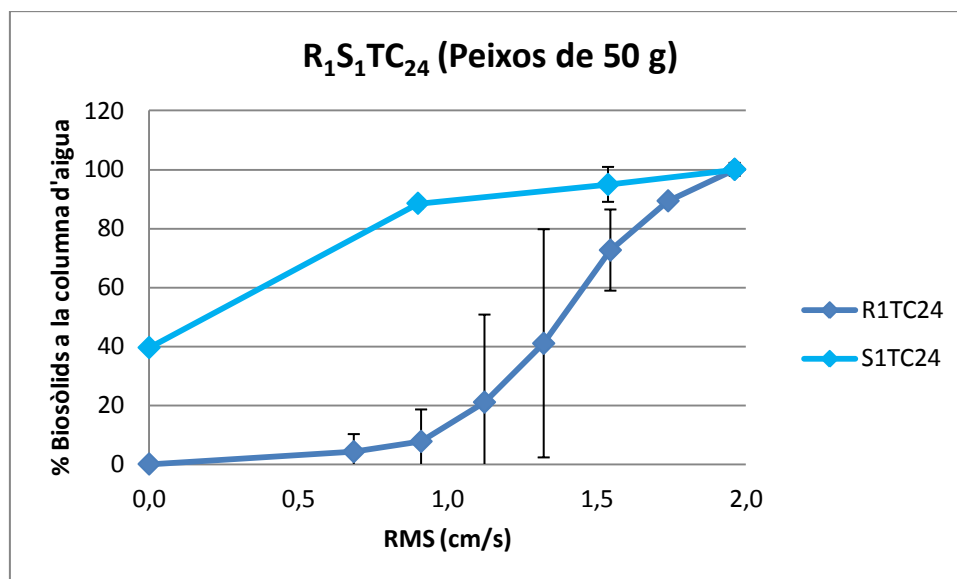


Figura 14. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).

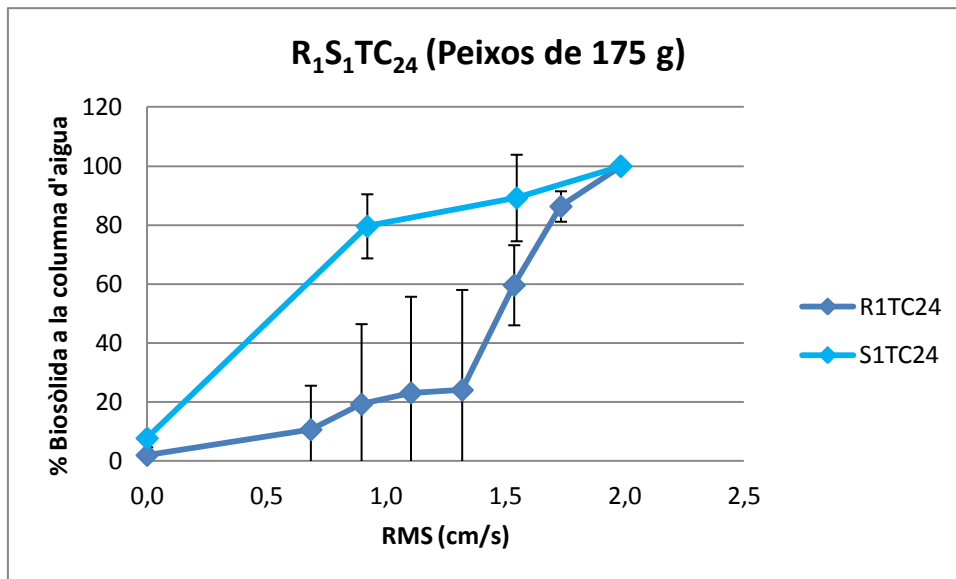


Figura 15. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % de resuspensió, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recollits 24 hores abans (R₁S₁TC₂₄).

- Tractament 2

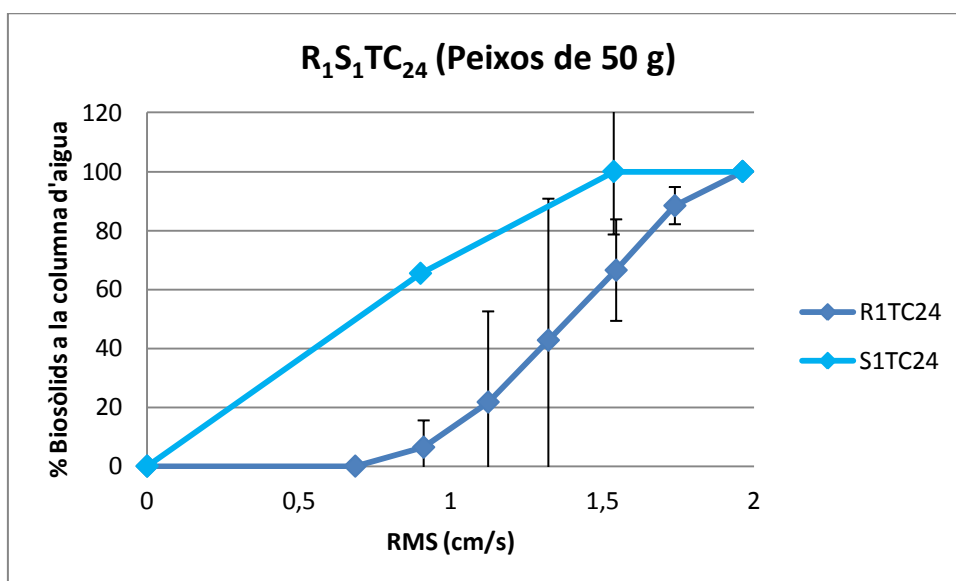


Figura 16. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recollits 24 hores abans (R₁S₁TC₂₄).

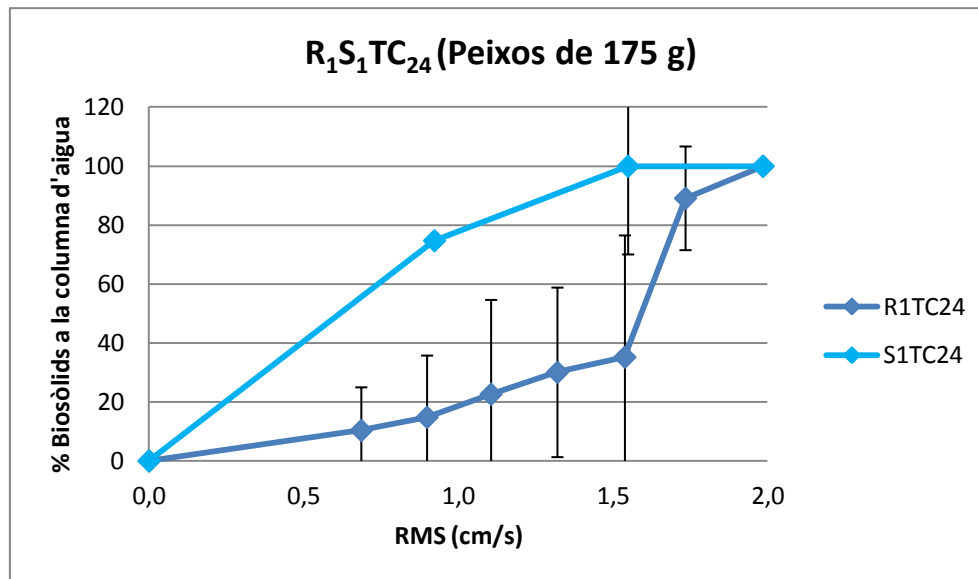


Figura 17. Percentatge de biosòlids a la columna d'aigua expressats en % d'intensitat mitjana, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$).

Com en l'experiment 1, la tendència general observada en l'experiment 2, independentment de la procedència de les mostres i del tipus de tractament, va ser força similar en tots els casos.

El % de biosòlids a la columna d'aigua augmentava a mesura que el valor de l'RMS també ho feia (R_1TC_{24}). En el procés de sedimentació (S_1TC_{24}) el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua disminuïa alhora que disminuïa el valor de la turbulència present en el recipient (Figures 14,15,16 i 17).

Igual que en l'experiment 1, amb el tractament 1 es va detectar que al final del procés de sedimentació (S_1TC_{24}) encara quedaven biosòlids a la columna d'aigua.

Finalment, i també com en l'experiment 1, els resultats anteriors mostren que el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, per a un mateix nivell de turbulència, va ser major en el procés de sedimentació (S_1TC_{24}) que en el procés de resuspensió (R_1TC_{24}), observant de nou el fenomen d'histèresi.

4.4. Estudi de la disgregació dels biosòlids

Per estudiar la disgregació dels biosòlids es va utilitzar el tractament 3. Es van obtenir resultats del comptatge de partícules dels experiments 1 i 2 (Figura 18, Figura 19, Figura 20 i Figura 21).

4.4.1. Resultats de l'experiment 1: Estudi de dos processos consecutius de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de la seva recollida

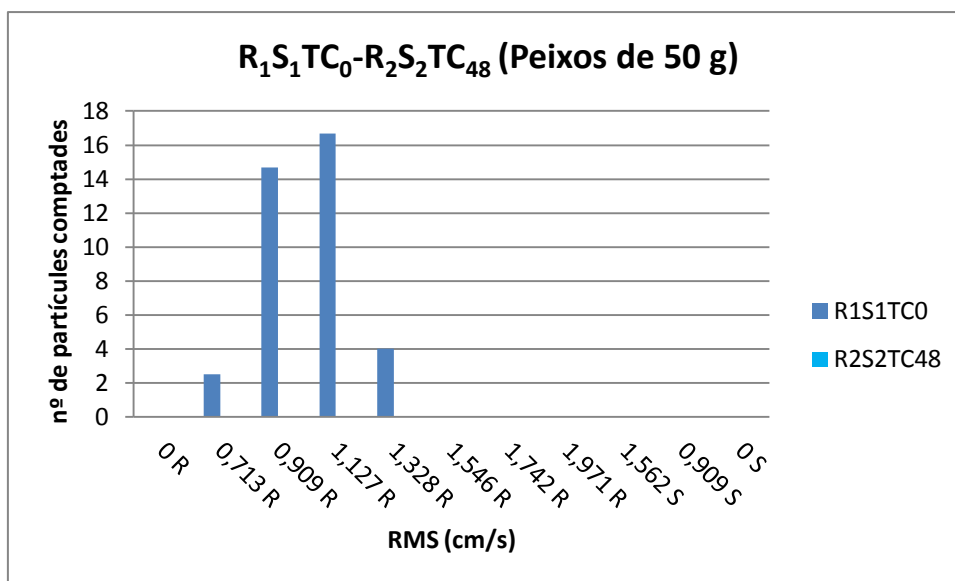


Figura 18. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació (R₁S₁TC₀) i en el segon (R₂S₂TC₄₈) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig. R indica indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, S indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

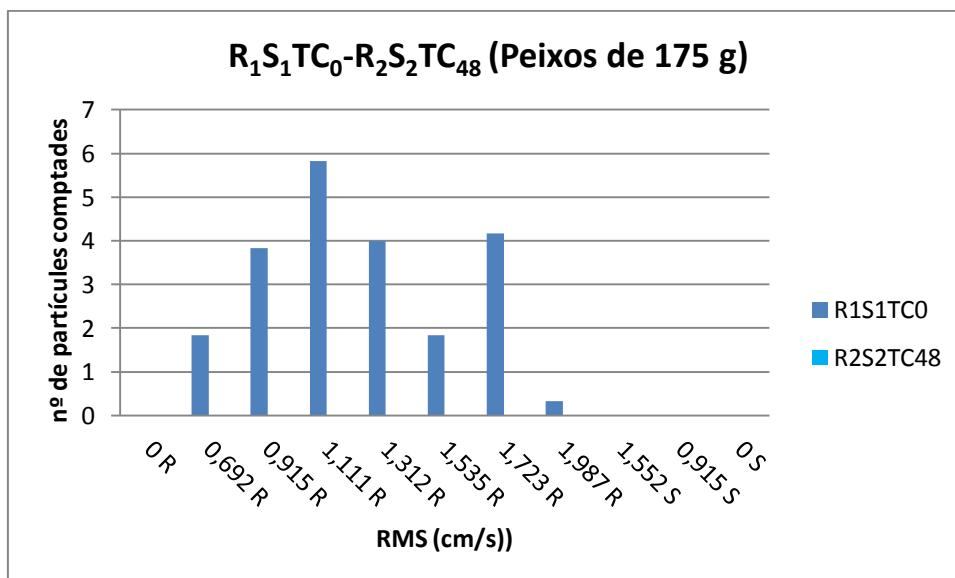


Figura 19. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el primer procés de resuspensió i sedimentació (R₁S₁TC₀) i en el segon (R₂S₂TC₄₈) amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig. R indica indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, S indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

Els resultats obtinguts del tractament 3 en l'experiment 1 van mostrar que només es van poder comptar partícules en el primer procés de resuspensió (R_1TC_0) i que no es van poder comptar biosòlids en el primer procés de sedimentació (S_1TC_0) ni en el segon procés de resuspensió i sedimentació ($R_2S_2TC_{48}$) (Figures 18 i 19).

En els processos realitzats amb biosòlids de peixos amb un pes promig de 175 g es van poder comptar partícules a RMS més elevats (1.987 cm/s).

La diferència entre el nombre de partícules comptades és deguda a que no es recollia una quantitat de mostra exacte en cada experiment. Tot i això els resultats anteriors mostren la mateixa tendència ja que en les dues rèpliques es van poder comptar partícules fins a RMS semblants.

4.4.2. Resultats de l'experiment 2: Estudi d'un procés de resuspensió i sedimentació amb biosòlids inalterats després de 24 hores de la seva recollida

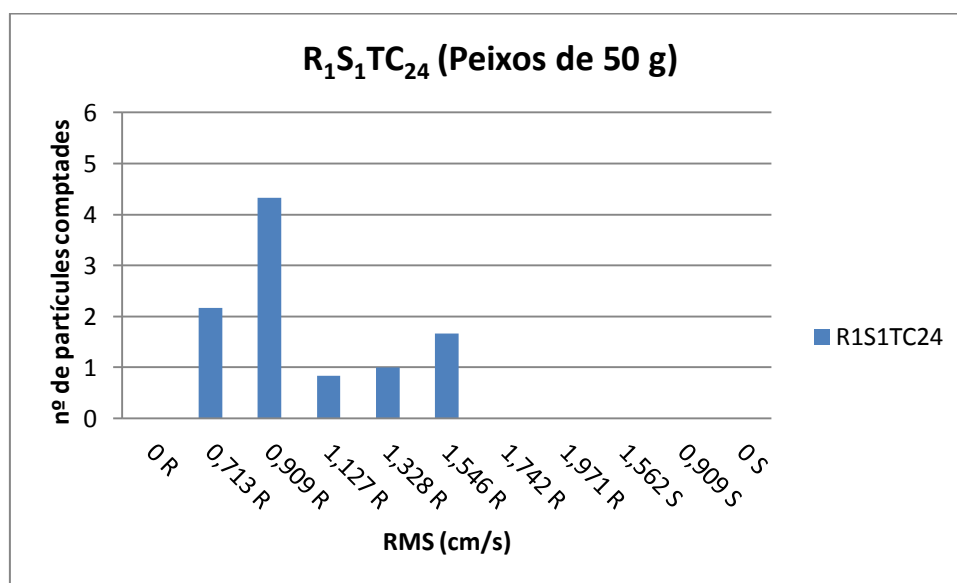


Figura 20. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$). R indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, S indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

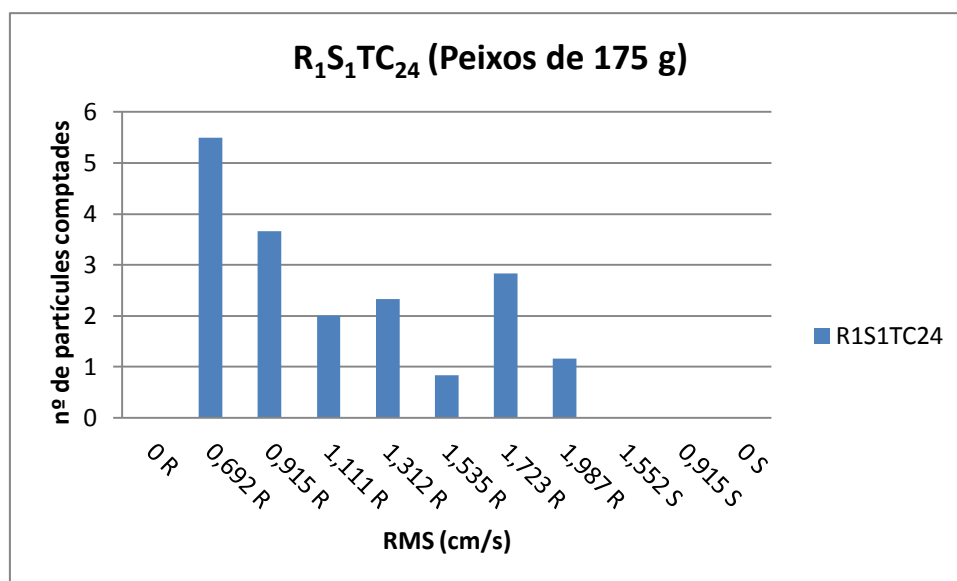


Figura 21. Numero de partícules comptades, a cada RMS, en el procés de resuspensió i sedimentació realitzat amb biosòlids dels peixos de 175 g de pes promig recol·lectats 24 hores abans ($R_1S_1TC_{24}$). R indica els RMS emprats en el procés de resuspensió, S indica els RMS emprats en el procés de sedimentació.

Com en l'experiment 1, els resultats obtinguts en l'experiment 2 van mostrar que només es van poder comptar partícules en el procés de resuspensió (R_1TC_{24}), no es van poder comptar biosòlids en el procés de sedimentació (S_1TC_{24}) (Figures 20 i 21).

Com en el cas anterior, els processos realitzats amb biosòlids de peixos amb un pes promig de 175 g es van poder comptar partícules a RMS més elevats (1.987 cm/s).

La diferència entre el nombre de partícules comptades és deguda a que no es recollia una quantitat de mostra exacte en cada experiment. Com en el cas anterior en les dues rèpliques es van poder comptar partícules fins a RMS semblants. Mostrant, com en el cas anterior, que les diferències en les quantitats de mostres recollides no van tenir cap efecte en els resultats obtinguts.



5. Discussió

5.1. Estudi dels processos de resuspensió i sedimentació

5.1.1. Resistència a la resuspensió i efecte del temps de consolidació

Tant en l'experiment 1 com en l'experiment 2 es volia avaluar els efectes de la turbulència en els processos de resuspensió i sedimentació, així com els efectes del temps de consolidació.

Com s'ha vist en l'apartat 4, en l'experiment 1 la resistència a la resuspensió va ser major en el primer procés ($R_1S_1TC_0$) que en el segon ($R_2S_2TC_{48}$). Aquesta diferència pot ser deguda al fet de que en el primer cas els biosòlids a resuspendre estaven inalterats, ja que acabaven de ser recollits íntegrament (Figura 22), motiu pel qual es dificultava la seva resuspensió del fons del recipient. Medina *et al* (2001), van determinar que l'augment de la resistència a la resuspensió depèn de la mida de partícula, el temps de consolidació i la cohesió. Els biosòlids inalterats tenen una mida de partícula i una cohesió més elevades respecte als biosòlids alterats podent ser aquesta la causa de la seva major resistència a la resuspensió. Els resultats obtinguts són contraris als descrits per Masaló *et al* (2008), en els quals el percentatge de biosòlids presents a la columna d'aigua era major en el primer procés que en el segon. Les diferències existents podrien recaure en l'estat dels biosòlids emprats en la realització dels experiments, ja que en els seus experiments les mostres es van obtenir de la purga d'un tanc cònic. La recollida d'aquestes es va fer mitjançant una vàlvula situada al fons del tanc. En aquest procés de recollida els biosòlids es disgregaven per la pertorbació física a la que es veien sotmesos (Figura 23).

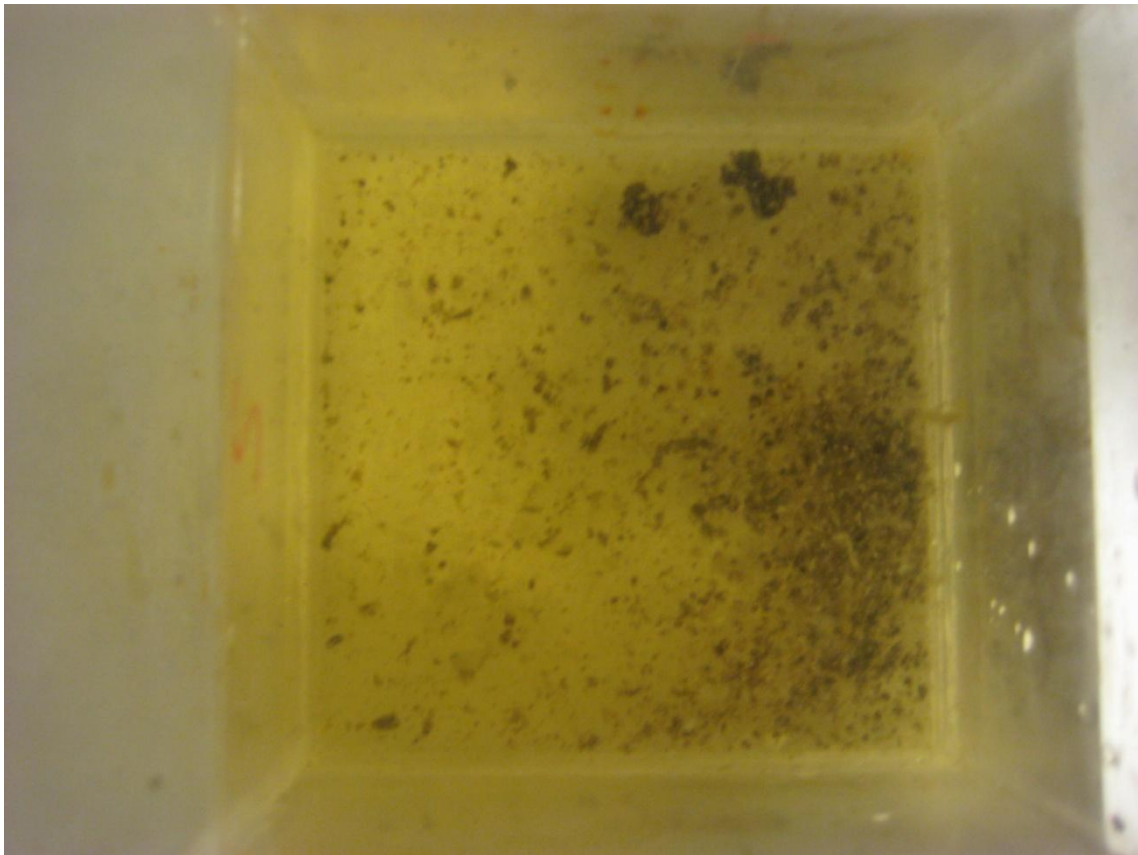


Figura 22. Imatge on s'observen els biosòlids inalterats utilitzats en els experiments realitzats en aquest treball. Es poden apreciar les femtes i fins i tot algun agregat.

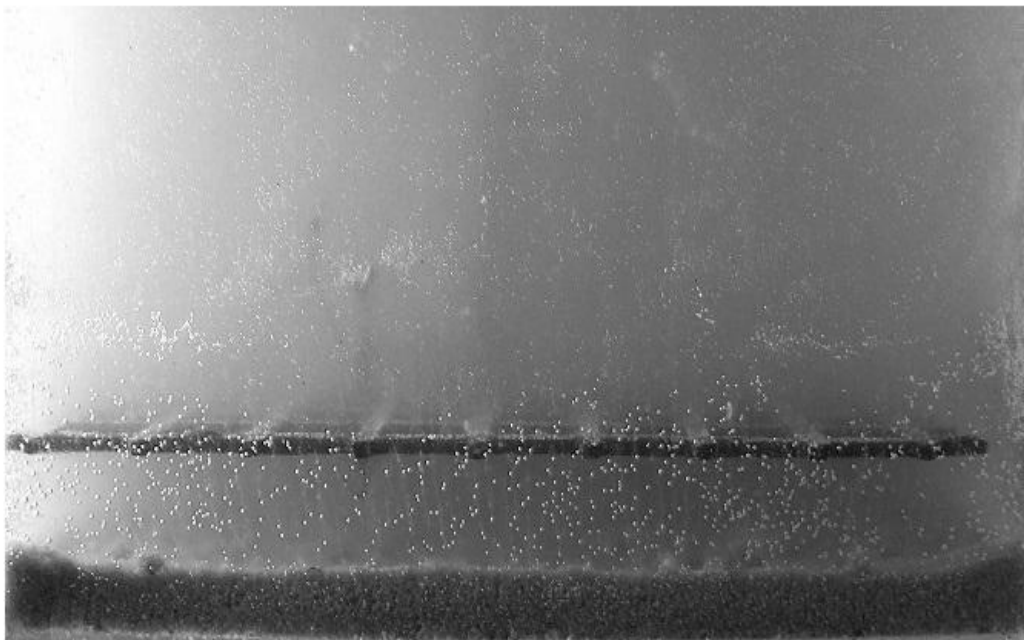


Figura 23. Imatge on s'observen els biosòlids alterats utilitzats en els experiments realitzats per Masaló *et al* (2008). Es poden apreciar les partícules disgregades.



En els tres processos ($R_1S_1TC_0$, $R_1S_1TC_{24}$ i $R_2S_2TC_{48}$) el % de biosòlids a la columna d'aigua, per a un mateix valor d'RMS, va ser major en la sedimentació (S_1TC_0 , S_1TC_{24} i S_2TC_{48}) que en la resuspensió (R_1TC_0 , R_1TC_{24} i R_2TC_{48}). Aquest resultat indica que la turbulència necessària per resuspendre els biosòlids és major que la turbulència necessària per mantenir-los a la columna d'aigua un cop han estat resuspesos. Per tant, es presenta el fenomen d'histèresi a la columna que ja havia estat descrit prèviament per Masaló *et al* (2008).

Un altre aspecte a destacar és el fet de que en els processos de sedimentació (S_1TC_0 i S_1TC_{24}) el % de resuspensió final no va ser 0, indicant aquest valor que els biosòlids no havien acabat de sedimentar. Aquest fet no es va apreciar en el segon procés (S_2TC_{48}). Una possible explicació recauria sobre la mida de les partícules dels biosòlids. Com s'ha vist anteriorment, durant el primer procés de resuspensió i sedimentació els biosòlids inalterats es disgreguen, causant l'augment de partícules de mida més reduïda. Aquestes degut a la seva mida necessitarien més de 30 minuts (temps establert entre nivells de turbulència en el procés de sedimentació) per sedimentar. Durant el segon procés de resuspensió i sedimentació els biosòlids alterats podrien disgregar-se més fins assolir una mida suficientment petita com per dissoldre's en la columna d'aigua. D'aquesta manera no s'apreciaria una atenuació de la intensitat.

Els resultats obtinguts indiquen que el temps de consolidació establert abans d'un primer procés de resuspensió va ser un paràmetre que no va afectar a la resistència a la resuspensió. En l'experiment 2, la dinàmica de resuspensió i sedimentació (R_1TC_{24} i S_1TC_{24}) seguida pels biosòlids inalterats amb un temps de consolidació de 24 hores, va ser pràcticament idèntica a la observada en els biosòlids inalterats de l'experiment 1 (R_1TC_0 i S_1TC_0), amb un temps de consolidació de 0 hores (Figura 24 i Figura 25). El fet que condiona la consolidació dels biosòlids és la pèrdua d'aigua present en els seus porus degut a la compressió gradual d'aquests. És probable que aquesta compressió no es doni en biosòlids inalterats, ja que aquests tenen una alta proporció de components orgànics i presenten una alta cohesivitat la qual cosa els permet mantenir la seva estructura. No obstant aquesta estructura es veu alterada quan els biosòlids es sotmeten a una turbulència. En aquest treball les femtes es van mantenir durant 24 hores al fons del contenidor sense sotmetre-les a cap turbulència i, per tant, van mantenir la seva estructura inalterada.

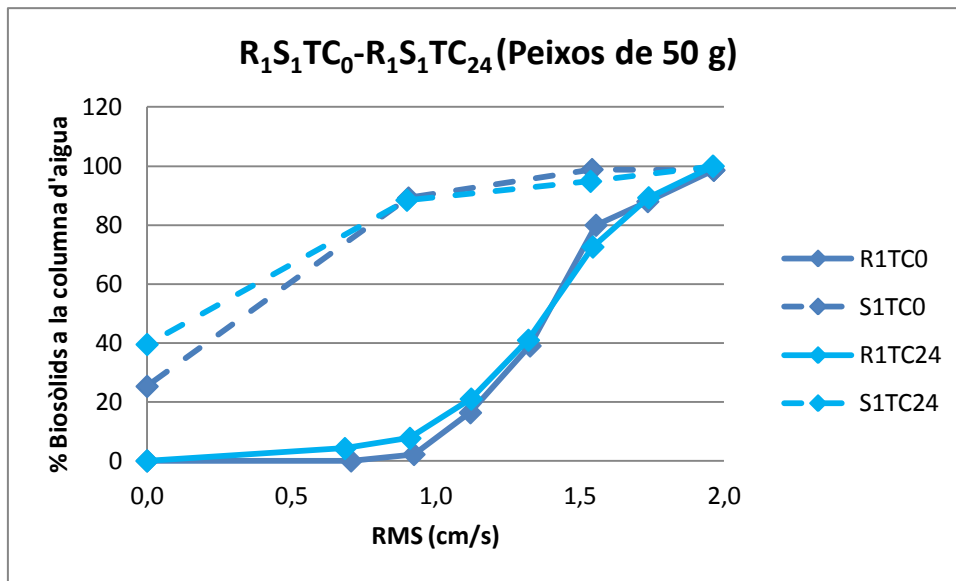


Figura 24. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % de resuspensió, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores (R₁S₁TC₀) i en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores (R₁S₁TC₂₄) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig. R₁TC₀ i R₁TC₂₄ mostren el procés de resuspensió amb un temps de consolidació de 0 hores i el procés de resuspensió amb un temps de consolidació de 24 hores respectivament. S₁TC₀ i S₁TC₂₄ mostren el procés de sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores i el procés de sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores respectivament.

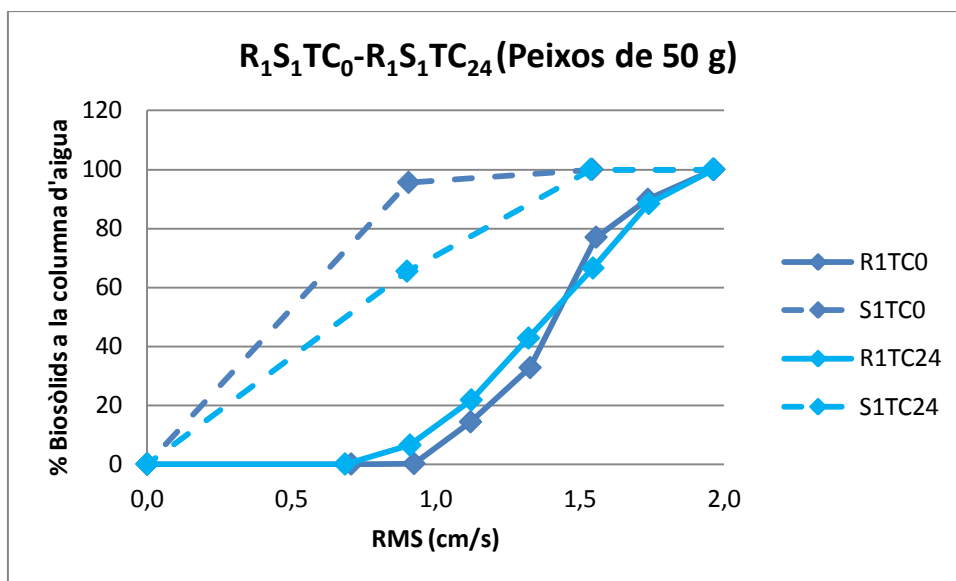


Figura 25. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % d'intensitat mitjana, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores (R₁S₁TC₀) i en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores (R₁S₁TC₂₄) amb biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig. R₁TC₀ i R₁TC₂₄ mostren el procés de resuspensió amb un temps de consolidació de 0 hores i el procés de resuspensió amb un temps de consolidació de 24 hores respectivament. S₁TC₀ i S₁TC₂₄ mostren el procés de sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores i el procés de sedimentació amb un temps de consolidació de 24 hores respectivament.

5.1.2. Diferències entre biosòlids de peixos de mides diferents

Tan l'experiment 1 com l'experiment 2 es van realitzar amb mostres recol·lectades al tanc multivortex, amb peixos d'un pes promig de 50 g aproximadament, i mostres recol·lectades al tanc circular, amb peixos d'un pes promig de 175 g aproximadament. Es van recol·lectar biosòlids de tancs diferents, que contenien peixos de mides diferents, per tal d'avaluar si existien possibles diferències entre aquests.

Tal i com es pot observar en la Figura 26 i la Figura 27, els biosòlids dels peixos de 50 g es resuspenen amb més facilitat que els biosòlids dels peixos de 175 g. Pel que fa a la sedimentació, els resultats obtinguts són contraris; els biosòlids dels peixos de 50 g sedimenten més lentament que els biosòlids de 175 g. Aquestes diferències es podrien justificar en les diferències existents en els pesos dels peixos i en les dietes de cada tanc. Com s'ha comentat en l'apartat 3.2, els peixos de 50 g es van alimentar amb un pinso amb un contingut de fibra bruta (1.3 g) menor que el del pinso dels peixos de 175 g (3.5 g) (Taula 2). La fibra influeix en la consistència de les femtes dels peixos. Dias *et al* (1998) van observar que un alt contingut de fibra en el pinso genera unes excrecions més consistents, més denses i més pesades, per tant, aquestes femtes són més difícils de resuspendre i al mateix temps sedimenten amb més facilitat. D'altra banda Masaló *et al* (2008) van observar diferències en els biosòlids procedents de peixos de diferents mides alimentats amb la mateixa dieta, resultant que els biosòlids de peixos més petits es resuspenien abans.

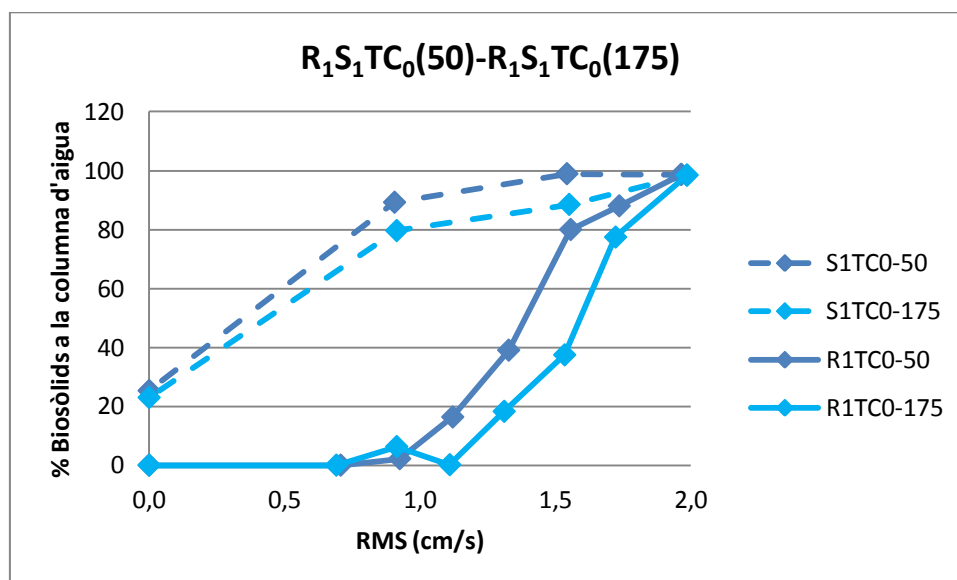


Figura 26. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % de resuspensió, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores. R₁TC₀₋₅₀ i R₁TC₀₋₁₇₅ mostren el procés de resuspensió dels biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig i dels peixos de 175 g de pes promig respectivament. S₁TC₀₋₅₀ i S₁TC₀₋₁₇₅ mostren el procés de sedimentació dels biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig i dels peixos de 175 g de pes promig respectivament.

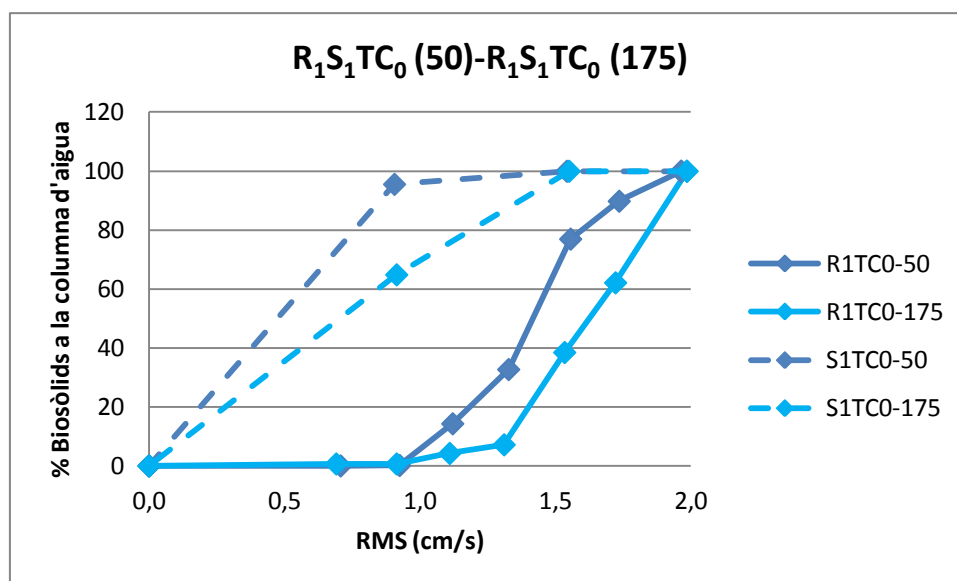


Figura 27. Comparació entre el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, expressat en % d'intensitat mitjana, en el procés de resuspensió i sedimentació amb un temps de consolidació de 0 hores. R_1TC_0-50 i R_1TC_0-175 mostren el procés de resuspensió dels biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig i dels peixos de 175 g de pes promig respectivament. S_1TC_0-50 i S_1TC_0-175 mostren el procés de sedimentació dels biosòlids dels peixos de 50 g de pes promig i dels peixos de 175 g de pes promig respectivament.

5.1.3. Comparació entre els tractaments 1 i 2

Com s'ha vist en l'apartat 4.3, els dos tractaments emprats en l'estudi dels processos de resuspensió i sedimentació descriuen d'una manera satisfactòria i semblant la dinàmica que segueixen els biosòlids (Figura 28). L'única diferència entre aquests recau en que amb el tractament 2 (mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades) en el procés de sedimentació es parteix del 100% d'intensitat mitjana i s'arriba al 0%. Aquesta diferència és deguda a l'equació utilitzada per determinar el percentatge d'intensitat mitjana (eq.6) on es resta el valor a RMS 0 al valor de la diferència entre les àrees oposades. D'aquesta manera i, tal i com s'ha vist en els resultats obtinguts amb el tractament 1 (atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal), aquest 0% d'intensitat mitjana al final de la sedimentació podria no concordar amb el valor real.

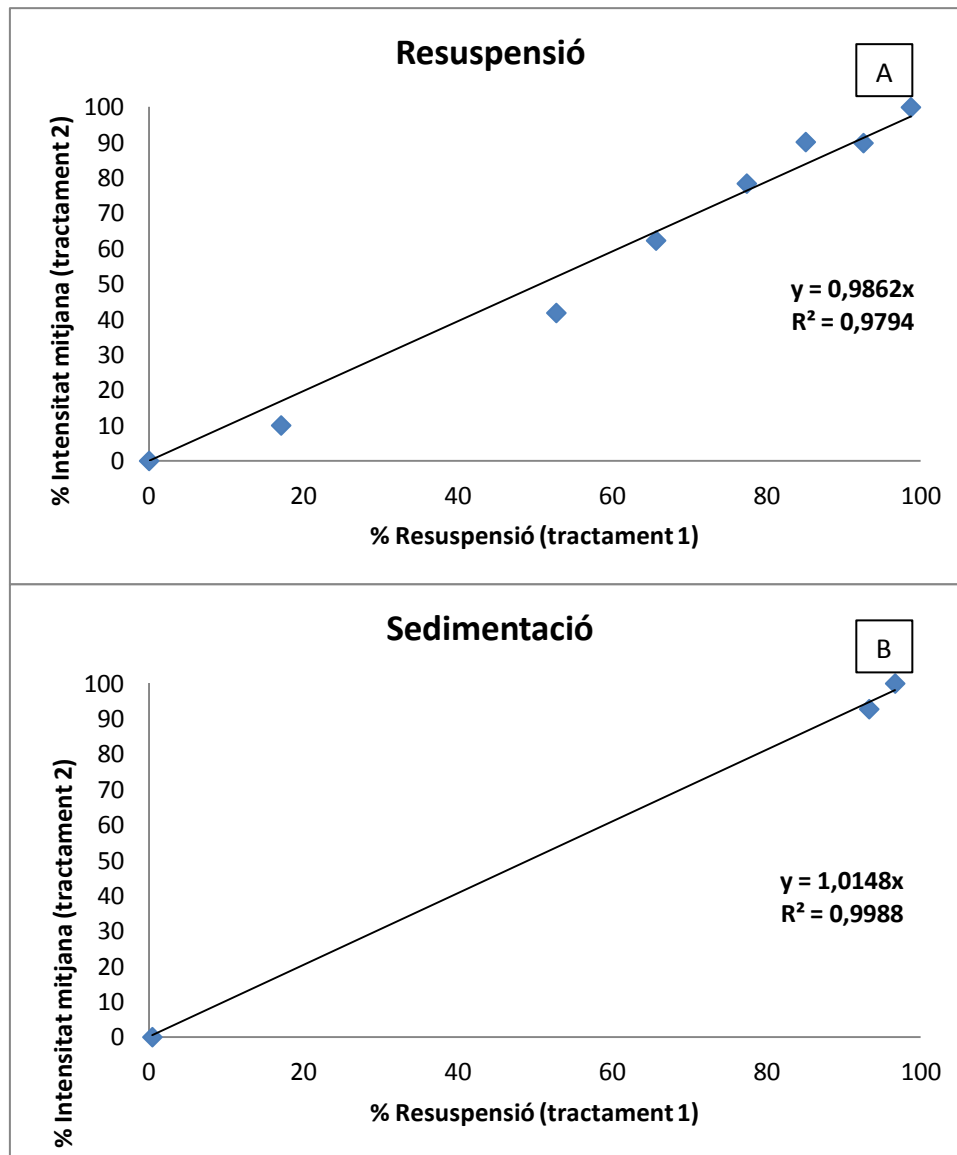



Figura 28. Correlació entre el percentatge de biosòlids a la columna expressats en % Resuspensió (tractament 1) i en % d'intensitat mitjana (tractament 2). A mostra la correlació entre ambdós mètodes en el procés de resuspensió. B mostra la correlació entre ambdós mètodes en el procés de sedimentació.

5.2. Estudi de la disgregació dels biosòlids

Els estudis de disgregació dels biosòlids van resultar interessants ja que van aportar informació addicional .

Els resultats obtinguts mostren que es podien comptar partícules fecals en el primer procés de resuspensió (R_1TC_0) i en el procés de resuspensió amb biosòlids recol·lectats 24 hores abans (R_1TC_{24}) fins a nivells de turbulència elevats (RMS entre 1.3 i 1.9 cm/s). A partir d'aquesta turbulència ja no es van poder comptar més partícules degut a la parcial o total disgregació d'aquestes. Aquesta disgregació enterbolia l'aigua dificultant o fins i tot impossibilitant el comptatge de possibles partícules. En el segon procés de resuspensió i sedimentació ($R_2S_2TC_{48}$)



no es van poder comptar partícules fecals des de l'inici del procés de resuspensió ja que aquestes s'havien disgregat en el procés anterior ($R_1S_1TC_0$).

Que en els processos realitzats amb biosòlids de peixos amb un pes promig de 175 g es van poder comptar partícules a RMS més elevats es degut a la consistència de les femtes. Com s'ha comentat anteriorment el pinso i el pes del peix podria influir en que les femtes dels peixos de 175 g fossin més consistents que les dels peixos de 50 g.

Poder constatar la disgregació de les femtes corrobora que durant el primer procés de resuspensió i sedimentació es dona la disgregació dels biosòlids inalterats (femtes íntegres) i per això en el segon procés de resuspensió i sedimentació els biosòlids es resuspenen abans. Aquest resultat fa pensar que si s'hagués realitzat un tercer procés amb la mateixa mostra al cap de 48 hores més (Temps de consolidació 96 h, TC_{96} ; tercera resuspensió (R_3) i tercera sedimentació (S_3)) hi hauria hagut consolidació entre procés i procés. En aquest cas la turbulència necessària per resuspendre els biosòlids hauria estat més alta en el tercer procés que en el segon, reproduint-se els resultats descrits per Masaló *et al* (2008).



6. Conclusions

L'anàlisi d'imatges es presenta com un mètode vàlid per caracteritzar diferents biosòlids a través de l'estudi de processos de resuspensió i sedimentació. Aquest mètode presenta l'avantatge de que no cal treure cap mostra del recipient, i per tant el volum d'aigua i de biosòlids a l'interior del recipient és constant al llarg de tot l'estudi.

Independentment de la procedència, el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua augmenta amb la turbulència durant el procés de resuspensió i disminueix durant el procés de sedimentació.

En tots els experiments el percentatge de biosòlids a la columna d'aigua, per a un mateix nivell de turbulència, és major durant el procés de sedimentació que durant el de resuspensió (fenomen d'histèresi).

En el cas en que després d'un primer procés de resuspensió de femtes inalterades s'aplica un segon procés, les femtes es resuspenen en nivells de turbulència inferiors, ja que en el primer procés de resuspensió es dona la disgregació de les femtes.

En el comptatge de partícules només es detecten partícules en el primer procés de resuspensió, corroborant així la disgregació de les femtes en el primer procés.

El temps de consolidació establert abans d'un primer procés de resuspensió va ser un paràmetre que no va afectar a la resistència a la resuspensió.

Existeixen diferències entre els biosòlids de peixos de diferents mides. Els peixos més grans presenten femtes més consistents. També s'apunta al fet que el contingut en fibra de la dieta pot afectar a la consistència, la densitat i el pes de les femtes.

Aquest treball constata la importància d'utilitzar femtes inalterades en els estudis dels processos de resuspensió i sedimentació de biosòlids aquícoles. També mostra que els resultats són molt diferents en funció de l'estat inicial dels biosòlids.



7. Propostes de millora

Amb la realització d'aquest treball han sorgit un seguit de propostes de millora per en un futur seguir treballant en la mateixa direcció.

La creació de l'ambient exempt de llum proposada en el protocol és susceptible a una possible millora. Enlloc d'una cabina es proposa utilitzar una sala habilitada per crear i garantir un espai totalment fosc.

En aquest treball es contemplava l'opció de realitzar un comptatge de biosòlids més acurat. Amb els resultats obtinguts no es va creure convenient aprofundir més en aquest tractament. Cal recordar però, que amb unes altres condicions experimentals i sempre i quan es cregui convenient, la opció de realitzar un comptatge més detallat i exhaustiu existeix.

Finalment queda un gran ventall de modificacions que es podrien fer a nivell experimental, com són per exemple:

- Variar els paràmetres S (amplitud d'oscil·lació de la graella) i z (distància entre la graella i els biosòlids).
- Provar diferents temps de consolidació.
- Realitzar un tercer procés ($R_3S_3TC_{96}$).
- Fer més proves amb pinsos: utilitzar el mateix pinso amb peixos diferents, utilitzar diferents pinsos (amb i sense aglutinant) amb la mateixa mida de peix, etc).



8. Bibliografía

Bergheim, A., Asgard, T., 1996. *Waste production from aquaculture*. In: Bair, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F. (Eds.), *Aquaculture and Water Resource Management*. Blackwell Science, Stirling, pp. 50–80.

Bergheim, A., Brinker, A., 2003. Effluent treatment for flow-through systems and European environmental regulations. *Aquacult. Eng.* 27, 61–77.

Borja, Á., 2002. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía.* 18 (1-4), 41-49.

Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226, 101–112.

Brinker, A., Rösch, R., 2005. Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. *Aquacult. Eng.* 33, 1–19.

Cheng, N.S., Law, W.K., 2001. Measurements of turbulence generated by oscillating grid. *J. Hydraul. Eng.* 201, 201–208.

Cho, C.Y., Bureau, D.P., 1997. Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Prog. Fish Cult.* 59, 155–160.

Cripps, S.J., Bergheim, A., 2000. Solids management and removal for intensive landbased aquaculture production systems. *Aquacult. Eng.* 22, 33–56.

Davenport, J., Black, K., Burnell, G., Cross, T., Culloty, S., Ekaratne, S., Furness, B., Mulcahy, M., Thetmeyer, H., 2003. *Aquaculture: the Ecological Issues*. Blackwell Science Ltd., Malde, Oxford, Melbourne, Berlin, 89 pp.

Dias, J., Huelvan, C., Dinis, M.T., Métallier, R., 1998. Influence of dietary bulk agents (silica, cellulose and a natural zeolite) on protein digestibility, growth, feed intake and feed transit time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquat. Living Resour.* 4, 219-226.

Droppo, I.G., Jaskot, C., Nelson, T., Milne, J., Charlton, M., 2007. Aquaculture waste sediment stability: implications for waste migration. *Water Air Soil Pollut.* 183, 59–68.

Franco-Nava, M.A., Blancheton, J.P., Deviller, G., Le-Gall, J.Y., 2004. Particulate matter dynamics and transformations in a recirculating aquaculture system: application of stable isotope tracers in seabass rearing. *Aquacult. Eng.* 31, 135–155.

Hopfinger, E.J., Toly, J.A., 1976. Spatial decaying turbulence and its relation to mixing across density interfaces. *J. Fluid Mech.* 78, 155–175.

Idaho Division of Environmental Quality. *Idaho Waste Management Guidelines for Aquaculture Operations*. Idaho Department of Health and Welfare, Division of Environmental Quality, Twin Falls, Idaho, 1998.



Masaló, I., Guadayol, O., Peters, F., Oca, J., 2008. Analysis of sedimentation and resuspension processes of aquaculture biosolids using an oscillating grid. *Aquacult. Eng.* 38, 135–144.

Masaló, I. *Hydrodynamic characterisation of aquaculture tanks and design criteria for improving self-cleaning properties*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnològica, 2008.

Medina, P., Sánchez, M.A., Redondo, J.M., 2001. Grid stirred turbulence: applications to the initiation of sediment motion and lift-off studies. *Phys. Chem. Earth.* 26, 299–304.

Mehta, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B., Teeter, A.M., 1989. Cohesive sediment transport I: process description. *J. Hydr. Eng.* 115, 1076–1093.

Oca, J., Masaló, I., Reig, L., 2004. Comparative analysis of flow patterns in aquaculture rectangular tanks with different water inlet characteristics. *Aquacult. Eng.* 31, 221–236.

Pillay, T.V.R. *Aquaculture and the Environment*. 1^a ed. Oxford: FISHING NEWS BOOKS, 1992.

Summerfelt, S.T., 1999. Waste-handling systems. In: Wheaton, F.W. (Ed.), *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, Vol. II *Aquacult. Eng.* American Society of Agricultural Engineers, Maryland, pp. 309–350.

ANNEX: Protocol dels tractaments d'imatges

Estudi de l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal

El procediment que es va seguir per determinar l'atenuació de la intensitat del pla de llum vermella creat pel làser en un eix a l'interior del recipient va ser:

Crear una ROI (Region Of Interest)

El programa Image J permet la creació d'aquestes regions d'interès que consisteixen en àrees delimitades (quadrats, el·lipses, polígons irregulars, etc.) o objectes geomètrics (punts, línies, etc.). Les *ROIs* ens permeten aplicar les diferents operacions que el programa pot efectuar en l'àrea concreta que defineixen.

En aquest cas la *ROI* emprada va ser una recta de llargada corresponent a la del recipient que contenia els biosòlids, per elaborar-la es va emprar la imatge referent al blanc amb claror (Figura 29).

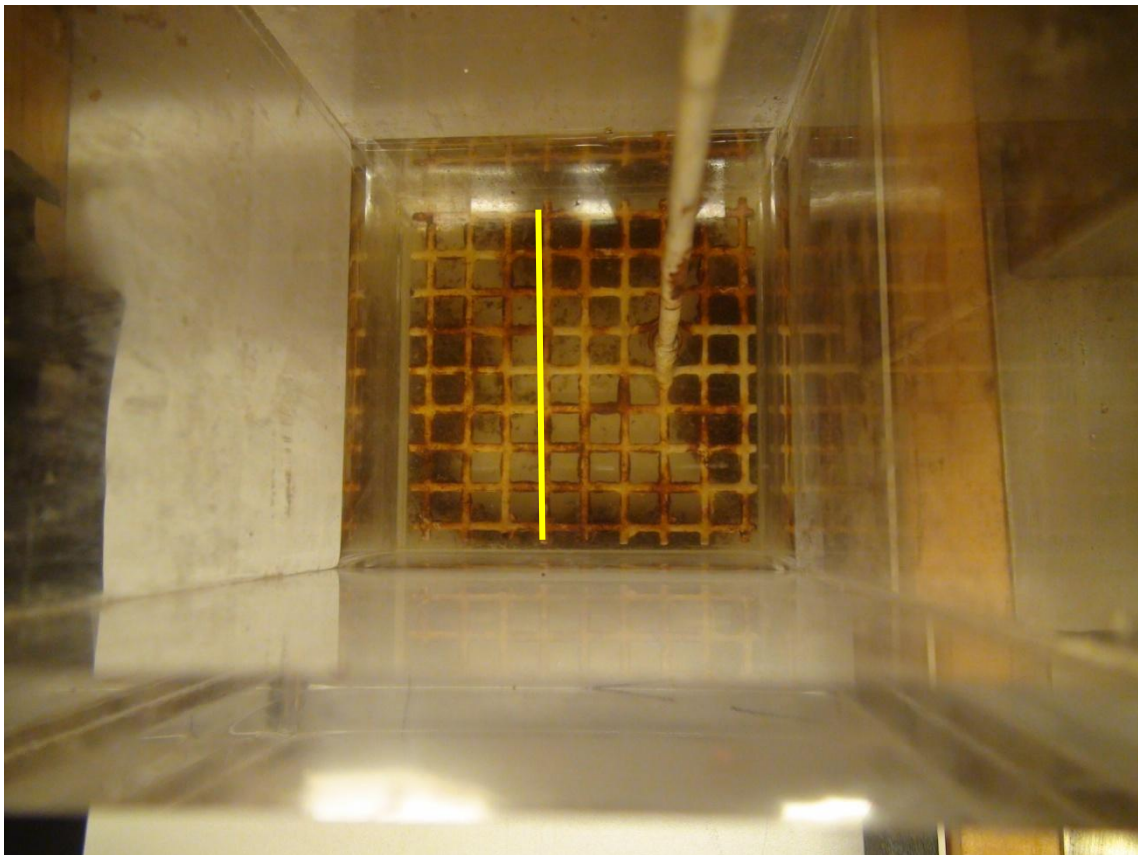


Figura 29. Imatge corresponent al blanc amb claror on es mostra la ROI utilitzada per estudiar l'atenuació de la intensitat del color vermell al llarg d'un eix transversal.



Introduir la ROI

Per poder efectuar la lectura de l'atenuació es va introduir la *ROI* creada prèviament, aquesta era la recta a través de la qual es va mesurar el gradient d'intensitat.

Fer córrer RGB Profile Plot

El programa compta amb una eina que permet realitzar la lectura de la intensitat dels colors vermell, blau i verd a través d'una recta. Amb aquesta operació s'obté una gràfica de la lectura de la intensitat, on l'eix d'ordenades correspon a la lectura de la intensitat, en intensitat del color, i l'eix d'abscisses mostra la distància de la *ROI* utilitzada per calcular la intensitat, en píxels. El programa permet extreure una taula amb les dades d'aquesta gràfica.

Elaboració d'una macro

Image J ofereix la possibilitat d'elaborar macros, que consisteixen en un conjunt de comandes programades que es poden executar automàticament. Amb l'objectiu de simplificar i automatitzar el tractament de les imatges es va crear una macro que aglutinés tot el procediment anterior, per tal de poder obtenir per cada imatge les intensitats al llarg de l'eix.

Mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades

La pauta establerta per mesurar la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees situades al recipient que contenia els biosòlids va ser:

Crear una ROI

Per determinar el valor de la intensitat mitjana del color vermell es van elaborar dues *ROIs* idèntiques de geometria quadrada amb les mateixes dimensions que les d'un quadrat de la graella. Per elaborar-les es va emprar la imatge corresponent al blanc amb claror (Figura 30).

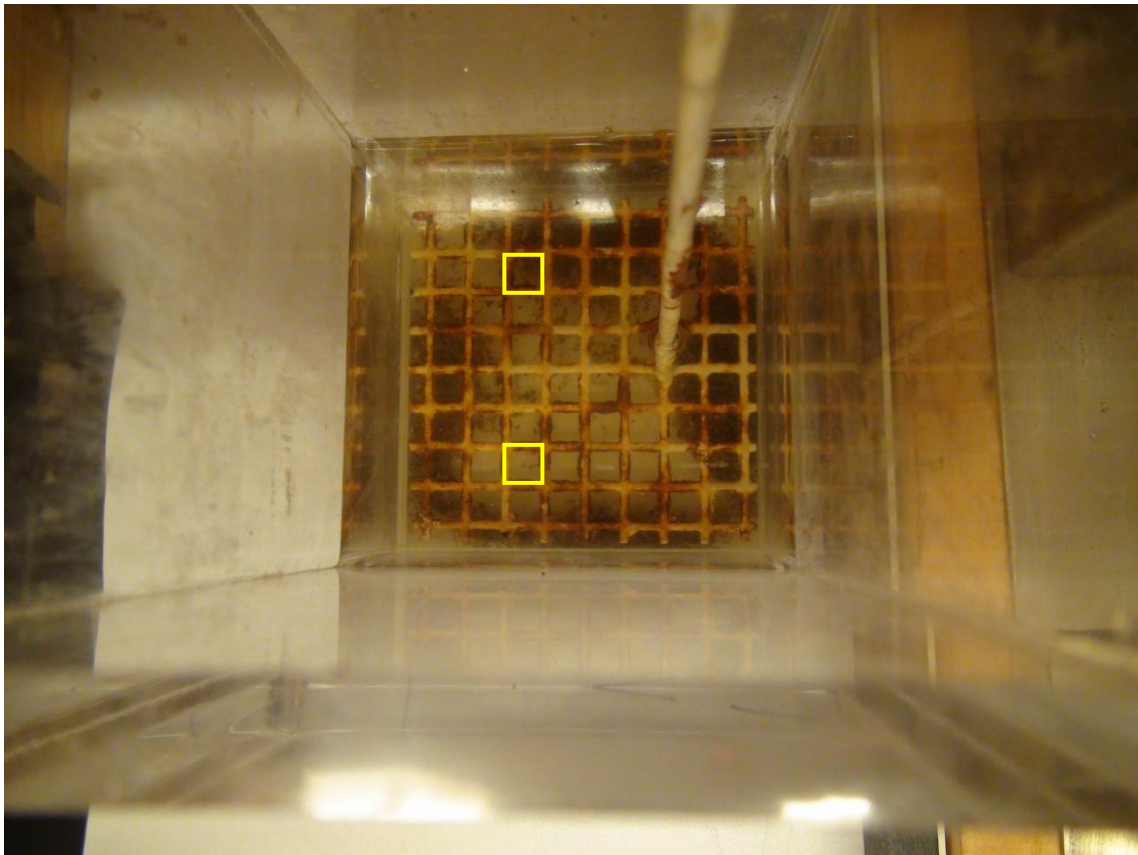


Figura 30. Imatge corresponent al blanc amb clar on es mostren les ROIs utilitzades en la mesura de la intensitat mitjana del color vermell en dues àrees oposades.

Introduir la ROI

Per poder efectuar la lectura de la intensitat mitjana es van introduir les *ROIs* creades prèviament, aquestes eren les àrees en les quals es va mesurar el valor de la intensitat del color vermell.

Fer córrer Measure RGB

El programa compta amb una eina que permet realitzar la lectura de la intensitat dels colors vermell, blau i verd en una àrea determinada. Amb aquesta operació s'obté una taula amb els valors de les intensitats mitjanes, el mínim i el màxim dels tres colors anteriors.

Elaboració d'una macro

Com en el cas anterior es va crear una macro per simplificar i automatitzar el procediment, d'aquesta manera s'obtenien les intensitats mitjanes de les dues àrees oposades de cada imatge.

Comptatge de partícules

Per comptar partícules el procediment seguit va ser:

Crear una ROI (Region Of Interest)

Pel comptatge de partícules es va utilitzar una *ROI* de geometria quadrada, ajustada al recipient que contenia els biosòlids. Per elaborar-la es va emprar la imatge corresponent al blanc amb claror (Figura 31).

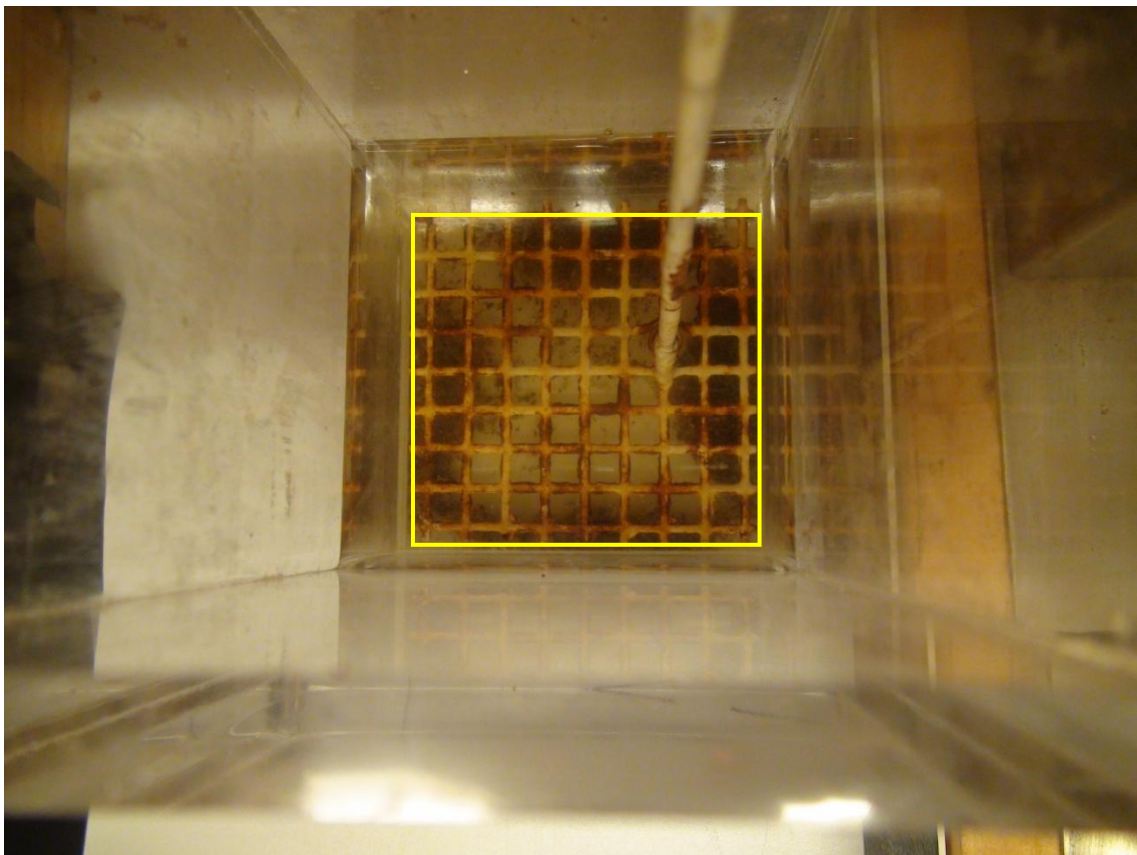


Figura 31. Imatge corresponent al blanc amb claror on es mostra la ROI utilitzada en el comptatge de partícules.

Separar els canals

Amb aquesta acció la imatge (Figura 32) en *RGB* (de l'anglès *Red Green Blue*) queda dividida en tres imatges formades per escales de grisos, cadascuna d'aquestes conté un dels canals corresponents als tres colors vermell, verd i blau de la imatge original. Es va seleccionar la imatge que contenia el canal vermell atès a que la llum emesa pel làser era d'aquest mateix color.

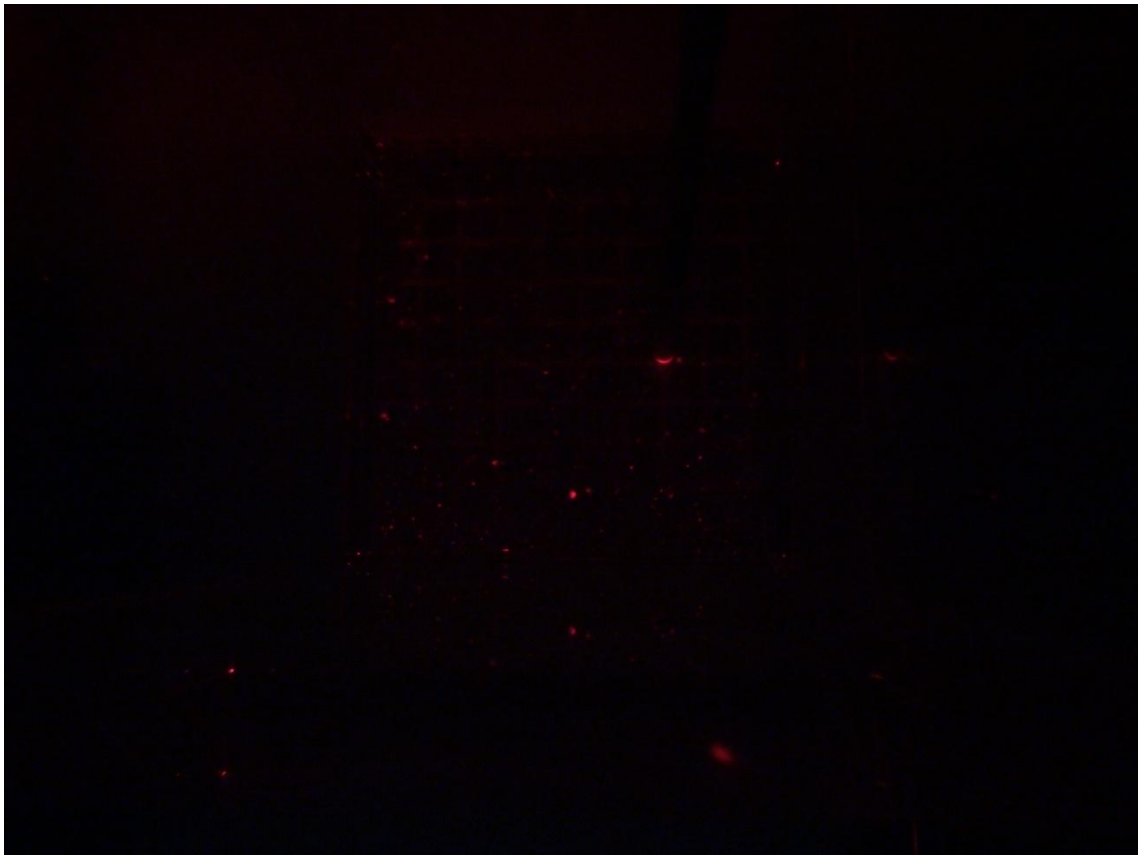


Figura 32. Exemple d'imatge on s'observen partícules resuspeses que travessen el pla de llum vermella generat pel làser.

Aplicar un filtre

El filtre aplicat consisteix en la substitució de cada píxel pel valor d'una mitjana escollida. D'aquesta manera s'aconsegueix una imatge més homogènia i, per tant, més suavitzada. La mitjana que es va utilitzar va ser de 2 píxels.

Ajustar el contrast

Per tal d'apreciar millor les partícules contingudes en la imatge es va ajustar el contrast d'aquesta. Per aplicar el mateix tractament en totes les imatges, es van assignar un mínim i un màxim constants al paràmetre del contrast amb l'opció *set*. Concretament el valor mínim va ser de 20 i el màxim de 255, ja que amb aquests valors les partícules s'apreciaven correctament.

Ajustar els límits visuals

Per ajustar els límits visuals es treballava amb una imatge en blanc i negre, per això s'invertia el color de fons de la imatge obtenint una imatge amb un fons blanc, les partícules passaven a ser de color negre. Es tornava a ajustar el contrast i com en el pas anterior es va assignar un valor mínim de 41 i un màxim de 255 en aquest ajust.



Netejar la imatge

En aquest pas es va aplicar un filtre per netejar el soroll de la imatge. Aquest consisteix en la substitució del valor d'un píxel per la mitjana dels valors dels píxels del seu entorn, concretament d'aquells continguts en un quadrat de 3x3 píxels.

Aplicar línies divisòries

Amb aquesta comanda la imatge queda separada o dividida per l'acció d'unes línies divisòries, en funció del nombre de partícules que contingui. Aquest pas és necessari ja que sense aquestes línies el programa no és capaç de comptar partícules.

Seleccionar els paràmetres a mesurar

Abans de comptar les partícules es van seleccionar els paràmetres que es volien mesurar. Es va determinar que el diàmetre de les partícules analitzades podia estar entre 0 i infinit i la seva circularitat entre 0 i 1, per tant, el programa comptava totes les partícules, indiferentment del seu diàmetre i perímetre.

Introduir la ROI

Degut a que només es volia analitzar la secció de la imatge corresponent al recipient que contenia els biosòlids, es va introduir la ROI elaborada prèviament abans d'efectuar el comptatge.

Comptar partícules

El programa compta amb un eina que et permet realitzar l'operació de comptar partícules (Figura 33), aquesta eina pot realitzar comptatges més o menys exactes en funció dels paràmetres que seleccionis. Com s'ha comentat abans, es poden especificar valors concrets pel que fa al diàmetre, la circularitat, l'àrea, etc.

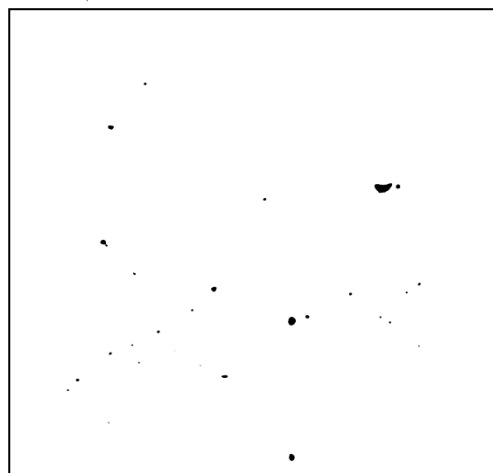


Figura 33. Imatge on es poden apreciar les partícules, ara de color negre, després d'haver-li realitzar el procés de comptatge. L'àrea delimitada correspon a la ROI elaborada al principi del tractament.

Elaboració d'una macro

Finalment es va elaborar una macro amb la mateixa intenció que en els dos tractaments anteriors, automatitzar el procés i obtenir les dades del comptatge.