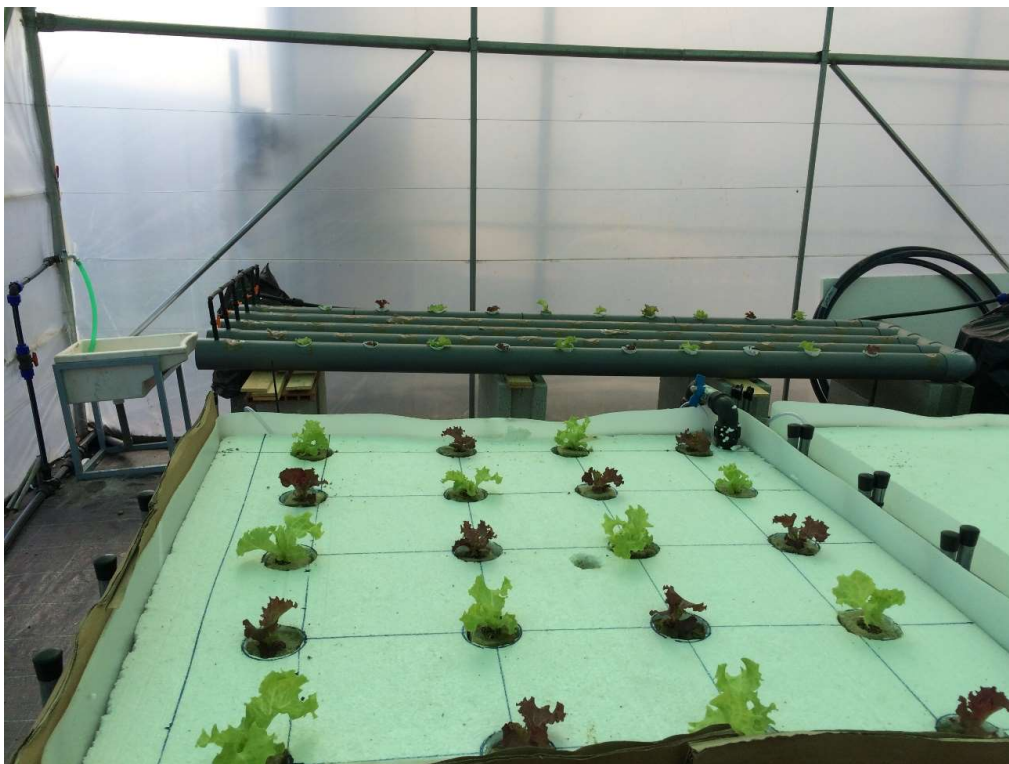


# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS HORIZONTALES PARA LA PRODUCCIÓN CONJUNTA DE PECES DORADOS Y LECHUGAS



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

**Alumno: Manuel Jesús Alcocer Palma**

**Directores: Víctor M. Fernández Cabanás**

**Luis Pérez Urrestarazu**

**Sevilla, 15 de mayo de 2017**



**Universidad de Sevilla**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica**

**Grado en Ingeniería Agrícola**

**Trabajo Fin de Grado**

**DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS  
HORIZONTALES PARA LA PRODUCCIÓN CONJUNTA DE PRECES  
DORADOS Y LECHUGAS.**

**Alumno**

**Fdo.: Manuel Jesús Alcocer Palma**

**Tutores**

**Fdo.: Luis Pérez Urrestarazu**

**Fdo.: Víctor M. Fernández Cabanás**

**Sevilla, mayo de 2017**

# Índice de contenidos

<b>1. RESUMEN</b> .....	9
<b>2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</b> .....	11
<b>2.1. Introducción</b> .....	11
<b>2.2. Antecedentes</b> .....	12
<b>2.2.1. Hidroponía</b> .....	12
<b>2.2.2. Acuaicultura</b> .....	14
<b>2.2.3. Acuaponía</b> .....	15
<b>2.3. Pez dorado (<i>Carassius auratus</i>)</b> .....	16
<b>2.3.2. Morfología</b> .....	17
<b>2.3.3. Hábitat</b> .....	17
<b>2.3.4. Reproducción y cría</b> .....	18
<b>2.3.5. Comercialización</b> .....	18
<b>2.4. Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)</b> .....	18
<b>2.4.1. Clasificación botánica</b> .....	18
<b>2.4.2. Clasificación de cultivares</b> .....	19
<b>2.4.3. Ciclos de cultivo</b> .....	21
<b>2.4.4. Técnicas de cultivo</b> .....	21
<b>2.4.5. Principales alteraciones fisiológicas</b> .....	22
<b>2.4.6. Recolección y postcosecha</b> .....	25
<b>2.5. Objetivos</b> .....	25
<b>3. MEMORIA DESCRIPTIVA</b> .....	27
<b>3.1. Materiales y métodos</b> .....	27
<b>3.1.1. Origen de los animales</b> .....	27
<b>3.1.2. Material biológico</b> .....	27
<b>3.1.3. Descripción de la instalación</b> .....	28
<b>3.1.4. Material instrumental</b> .....	38
<b>3.1.5. Metodología experimental</b> .....	40
<b>3.1.5.1 Sistema de producción</b> .....	40
<b>3.1.5.2. Operaciones llevadas a cabo en las plantas.</b> .....	41
<b>3.1.5.3. Operaciones llevadas a cabo en los peces</b> .....	43
<b>3.1.5.4. Operaciones llevadas a cabo en el agua del circuito acuapónico</b> ....	46



3.1.5.5. Operaciones de mantenimiento .....	47
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
4.1. Viabilidad de los prototipos acuáponicos.....	49
4.2. Manejo básico del sistema acuáponico .....	52
4.2.2. Conductividad eléctrica .....	55
4.2.3. Cloruro sódico.....	56
4.2.4. Nitratos .....	57
4.2.5. La temperatura del agua del circuito acuapónico .....	58
4.2.6. Déficit de nutrientes.....	60
4.3. Comparación de la producción de lechugas del sistema acuapónico con la producción de la misma especie en un sistema hidropónico convencional. ....	61
4.3.1. Altura.....	62
4.3.2. Número de hojas.....	64
4.3.3. Diámetro .....	66
4.3.4. Biomasa .....	68
4.4. Crecimiento de los peces y consumo de pienso .....	70
5. Conclusiones.....	75
6. Bibliografía.....	77

## Índice de tablas y gráficas.

<b>Tabla 1. Costes de las instalaciones acuapónicas.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 2. Pesadas de peces durante todo el ensayo y cálculo de raciones para cada pesada.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 3. Reposición de agua en cada sistema por mes.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 4. Valores de la Ratio para el sistema Mixto, en función de la Ración diaria, Superficie de Cultivo y Número de plantas.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 5. Valores de la Ratio para el sistema NFT, en función de la Ración diaria, Superficie de Cultivo y Número de plantas.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 6. Paramétros del agua utilizada para la reposición de los circuitos acuapónicos.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 7. Peso fresco, Peso seco y Porcentaje de materia seca de las plantas por variedad en cada sistema.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 8. Composición del pienso “POND MIX” marca TROPICAL, suministrado a los peces. Fuente <a href="http://www.tropical.pl/tropical/product/pondmix">www.tropical.pl/tropical/product/pondmix</a> .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 9. Resultado en las cuatro sesiones de pesadas, en el S. Mixto.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 10. Resultado en las cuatro sesiones de pesadas, en el S. NFT.....</b>	<b>71</b>
<b>Grafica 1. Evolución del pH en el agua del circuito acuapónico.....</b>	<b>54</b>
<b>Grafica 2. Evolución de la conductividad eléctrica en el agua del circuito acuapónico .....</b>	<b>55</b>
<b>Grafica 3. Evolución del cloruro sódico en el agua del circuito acuapónico.....</b>	<b>56</b>
<b>Gráfica 4. Evolución del contenido de nitratos en el agua de los sistemas acuapónico.....</b>	<b>57</b>
<b>Grafica 5. Evolución de la temperatura en el agua del sistema NFT.....</b>	<b>59</b>
<b>Grafica 6. Evolución de la temperatura en el agua del sistema MIXTO.....</b>	<b>59</b>
<b>Grafica 7. Comparación de las temperaturas mínimas entre los dos sistemas.....</b>	<b>60</b>
<b>Grafica 8. Comparación de las temperaturas máxima del agua entre los dos sistemas .....</b>	<b>60</b>

<b>Grafica 9. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema Mixto .....</b>	<b>62</b>
<b>Grafica 10. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema NFT .....</b>	<b>62</b>
<b>Grafica 11. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema de Hidroponía convencional.....</b>	<b>63</b>
<b>Grafica 12. Comparación de la Evolución de la media de la altura en plantas de los tres sistemas .....</b>	<b>63</b>
<b>Grafica 13. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema Mixto.....</b>	<b>64</b>
<b>Grafica 14. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema NFT.....</b>	<b>64</b>
<b>Grafica 15. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema de Hidroponía convencional.....</b>	<b>65</b>
<b>Grafica 16. Comparación de la Evolución de la media del número de hoja de las plantas de los tres sistemas .....</b>	<b>65</b>
<b>Grafica 17. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en el Sistema Mixto.....</b>	<b>66</b>
<b>Grafica 18. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en el Sistema NFT .....</b>	<b>67</b>
<b>Grafica 19. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en Hidroponía Convencional .....</b>	<b>67</b>
<b>Grafica 20. Comparación de la Evolución de la media del número de hoja de las plantas de los tres sistemas.....</b>	<b>68</b>
<b>Grafica 21. Resultados de Porcentaje de Materia seca por variedad, en cada sistema. ....</b>	<b>69</b>
<b>Grafica 22. Comparación de resultados medios de porcentaje de materia seca en cada uno de los sistemas.....</b>	<b>69</b>
<b>Grafica 23. Comparación de la Evolución de la ganancia media diaria (GMD) entre cada pesada, en ambos sistemas.....</b>	<b>72</b>
<b>Grafica 24. Comparación de la Evolución de la ganancia media diaria (GMD) total, en ambos sistemas.....</b>	<b>72</b>

## Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Lechuga en hidroponía. Fuente <a href="http://www.cursos-de-capacitacion.com">www.cursos-de-capacitacion.com</a> .....	13
Ilustración 2. Industria de la acuicultura. Fuente <a href="http://www.bioentorno.wordpress.com">www.bioentorno.wordpress.com</a> .....	15
Ilustración 3. Sistema acuapónico. Fuente <a href="http://www.agrohuerto.com">http://www.agrohuerto.com</a> .....	16
Ilustración 4. Ejemplar de pez dorado ( <i>Carassius auratus</i> ). Fuente <a href="http://www.aquaterraria.com">www.aquaterraria.com</a> . ....	16
Ilustración 5. Ejemplar de pez dorado que presenta dimorfismo sexual. Fuente <a href="http://ww.elacuarista.com">ww.elacuarista.com</a> .....	17
Ilustración 6. <i>Lactuca sativa</i> con sistema radicular. Fuente Google imágenes.....	19
Ilustración 7. Lechuga variedad romana. Fuente <a href="http://www.grupoagrupo.net">www.grupoagrupo.net</a> .....	19
Ilustración 8. Ejemplar de lechuga encogollada. Fuente <a href="http://www.pulevasalud.com">www.pulevasalud.com</a> .....	19
Ilustración 9. Ejemplares de lechugas espárragos. Fuente Wikipedia.....	20
Ilustración 10. Pulgones en lechuga (izquierda) y gusano gris (derecha). Fuente <a href="http://www.syngenta.es">www.syngenta.es</a> .....	23
Ilustración 11. Efecto de Mildiu (izquierda) y Botritis (derecha). Fuente.) <a href="http://www.fitoralia.com">http://www.fitoralia.com</a> .....	24
Ilustración 12. Síntomas de Tipburn (izquierda) y carencia de potasio (derecha.). Fuente <a href="http://www.elmacetohuerto.net">www.elmacetohuerto.net</a> .....	24
Ilustración 13. Situación del invernadero utilizado. Fuente google Eart.....	28
Ilustración 14. Invernadero donde se alojaron los sistemas acuáponicos....	29
Ilustración 15. A la izquierda Sistema NFT propuesto por el manual de la FAO, a la derecha sistema NFT construido en ETSIA. Fuente Somerville et al., 2014.....	29
Ilustración 16. A la izquierda sistema mixto propuesto por el manual de FAO, a la derecha sistema mixto construido en ETSIA. Fuente Somerville et al., 2014.....	29
Ilustración 17. Esquema de sistema NFT.....	30
Ilustración 18. Sistema NFT después de su montaje con los materiales citados anteriormente.....	32
Ilustración 19. Esquema de sistema mixto.....	33

<b>Ilustración 20. Sistema mixto después de su montaje con los materiales citados anteriormente.....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 21. Caja de electricidad ubicada en tanque de peces.....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 22. Auto-sifón de PVC desmontado, ubicado en la cama flotante de arlita.....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 23. Bomba y compresor de aire.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 24. Dado de lana de roca y arlita.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 25. Algunos materiales de uso directo utilizados.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 26. Envase de bacterias nitrificadoras utilizadas en la instalación.....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 27. Semilleros sembrados con lechugas para trasplantar en sistemas acuapónicos.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 28. Momento de trasplante en sistema NFT y Mixto.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 29. Peces en el recipiente, después de su pesca.....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 30. Ración diaria de pienso, preparada para su aplicación.....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 31. Reflectómetro utilizado para medir nitratos.....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 32. Lechugas de cada sistema, antes de ser recolectadas.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 33. Efecto de déficit de potasio en lechugas del ensayo.....</b>	<b>50</b>
<b>Ilustración 34. Plantas de lechugas en ambos sistemas con carencias de potasio.....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 35. Croquis de las plantas elegidas para la toma de datos.....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 36. Estufa para secar plantas cosechas.....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 37. Plantas después de secado (izquierda) y toma de peso seco (derecha).....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 38. Alevines presentes en el tanque de peces.....</b>	<b>73</b>



## 1. RESUMEN

La acuaponía es la técnica que une a la hidroponía y la acuicultura para la producción conjunta de plantas y peces con fines comerciales, domésticos, ornamentales o proyectos docentes como es el presente trabajo. La acuicultura aporta a las plantas en los sistemas hidropónicos, los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, también nos lleva a la reducción del aporte del agua y a otro insumo muy costoso en la agricultura tradicional que es el fertilizante.

En este trabajo sobre la acuaponía se diseñó, construyó y se puso en marcha dos sistemas conjuntos de pez dorado (goldfish) y lechugas dentro de un invernadero, siguiendo el manual de la FAO “Small-scale aquaponic food production” (Somerville C. et al., 2014). Se partió de una población de 54 peces dorados y 20 plantas de lechugas para cada sistema, haciendo una estimación de en cuál de ellos se obtendrían mejores resultados. Uno fue un sistema Mixto con dos cama flotantes y una cama de sustrato de arlita, otro fue un sistema de tubos NFT con circulación continua de una lámina de agua. También se utilizó para la comparación, un sistema hidropónico en macetas con sustrato de perlita (20 plantas), regado con solución Hoagland.

Por último, resumir que los resultados conseguidos en este ensayo parecen indicar que el que los dos prototipos acuapónicos propuestos son válidos, basándose en la supervivencia tanto de los peces como de las plantas, aunque en futuros ensayos con estos prototipos se deberían de hacer durante más tiempo y en condiciones climáticas menos severas.



## 1. Resumen

## 2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

### 2.1. Introducción

El presente trabajo trata sobre la producción de hortaliza en sistema acuapónico, para ello se han utilizado dos sistemas a pequeña escala que han sido inspirados con algún retoque a partir de la guía de la FAO “Small-scale aquaponic food production” (Somerville et al., 2014). El ensayo se ha realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica perteneciente a la Universidad de Sevilla, concretamente en el campo de prácticas de la escuela se ha construido un invernadero de tipo macro túnel para este proyecto.

Para los dos sistemas se ha utilizado la producción conjunta de Lechuga (*Lactuca sativa*) y pez dorado (*Carassius auratus*).

Los dos sistemas acuapónicos construidos para el ensayo son: sistema de solución nutritiva recirculante o Nutrient Film Technique (NFT) y un sistema mixto que será descrito más adelante. Son los sistemas más utilizados para la producción de hortalizas en acuaponía e hidroponía.

Este proyecto ha sido motivado por las siguientes razones:

1. Hace tiempo se presentó como alternativa con grandes expectativas la producción de especies acuáticas en medios controlados, esta alternativa quería dar respuesta a la creciente demanda de alimentos para abastecer a una población mundial que crecía exponencialmente.
2. Hoy en día la acuicultura ya es una realidad y se aproxima a los niveles de las capturas pesqueras.
3. El aumento de la actividad de la acuicultura podría crear efectos indeseables en el medio ambiente, dado el alto poder contaminante de los efluentes, con la acuaponía estos efectos se reducirían.
4. Por otra parte los recursos hídricos de buena calidad que disponemos son más escasos, por lo que es necesario cuidar los existentes realizando un uso más eficiente del agua.
5. La agricultura intensiva se verá afectada en un futuro no muy lejano por la escasez de algunos fertilizantes (Ej. fosfóricos), que deberán ser reemplazados por fuentes alternativas como los residuos animales que produce la acuaponía. Como resultado, se impondrá un cambio de paradigma, de economía línea a circular.
6. Por último citar el factor social, ya que estos sistemas a pequeña escala pueden proporcionar a familias de bajos ingresos y con riesgo de exclusión social, una alimentación rica en hortalizas y pescado de primera calidad.

## 2.2. Antecedentes

### 2.2.1. Hidroponía

La hidroponía es el cultivo de plantas sin suelo, utilizando como medio de cultivo una solución nutritiva con o sin apoyo de diferentes materiales inertes (lana de roca, arlita, perlita, fibra de coco, etc.). Las plantas reciben por sus raíces la solución nutritiva específica y preparada para conseguir el desarrollo adecuado del vegetal cultivado.

Esta técnica consigue rendimientos altos por unidad de área cultivada, por la mayor densidad y elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año (Resh et al., 2001). Para lograrlo, se emplea diferentes técnicas para la fijación de las plantas, las más utilizadas son:

**a) Técnica de la película nutritiva (NFT, “Nutrient Film Technique”), empleado en este proyecto:** Esta técnica hidropónica consiste en una pequeña lámina de agua que corre sobre un canal, esta lámina contiene todos los nutrientes disueltos necesarios para el crecimiento vegetal. El caudal recircula sobre las raíces desnudas.

**b) Lecho de sustrato, orgánico o inorgánico (Grow bed), empleado en este proyecto:** Se parece al cultivo convencional en tierra, en lugar de tierra se utiliza algún material denominado sustrato, el cual no contiene nutrientes y se utiliza como un medio de sostén para las plantas. Este lecho es inundado a pulso o regado por una solución nutritiva.

**c) Raíz flotante (“Raft System”), empleado en este proyecto:** Consiste en utilizar contenedores de cualquier tipo de material el cual impida el paso de luz protegido por una tapa con orificios encargada de sostener a las plantas permitiendo que las raíces estén en contacto con la solución nutritiva. En esta técnica se debe tener en cuenta que el sistema depende de la aireación la cual genera oxígeno para que no se produzca asfixia radicular.

La producción hidropónica permite obtener hortalizas de calidad, asegurar un uso más eficiente del agua y fertilizante, por consiguiente es una producción más respetuosa con el medio ambiente.

#### **Algunas ventajas del cultivo sin suelo (Resh et al., 2001):**

- Control completo y homogéneo de la nutrición vegetal.
- No existen malas hierbas.
- No hay enfermedades ni parásitos del suelo.
- No existe estrés hídrico, se reduce las pérdidas por evaporación y percolación.
- Buena calidad del fruto y bajo destrío en los supermercados.
- Se utilizan pequeñas cantidades de fertilizantes, al estar distribuidas uniformemente, permiten una utilización uniforme, con muy pocas pérdidas por lavado.
- No es preciso cambiar el medio de cultivo, ni utilizar el barbecho o rotaciones.

- Las cosechas sin suelos son más productivas en la mayoría de los vegetales, por ejemplo en: tomate, soja, judías, guisantes, trigo, arroz, remolacha, patatas, coles, lechuga, pepinos.

### Algunos inconvenientes del cultivo sin suelo (Axayacalt, 2014):

- **Por sí sola no asegura rendimientos superiores:** este sistema permite un mejor desarrollo de los cultivos, pero se requiere hacer énfasis en muchos aspectos más, ya que por sí sola no garantiza el éxito. Este sistema es más específico y requiere de una mayor atención a los pequeños detalles, debido a que se le da a las plantas las condiciones más adecuadas para su desarrollo con el propósito de evitar que sufran estrés por competir con las demás por agua, luz y nutrientes. Sin embargo, lo anterior conlleva a que las plantas se vuelvan demasiado susceptibles al más ligero cambio y sus capacidades de adaptación se ven minimizadas, pues se vuelven dependientes del hombre por completo. Por ello, la atención en todo momento a cultivos en hidroponía es crucial, pues es fácil que sufran desequilibrio en la nutrición o alteraciones severas si se afecta el abastecimiento de oxígeno y agua.
- **Inversión inicial alta:** El desembolso del dinero que hay que hacer en un inicio para instalar un sistema hidropónico es generalmente alto. Si se realiza el proyecto de manera adecuada es posible recuperar la inversión en poco tiempo, aunque en la mayoría de los casos, al ser inversiones considerables, éstas se recuperan a medio y largo plazo.



Ilustración 1. Lechuga en hidroponía. Fuente [www.cursos-de-capacitacion.com](http://www.cursos-de-capacitacion.com)

### 2.2.2. Acuicultura

La acuicultura engloba todas las actividades que tienen por objeto la producción, crecimiento y comercialización de organismos acuáticos, animales o vegetales, de aguas dulces, salobres o saladas.

El fin fundamental es la producción de materia viva en un medio acuático, por lo tanto la acuicultura consiste en la manipulación de biotopos acuáticos naturales o artificiales para la producción de especies útiles al hombre.

Algas, moluscos, crustáceos y peces, son los cuatro grandes grupos objeto de la acuicultura (Barnabé G. et al., 1991).

#### **Algunas ventajas de la acuicultura (Bocek A., 2011):**

- Producción controlada: se obtienen productos de mayor calidad, con posibles cosechas parciales y una llegada continua al mercado, lográndose un aprovechamiento sustentable y económicamente apto para el productor.
- Reproducción de organismos: que pueden utilizarse para el poblamiento y repoblamiento de cuerpos de agua con fines de carácter medio ambiental o comercial (pesquero o deportivo).
- Uso de tierras marginales: las instalaciones pueden ser construidas en suelos no aptos para la agricultura, dando uso productivo a las tierras marginales. Los suelos en zonas montañosas, que son difíciles de sembrar o se erosionan con facilidad, pueden usarse para ello.
- Alto valor comercial: los productos acuícolas tienen alto valor comercial, por lo tanto la acuicultura puede proporcionar ganancias a una economía de subsistencia. Por lo general, los agricultores reciben mayores ingresos netos por el pescado que por cultivos tradicionales.
- Mayor rentabilidad: los costos iniciales de construcción de una granja piscícola son mayores que los de una granja de animales terrestres. Sin embargo, después de que el estanque ha sido construido, el pescado es más rentable de producir.
- Alto valor nutricional: el pescado es una fuente de proteína de alta calidad y de ácidos grasos esenciales, por lo tanto con un alto valor nutricional, similar al pollo y superior a la carne roja.

#### **Algunos inconvenientes de la acuicultura (IUCN, 2007):**

- Impacto de las instalaciones e infraestructuras acuícolas: éstas pueden afectar negativamente a la fauna y flora local.
- Los efluentes: con potencial contaminante, que pueden poner en peligro el ecosistema local.
- Escapes de organismos: tienen un impacto sobre el ecosistema.
- Utilización de especies exóticas: provoca riesgos como la introducción de formas asociadas a ellas (p. ej. algas o microorganismos) o nuevos agentes patógenos que se diseminan en un nuevo medioambiente.

- Fuente de alimento para el pescado cultivado: con altos porcentajes de harinas y aceite de pescado. Estos productos primarios son fabricados a partir de peces pequeños pelágicos cuyo origen es la pesca extractiva, por lo tanto hay una sobrepresión de los recursos naturales de los mares para producir materias primas para los alimentos de acuicultura.



Ilustración 2. Industria de la acuicultura. Fuente [www.bioentorno.wordpress.com](http://www.bioentorno.wordpress.com)

### 2.2.3. Acuaponía

La acuaponía es la técnica que une a la hidroponía y la acuicultura para la producción conjunta de plantas y peces con fines comerciales, domésticos, ornamentales o proyectos docentes como es el presente trabajo. Esto se consigue mediante la recirculación continua del agua a través de los dos subsistemas.

En un sistema acuapónico las plantas aprovecha los desechos metabólicos de los peces para crecer al mismo tiempo que limpiar el agua de estos componentes para mantener los niveles adecuados para el desarrollo de los peces, gracias a esto el recambio de agua y la contaminación disminuye más del 80% (Rakocy et al., 2006).

En términos generales, un sistema acuapónico consta de los siguientes elementos (Nelson y Pade, 2010): tanque de peces (u otros organismos acuáticos), dispositivos de filtración (mecánica y/o biológica), cama(s) de crecimiento para plantas y bombeo de agua con o sin sistemas de aireación suplementaria. Estos elementos conectan de tal forma, que el agua rica en nutrientes pasa del tanque de peces a los dispositivos de filtración, que en la parte biológica aloja una gran cantidad de bacterias del género *Nitrosomas* que convierten el amonio en nitrito, y otras del género *Nitrobacter* que convierten el nitrito en nitrato (Lennar, 2004; Rakocy et al., 2006).

**Los objetivos de aplicar esta técnica son los siguientes:**

1. Uso eficiente del agua y de los fertilizantes, ya que en este sistema el agua es recirculada y se realiza el ciclo completo del nitrógeno.
2. Incrementar la producción de alimentos en zonas más desfavorecidas socialmente.

3. Contribuir al respeto y la conservación del medio ambiente.
4. Provisionar a las familias de alimentos de gran calidad, tanto de origen vegetal como animal.
5. Contribuir al desarrollo sostenible de la familia dentro de un contexto de ambientes saludables.
6. Para la formación de estudiantes en nuevas alternativas a la agricultura convencional.



Ilustración 3. Sistema acuapónico. Fuente <http://www.agrohuerto.com>

### 2.3. Pez dorado (*Carassius auratus*)

#### 2.3.1. Introducción

El pez dorado también conocido como carpín dorado o carpa dorada, es una especie de pez de agua dulce de la familia *Cyprinidae*. Fue uno de los primeros peces domesticados por el hombre y actualmente es uno de los más comunes peces de acuario. Fue domesticado por primera vez en China hace más de mil años, y varias razas distintas se han desarrollado desde entonces, estas razas varían mucho en tamaño, forma del cuerpo, aletas y coloración.

Su alimentación es diversa desde algas a invertebrados, su temperatura puede oscilar desde los 17 hasta los 30 grados centígrados, siendo sus óptimos 20 grados centígrados.



Ilustración 4. Ejemplar de pez dorado (*Carassius auratus*). Fuente [www.aquaterraria.com](http://www.aquaterraria.com).



### 2.3.2. Morfología

Es un ciprínido que raramente supera los 30 cm de longitud. La talla máxima conocida es 45 cm de longitud total y 2 kg de peso y la edad máxima de 30 años. El tamaño de la cabeza es relativamente grande comparado con el tamaño del cuerpo. La boca pequeña y terminal no tiene barbillas sensoriales. Su aleta dorsal es alargada y suavemente cóncava y tiene entre 25 y 35 escamas en la línea lateral. El color varía en las formas silvestres entre un tono castaño-verdoso y dorado, existiendo formas con colores y aspectos llamativos empleadas como ornamentales. Las características externas son muy similares a las de *Carassius carassius*, especie que no está presente en nuestras aguas y de la que se diferencia por el número de branquias: 39-50 en *C. auratus* y 22-33 en *C. carassius*. El número de cromosomas es  $2n=100$  (Linnaeus, 1758).

Los machos presentan dimorfismo sexual, cuando están preparados para reproducirse presenta unos puntitos blancos en la región de las branquias y de las aletas pectorales. El ano en los machos es cóncavo, mientras que en las hembras es convexo.



Ilustración 5. Ejemplar de pez dorado que presenta dimorfismo sexual. Fuente [www.elacuaria.com](http://www.elacuaria.com).

### 2.3.3. Hábitat

*Carassius auratus* se encuentra en ríos, zonas fangosas, tranquilas sin corriente y abundante vegetación. En embalses, en las reclusas, prefiere zonas sombrías. No tiene hábitat específico, al tratarse del resultado de la cría selectiva es un pez doméstico, por lo que no está dentro de ningún biotopo.

Su distribución en mundial, aunque es originario de Asia Central, China y Japón, aparece hoy en aguas de unos sesenta países de todos los continentes. En Europa parece estar en expansión y se considera autóctona en algunos países del Centro y Este.

Su introducción en aguas españolas debió coincidir en el tiempo con la de la carpa, hacia el siglo XVII (Lobón-Cerviá et al., 1989). En España se distribuye prácticamente por todas las cuencas.

### 2.3.4. Reproducción y cría

La freza se produce en aguas con densa vegetación sumergida después de un cambio significativo de la temperatura, normalmente en mayo-junio. Se conocen poblaciones que son todo hembras. En estas poblaciones la reproducción se realiza por gimnogenesis, los huevos necesitan para su desarrollo sólo el estímulo del esperma de un macho de otra especie. Los individuos que nacen son por tanto clones de sus madres, los machos persiguen a las hembras, lo que las lleva a la liberación de sus por golpes y codazos de los machos.

### 2.3.5. Comercialización

Se estima que el 90% de los ejemplares de pez dorado que se comercializan para acuariofilia han sido criados en cautividad. Las instalaciones de cría de piscicultura pueden ser estanques de piscicultura al aire libre o acuarios en sistemas cerrados.

Prácticamente el cien por cien de las especies de agua dulce que se comercializan para agua fría y estanque, básicamente ciprínidos y similares, se cultivan en piscicultura en estanque. Al no requerir tanto aporte energético (calor) estas instalaciones de cría industrial se han establecido en zonas geográficas muy diversas.

## 2.4. Lechuga (*Lactuca sativa*)

### 2.4.1. Clasificación botánica

La lechuga pertenece a la familia *Asteraceae*, genero *Lactuca* cuyo nombre científico es *Lactuca sativa*.

Es una planta herbácea anual propia de las regiones templadas que se cultiva con fines alimentarios, posee un sistema radicular poco ramificado (pivotante) de 25-30 centímetros.

Sus primeras hojas se disponen en roseta y después se aprietan una junto a otras, formando un cogollo. Sus hojas pueden ser redondeadas, lanceolada o casis espatulada y según la variedad pueden tener borde liso, ondulado o aserrado. El tallo se alarga para dar lugar a las inflorescencias, cuando comienza la fase reproductiva.

Presenta flores de color amarillo con inflorescencias dispuestas en corimbo, compuesto por muchos capítulos que dan lugar a varias flores (12-20) y cada una produce una semilla, que en realidad son frutos en forma de aquenios típicos (Maroto et al., 2000).

Es una planta autógama, en un gramo entra alrededor de 800 semillas y su capacidad germinativa es de unos 4-6 años (Maroto et al., 2000). Algo muy importante es que las semillas de segundo año presentan una mayor germinación y una menor subida.



Ilustración 6. *Lactuca sativa* con sistema radicular. Fuente Google imágenes.

### 2.4.2. Clasificación de cultivares

La clasificación se puede realizar atendiendo a varios parámetros: según botánica, según sus caracteres, según su ciclo de cultivo.

Según su botánica:

- **Variedad longifolia:** Engloba los cultivares que aprovechándose sus hojas no forman un verdadero cogollo, su forma es aovada u oblonga. Lechugas tipo romana y tipo “Cos”.



Ilustración 7. Lechuga variedad romana. Fuente [www.grupoagrupo.net](http://www.grupoagrupo.net).

- **Variedad capitala:** Cultivares que forman cogollo apretado, hojas anchas. Engloba las lechugas encogolladas.



Ilustración 8. Ejemplar de lechuga encogollada. Fuente [www.pulevasalud.com](http://www.pulevasalud.com).

- **Variedad Inybacea:** Estos cultivares poseen las hojas sueltas y dispersas.
- **Variedad Augustana:** Lechugas que se aprovecha por sus tallos se conocen como lechugas espárragos, sus hojas son puntiagudas y lanceoladas, su cultivo es frecuente en China.



Ilustración 9. Ejemplares de lechugas espárragos. Fuente wikipedia.

- **Minilechugas:** Tienen crecimiento erecto y en ocasiones se aparece a la romana. Pero las hojas son más cortas y menos crujientes. Las cabezas a veces son cerradas y otras veces son abiertas. Gran interés económico. Se utilizan cultivares como: Paavane, Littele, Gem, Ice Cube, Blush, etc.

Las variedades longifolia y capitata, son las de cultivo más extendido en el mundo occidental.

**Según sus caracteres se puede clasificar (Maroto, 1995):**

- Por su aptitud en formar cogollos.
- Por la consistencia de sus hojas.
- Por su adaptación a una determinada estación.
- Por su susceptibilidad al Tipburn, y sus hipotéticas resistencias a enfermedades.

**Su clasificación según su ciclo de cultivo, sería:**

- Lechugas de primavera: Son de ciclo corto.
- Lechugas de verano y otoño: Son más resistentes a la sequía y a temperaturas elevadas (suben menos a flor)
- Lechugas de invierno: Son más resistentes al frío y las del ciclo más largo. Resisten mal los cambios de temperatura, en verano no forman cogollo y en inviernos fríos seguidos de primaveras cálidas producen subidas (Prohens y Nuez, 2008).

### 2.4.3. Ciclos de cultivo

La lechuga soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas. Como temperatura máxima tendría los 30°C y como mínima puede soportar hasta -6°C. Para la germinación requiere una temperatura media de 15-20°C y de 14-18°C para su vegetación. Tampoco es bueno que la temperatura del suelo baje de 6-8°C. Exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Presenta una resistencia moderada a las heladas. Cuando soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza que se puede confundir con alguna carencia o alguna variedad.

Respecto a la humedad relativa para que la lechuga se desarrolle sin problemas es conveniente un intervalo entre 60-80%, en algunas ocasiones del desarrollo es conveniente que sea menor que 60%.

En cuanto al suelo es un cultivo bastante polivalente pero sus mejores resultados se obtienen en suelos fértiles, ligeros, arenosos-limosos y con buen drenaje. El pH del suelo es un factor a tener en cuenta el óptimo para el desarrollo de la lechuga se encuentra entre 6,7 y 7,4. En ningún caso admite la sequía, aunque es conveniente que la costra del suelo esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello.

A continuación se detalla cada periodo del ciclo:

- Periodo germinativo: Es aquel que comprende desde la siembra hasta la aparición de los cotiledones.
- Periodo vegetativo o roseta: Este comprende desde la aparición de las hojas hasta la formación de la roseta, en esta etapa influyen las altas temperaturas.
- Periodo de acogollado: Consiste en la formación del cogollo, es el crecimiento diferencial de las hojas más externas. Cambian a forma de copa y comienzan a solaparse, encerrado a las hojas internas.
- Periodo de floración: Ocurre con la subida del tallo, cuando esto ocurre las plantas no son comerciables. Esta subida influyen por varios factores: Variedades, condiciones de campo y condiciones ambientales de las plantas madres.

Es preciso un periodo de frío (vernalización). El fotoperiodo largo y las altas temperaturas parece ser que es uno de los factores más importantes de la subida, pero la respuesta en campo está más influenciada por el tipo de cultivar.

### 2.4.4. Técnicas de cultivo

Las técnicas de cultivos las centraremos en las aplicadas en sistemas hidropónicos que es de lo que trata este trabajo.

La siembra se realiza en semillero de 5mm de cavidad y aproximadamente unas 200 huecos. Pasado unos 30-40 días se realiza el trasplante, normalmente con 6-8 hojas y una altura de 8 centímetros. Se dejará una distancia entre plantas

de 25 centímetros y entre hilera de 30 centímetros, para conseguir así una densidad de 13-15 plantas/m<sup>2</sup>.

En cultivos sin sustrato ya sea en cama flotante o NFT, es necesario estar constantemente monitoreando conductividad eléctrica, pH y oxígeno en agua.

Respecto a la fertilización no concierne ningún problema ya que en estos sistemas se inyecta una solución nutritiva que aporta todos los elementos esenciales para el desarrollo del cultivo.

#### 2.4.5. Principales alteraciones fisiológicas

En este apartado se citara las principales plagas, enfermedades y fisopatías que afectan al cultivo de la lechuga.

**En primer lugar las plagas más importantes son:**

- Pulgones: Sus daños varían mucho con las condiciones climáticas. Sus daños son picaduras y succiones que realizan en las hojas, consecuencias de deterioro de la hoja o transmisión de virus.
- Trips: Es una de las plagas más extendidas, sus daños son por picaduras sobre los tejidos más tiernos para su nutrición e indirectamente transmiten el Virus del Bronceado del Tomate (TSWV).
- Orugas: Sus daños son variables según años, la comarca, por lo general siempre más intenso en otoño sobre todo si la estación es lluviosa y temperaturas suaves. Producen defoliación grave.
- Caracoles y babosas: No suelen presenta problemas generalizados, pero si se dan circunstancias muy concretas puede favorecer el aumento de sus poblaciones, llegando ser los daños graves.
- Otras plagas aéreas:
  - **Minadores**: Realizan galerías en las hojas, puede causar daños graves en plantaciones jóvenes.
  - **Mosca blanca**: Normalmente no constituyen problemas para el cultivo.
  - **Pájaros**: Estos vertebrados son peligrosos en los periodos que no hay abundancia de otras especies vegetales que puedan servirles de alimento.
- Plagas de suelo:
  - **Gusano de alambre**: La presencia de este depende mucho del tipo de cultivo precedente, especies como la patata o maíz favorece enormemente su infección. El daño lo producen las larvas: en planta pequeñas los daños son mordiscos en el cuello de la planta llegando a degollarla por completo y en plantas ya crecidas atacan al sistema radicular.
  - **Gusano gris**: Su presencia influye según la humedad y la presencia de mala hierbas. A mayor humedad y presencia de malas hierbas las poblaciones de gusano gris serán mayores. Son muy voraces y una larva en una noche puede degollar un plantita.



- **Nematodos:** Tienen poca importancia. En zonas afectadas los daños son nódulos, hipertrofias o agallas en las raíces, que se traduce a plantas raquílicas y muy retrasadas en desarrollo.



Ilustración 10. Pulgones en lechuga (izquierda) y gusano gris (derecha). Fuente [www.syngenta.es](http://www.syngenta.es)

### En segundo lugar las enfermedades más importantes son:

- **Mildiu:** Esta enfermedad está muy ligada a las condiciones de temperatura y humedad, y los síntomas son hojas externas amarillentas que luego oscurecen y finalmente se necrosan.
- **Botrytis:** Los síntomas son presencia de un abundante micelio de color gris-ceniza. Los daños son machas necróticas en tallo y hojas, hasta causar la muerte de la planta.
- **Hongos aéreos:** Se pueden encontrar distintos hongos: Antracnosis, Alternaria, Cladosporium, Septoria, Stemphylium, Oidio.
- **Hongos de suelo:** El más importante es la podredumbre del cuello o Sclerotinia. Las plantas afectadas detienen su crecimiento, amarillean y se marchitan.
- **Enfermedades bacterianas:** La bacteria más común es *Pseudomonas cichorri*. Esta penetra en el tejido foliar, presentando manchas oscuras en el limbo. La infección aparece sobre todo en plantas cercanas a recolección.
- **Virus del bronceado del tomate (TSWV):** Los síntomas son aparición de pequeñas manchas necróticas, redondeadas e internerviales, que se extiende hasta afectar a gran parte de la hoja.
- **Virus del mosaico (LMV):** Los síntomas consisten en moteados y mosaicos verdosos, más o menos claros, que se van acentuando al crecer la planta. Alteran el crecimiento de la planta. Estas manchas se extienden en color amarillento hasta convertirse en una clorosis generalizada.
- **Virus Big-Vein o nervaciones gruesas (LBVV):** Los síntomas principalmente son el engrosamiento de los nervios foliares, acompañado de un aclareo y bandeado progresivos de las zonas de tejidos próximas a estos nervios. También las plantas afectadas presentan achatamiento y erección de las hojas con abollonaduras en el tejido internervial.



Ilustración 11. Efecto de Mildiu (izquierda) y Botritis (derecha). Fuente.)<http://www.fitoralia.com>

**Por último entre las fisiopatías más importantes podemos encontrar:**

- Heladas y bajas temperaturas: Puede producir descamaciones epidérmicas, desecaciones, enmarrocamientos foliares y hasta el colapsamiento de las plantas (Maroto, 1995)
- Granizo: El impacto es negativo tanto por los daños directo que causa a la planta e indirecto por las heridas que deja para el posterior ataque de los patógenos.
- Salinidad: Esta en el grupo intermedio de resistencia a la salinidad. La salinidad afecta a la germinación de la planta y también necrosis marginales de las hojas.
- Sumersión: Es consecuencia de las fuertes lluvias y el estancamiento de las mismas, el principal problema que se origina se debe a la restricción de oxígeno en la zona radicular.
- Carencia de potasio: No es muy frecuente en campo abierto o invernadero, pero si en sistemas acuapónicos.
- Tipburn: Se manifiesta como una quemadura en las puntas de las hojas más jóvenes y esta ocasionado por una deficiencia translocación del calcio hacia los órganos en los que aparece (Barta et al., 1991). Esta es una de las carencias que más aparecen en cultivos bajo plástico.



Ilustración 12. Síntomas de Tipburn (izquierda) y carencia de potasio (derecha.). Fuente [www.elmacetohuerto.net](http://www.elmacetohuerto.net).



### 2.4.6. Recolección y postcosecha

La recolección puede hacerse de maneras muy diversas, desde sistemas totalmente mecanizados a manuales. **Los sistemas manuales de recolección son los más utilizados en pequeñas superficies y en sistemas hidropónicos.**

El momento óptimo de recolección según las variedades de lechuga se conoce de la siguiente forma:

- Variedad acogolladas: Se recogen según la consistencia de la cabeza. Se comprimen con la mano y la cabeza debe aguantar una tensión moderada ese es el óptimo para la recolección. Si la cabeza está blanda significa que están inmaduras y duras significa muy maduras.
- Variedad romana: En esta variedad el óptimo para ser recolectada depende del número de hojas y de la consistencia de la cabeza. Siendo su óptimo con unas 35 hojas y una consistencia media.

Los rendimientos medios que pueden conseguirse en hidroponía son de 50-70 t/ha, mucho más que en la producción tradicional campo que son de 20-40 t/ha.

### 2.5. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es determinar la facilidad del montaje y manejo así como la capacidad productiva de dos sistemas acuapónicos familiares basados en los modelos FAO (Somerville et al., 2014).

Los objetivos específicos que pretende este proyecto son:

1. El estudio de la viabilidad de los dos sistemas acuapónicos (NFT y cama flotante) para la producción conjunta de pez dorado y lechugas.
2. Comparación de la producción de lechugas entre los dos sistemas acuapónicos, con la producción de la misma especie en un sistema hidropónico convencional con un sustrato de perlita y aporte de solución nutritiva completa.
3. Conocer el funcionamiento y manejo básico del sistema acuapónico en base a una serie de variables conocidas, con el fin de intentar aportar soluciones para que este sistema se pueda desarrollar a nivel de una explotación tanto industrial como doméstica.
4. Obtención de datos para el desarrollo de una curva crecimiento de pez dorado en condiciones del sistema acuapónico y cálculo de los índices de conversión en las primeras fases del crecimiento de los peces.

Para conseguir los objetivos citados, se han realizado tareas de mantenimiento, toma de datos en el circuito de agua y medidas en plantas de los dos sistemas.



## 2. Antecedentes y Objetivos

### 3. MEMORIA DESCRIPTIVA

#### 3.1. Materiales y métodos

A continuación se explicara cada sistema estudiado:

- **Sistema NFT (NFT, “Nutrient Film Technique”)**: Los peces fueron alojados en un depósito de 1000 litros. El circuito de agua sigue un flujo de recirculación continuo, consiste en la salida de agua desde el tanque de peces, el paso de esta por el decantador (depósito cilíndrico) de este al filtro biológico (depósito cilíndrico) todo esta conducción por gravedad, del filtro biológico una bomba bombea el agua hasta la cabeza de los tubos NFT y hasta el tanque de peces, repartiendo su caudal en un 20% y 80% respectivamente. Los tubos NFT con una pendiente de 2% hacen caer el agua otra vez en el biofiltro.

- **Sistema Mixto (“Grow bed” + “Raft System”)**: Los peces fueron alojados en un depósito de 1000 litros. El agua es conducida a la cama flotante con sustrato de arlita que hace como filtro biológico, en esta cama hay alojado un auto-sifón que cuando llega al nivel de vaciado el agua es desaguada a un tanque colector toda esta conducción por gravedad, del tanque colector el agua es bombeada por una bomba hasta las dos camas flotantes y el tanque de peces, repartiendo su caudal en un 20% y 80% respectivamente. Las dos camas flotantes por gravedad desaguan el agua en el tanque colector.

##### 3.1.1. Origen de los animales

Los ejemplares de *Carassius auratus* procedían de la empresa, situada en Sevilla en el Polígono Industrial El Pino. Esta cuenta con un almacén de 2000 m<sup>2</sup>, de los cuales 200 m<sup>2</sup> se dedican a instalaciones de peces ornamentales vivos, 1000 m<sup>2</sup> a “CASH&CARRY” exclusivo para profesionales, 700 m<sup>2</sup> como almacén y 100 m<sup>2</sup> a oficinas. La actividad de la empresa es la importación y distribución al por mayor de accesorios para animales de compañía y peces ornamentales. La empresa cumple toda la normativa de bienestar e higiene y de venta de animales.

##### 3.1.2. Material biológico

Los sistemas acuapónicos mantienen tres poblaciones biológicas simultáneamente en equilibrio: peces, plantas y bacterias.

En cuanto a los peces, se partió de una población inicial de 54 ejemplares para el NFT y 53 para el mixto. La elección de esta especie viene dada por los siguientes factores:

- Presenta una gran adaptabilidad a diferentes calidades de aguas.
- Soporta temperaturas del agua elevadas que podríamos encontrar a lo largo del ensayo.
- Precio comercial alto en ejemplares de gran tamaño.

Para las plantas se utilizó dos variedades de lechuga de crecimiento vegetativo rápido que son la *Lollo rosso* (color rojo) y *Lollo bionda* (color verde). Se sembraron en semillero de poliestireno expandido, unas 60 semillas de cada

variedad. Aunque para el proyecto se utilizaron unas 50 plantas y se trasplantaron del siguiente modo:

- 10 plantas de cada variedad en el sistema NFT, haciendo un total de 20 plantas.
- 10 plantas de cada variedad en el sistema Mixto, haciendo un total de 20 plantas.
- 10 plantas de cada variedad en macetas en un sistema hidropónico convencional con sustrato de perlita, haciendo un total de 20 plantas.

En cuanto a las bacterias, se facilitó el crecimiento y la proliferación de bacterias nitrificantes en todo el circuito, ya que son las encargadas en realizar la oxidación del Amonio ( $\text{NH}_4$ )/Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) a Nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y de estos a Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) que es la forma asimilable para las plantas.

Para ayudar a la proliferación de las bacterias, se dejó el circuito con agua en recirculación, sin peces ni plantas durante un periodo de 45 días. Durante este tiempo, las bacterias proliferaron en las paredes de los depósitos, conducciones, así como en las biobolas. Para acelerar el ciclado, a los 15 días de comenzar la recirculación, se añadió al circuito una ampolla de cultivo bacteriano concentrado "Biodigest", de la marca Prodigio, para el total volumen de agua de la instalación (1300-2000 litros aprox.). Ya que una ampolla trata desde 1000 litros hasta 10000 litros.

### 3.1.3. Descripción de la instalación

La construcción de la instalación acuapónica de este proyecto se ubicó en el campo de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la universidad de Sevilla (E.T.S.I.A.), está situada en la Ctra. Utrera, KM 1, Sevilla.



Ilustración 13. Situación del invernadero utilizado. Fuente google Earth.

Para ello se dispuso de un invernadero construido para este fin con una superficie de 65 m<sup>2</sup>, de los cuales nuestra instalación ocupó unos 25 m<sup>2</sup>, en esta superficie se alojaron dos sistemas acuapónicos basados en el manual de la FAO "Small-scale aquaponic food production" (Somerville et al., 2014) (ver ilustraciones 15,16), aunque se han realizado algunos retoques en ambos sistemas para solventar algunos problemas que surgieron en el montaje.



Ilustración 14. Invernadero donde se alojaron los sistemas acuapónicos.

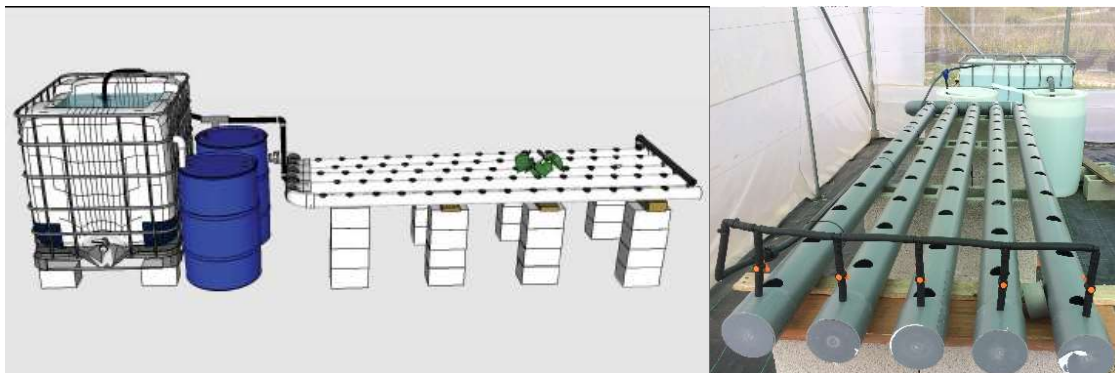


Ilustración 15. A la izquierda Sistema NFT propuesto por el manual de la FAO, a la derecha sistema NFT construido en ETSIA. Fuente (Somerville et al., 2014).

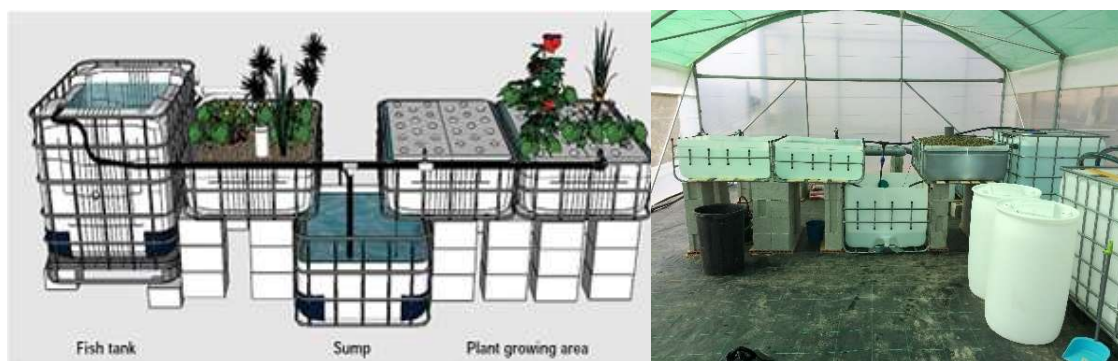


Ilustración 16. A la izquierda sistema mixto propuesto por el manual de FAO, a la derecha sistema mixto construido en ETSIA. Fuente (Somerville et al., 2014).

A continuación se presenta un esquema para la descripción de todos los elementos y materiales que integran las dos instalaciones acuapónicas, explicación de la circulación del agua en el sistema y por último el funcionamiento del sistema.

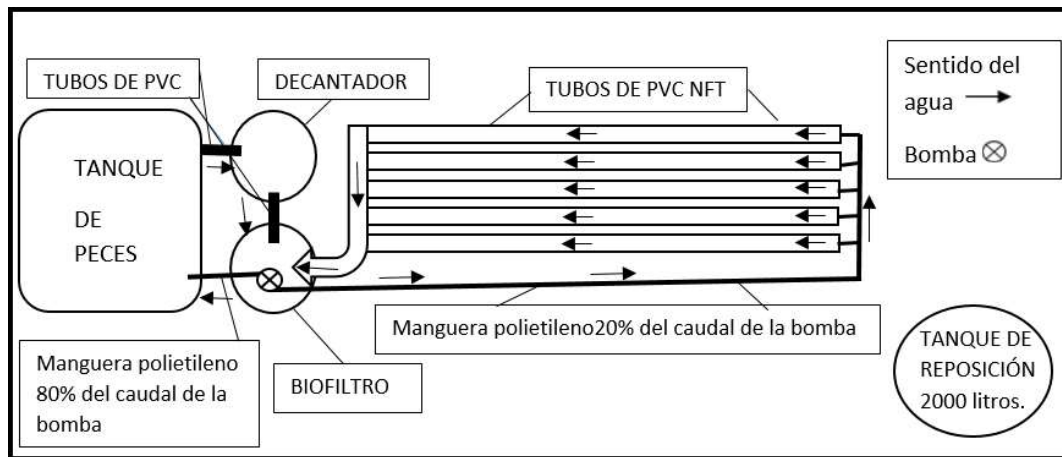


Ilustración 17. Esquema de sistema NFT.

**A continuación, explicaremos los elementos de los que consta el Sistema NFT;**

- **Depósitos:** Se emplearon tres depósitos, dos cilíndricos con una capacidad de 220 litros por unidad y uno rectangular tipo IBC con una capacidad de 1000 litros.

Los cilíndricos fueron utilizados como decantador y biofiltro, mientras el rectangular alojó a la población de peces durante todo el ensayo.

- **Tuberías de PVC:** Se emplearon varios tipos y diámetros de estas tuberías.

- Tubería de 90mm: Se emplearon 5 tuberías con una longitud de 3 metros para crear los NFT. Cada tubería tenía 12 agujeros de 5cm de diámetro con una distancia entre ellos de 25cm, los cuales servían para alojar los de soporte que contenían el cepellón de lana de roca para las plantas.
- Tubería de 50mm: Se utilizaron varios trozos de distintos tamaños (en total 3 metros) para el montaje del sistema de conducción de agua desde el tanque de peces al decantador, y también se utilizó un trozo para desagüe de limpieza del decantador.
- Tubería de 40mm: Se utilizaron de material flexible y rígido. Se emplearon para la conducción de agua desde el decantador al biofiltro (colector) y para el desagüe de los tubos NFT hacia el biofiltro.

- **Accesorios de PVC:** Se utilizaron varios con distintas formas y diámetros.

- Racores o pasamuros de 50 mm para hacer pasar el agua desde el tanque de peces hasta el decantador y para desagüe de limpieza del decantador.

- Racores o pasamuros de 40mm, para conducir el agua desde el decantador y de los tubos NFT hasta el biofiltro.
- Tapones de 50mm, se utilizaron 2, uno en la tubería inferior del tanque de peces y otro en la tubería para la limpieza del decantador.
- Codo de 50m (90 grados), se utilizaron un total de 5, tres de ellos en la conducción de agua entre el tanque de peces-decantador, los dos últimos en el interior del decantador.
- 5 tapones de 90mm: Para los extremos de mayor cota de los tubos NFT.
- 2 codos de 90mm (90 grados): Uno para la unión de los tubos NFT en el extremo de menor cota y otro en el mismo extremo pero para el desagüe de estos tubos hacia el biofiltro.
- 4 T de 90mm: Todos utilizados para la unión de los tubos NFT en el extremo de menor cota.
- Pieza de reducción de 90mm a 40mm, para el desagüe de los tubos NFT hacia el biofiltro.
- **Tubería de Polietileno:** Se utilizaron para conducir el agua desde el biofiltro hasta el extremo de mayor cota de los tubos NFT, mediante bombeo.
  - Polietileno de 20mm: Se utilizó para conducir el agua desde la bomba situada en el biofiltro hasta el extremo de mayor cota de los tubos NFT, y también hacia el tanque de peces.
  - Polietileno de 16mm: Se empleó para realizar una pequeña batería de alimentación para cada tubo NFT, situada en el extremo de mayor cota de estos.
- **Accesorios de Polietileno:** Se utilizaron varios con diferentes formas y tamaños.
  - T de 20mm, para repartir el agua bombeada entre los tubos de NFT y el tanque de peces.
  - Reducción de 20mm a 16mm.
  - 3 codos de 16mm (90 grados), para la fabricación de la batería de alimentación de tubos NFT.



- 4 T de 16 mm, para unión de tubería de alimentación de tubos NFT.
- 5 llaves de 16mm: Para regular el caudal de forma independiente en cada uno de los tubos de NFT.



Ilustración 18. Sistema NFT después de su montaje con los materiales citados anteriormente.

- **Material eléctrico:**

- Una regleta de 230 V, con 4 conexiones: Esta servía para conectar a la corriente los diferentes dispositivos eléctricos utilizados en el NFT.
- 15 m de manguera de doble hilo de 2mm por hilo de sección: Servía para conducir la corriente desde el cuadro central hasta la caja eléctrica ubicada en el exterior del tanque de peces.
- Caja de conexiones de exterior modelo IP65, en el interior se ubicaba la regleta y gracias a sus perforaciones en su interior eran conectados todos los dispositivos.

- **Otros accesorios:**

- 25 metros de tubo corrugado: Este se utilizó para la fabricación de biobolas caseras de unos 30 mm de diámetro aproximadamente. Estas fueron introducidas en el tanque de biofiltro, con el fin de que sirvieran como nido para alojar la colonia de bacterias nitrificantes.
- 1000 biobolas de 30 mm de diámetro adquiridas en Surtropic, que fueron introducidas en el tanque de biofiltro junto a las biobolas caseras



- Una bomba de agua "EHEIM", de caudal regulable de 1500-3000 L/h, para aspirar el agua desde el biofiltro hasta los tubos de NFT y tanque de peces.
- Dados de lana de roca: Se emplearon parara el soporte de las plántulas de lechuga, aportando consistencia al cepellón de las plantas en el momento del trasplante.
- Vasos de plásticos de 125 ml: Estos fueron utilizados para introducir los dados de lana de roca.
- Un aireador "EHEIM", capaces de impulsar 400 L/h, para asegurar un nivel óptimo de oxígeno disuelto para los peces.
- Bloques prefabricados de hormigón: Para conseguir colocar los tubos NFT con una pendiente del 1%.
- Malla de sombreo: Malla de 1.2x1.2m, fue colocada encima del tanque de peces para evitar la aparición de microalgas y que la población de peces estuvieran más tanquillos.

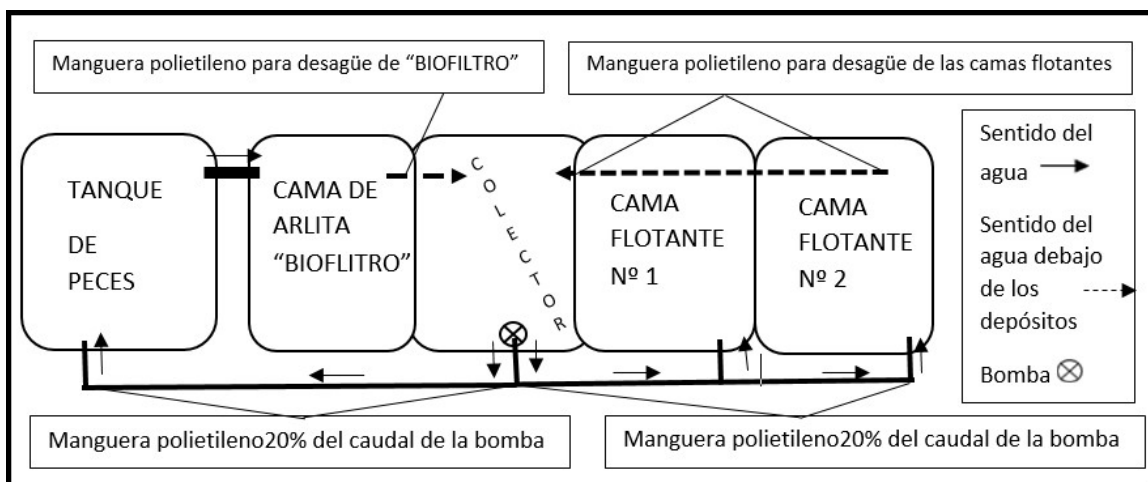


Ilustración 19. Esquema de sistema mixto.

**A continuación, explicaremos los elementos de los que consta el Sistema Mixto;**

- **Depósitos tipo IBC:** Se utilizó un depósito con capacidad de 1000 litros para albergar la población de peces. Otros dos depósitos fueron cortados de tal forma que resultara 4 depósitos: 2 para cama flotante con una capacidad de 400 litros, uno para cama de arlita con la misma capacidad de los anteriores, por último uno con una capacidad de 400 litros aproximadamente que sirvió de colector.
- **Tuberías de PVC:** Se utilizaron tuberías de 50mm y 32mm de diámetro.
  - Tubería de 50mm: Se emplearon varios trozos (2 metros), para la fabricación de la conducción del agua desde el tanque de peces hasta la cama flotante de arlita.

- Tubería de 32mm: Se utilizaron 3 trozos de 25cm para el desagua de cada una de las camas.
- **Accesorios de PVC:** Se emplearon varios y con distintas funciones.
  - Racores o pasamuros de 50mm: Se utilizó uno para hacer pasar el agua desde el tanque de peces hasta el exterior.
  - Racores o pasamuros de 32mm: Se emplearon 3 para desagüe desde las diferentes camas hasta el colector.
  - 3 codos de 50mm (90 grados): Todos utilizados para la conducción de agua desde el tanque de peces hasta la cama de arlita.
  - 1 tapón de 50mm para la tubería perforada del fondo del tanque de peces.
  - Llave de paso de 32 mm para regular el caudal del agua de bombo en la entrada del tanque de peces
- **Tuberías de Polietileno:** Se emplearon varias tuberías y de distintos diámetros.
  - Tubería de 32mm: Se utilizó para la conducción del agua desaguada de las camas flotantes hasta el colector, y para suministra el agua bombeada desde el colector hasta las dos camas flotantes y el tanque de peces.
  - Tubería de 20mm: Se utilizó un trozo desde la bomba a la línea de alimentación de 32mm de las camas flotantes y tanque de peces.
- **Accesorios de Polietileno:** Se utilizaron varios con diferentes formas y tamaños.
  - 1 reducción de 32mm a 20mm para la línea de bombeo.
  - 3T de 32 mm: 2 para la línea de bombeo, 1 para la línea de desagüe de las camas flotantes.
  - 2 codos de 32mm (90 grados): 3 para la línea de bombeo para colocar la llave de paso en cada cama flotante, 1 para el desagua de la cama de arlita y por ultimo uno para el desagüe de la cama flotante más alejada del colector.



Ilustración 20. Sistema mixto después de su montaje con los materiales citados anteriormente.

**- Material eléctrico:**

- Una regleta de 230 V, con 4 conexiones: Esta servía para conectar a la corriente los diferentes dispositivos eléctricos utilizados en el Mixto.
- 10 m de manguera de doble hilo de 2mm por hilo de sección: Servía para conducir la corriente desde el cuadro central hasta la caja eléctrica ubicada en el exterior del tanque de peces.
- Caja de conexiones de exterior modelo IP65, en el interior se ubicaba la regleta y gracias a sus perforaciones en su interior eran conectados todos los dispositivos.



Ilustración 21. Caja de electricidad ubicada en tanque de peces.

**- Otros accesorios:**

- 2 llaves de pasos metálicas de 32mm: Se utilizaron para graduar el caudal de agua bombeada a cada cama flotante.
- Un auto-sifón de PVC o sifón de campana (“bell syphon”) de unos 30 cm, fabricado con dos trozos de tubos de PVC de distinto diámetro (uno de 32mm y otro de 20mm), un tampón de PVC de 32mm y un trozo de manguito de unos 25cm de longitud y de 5mm de diámetro. Este tipo de auto-sifón favorece la aireación de las raíces por el efecto de llenado y vaciado del depósito donde son instalados. Este tipo de sifón es para drenaje de pequeños recipientes y función dejando salir el agua cuando esta la nivel del tubo de PVC. (Bradley et al., 2010).
- Una bomba de agua “EHEIM”, de caudal regulable de 1500-3000 L/h, para aspirar el agua desde el colector hasta las camas flotantes y tanque de peces.

- Datos de lana de roca: Se emplearon para el soporte de las plántulas de lechuga, aportando consistencia al cepellón de las plantas en el momento del trasplante.
- Un compresor de aire marca “BOYU” con un caudal de 4200 L/h, inyectaba aire a una red de 4 microtubos de polietileno de 4mm de grosor con difusores de aire en sus extremos, que fueron repartidos de la siguiente forma: 2 para el tanque de peces y uno para cada cama flotante.
- Bloques prefabricados de hormigón: Se utilizaron para que las camas flotantes fueran soportadas por encima de la cota del colector.
- Malla de sombreo: Malla de color negra de 1.2x1.2m, fue colocada encima del tanque de peces para evitar la aparición de microalgas y para que los peces estuvieran más tranquilos.
- Listones de madera para proporcionar más resistencia a cada estructura metálica de cada cama flotante.
- 2 láminas de corcho de 20mm de espesor y una superficie de 1m<sup>2</sup> para alojar las plantas en cada una de las camas flotantes
- 75 litros de arlita lavada, para rellenar la cama de arlita.

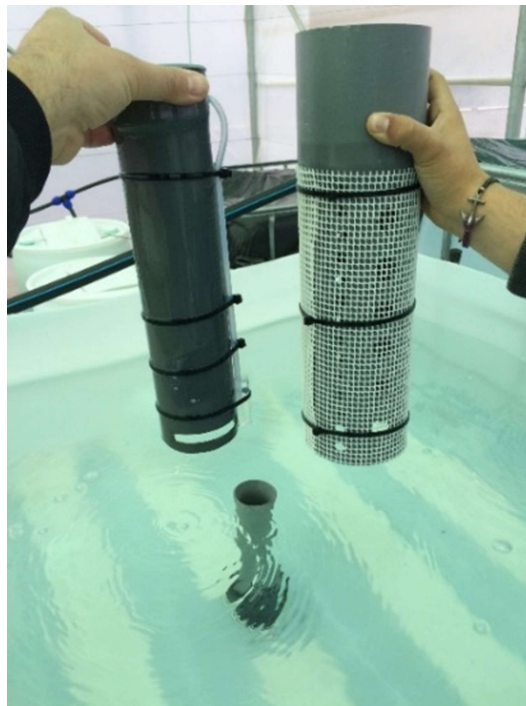


Ilustración 22. Auto-sifón de PVC desmontado, ubicado en la cama flotante de arlita.



Ilustración 23. Bomba y compresor de aire.



Ilustración 24. Dado de lana de roca y arlita.

**Aparte del material utilizado para la construcción de los dos sistemas, se utilizaron también:**

- Cuadro de luz en el interior del invernadero para repartir a las diferentes instalaciones acuapónicas.
- Deposito de poliéster con una capacidad de 2000 litros, utilizado para la reposición de agua de los diferentes sistemas.
- Bandeja de plástico de color negra para alojar las macetas con las plantas testigos.
- Macetas redondas de color negro para alojar el sustrato donde se sembraron las plántulas.
- Perlita blanca que se utilizó como sustrato para las plantas.
- Manguera de PVC flexible para jardinería de color verde, se utilizaba para la limpieza del interior del invernadero y para dar algunos riegos al suelo del invernadero en días de alta temperatura.
- Pila de cerámica para la limpieza de recipientes y material de uso en las instalaciones acuapónicas.

### 3.1.4. Material instrumental

En el material instrumental utilizado para el proyecto se puede diferenciar en dos tipos, que son el material de uso directo y el de uso indirecto.

**Materiales de uso directo:** Estos materiales son aquellos que fueron utilizados durante todo el proyecto de forma diaria o en algún momento puntual y que han permitido obtener la información y parámetros necesarios para el estudio de los sistemas acuapónicos.

- **Termómetros de mercurio con medidas para máxima/mínima temperatura:** Se utilizaron tres termómetros, uno en cada tanque de peces para controlar la temperatura del agua, por último, uno para controlar la temperatura ambiental del invernadero donde se encontraba la instalación.
- **Cuaderno de campo:** Empleado como diario para anotar las tareas, incidencias y operaciones realizadas en la instalación (un cuaderno para cada sistema).
- **Báscula electrónica de precisión:** Se utilizó para el suministro de las raciones de alimentos a los peces, en las pesadas de los mismos, anotar el peso cuando se producían bajas.
- **Sacadera** con luz de malla de 4mm, que se utilizó para las diferentes operaciones sobre la población de peces.
- **Peachímetro “CRIMSOM”:** Con este instrumento se medía el pH de cada uno de los tanques de peces.
- **Conductímetro “CRIMSOM”:** Con él se medían el cloruro sódico (NaCl) y la conductividad eléctrica del agua (CE), del agua de cada uno de los tanques de peces.
- **Medidor de nitratos “MERCK”:** Este reflectómetro es capaz de medir el contenido en nitratos mediante unas tiras reactivas y expresar el resultado en ppm. Se utilizó para medir la concentración de nitratos en el depósito de peces.
- **Tiras reactivas “MERCKOQUANT”:** Estas tiras se utilizan con el reflectómetro, son sensibles a las concentraciones de nitratos.
- **Pienso compuesto para peces “TROPICAL”:** Se utilizaba para alimentar a los peces. Tipo “Pond Pellet mix” con 23% de proteína bruta.
- **Comederos automáticos:** Eran muy útiles para el suministro de alimento en fines de semana.
- **Sulfato potásico ( $K_2SO_4$ ):** Se utilizó para corregir las deficiencias nutritivas de potasio presentes en las plantas. Se aplicó como abono foliar al 1%.
- **Quelatos de hierro (Fe-EDDHA):** Los quelatos de hierro fueron utilizados para corregir la clorosis férrica presente en algunas plantas. De esta forma se facilitaba que el hierro estuviera disponible para las plantas, sin importar el pH del agua que circula por la instalación.
- **Cámara fotográfica:** Para tomar fotos de la instalación, aparatos de medidas, faenado con peces, crecimiento y anomalías en las plantas.



- **Regla rígida:** Para medir los diferentes parámetros de crecimiento en plantas.
- **Estufa:** Para deshidratar las hojas de lechuga.
- **Solución nutritiva “HOAGLAND”:** Se utilizaba para suministrar los nutrientes necesarios a las planta testigos, sembradas en macetas con sustrato de perlita.



Ilustración 25. Algunos materiales de uso directo utilizados.

**- Materiales de uso indirecto:** Estos materiales se emplearon en el montaje de la instalación, pero no se volvieron a utilizar durante el desarrollo de la experiencia.

- Teflón
- Llave inglesa
- Llave grifa
- Llave fijas de distintas medidas
- Alicates
- Taladro
- Brocas
- Coronas
- Bidas
- Tijeras
- Destornilladores
- Pegamento para piezas de PVC
- Sierra
- Nivel
- Alambre

- Cajas de cartón
- Cuchillo
- Cinta aislante
- Fichas de empalme.
- Coladores de agua para la limpieza de la arlita.
- Depósito para la limpieza de la arlita.
- Carretilla.
- Bacterias vivas, para favorecer a la reproducción de bacterias nitrificantes en el sistema.

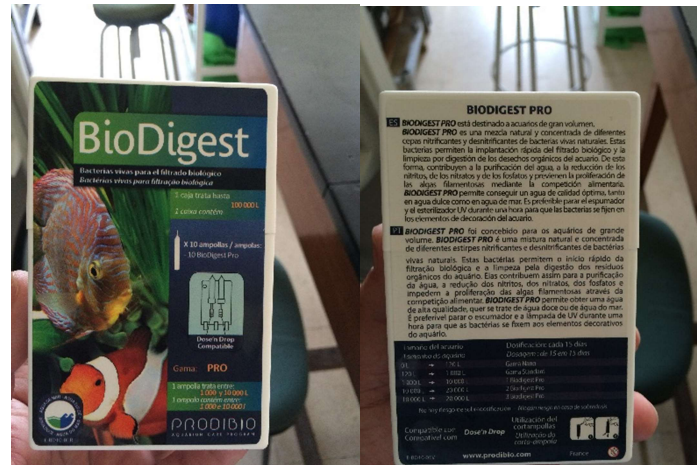


Ilustración 26. Envase de bacterias nitrificadoras utilizadas en la instalación.

### 3.1.5. Metodología experimental

#### 3.1.5.1 Sistema de producción

La instalación acuapónica que se ha puesto en marcha es del tipo “Baja Densidad” (de peces). Se ha tomado como referencia los modelos del manual de la FAO (Somerville et al., 2014), “**Nutrient film technique**” para el NFT, para el Mixto se ha realizado una mezcla entre “**Media bed**” y “**Deep wáter culture**”. Estos sistemas presentan las siguientes características:

- Los elementos esenciales en un sistema NFT son: tanque de peces, decantador, biofiltro y tuberías como medio de cultivo hidropónico para las plantas.
- En cambio en el sistema Mixto como elementos esenciales serian: tanque de peces, cama de arlita, colector y dos camas flotantes como medio de cultivo, para alojar las plantas como medio de cultivo.
- Un papel fundamental del decantador es la eliminación de sólidos antes de que alcancen los medios de cultivos hidropónicos, así las plantas reciben el agua libre de materia orgánica no disuelta. También para evitar obturación en el sistema de bombeo.
- Se trabaja con una baja densidad de peces, por lo que el manejo de la instalación acuapónica es más sencillo que los sistemas que trabajan con altas densidades de peces.



La elección de estos tipos de sistemas de producción acuapónica fue debida a varios motivos, entre los que destacan:

- Son sistemas fáciles de instalar y de hacer funcionar, además de que no requerirán de grandes superficies para su instalación.
- Son económicos (ver tabla 1), ya que no requiere grandes desembolsos de capital por aproximadamente un capital de 1900 € tendríamos un sistema acuapónico de 3m<sup>2</sup> de cultivo, por supuesto en este capital no estaría la mano de obra relativa al montaje.

CONCEPTOS	IMPORTE	
	S. MIXTO	S. NFT
Materiales	1470 €	1410 €
Mano de obra*	360 €	360€
Accesorios	75 €	75 €
Costes de funcionamiento por mes	20 €	20 €
<b>TOTAL sin mano de obra</b>	<b>1565 €</b>	<b>1505 €</b>
<b>TOTAL con mano de obra</b>	<b>1925 €</b>	<b>1865 €</b>

Tabla 1. Costes de las instalaciones acuapónicas.

- Los dos sistemas son aptos para uso a pequeña escala.
- La experimentación con un sistema con densidad baja de peces dorados, ya que hasta el momento en la E.T.S.I.A sólo se habían realizado proyectos con sistemas de baja densidad con tilapias.
- La realización de un prototipo acuapónico, lo más semejante posible a los sistemas propuestos en el manual de la FAO anteriormente citado, aunque con algunas variaciones, y elaborado con materiales fácilmente disponibles para aproximarlos a un prototipo de producción familiar de autoconstrucción.

### 3.1.5.2. Operaciones llevadas a cabo en las plantas.

- **Siembra:** Se sembraron las semillas de las dos variedades al mismo tiempo, utilizando para cada una de ellas un semillero, con el fin de conseguir uniformidad en la emergencia de las plántulas. Se llenó a mitad con turba los alveolos del semillero y se introdujo una semilla de lechuga por alveolo.



Ilustración 27. Semilleros sembrados con lechugas para trasplantar en sistemas acuapónicos.

- **Trasplante:** EL trasplante se realizó quince días después de la introducción de los peces en el sistema, para asegurar que el nivel de nitrógeno en agua era adecuado. Tanto las plantas de los dos sistemas y de testigo fueron trasplantadas la semana del 9 al 12 de mayo de 2016, por los diferentes grupos de prácticas de la asignatura de horticultura y cultivos ornamentales. El trasplante se realizó de la siguiente forma:
  - NFT: Solo se plantaron en dos líneas en total 20 plantas, por lo que la distancia entre plantas de la misma línea son 25 centímetros. Los agujeros que no fueron utilizados se taparon con cinta adhesiva para evitar pérdida de agua por evapotranspiración.
  - Mixto: Solo se plantó una bandeja que contenía 20 plantas, por lo que el marco de plantación sería cuadrado de 25x25 cm. La bandeja que no fue utilizada no fue perforada, para así evitar mayor evapotranspiración del agua.

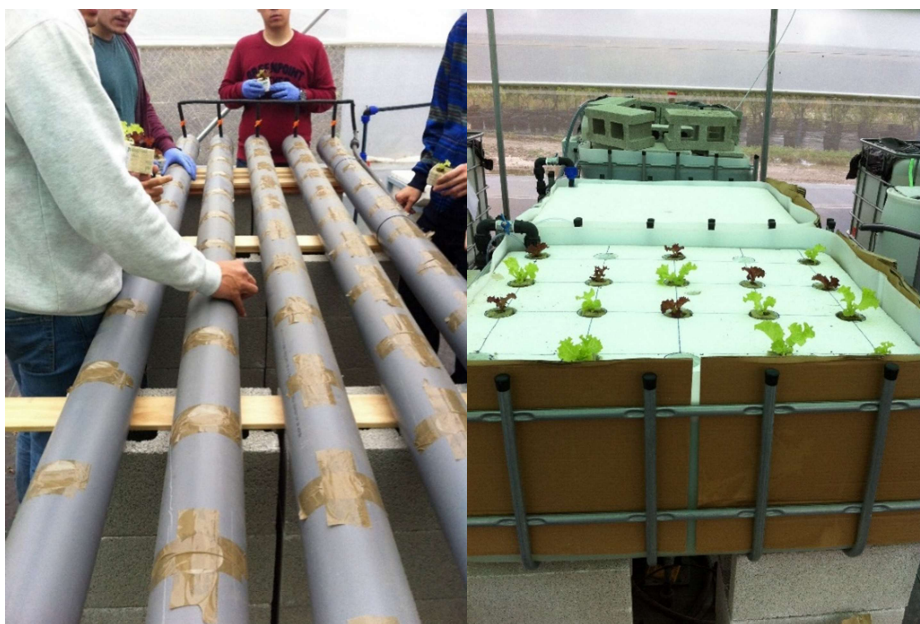


Ilustración 28. Momento de trasplante en NFT y Mixto.

- **Toma de datos:** Para la toma de datos en plantas, se eligieron el 50% de plantas de lechugas de cada variedad, alternando ejemplares de las dos variedades en cada sistema (NFT, Mixto y macetas testigos). Los datos fueron tomados semanalmente de la siguiente forma:
  - Altura de las plantas: Se utilizaba la cinta métrica, poniendo el cero encima del cepellón y se medía hasta la parte más alta de la planta en ese momento, siendo esa la altura de la planta.
  - Número de hojas: Se contabilizaban el número de hojas verdaderas que tenían las plantas, obviando los cotiledones.
  - Diámetro de la planta: Se colocaba la cintra métrica justo encima de la planta, la medida era tomada en la parte más ancha de la planta.
  - Porcentaje de materia seca: Una vez recolectada la planta y eliminada la lana de roca de la raíz, estas fueron llevadas al laboratorio para analizar el porcentaje de materia seca. Las plantas fueron pesadas antes de introducirlas en la estufa y después al secarlas en la estufa a 65 grados centígrados durante 48 horas se volvieron a pesar. Por la diferencia de pesada, se obtiene la medida del porcentaje de materia seca para cada variedad y diferente sistema.
- **Anomalías o carencias:** Las plantas eran examinadas periódicamente durante todo el proyecto, para observar y anotar las anomalías o carencias que se iban sucediendo.
- **Aplicación de productos correctores:** Como las plantas en todo el proyecto solo se apreciaron carencias en hierro y potasio, solo se utilizaron dos productos **EDDHA sequestrene** para la deficiencia de hierro diluido en el agua del circuito y **K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** como abono foliar al 1% para las carencias de potasio.
- **Riego de las plantas testigo:** Diariamente se regaba las plantas que se encontraban en las macetas con sustrato de perlita, con la solución nutritiva completa "HOAGLAND".

### 3.1.5.3. Operaciones llevadas a cabo en los peces

Desde la recepción de la población de peces procedentes de la empresa **Surtropic**, y hasta la finalización del proyecto, se realizaron diferentes operaciones de control y mantenimiento encaminadas a finalizarla con unos resultados óptimos y obteniendo la mayor cantidad de información posible.

Para poder almacenar todos los datos provenientes de las operaciones realizadas se elaboró una hoja Excel donde se anotaba la información necesaria para obtener después obtener los diferentes parámetros; índice de conversión, la ganancia media diaria.

La cantidad de alimento que se les suministraba a los animales fue mantenida aproximada en el 1-1,5% diario del total de la biomasa en cada tanque, obtenida en cada pesada, reajustándose tras una nueva pesada (cada 2 semanas aproximadamente). También se observaba la cantidad de comida que podían desperdiciar los peces, por si fuera necesario circunstancialmente modificar este

porcentaje de ración diaria, para conseguir menos desperdicio la mitad de la ración diaria de los peces se aportaba en dos tomas al día, aportando la mitad por la mañana y la otra mitad por la tarde, para ellos se utilizaba comederos automáticos que descargaba su tolva en dos veces (8:00 y 16:00).

Al comienzo de la experiencia se introdujeron aproximadamente 1620 gramos de pez dorado en cada sistema. En el sistema NFT fueron introducidos 54 ejemplares, en el Mixto 53. Las raciones suministradas a lo largo del proyecto fueron las siguientes, se muestran en la tabla 1.

SISTEMAS							
NFT				MIXTO			
Fechas	Peso (gramos)	Nº de peces pescados	Ración diaria (gramos)	Fechas	Peso (gramos)	Nº de peces pescados	Ración diaria (gramos)
4/05/2016	1620	54	15	4/05/2016	1624	53	15
17/05/2016	1741	52	17	17/05/2016	1511	53	17
01/06/2016	1729	52	21	01/06/2016	1618	52	21
14/06/2016	1811	52	24	14/06/2016	1721	52	24

Tabla 2. Pesadas de peces durante todo el ensayo y cálculo de raciones para cada pesada.

Las Pesadas se realizaban siguiendo siempre los mismos pasos, a continuación se detallan los pasos seguidos en cada uno de los tanques:

1. Pesca de los peces: con ayuda de una sacadera, el objetivo era la captura de todos los individuos, aunque esto en algunas pesadas fue imposible pero siempre se consiguió capturar más del 75-80%.
2. Los pesos pescados se iban introduciendo en un recipiente de plástico recargado con agua del mismo tanque de peces del circuito, también en su interior alojábamos un aireador para evitar la falta de oxígeno de los peces pescados. Cuando eran pescados todos los peces del tanque se procedía al pesado.
3. Pesado de peces: Antes de comenzar a pesar los peces se pesaba en la báscula electrónica un cubo de plástico de color azul con una pequeña cantidad de agua y se anotaba el peso. A continuación, se introducía lotes de 8-10 peces en el cubo y se procedía a su pesado, los pesos eran apuntados para después calcular el peso total de peces en cada tanque.
4. Devolución al tanque de peces: con mucho cuidado los peces una vez pesados eran devueltos a su tanque original.



Ilustración 29. Peces en el recipiente, después de su pesca.

Las raciones indicadas en la tabla 1 fueron suministradas a diario desde una pesada hasta la siguiente, donde se reajustaba la ración.

Como se puede ver en la tabla 1, en algunas pesadas los pesos obtenidos son menores a los de la anterior pesada esto puede ser debido:

- A que cuando no eran capturados todos los peces se estimaba el peso con la media de los peces capturados.
- Errores producidos por el método utilizado para pesar.
- Otra cosa que pudo ocurrir es el desove en mayo junio, lo que afectaba al peso final de las hembras.

Las raciones de comida se preparaban semanalmente, para ello se utilizaba una balanza electrónica para aportar la cantidad calculada según la biomasa de los peces y se depositaban en los recipientes individuales para cada día de la semana y sistema, por lo tanto, se preparaban en total 14 raciones.

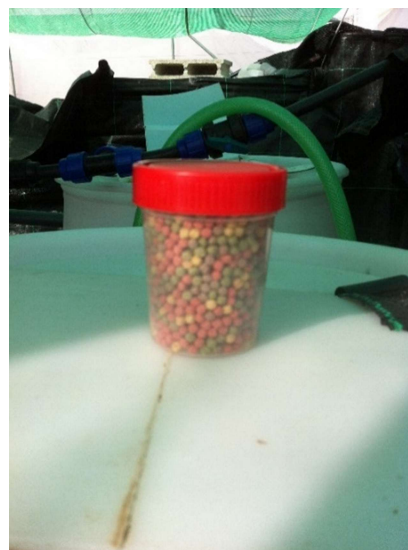


Ilustración 30. Ración diaria de pienso, preparada para su aplicación.

Con los datos de la cantidad de alimento consumido durante el periodo entre pesadas y el peso vivo, se calculaban el índice de conversión (IC), la ganancia media diaria (GMD) y tasa de crecimiento específico (TCE) para ese intervalo de tiempo.

**Los cálculos se realizaban del siguiente modo:**

$$\begin{aligned}\text{Índice de conversión} &= \frac{\text{Total alimento consumido}}{PF - PI} \\ \text{Ganancia media diaria} &= \frac{[(PF - PI)/N^{\circ} \text{ de peces final}]}{N^{\circ} \text{ de días transcurrido}} \\ \text{TCE} &= \frac{\ln\left(\frac{PF}{N^{\circ} \text{ de peces final}}\right) - \ln\left(\frac{PI}{N^{\circ} \text{ de peces inicial}}\right)}{N^{\circ} \text{ de días transcurrido}}\end{aligned}$$

Siendo PI el peso inicial y PF el peso final de cada etapa.

#### **3.1.5.4. Operaciones llevadas a cabo en el agua del circuito acuapónico**

Para el buen funcionamiento del sistema acuapónico, equilibrio entre las diferentes poblaciones (peces, plantas y bacterias) y para la regulación de los dos sistemas acuapónicos, fue necesario analizar diferentes parámetros del agua del circuito periódicamente.

A diario se tomó temperatura de agua en el tanque de peces, y con una frecuencia de dos veces por semana se analizaron pH, conductividad eléctrica y cloruro sódico.

Próximo a los dos circuitos acuapónicos se alojó un depósito con capacidad de 2000 litros, que se utilizaba para reponer el agua de los circuitos cuando estos sufrían pérdidas por: fugas de la instalación, evapotranspiración, transpiración y para dar cambios de agua cuando aumentaran muchos los niveles de nitratos. En todo el proyecto fue la evapotranspiración y la transpiración las que produjeron mayores pérdidas de agua en los dos sistemas.

El agua de la reposición procedía de la red general, por lo que se hizo necesaria la colocación de una bomba para la recirculación, agitación del agua en este depósito para conseguir eliminar el cloro.

- **Toma de temperatura:** Los termómetros estaban colocados en el interior del tanque de peces bien hundidos, estos registraban la temperatura máxima y mínima del día. Al día siguiente era anotada la temperatura y se colocaba a cero ese día.

- **Medida de pH:** Para medir el pH se tomaba una pequeña muestra de agua del tanque de peces y se llevaba al laboratorio donde se medía el pH con pH-metro "CRIMSON"

- **Medida de conductividad eléctrica y el cloruro sódico:** Empleando la muestra anterior se empleaba un conductímetro “CRIMSON”:

- **Medida de los nitratos:** Se utilizaba un aparato electrónico que funcionaba por fotometría (Reflectoquant de Merk®). Para obtener la medida primero se encendía el aparato, a continuación se cogía la tira reactiva, estas se introducirán en agua a la vez que pulsábamos el botón “start” el aparato nos daba sesenta segundos para mojar la tira (cinco segundos eran suficientes), secarlas (55 segundos) e introducir las en él.



Ilustración 31. Reflectómetro utilizado para medir nitratos.

### 3.1.5.5. Operaciones de mantenimiento

Para asegurar el buen funcionamiento de la instalación se observaba diariamente, y periódicamente se realizaban las siguientes operaciones:

- **Control de fugas:** Se observaba todas las tuberías, piezas y depósitos de los dos sistemas acuapónicos, para verificar que no se producía ninguna fuga y si era así proceder al arreglo pronto de esta.
- **Control de caudales:** Había que fijarse que pasara la misma lámina de agua por los tubos de NFT, para conseguir un reparto equilibrado del agua. En el sistema mixto había que graduar las llaves de paso de las camas flotantes para conseguir el mismo caudal en cada una.
- **Control del auto-sifón:** Se observaba que este funcionase correctamente, ya que se podía detener el vaciado del recipiente y en consecuencia producir rebosamiento del tanque de arlita y dejar sin agua el sistema.
- **Atascos y control de aparición de microalgas:** Se controlaba que todas las tuberías y mangueras estuviesen despejadas para que el agua pudiese pasar a través de ellas. Uno de los problemas encontrados fue la aparición de microalgas, para ello se utilizó un aparato de luz ultravioleta para eliminarlas antes de que taponaran la tubería del circuito del NFT.
- **Control de niveles:** Se tenía una escala marcada en el colector de cada sistema para poder controlar el nivel de cada sistema.
- **Limpieza de perlón atrapa sólidos:** Estos estaban en la entrada del colector decantador, cuando se observaba de color oscuro eran limpiadas en fregadero con agua del grifo.

### 3. Memoria Descriptiva

- **Limpieza del colector:** No fue necesario la limpieza de este, ya que el tiempo de la experiencia fue corto y aparte el perlón atrapa solidos realizaba bien este de trabajo de atrapar sólidos.
- **Elaboración de la solución “Hoagland”:** Era preparada en garrafa de 25 litros por los operarios de campo de la ETSIA.
- **Preparación de la dosis de sulfato potásico ( $K_2SO_4$ ):** Era preparada en spray de un litro por los tutores de este trabajo, tres veces en semana era rociada por encima de la planta.
- **Preparación de la dosis de hierro “EDDHA sequestrene”:** se utilizó una concentración de 10g de hierro EDDHA sequestrene en un litro de agua. Se tomaba 100 ml de esta solución cada vez que teníamos que aplicar dosis para cada sistema acuapónico.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Viabilidad de los prototipos acuapónicos

Los sistemas acuapónicos estudiados han demostrado ser viable. El sistema ha presentado un índice de mortalidad en la población de peces muy bajo (3,7%) y las lechugas han conseguido completar su ciclo vegetativo.

El proyecto comenzó con 54 peces dorado para el NFT y 53 para el Mixto, se finalizó con 52 ejemplares en ambos sistemas, por lo tanto, el manejo de los mismos durante el proyecto parece haber sido adecuado para su supervivencia y crecimiento. Además tener en cuenta, que las bajas se produjeron por el mal manejo de las pesadas (aplastamiento en la red y/o asfixia), días después de la realización de la pesada.

Durante todo el ensayo, los peces dorados se mantuvieron en buenas condiciones para su crecimiento, aunque cabe destacar que hubo periodo en los que la temperatura del agua aumentó hasta puntos críticos que probablemente afectaron a su crecimiento y condiciones de bienestar. Los peces del sistema NFT aumentaron en su conjunto, desde 1620 gramos hasta 1811 gramos con una media de 3,67 gramos/pez desde el inicio (4/05/2016) hasta el final del ensayo (22/06/2016), en el sistema mixto fue de 1624 gramos hasta 1721 gramos con una media de 1,87 gramos/pez durante el mismo periodo de tiempo que en el sistema NFT. Estos valores bajos de crecimiento son propios de esta especie, ya que tratamos con una especie de crecimiento lento (Rodríguez Aguilar et al., 2014).

Respecto a las plantas, consiguieron completar su ciclo más de un 85% en ambos sistemas, incluso en el NFT llegaron a florecer (subidas) 25% de las plantas. Las que llegaron a cumplir su ciclo vegetativo presentaron un tamaño comercialmente aceptable, las plantas de lechuga en el mixto fueron más pequeñas que el NFT, pero estas se pueden comercializar como cogollos de lechuga que en los supermercados las podemos encontrar en bandeja que contiene 3 o 4 unidades, estas bandejas son consideradas producto gourmet, en cambio, las lechugas cosechadas en el NFT se pueden comercializar por unidades o bien en bolsas de 2 unidades.



Ilustración 32. Lechugas de cada sistema, antes de ser recolectadas.

Para que las plantas consiguieran completar su ciclo vegetativo no hizo falta la adición de ningún nutriente (excepto del potasio y del hierro), por lo tanto pueden crecer y desarrollarse a partir de los nutrientes que liberan los peces en agua, producto de la digestión del pienso y su metabolismo.



Ilustración 33. Efecto de déficit de potasio en lechugas del ensayo.

Desde el inicio del proyecto se estudió la tasa diaria de reposición de agua para eliminar el exceso que se producía cada cierto tiempo de algunos nutrientes, esta nunca se llevó acabo ya que nunca se llegó a niveles perjudiciales para peces, plantas y bacterias. Si fue necesario renovar agua, para corregir los niveles de agua del sistema que se perdía por evaporación y evapotranspiración de las plantas, sobre todo en semanas con altas temperaturas donde las pérdidas si eran bastantes notables. Las reposiciones eran en función de los niveles de agua en el colector y el tanque de peces. El agua repuesta por este motivo se detalla en la siguiente tabla 2:

SISTEMAS	MAYO	JUNIO
Mixto	268,4 L.	411,6 L.
NFT	404,2 L.	567,8 L.

Tabla 3. Agua repuesta en cada sistema por mes.

Por lo tanto, el total del agua repuesta es de 972 litros en el circuito NFT y de 680 litros en el circuito Mixto. Para calcular la tasa de renovación del agua, el total de agua añadida a cada circuito fue dividida entre el número total de días que duro el ensayo (45 días), obteniendo una renovación de agua media diaria de 21,6 L/día para el sistema NFT y 15,11 L/día para el Mixto, es decir, una tasa de renovación de agua del 1,66% para el circuito NFT y 0,76% para el circuito Mixto. Este porcentaje de renovación está por debajo del empleado en sistemas de recirculación convencionales en acuicultura (SRAs), donde la tasa oscila normalmente entre el 5%-10% diario (Carbó, 2009). Esto nos lleva a decir que el prototipo con el que hemos ensayado, parece que mejora a los SRAs en cuanto al mayor ahorro de agua.

Respecto al contenido de nitrógeno producido por los dos sistemas, los valores oscilaron entre un mínimo de 6 ppm en el NFT y 10 ppm en el Mixto, como máximo 58 ppm en el NFT y 33 ppm en el Mixto.

Como los valores máximos de nitrógenos alcanzados no fueron altos, no fue necesario reducir el exceso de este nutriente en el efluente acuapónico. Si esto hubiera ocurrido se podría probar las siguientes alternativas:

- Aumento de la superficie de cultivo, de modo que extraigan más nutrientes del agua de la instalación.
- Utilizar el agua de la instalación para fertirrigación de huertas o cultivos anexos al invernadero, en este caso en los frutales del campo de prácticas (Friend et al., 2010).

En conclusión y aunque el ensayo se realizó en condiciones ambientales que no han sido las ideales, los prototipos acuapónicos de pez dorado-lechugas parece ser viable, a falta de su validación, por las siguientes razones:

- Un índice de mortalidad muy bajo en pez dorado.
- Reproducción de algunas hembras de pez dorado.
- Ausencia de patologías reconocibles, ni en peces ni en plantas. Sólo la deficiencia en potasio de las plantas.
- Resistencia del pez dorado a parámetros físico-químicos adversos, como altas temperaturas ( $>30^{\circ}\text{C}$  en el agua), los cambios de pH. En estas condiciones adversas, los peces dorados en los dos sistemas han presentado una GMD total de  $0,0444\text{ g/día-peze}$  en el Mixto y  $0,0875\text{ g/día-peze}$  en el NFT.
- Las plantas que llegaron a cumplir su ciclo vegetativo presentaron un tamaño comercialmente aceptable.

Estos resultados conseguidos con los dos prototipos, podrían por lo tanto servir para volver a realizar los ensayos introduciendo los siguientes cambios:

1. Realizar los ensayos en condiciones climáticas más favorables para las plantas y peces.
2. Realizar el ensayo durante más tiempo, ya que solo en apenas 45 días no es suficiente para saber la viabilidad de los prototipos.

Los dos sistemas acuapónicos de pez dorado-lechuga han demostrado su viabilidad a pequeña escala, al igual que otros sistemas acuapónicos probados y desarrollados con anterioridad.

Los primeros ensayos de los sistemas acuapónicos comenzaron hace unos 40-60 años (Lossada, 2012), con las investigaciones iniciales de Gosh y Burris en 1950.

Los sistemas acuapónicos pez dorado-lechuga que hemos desarrollado a pequeña escala supone mantener los peces a altas densidades, al igual que otros sistemas desarrollados con anterioridad (Ramírez et al., 2007; Rodríguez Aguilar et al., 2014).

En nuestros sistemas, alcanzamos una densidad máxima de peces al término de la cosecha de lechugas (22/06/2016) de  $1.39\text{ Kg/m}^3$  para el NFT (1300 litros) y  $0,86\text{ Kg/m}^3$  (2000 litros) para el Mixto. Estas densidades son bajas, pero

hay que tener en cuenta que se han calculado teniendo en cuenta toda el agua del circuito.

Por último, decir que este sistema es sencillo, ya que es más exportable a nivel familiar y a pequeños grupos de productores que quieren iniciarse con la acuaponía.

#### 4.2. Manejo básico del sistema acuapónico

Para conocer el funcionamiento y manejo de los sistemas acuapónicos, es necesario llevar a cabo un control de los parámetros físicos-químicos del agua hasta conseguir un equilibrio dinámico entre las tres poblaciones de seres vivos estrechamente relacionadas en el mismo, como son: peces, plantas y bacterias.

Esto implica que para el buen manejo de los sistemas acuapónicos, los parámetros que controlamos en el prototipo, fueron: la ratio (o proporción entre la cantidad de comida suministrada diariamente a los peces y la superficie de cultivo de plantas), el pH, la temperatura del agua, la conductividad eléctrica, el cloruro sódico.

En el siguiente apartado se va a describir y discutir los resultados obtenidos en el control de los parámetros de los dos prototipos acuapónicos descritos en este proyecto.

##### 4.3.1. Ratio

Para este parámetro a continuación esta la tabla 2 y 3, que muestra los valores de la ratio y en la que aparecen la ración de pienso para los peces, la superficie de cultivo total de la instalación y el número de plantas que permaneció constante hasta el final del proyecto en cada sistema.

	RACIÓN DIARIA (gramos)	SUPERFICIE DE CULTIVO	Nº DE PLANTAS	RATIOS	
				g/m <sup>2</sup>	g/planta
Pesada 1	15	1 m <sup>2</sup>	20	15	0,75
Pesada 2	17	1 m <sup>2</sup>	20	17	0,85
Pesada 3	21	1 m <sup>2</sup>	20	21	1,05
Pesada 4	24	Cosecha	Cosecha		

Tabla 4. Valores de la Ratio para el sistema Mixto, en función de la Ración diaria, Superficie de Cultivo y Número de plantas.

	RACIÓN DIARIA (gramos)	SUPERFICIE DE CULTIVO	Nº DE PLANTAS	RATIOS	
				g/m <sup>2</sup>	g/planta
Pesada 1	15	1 m <sup>2</sup>	20	15	0,75
Pesada 2	17	1 m <sup>2</sup>	20	17	0,85
Pesada 3	21	1 m <sup>2</sup>	20	21	1,05
Pesada 4	24	Cosecha	Cosecha		

Tabla 5. Valores de la Ratio para el sistema NFT, en función de la Ración diaria, Superficie de Cultivo y Número de plantas.

Los ratios de referencia propuesto por Lennard (2006) son de 1000 gramos/día de pienso para tilapias (similar para pez dorado), podría mantener 1500

lechugas, es decir, que con 15-21 gramos/día de pienso para peces, se mantiene 22-31 plantas de lechugas. Los valores calculados para los dos sistemas acuapónico para este ensayo, sobrepasan los mismos ya que solo se plantaron 20 plantas en cada sistema. También podemos tomar como referencia otros valores de ratio, como los de Rakocy et al. (2006) son de 15-25 gramos/día puede mantener 1m<sup>2</sup> de un cultivo de plantas, nuestros prototipos también estarían dentro de estos ratios.

Por último, como las densidades que se manejaron en el ensayo fueron bajas (0,86-1,39 Kg/m<sup>3</sup>), podemos tomar como referencia otros valores de ratios, como los de Friend and Mann (2010) en sistemas acuapónicos familiares, estos oscilan entre 15-73 g/m<sup>2</sup>, suponiendo raciones diarias de pienso entre el 1-5% de la biomasa total de peces (goldfish, para estos dos sistemas). Estamos en la misma situación que con los parámetros propuestos por Rakocy et al. (2006), los ratios obtenidos se encuentran dentro de este rango.

Esto quiere decir que las cantidades y tipo de alimento suministrado a los peces dorados proporcionan un nivel adecuado en el agua de macro y micronutrientes, suficientes para producir lechugas en buenas condiciones.

Pero decir, que a pesar de que los ratios fueron correctos, en los dos sistemas en ningún momento se alcanzó los niveles de 60 ppm en nitratos, sobretodo en el Mixto los niveles de nitratos fueron muy bajos alcanzado su máximo en 35 ppm. También se presentaron deficiencias de hierro y potasio. Esto quiere decir que el aporte del alimento de los peces, no evitaron la aparición de las deficiencias citadas.

A continuación, para explicar estos resultados se dan algunas hipótesis:

- La siembra de las lechugas se realizaron cuando aún en los dos sistemas los niveles de nitratos estaban por debajo de 25 ppm. Según Rodríguez Aguilar et al. (2014), esto es requisito indispensable para el desarrollo de las lechugas.
- Se realizaron bastantes reposiciones de agua, aunque esta agua para reponer fue desclorada previamente en el depósito de reposición, no se conseguía igualar los parámetros que se daban en el agua de los circuitos acuapónicos (ver tabla 5). Por este motivo cuando se utilizaba para reposición esta agua al ser mezclada con el agua de los dos circuitos acuapónicos resultaba en cambios de pH y en los niveles de nitrato.

AGUA DE REPOSICIÓN			
pH	Ce (us/cm)	NaCl (mg/L)	NO <sub>3</sub> (ppm)
8,15	286	133,3	0

Tabla 6. Parámetros del agua utilizada para la reposición de los circuitos acuapónicos.

### 4.2.2. pH

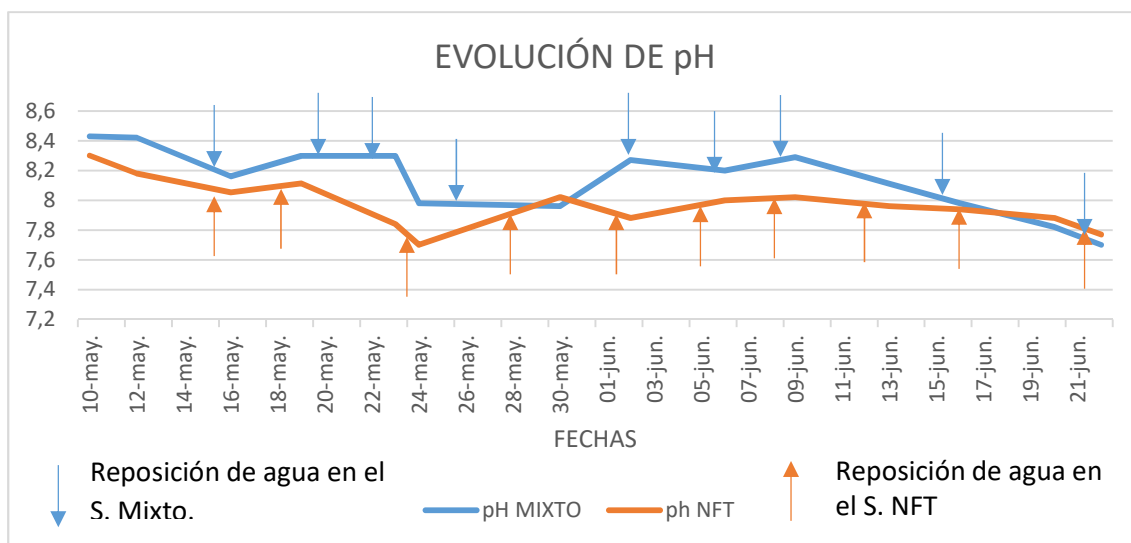
Este es un parámetro de vital importancia, por lo que según Rakocy et al. (2006), el pH óptimo que se ha de mantener en un sistema acuapónico debe garantizar la disponibilidad y absorción de nutrientes para las plantas. Para ello se tiene presente cuales son los márgenes en los que se maneja los principales componentes de la instalación.

Para las bacterias, el autor apunta que para la nitrificación bacteriana sea correcta y proporcione la cantidad de nutrientes deseada el pH tiene que estar entre 7 y 9.

Para la lechuga el pH que buscaremos será el más cercano a 7, puesto que esta es ligeramente tolerante a la acidez, su crecimiento de manera óptima lo hacen entre pHs de 6 y 6,8.

Para el pez dorado, como dice Rodríguez Aguilar et al. (2014) los márgenes de pH a los que pueden vivir en condiciones óptimas son entre 6,8-7,8.

A continuación la gráfica 1, muestra la evolución del pH durante todo el ensayo. Como dato complementario a esta gráfica, indicar que previo al trasplante de las plantas y a la introducción de los peces, la instalación ya estaba ciclada durante 45 días. Durante estos días el agua descendió de un 8,7 hasta un 8,3, que fueron los valores del que partimos para este ensayo. Este descenso se consiguió de manera natural, por la nitrificación.



Gráfica 1. Evolución del pH en el agua del circuito acuapónico.

La gráfica anterior nos muestra el resultado de las mediciones del pH en cada uno de los sistemas durante el transcurso del ensayo. Como se observa, hay varios picos de subida y bajada.

Los picos de subida coinciden con la reposición del agua en los circuitos, esta reposición fue debida a la reducción de los niveles de agua en los circuitos acuapónicos por la evaporación producida por las altas temperaturas. Al mezclar

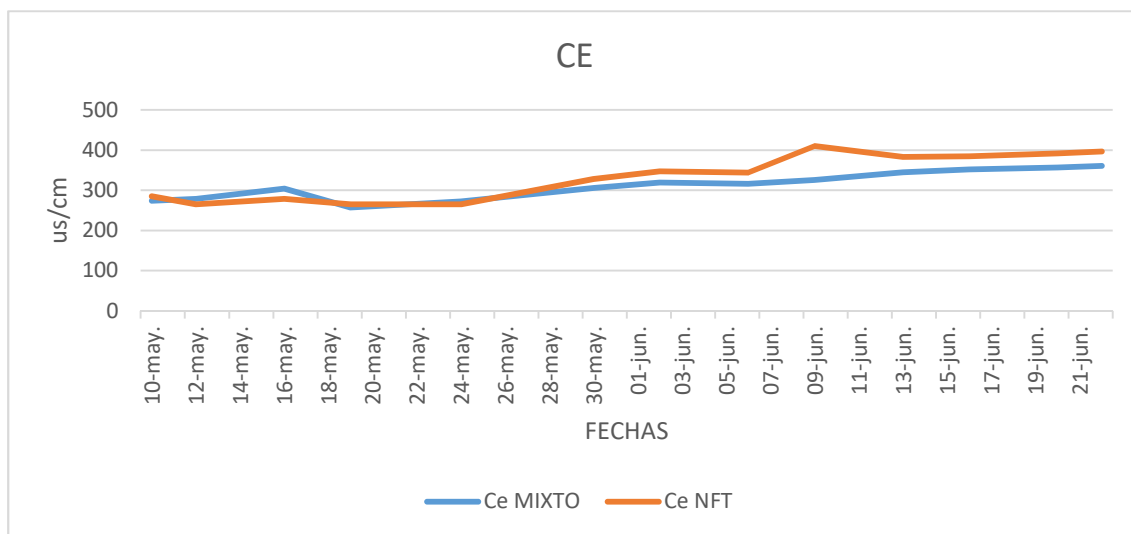
el agua de la instalación acuapónica con el agua de reposición que tenía altos niveles en carbonatos-bicarbonatos, esto conlleva a una subida del pH.

Los picos de bajada se producen por el agotamiento de la capacidad tampón de carbonatos-bicarbonatos por la continua acidificación bacteriana y absorción de carbonatos por parte de las plantas.

#### 4.2.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE), es otro parámetro a tener en cuenta en el manejo de las instalaciones acuapónicas. Su medida da una información sobre el nivel de sólidos disueltos totales (TDS), que a su vez hacen referencia al nivel de los nutrientes disueltos. Para mantener la conductividad eléctrica por debajo de ciertos niveles en el circuito acuapónico, se utilizan dispositivos de sedimentación que retiran una parte de los sólidos, evitando su exceso, que causarían desde fitotoxicidad hasta problemas de obstrucciones de tuberías, acumulación excesiva de materia orgánica con riesgos de asfixia radicular, etc. Tanto en el sistema NFT como en el Mixto se usaron depósitos decantadores, también en la entrada de estos se colocó un cubo de plástico con una malla para atrapar los sólidos más grandes.

Como la densidad de peces en estos dos prototipos oscilaron entre 1,39 Kg/m<sup>3</sup> en NFT y 0,89Kg/m<sup>3</sup> en el Mixto. Es importante señalar, que a estas densidades, la CE prácticamente se mantuvo estable entre los valores de 200-400 us/cm (120-240 TDS), como muestra la siguiente gráfica 2.



Grafica 2. Evolución de la conductividad eléctrica en el agua del circuito acuapónico.

La referencia que Rakocy et al. (2006) como límite a partir del cual aparecen efectos de fitotoxicidad, es de valores de TDS cercanos a 2000 ppm. También sugieren que en un sistema acuapónico, se deben alcanzar mínimos de TDS entre 200-400 ppm para que se produzcan buenos resultados. En nuestro ensayo, ambos sistemas consiguieron ese mínimo de valores, por lo que no aparecieron síntomas evidentes de depósitos de sólidos en raíces de plantas. Según Rakocy et al. (2006), si se alcanzaran niveles de TDS próximos a 2000 ppm, se debe tomar medidas como:

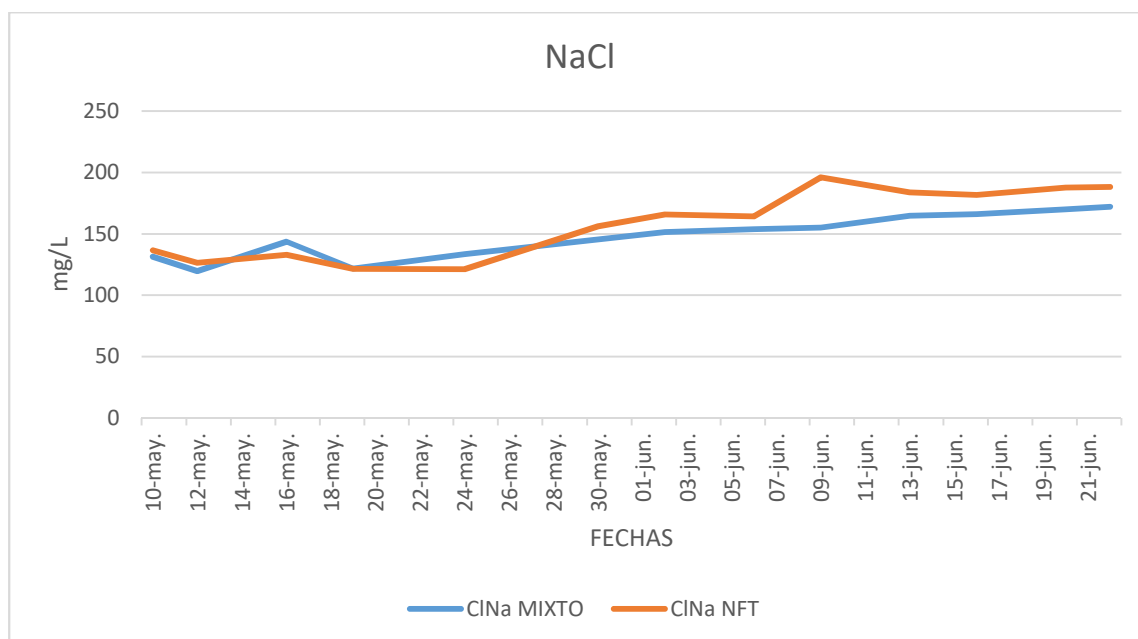


- Aumentar la tasa de recambio de agua.
- Reducir la densidad de peces.
- Reducir su tasa de alimentación.
- Aumentar la superficie aérea de crecimiento de plantas.

Concluimos, que a partir de 1,39-0,89 Kg/m<sup>3</sup> de densidades de peces en este ensayo con dos prototipos, en ninguno de estos es necesario de intercalar ningún dispositivos para la eliminación de solidos de los que ya tiene la propia instalación.

### 4.2.3. Cloruro sódico

Este parámetro es otro factor que influye en el rendimiento del prototipo, en nuestro ensayo no se han obtenido niveles muy altos. A continuación se detalla la gráfica 3, la evolución a lo largo del estudio.



Grafica 3. Evolución del cloruro sódico en el agua del circuito acuapónico.

Los niveles de cloruro sódico medidos en laboratorio en los dos sistemas siguieron una evolución parecida, mostraron valores entre 131-188 mg/L, aunque estos valores en realidad son más bajos ya que el conductímetro empleado para medir consideraba todo la concentración de sales como cloruro sódico y esto no es correcto en el agua hay más sales disueltas. Después de realizar los cálculos convenientes se obtuvieron valores de 51-76 mg/L de sodio (Na<sup>+</sup>), aunque son valores pequeños para un sistema acuapónico superan desde el principio al fin del ensayo el máximo que establecen Rakocy et al. (2006) de 50 mg/L. A niveles más altos interfieren en la captación de K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>.

Por lo tanto, con lo explicado anteriormente es probable que los valores obtenidos no eran superiores a los utilizados de referencia de sodio en el agua, aunque las plantas presentaron deficiencias de potasio que es una carencia habitual en plantas cultivadas sistemas acuapónicos, en cambio no se observaron carencias de calcio.

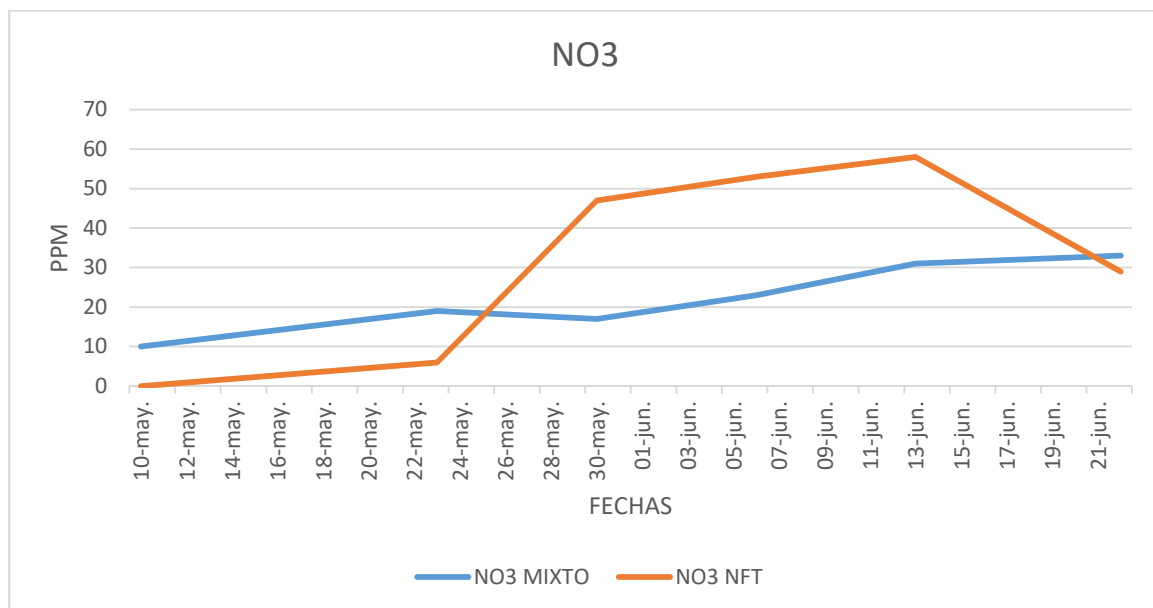
#### 4.2.4. Nitratos

Otro factor a medir durante el trabajo fue los niveles de nitratos, estos son muy importantes para un buen funcionamiento de la instalación acuapónica. Estos niveles de nitratos son indicadores de cómo se está realizando el proceso de mineralización y nitrificación en la instalación (Ako et al., 2004).

Los niveles de nitratos condicionan el funcionamiento de una instalación acuapónica, por ejemplo para los peces, a niveles muy altos pueden tener efectos tóxicos. En nuestro caso, el pez dorado tolera bien niveles altos manteniendo su crecimiento y bienestar a niveles de 100 ppm, en nuestros ensayos no se dieron más de 60 ppm en el NFT y 40 ppm en el Mixto.

Aun así, es necesario su control por su relación con los aumentos de las raciones diarias de comida, que llevan consigo un aumento de nitratos en el agua, que a su vez son necesarios conforme las plantas van creciendo y también sus necesidades nutritivas.

La gráfica 4, que muestra la evolución de los niveles de nitratos de los dos circuitos durante todo el ensayo, muestra la situación, con picos de nitratos correspondientes a aumentos de la ración y/o menor consumo de alimento por parte de los peces; y las disminuciones pueden ser debidas a la mayor absorción por parte de las plantas, o por una mayor frecuencia de renovación de agua por culpa de la evapotranspiración y/o evaporación.



Grafica 4. Evolución del contenido de nitratos en el agua de los sistemas acuapónico.

Durante la primera parte del ensayo vemos en la gráfica que los niveles van aumentando, poco a poco, más lentamente en el sistema Mixto que puede ser debido a que su volumen de agua es casi el doble que el del sistema NFT.

A partir del 13/06 podemos ver como el NFT comienza a bajar por la absorción de las plantas ya que en este sistema muchas lechugas comenzaron a subirse, y por ello consumen más nitrógeno.

En cambio el Mixto sigue subiendo, que puede ser debido a:

1. Subida de las temperaturas, aumento del ritmo de la nitrificación.
2. Las plantas dejaron de crecer y por tanto dejar de absorber nitratos, por mal funcionamiento de los aireadores provocando asfixia radicular.

Por último, en este apartado comparamos nuestros niveles de nitratos con los obtenidos por otros autores como Rodríguez Aguilar et al. (2014) que observaron que raciones de 11 gramos de pienso para peces con una densidad de 12-18 plantas de lechugas, producían niveles de nitratos de hasta 40 ppm. En este trabajo hemos concluido que raciones de 20 gramos de pienso, con una densidad de 20 lechugas obtenemos valores medios de nitratos de 40 ppm aproximadamente, y que superando esas raciones en 5 gramos más se puede llegar a superar los niveles de 50 ppm. En conclusión, se puede decir que en los dos sistemas objeto de estudio, el ritmo de nitrificación está por debajo que en los ensayo de los autores que hemos tomado como referencia, esto quizás puede ser debido a:

- Biofiltro con pocas bolas para nidación de bacterias.
- Demasiadas reposiciones de agua en el circuito.
- En el ensayo de comparación, se comenzó con niveles superiores a 25 ppm.

#### **4.2.5. La temperatura del agua del circuito acuapónico**

La temperatura del agua del sistema acuapónico es un factor muy importante a controlar para el funcionamiento de la instalación, ya que en ella viven 3 poblaciones y además están los nutrientes para las plantas. Respecto a este parámetro, tenemos dos casos en los que podrían traer serios problemas para nuestros sistemas:

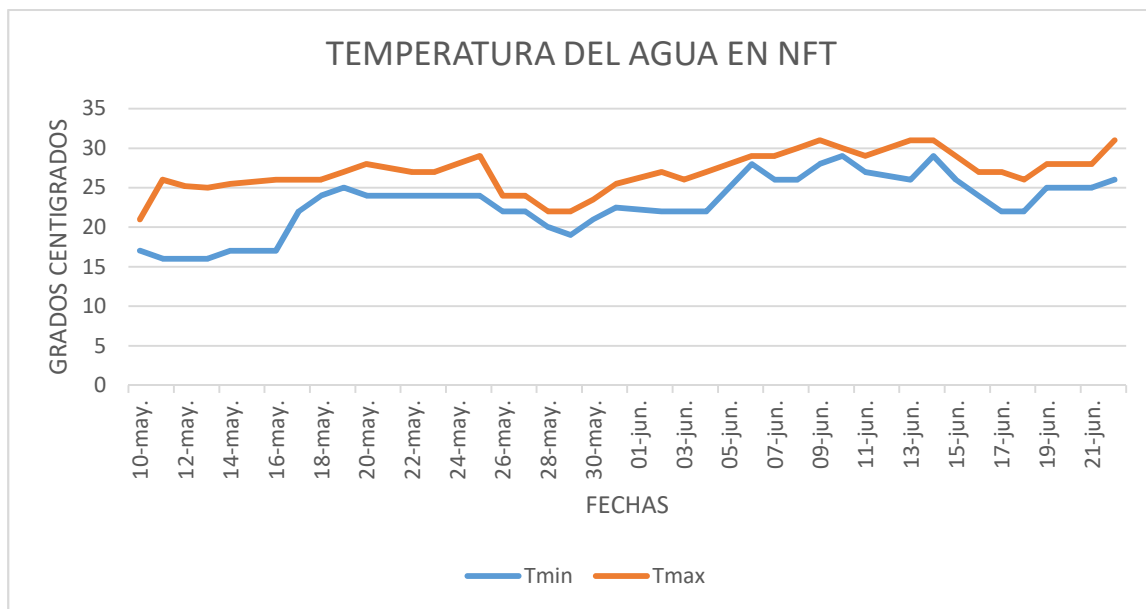
- Temperaturas bajas: La nitrificación se ralentiza y los peces reducen su metabolismo, esto resulta en un menor consumo de alimento y crecimiento más lento.
- Temperaturas altas: Los niveles de oxígeno descienden rápidamente pudiendo alcanzar niveles de anoxia y también se producen situaciones de inapetencia por parte de los peces produciendo un aumento del rechazo del alimento, por lo tanto resulta un acumulo de materia orgánica en el sistema.

Se puede decir que la temperatura del agua afecta a dos partes fundamentales del sistema acuapónico, que son:

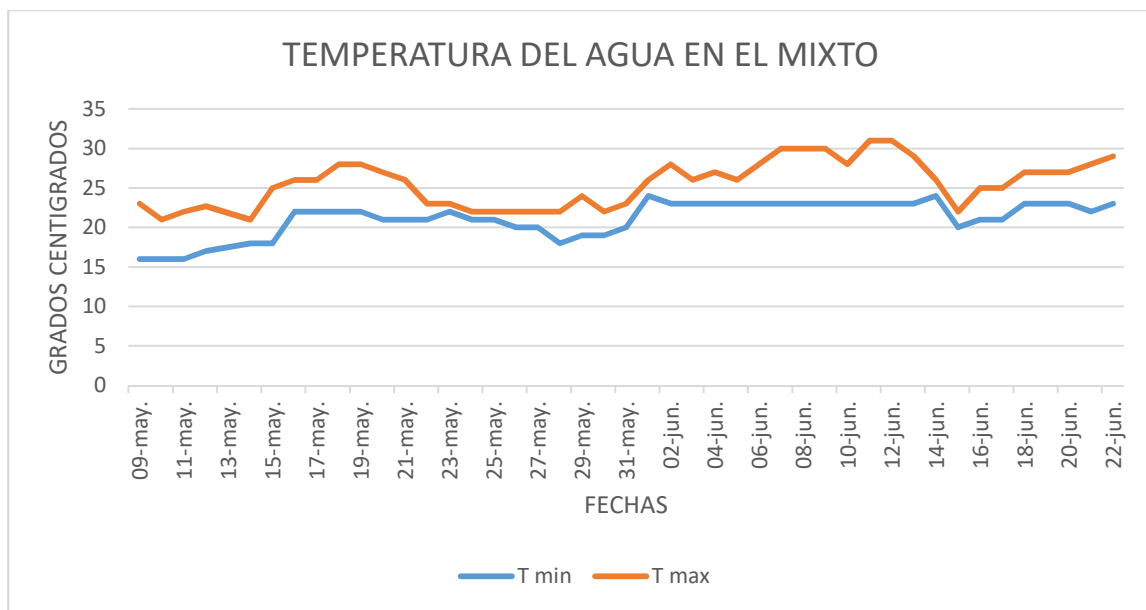
- Al pez dorado, que su tolerancia térmica es de 17 a 30°C, alcanzado su óptimo rendimiento de crecimiento y de conversión de alimento en torno a los 20-25°C.
- A la biofiltración que según DeLong et al. (2012), los parámetros óptimos de temperatura, para conseguir mayor porcentaje de nitrificación es de 25 a 30°C.

#### 4. Resultados y discusión

Por lo expuesto anteriormente, durante todo el ensayo se buscó obtener una temperatura entre los 20 y 25°C. Como se aprecia en las gráficas 5 y 6, durante el primer mes se consiguió que no pasaran de 25 °C, se consiguió gracias a la retirada del plástico del techo del invernadero y colocando una malla de sombreo en el techo. Pero durante el mes de junio fue imposible conseguir que no pasaran de 25 °C, llegando incluso en los últimos días a pasar de los 28 °C.

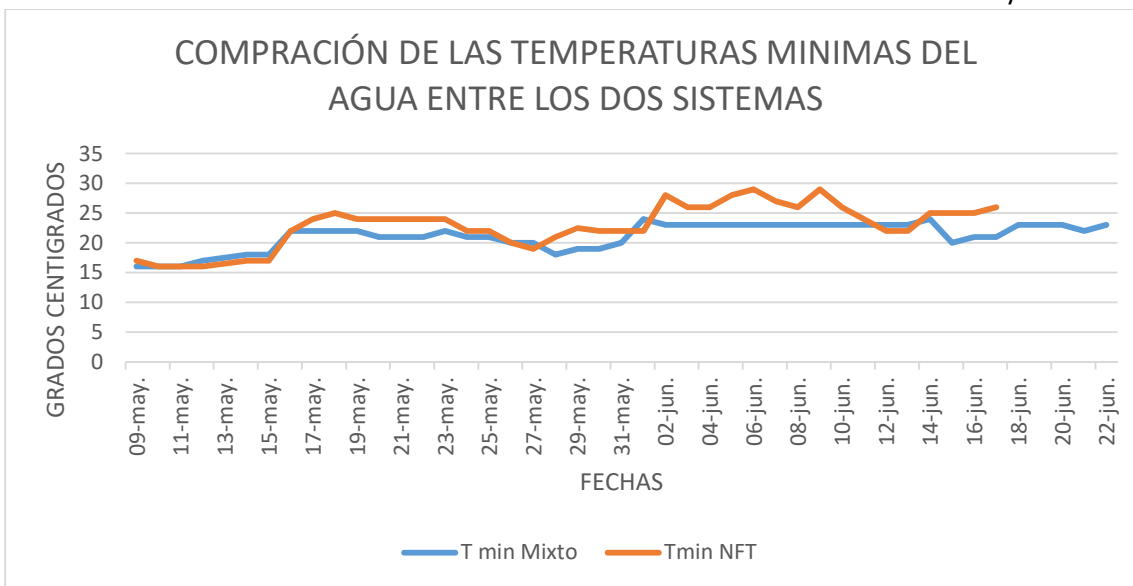


**Gráfica 5. Evolución de la temperatura en el agua del sistema NFT.**

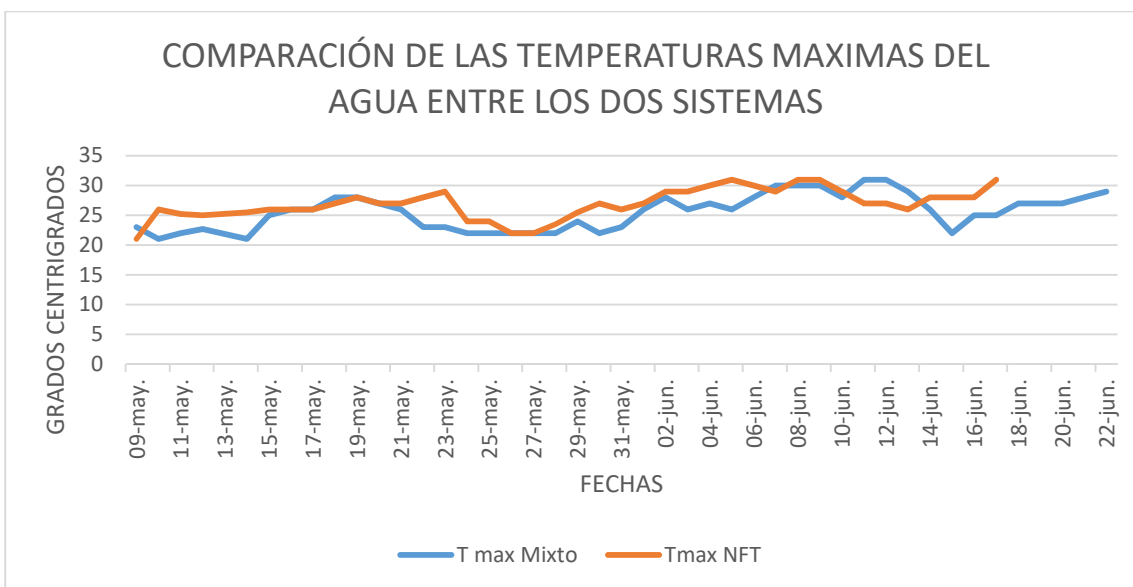


**Gráfica 6. Evolución de la temperatura en el agua del sistema MIXTO.**

A continuación en la gráfica 7 y 8, Comparando la temperatura de los dos sistemas se puede ver que el agua del circuito NFT, siempre estaba por encima 2-5°C tanto en las temperaturas respecto al circuito Mixto, durante todo el ensayo. La variación de temperatura era más acusada en las temperaturas máximas, esto es debido a que los tubos NFT actuaban como radiadores.



Grafica 7. Comparación de las temperaturas mínimas del agua entre los dos sistemas.



Grafica 8. Comparación de las temperaturas máximas del agua entre los dos sistemas.

#### 4.2.6. Déficit de nutrientes

Las plantas de lechugas comenzaron muy pronto a presentar déficit de potasio, concretamente en la segunda semana (16/05/2016) y ambos sistemas. Se comenzó a corregir a partir del día 18/05/2016, con sulfato potásico al 0,75% (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), realizando 3 aplicaciones semanalmente hasta el final del ensayo (22/06/2016). El sulfato potásico fue aplicado vía foliar, pulverizando el producto sobre las hojas de las plantas de lechuga.

Por último, para prevenir el déficit de hierro que podía aparecer en las plantas de lechuga, ya que era uno de los nutrientes que se sabía que era deficitario los circuitos acuapónicos. El día 24/05/2016 se realizó una aplicación de 100ml. Al 1% del producto EDDHA sequestrene para la deficiencia de hierro

en cada tanque de peces de ambos sistemas, esta fue la única aplicación que se realizó durante todo el ensayo en ambos sistemas.



Ilustración 34. Plantas de lechugas en ambos sistemas con carencias de potasio.

### 4.3. Comparación de la producción de lechugas del sistema acuapónico con la producción de la misma especie en un sistema hidropónico convencional.

Uno de los objetivos del proyecto, fue comparar el ritmo de crecimiento de las lechugas en el sistema acapónico y en hidroponía convencional, teniendo en cuenta que en un sistema hidropónico los nutrientes son aportados por una solución nutritiva madre preparada (HOAGLAND), y en los dos sistemas acuapónicos los nutrientes para las plantas son aportados por los desechos producidos por los peces (restos de comida, excrementos, etc.).

Para poder obtener datos de referencia entre la producción acuapónica e hidropónica de lechugas, se tomaron datos de la altura de las plantas, del número de hojas y diámetro de las plantas; y al final se secaron las plantas para calcular su peso seco.

Comentar que tanto las plantas de los dos sistemas acuapónicos, como las del sistema en hidroponía convencional, fueron sembradas en la misma fecha 14/05/2016. Para la toma de datos se eligieron al azar las 8 plantas más representativas cada uno de los sistemas, a continuación se indica en un croquis las plantas elegidas en los dos sistemas acuapónicos.

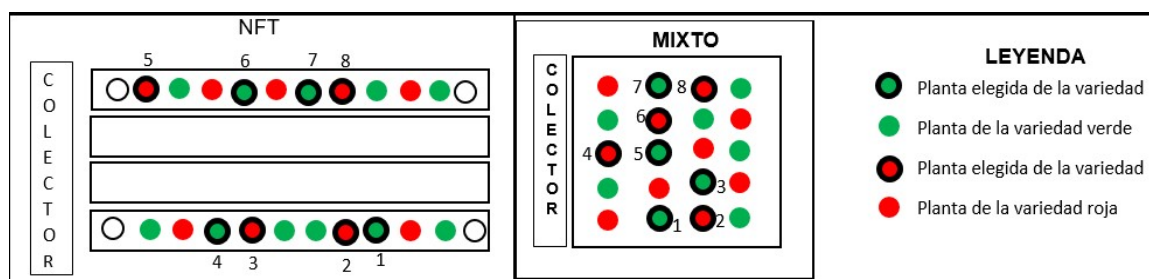
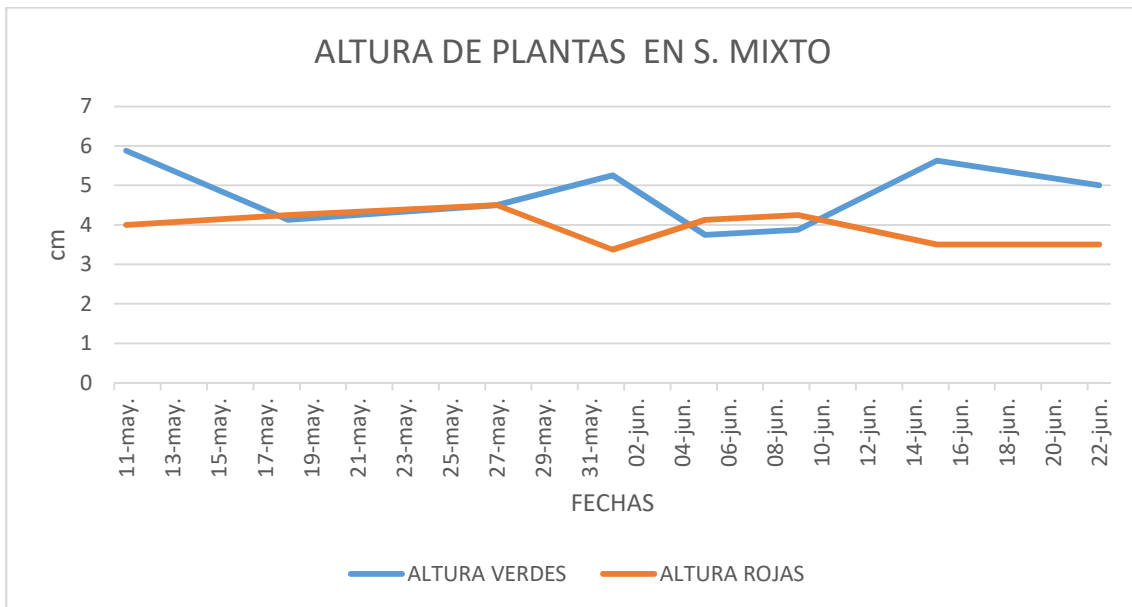


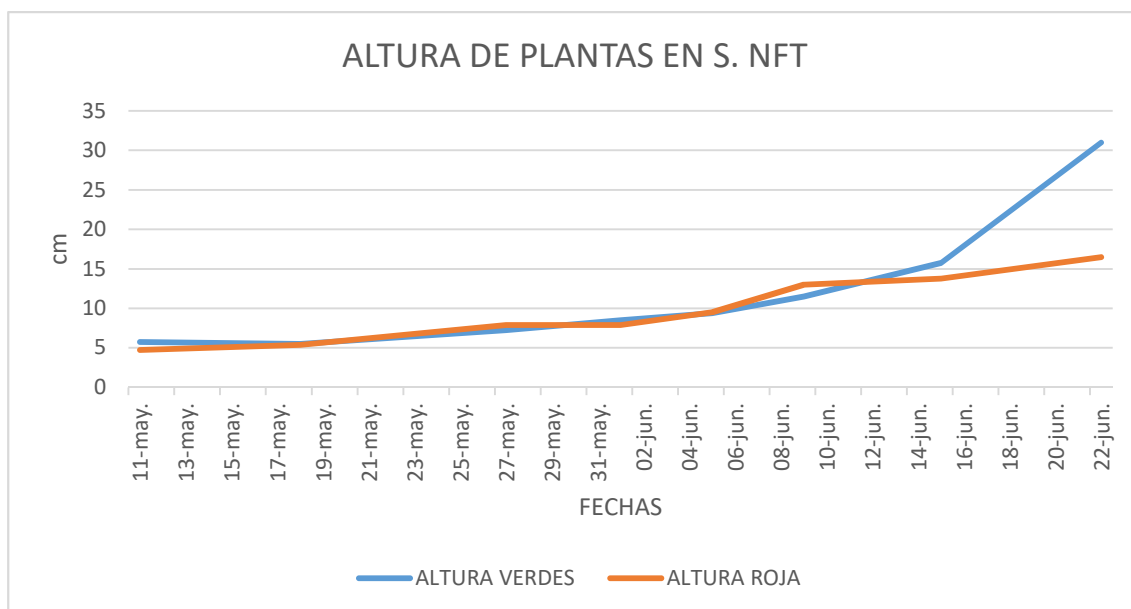
Ilustración 35. Croquis de las plantas elegidas para la toma de datos.

### 4.3.1. Altura

A continuación se mostrara uno de los parámetros medios, visto en tres gráficas (9, 10, 11) comparando en cada uno de los sistemas la evolución de la altura de las plantas de las dos variedades diferente de lechugas utilizadas en el ensayo.

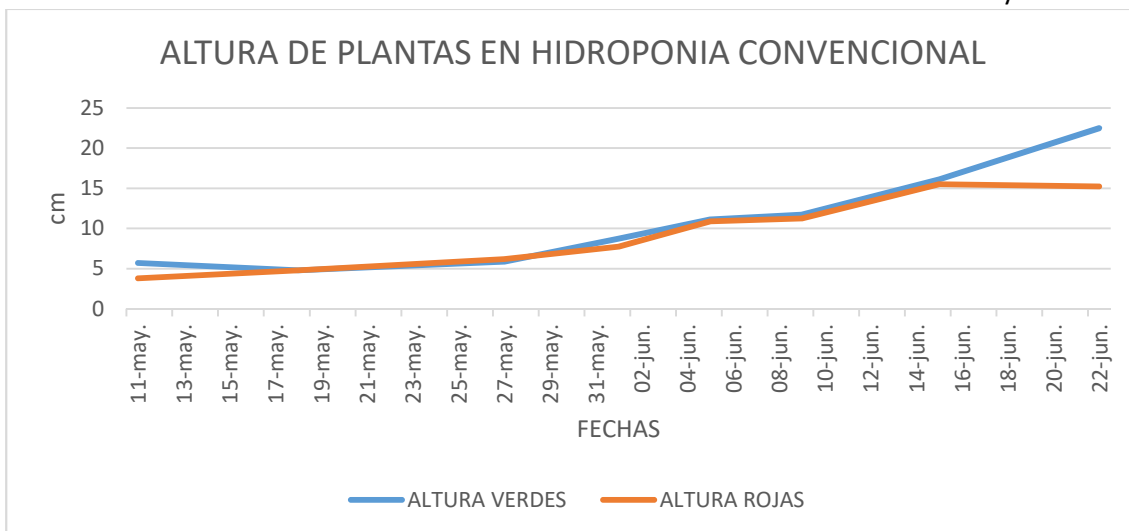


Grafica 9. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema Mixto.



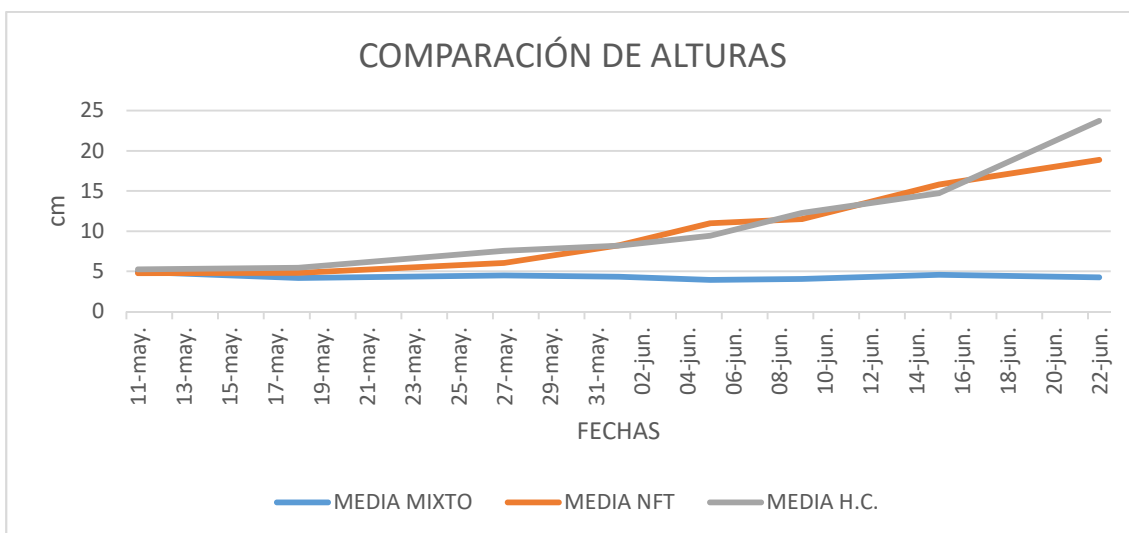
Grafica 10. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema NFT.





Grafica 11. Evolución de altura de las dos variedades de lechuga, en el Sistema de Hidroponía convencional.

En la gráfica 12, se comparara la evolución de la altura entre los tres sistemas utilizados en el ensayo, para ello se realizó la media entre las dos variedades de cada uno de los sistemas, para después compararla en la gráfica que a continuación se muestra.



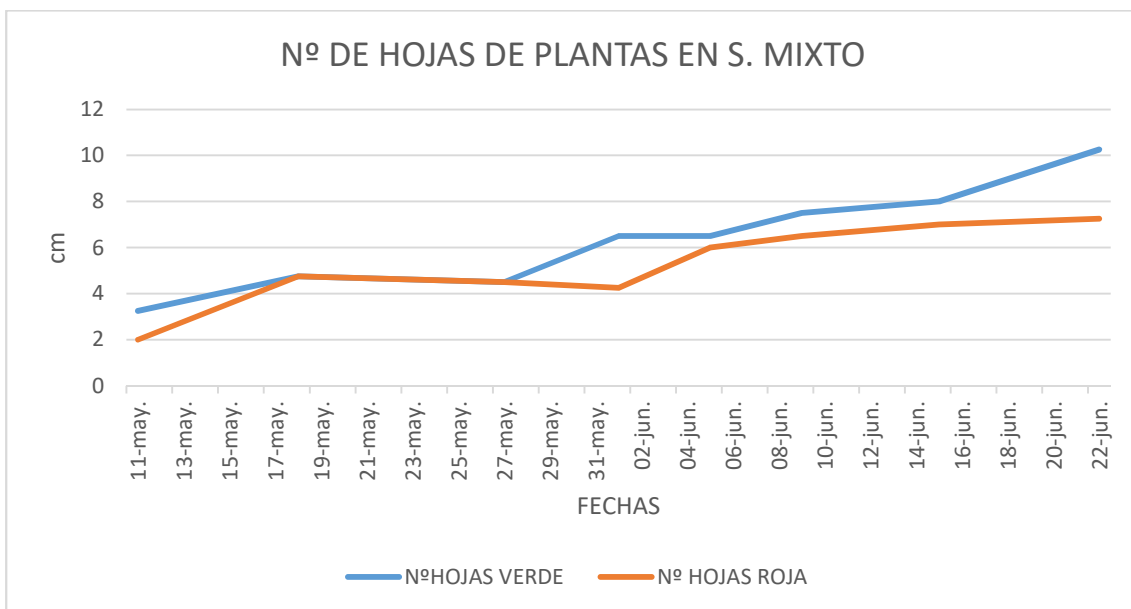
Grafica 12. Comparación de la Evolución de la media de la altura en plantas de los tres sistemas

En esta gráfica se puede apreciar como en el sistema NFT e Hidroponía convencional (H.C.) tienen un incremento similar, en cambio el sistema Mixto está muy por debajo de los dos anteriores. El cambio de curva que sufre el sistema Mixto puede ser debido a los bajos valores de nitratos que se registraron en la primera etapa ensayo y también a una mala aireación de las raíces produciéndose asfixia radicular. Para mejor aireación de las raíces se colocaron varios trozos de corcho para levantar la cama de cultivo.

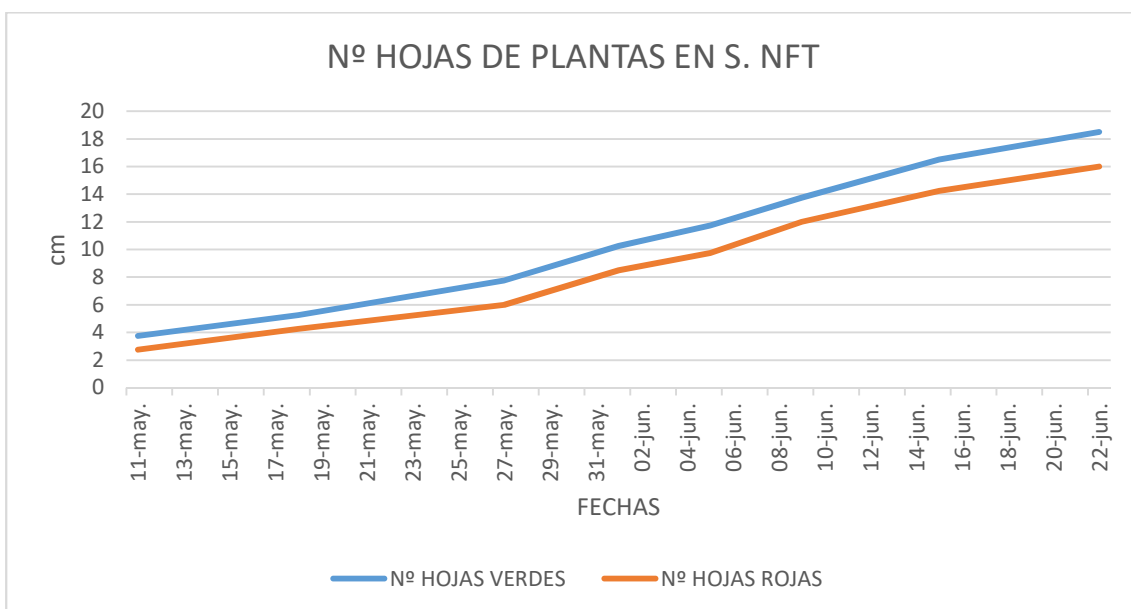
Se produce una subida a partir del 15/06/2016 que coincide con la subida de los niveles de nitratos, parece que la curva de la altura comienza a cambiar de forma creciente.

### 4.3.2. Número de hojas

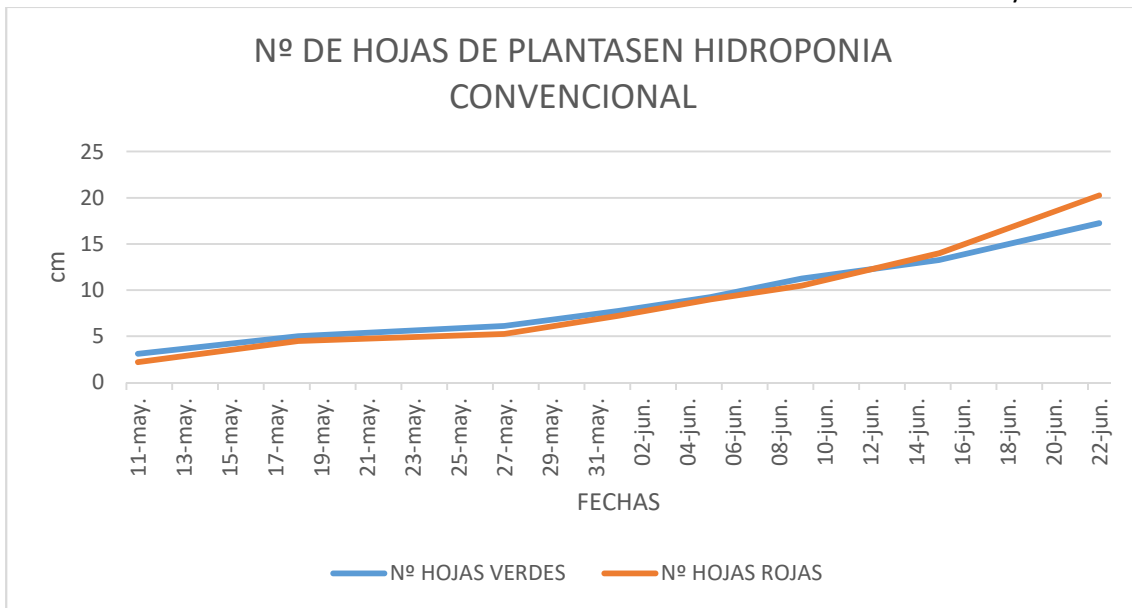
Otro de los parámetros objeto de estudio fue el número de hojas, como se muestra a continuación en las gráficas (13, 14, 15) correspondientes a cada sistema.



Grafica 13. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema Mixto.



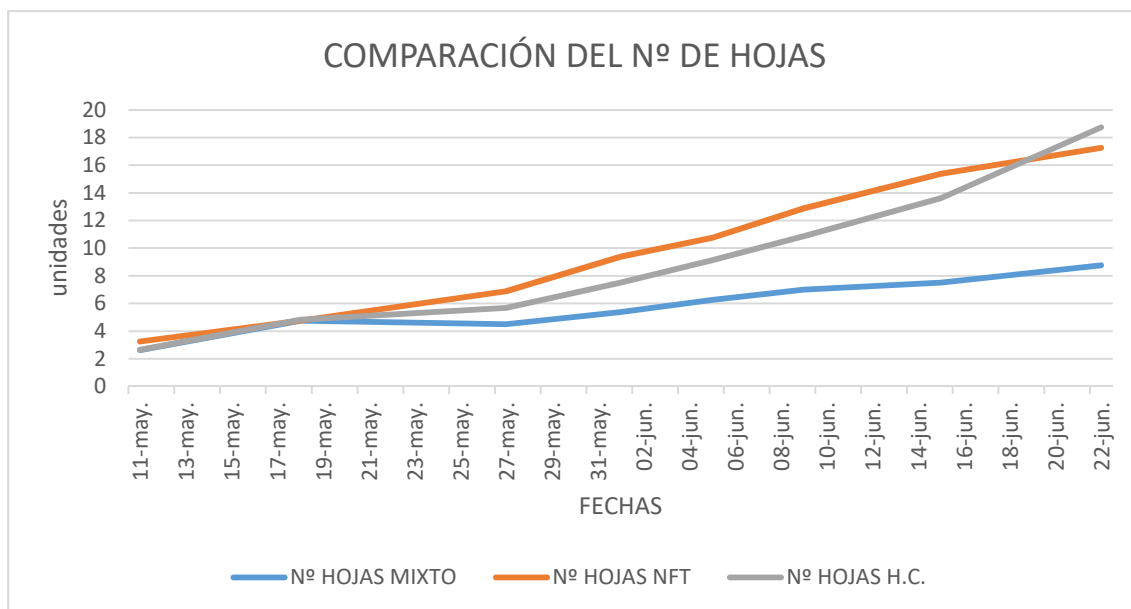
Grafica 14. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema NFT.



Grafica 15. Evolución del número de hojas de las dos variedades de lechuga, en el Sistema de Hidroponía convencional.

Observando cada una de las gráficas se puede ver que la variedad *Lollo bionda* (color verde) ha superado en los tres sistemas a la variedad *Lollo rosso* (color rojo).

Por último, compararemos la evolución del número de hojas en cada uno de los sistemas en la gráfica 16, utilizando los valores medios entre las dos variedades.



Grafica 16. Comparación de la Evolución de la media del número de hoja de las plantas de los tres sistemas.

Según la gráfica 16, las lechugas del sistema hidropónico convencional han obtenido mayor número de hojas al finalizar el ensayo, aunque desde el principio hasta el día 13/06 la curva del sistema NFT ha estado por encima, esta bajada en

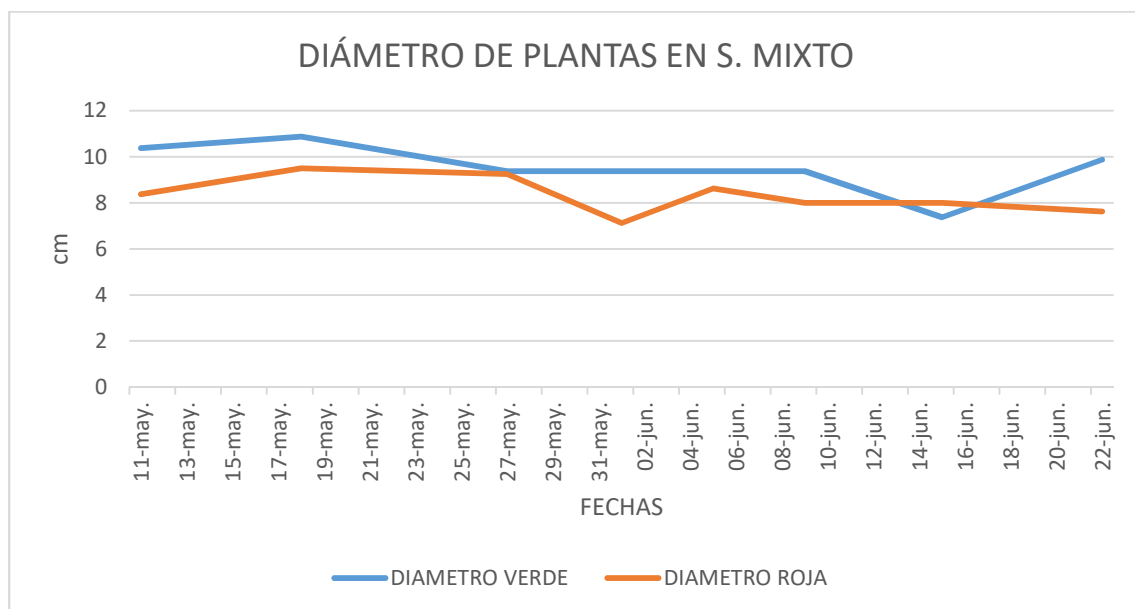
la última semana en comparación con el sistema hidropónico convencional es debido a que algunas lechugas del NFT se subieron y perdieron hojas.

El sistema Mixto, en cambio, obtuvo valores muy bajos, aunque a partir de junio comenzó la curva a subir que puede ser debido a mayores niveles de nitratos en el sistema.

### 4.3.3. Diámetro

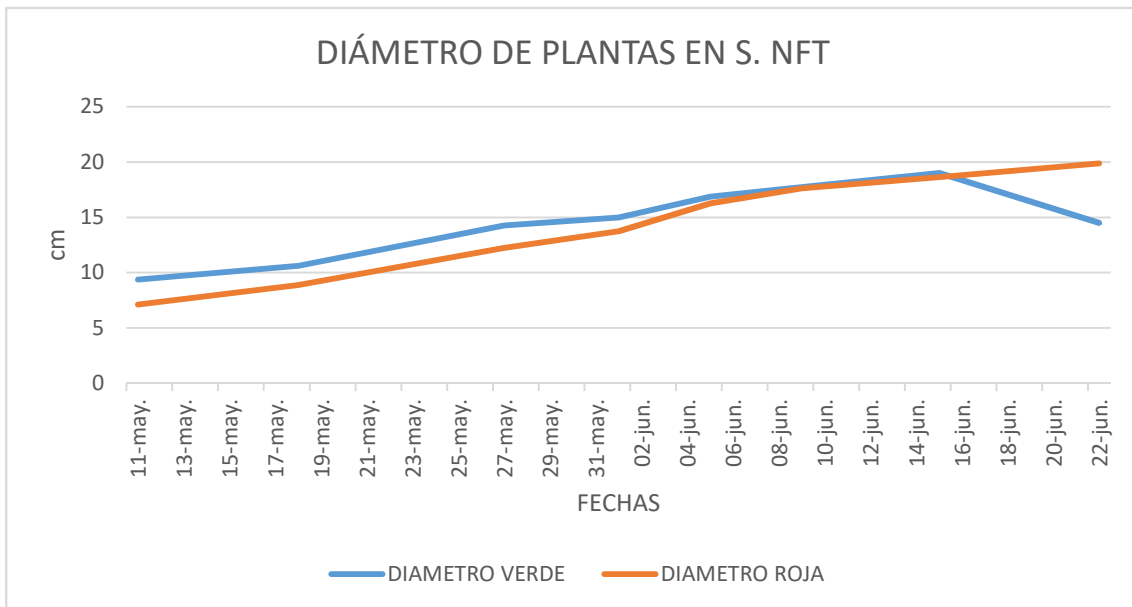
Durante todo el ensayo se midieron los diámetros de las plantas elegidas, este parámetro está muy ligado al desarrollo y crecimiento de la planta. El diámetro es muy importante en esta planta, este nos da idea de la formación del cogollo que es lo más importante de cara a su comercialización.

Para ello se han elaborado una gráfica para cada uno de los sistemas, comprando en cada una las variedades *Lollo bionda* (color verde) y *Lollo rosso* (color rojo).



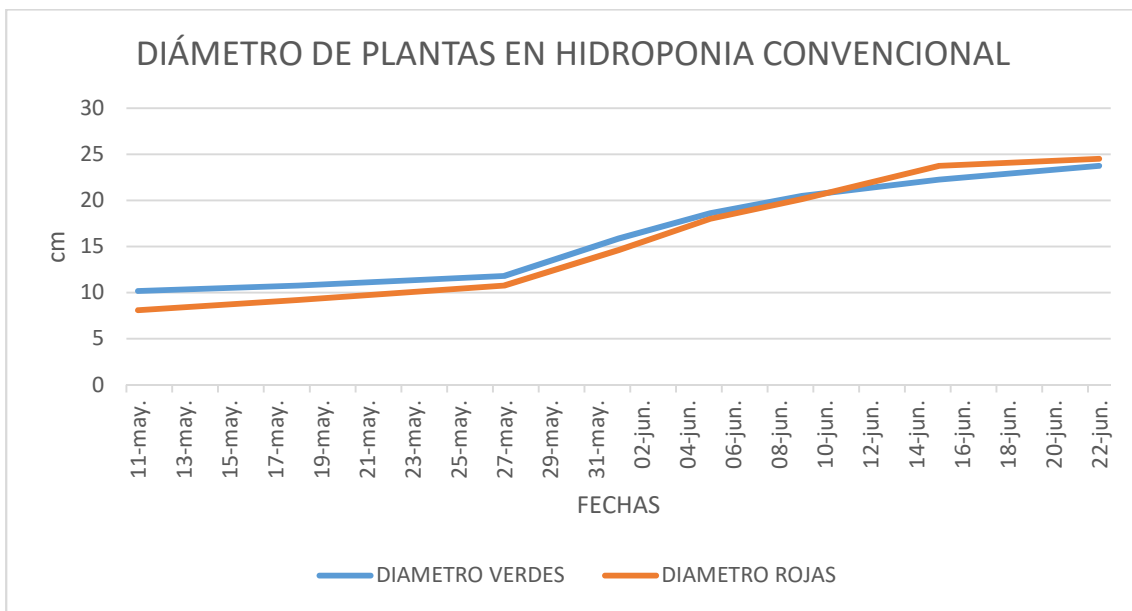
Gráfica 17. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en el Sistema Mixto.

En la gráfica 17, se puede observar como las plantas han ido bajando su diámetro, por la pérdida de hojas que se producían por su muerte, se arrugaban por el secado o bien por ambos motivos. Aunque en la variedad *Lollo bionda* (color verde) a partir del 15/06/2016 se observa un pico de subida, seguro consecuencia de la subida de los niveles de nitrato en el circuito. Este pico de subida no se produjo en la variedad *Lollo rosso* (color rojo), uno de los motivos puede ser porque las plantas ya estaban dañadas por tanto déficit de nitrógeno.



Grafica 18. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en el Sistema NFT.

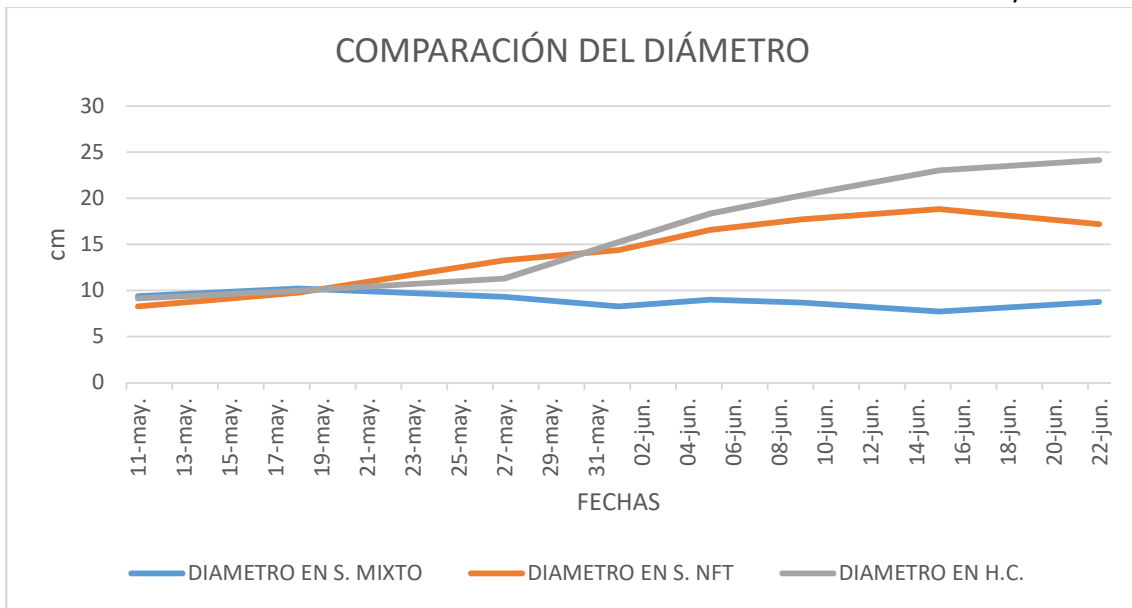
El sistema NFT se comportó bastante bien las dos variedades trazaron una línea muy semejante, pero a partir del 13/06/2016 en la variedad *Lollo bionda* (color verde) se produjo un pico descendente, que puede ser consecuencia a la subida de algunas lechugas de esta variedad.



Grafica 19. Evolución diámetro de las plantas en cada una de las variedades de lechuga, en Hidroponía Convencional.

En Hidroponía convencional, las dos variedades tuvieron un comportamiento muy similar, no se produce ningún pico importante.

Por último, compararemos la evolución del diámetro de las plantas en cada uno de los sistemas en la gráfica 20, utilizando los valores medios entre las dos variedades.



Grafica 20. Comparación de la Evolución de la media del número de hoja de las plantas de los tres sistemas

La gráfica 20, refleja como el sistema hidropónico convencional está por encima de los dos sistemas acuapónicos. En la primera parte del ensayo si se mantuvieron los valores muy aproximados en los tres sistemas, pero fue a partir del 25/05/2016 donde en el sistema hidropónico se observa un pico ascendente, en cambio en el Mixto y NFT no es así. Esto puede ser debido a que la planta en esa fecha comienza a requerir más nitrógeno, y los valores en los dos sistemas acuapónicos aún eran muy bajos.

Por último, en el sistema NFT se produce un pico ascendente el 1/06/2016 consecuencia de que los valores de los nitratos ya son más alto y a partir del 15/06/2016 un pico descendente que coincide con el descenso de los niveles de nitratos en el agua del circuito. El sistema Mixto no se observan picos muy severos, ya que los niveles de nitratos han sido muy bajos durante todo el ensayo.

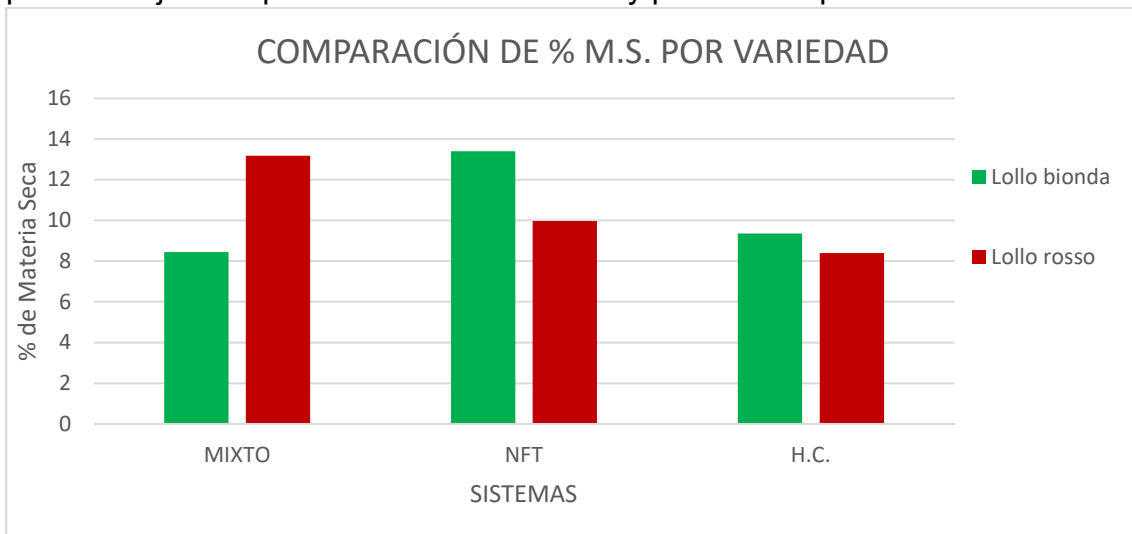
#### 4.3.4. Biomasa

Por último, se midió también la biomasa de todas las lechugas de los tres sistemas y se les realizó el peso fresco (justo en el momento de la cosecha) y peso seco (peso tras haber deshidratado las hojas en un horno a 65°C durante 48 horas), con estos datos se pretende determinar el contenido de materia seca obtenido de cada variedad en cada uno de los sistemas. En la tabla 7, se muestran los resultados de los pesos frescos, secos y porcentajes de materia seca totales de las plantas:

SISTEMAS VARIEDADES	MIXTO		NFT		H.C.	
	Lollo B.	Lollo R.	Lollo B.	Lollo R.	Lollo B.	Lollo R.
<b>Peso Fresco</b>	143,3 g	31,1 g	781,8 g	394,4 g	787,1 g	702,1 g
<b>Peso Seco</b>	12,1 g	4,1 g	104,7 g	39,3 g	73,7 g	59 g
<b>% de M.S.</b>	8,44	13,18	13,39	9,97	9,36	8,4

Tabla 7. Peso fresco, Peso seco y Porcentaje de materia seca de las plantas por variedad en cada sistema.

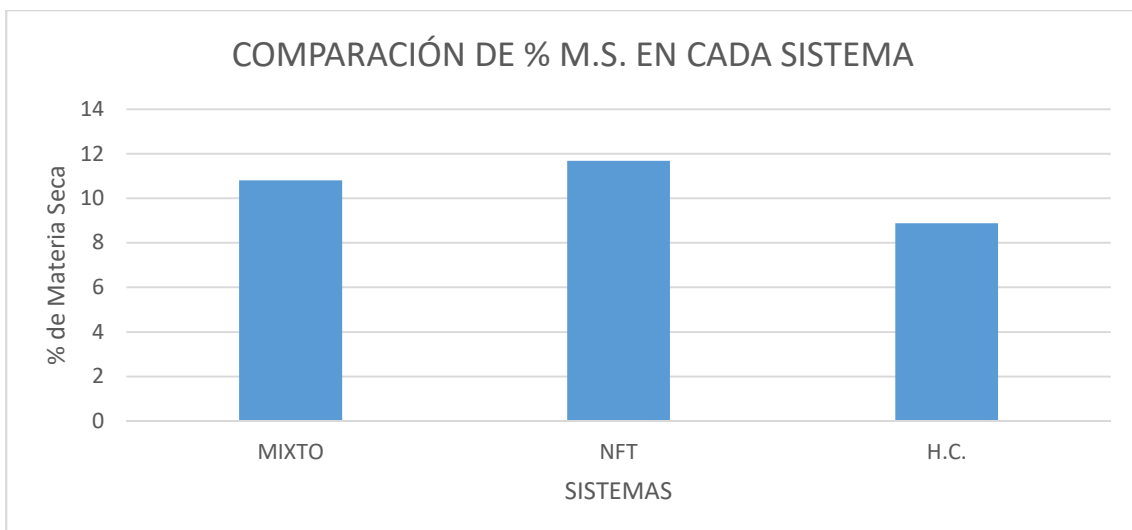
A continuación, los datos de la tabla 5 serán representados en la gráfica 21 para la mejor comprensión de los resultados y para la comparación de estos.



Grafica 1.21. Resultados de Porcentaje de Materia seca por variedad, en cada sistema.

Tanto en NFT e Hidroponía convencional la variedad *Lollo bionda* han obtenido mayor porcentaje de Materia seca, puede ser debido a que esta variedad acumulo mayores cantidades de minerales. En cambio en el sistema Mixto fue al contrario, en *Lollo rosso* se obtuvo mayor porcentaje de materia seca, ya que éstas estaban muy mermadas y pequeñas, por lo tanto el acúmulo de agua era muy bajo.

También se ha comparado los resultados medios de cada sistema en la gráfica 22, que se muestra a continuación.



Grafica 22. Comparación de resultados medios de porcentaje de materia seca en cada uno de los sistemas.

En esta comparación el sistema NFT presenta mayor porcentaje en su conjunto, aunque aquí ocurre lo mismo que lo dicho anteriormente, la acumulación de agua en las plantas en el sistema hidropónica es bastante significativa, por esto el motivo de un % de materia seca tan bajo.





Ilustración 36. Estufa para secar plantas cosechas.



Ilustración 37. Plantas después de secado (izquierda) y toma de peso seco (derecha).

#### 4.4. Crecimiento de los peces y consumo de pienso

Otros de los objetivos por el cual se desarrolló este ensayo, fue para la observación del crecimiento de *Carassius auratus*, en las condiciones de un sistema acuapónico de alta-media densidad.

El pez dorado es una especie que se alimenta desde algas a invertebrados (omnívora), existen multitud de piensos específicos para esta especie acuática ornamental. Durante el proyecto se les dio un pienso cuya composición figura en la siguiente tabla 8, que se muestra a continuación:

<b>INGREDIENTES</b>		
Cereales, derivados de origen vegetal, pescado y sus derivados, extractos de proteínas vegetales, carne y derivados de animales (harina de pescado), aceites y grasas, minerales.		
<b>COMPOSICIÓN</b>		
Proteína bruta	23%	
Aceites y grasas brutos	3%	
Cenizas brutas	10%	
Fibra bruta	1,5%	
Fósforo	0,7%	
<b>ADITIVOS</b>		
Vitaminas	Vit. A	12000 UI/Kg
	Vit. D3	1500 UI/Kg
	Vit. E	80 mg/Kg
	Vit. C	5,0 mg/Kg
Elementos traza	Fe	24 mg/Kg
	Zn	7 mg/Kg
	Mn	5 mg/Kg
	Cu	1,2 mg/Kg
	I	0,15 mg/Kg
	Se	0,15 mg/Kg
	Mo	0,03 mg/Kg

Tabla 8. Composición del pienso "POND MIX" marca TROPICAL, suministrado a los peces. Fuente [www.tropical.pl/tropical/product/pond-mix](http://www.tropical.pl/tropical/product/pond-mix)

Para poder determinar los índices de conversión (IC), la ganancia media diaria (GMD) y tasa de crecimiento relativa (TCE), se realizaron cuatro sesiones de pesadas durante los 45 días que duró el ensayo, pesándose toda la población o como mínimo más del 85%. Estas pesadas se realizaron en los dos prototipos. Obteniendo los siguientes resultados para sistema Mixto en la tabla 9 y para el sistema NFT en la tabla 10:

PESADAS	BIOMASA (gramos)	ALIMENTO CONSUMIDO (gramos)	PESO GANADO (gramos)	Nº PECES	IC	GMD (gramos/día)	TCE (%/día)
1	1624			53			
2 (14*)	1511	210	0	53	∞	0	0
3 (14*)	1618	238	107	52	2,22	0,147	0,625
4 (14*)	1721	294	103	52	2,85	0,142	0,441
TOTAL	-----	742	97	52	7,65	0,044	0,184

Tabla 9. Resultado en las cuatro sesiones de pesadas, en el S. Mixto. \* Días transcurridos entre cada una de las pesadas.

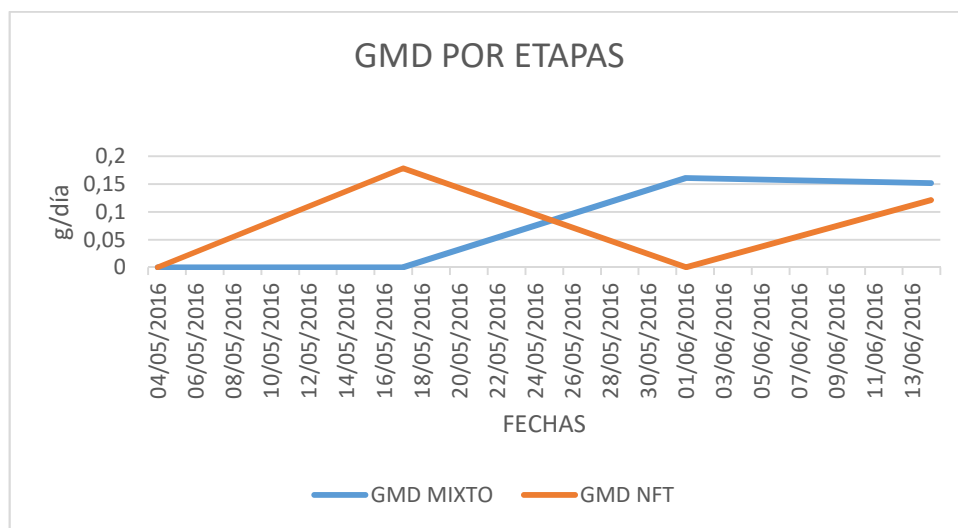
PESADAS	BIOMASA (gramos)	ALIMENTO CONSUMIDO (gramos)	PESO GANADO (gramos)	Nº PECES	IC	GMD (gramo/día)	TCE (%/día)
1	1620			54			
2 (14*)	1741	210	121	52	1,74	0,166	0,784
3 (14*)	1729	238	0	52	∞	0	0
4 (14*)	1811	294	82	52	3,65	0,113	0,331
TOTAL (42*)	-----	742	191	52	3,74	0,087	0,355

Tabla 10. Resultado en las cuatro sesiones de pesadas, en el S. NFT. \* Días transcurridos entre cada una de las pesadas.

En la tabla 9 y 10 podemos observar que el índice de conversión (IC) estuvo comprendido entre los **valores 2,22-2,85 en el sistema Mixto y 1,74-3,65 en el NFT**, estos son valores bastante altos, si lo comparamos con los obtenidos en sistemas acuáponicos con tencas que también es un pez con un crecimiento lento. En el prototipo acuapónico de tencas y lechugas desarrollado en la ETSIA por Candón (2012), los valores del índice de conversión oscilaron entre 1,45-2,37.

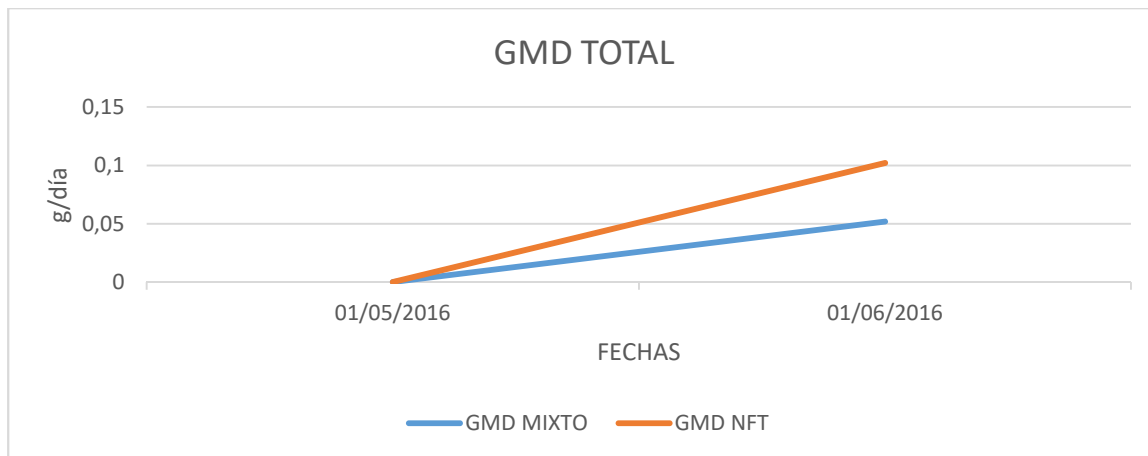
La ganancia media diaria se ha calculado por etapas presentando valores aceptables de crecimiento tratándose de una especie de crecimiento lento. **Los valores oscilaron entre 0,142-0,147 g/día para el sistema mixto y de 0,113-0,166 g/día para el NFT**. En cambio los valores totales de GMD durante todo el ensayo fueron muy bajos (**ver tabla 9 y 10**), esto es debido que en algunas etapas la GMD se obtuvieron valores de cero por motivos que serán explicados más adelante.

Observando la gráfica 23, el sistema Mixto se ve como en la primera etapa del ensayo los peces no obtuvieron peso, esto se debe a que coincide con las subidas de las temperaturas y esto dio paso al inicio de la actividad reproductiva, por lo que muchas hembras desovaron, ya que se encontraron muchos alevines presentes en el tanque de peces, y esto da como resultado una bajada de peso en la población de peces. Lo mismo ocurrió en el NFT pero el pico de bajada se produce en la segunda etapa, también por lo comentado anteriormente. También hay que tener en cuenta que para la realizar la pesada se tomaba agua en un cubo y se iban introduciendo los peces en este, por este motivo las pesadas no eran exactas al 100%, ya que el agua estaba en continuo movimiento causado por el peces que se encontraba en su interior para ser pesado y la báscula electrónicas son muy sensibles.



Grafica 23. Comparación de la Evolución de la ganancia media diaria (GMD) entre cada pesada, en ambos sistemas.

A continuación, la gráfica 24 nos muestra la comparación de la ganancia media diaria total que comprende el periodo desde el 04/05 hasta el 13/06, se ve como en el sistema NFT el crecimiento de los peces fue mejor esto puede ser debido a que en el tanque del Mixto hubiera más hembras y éstas al desovar redujeron el peso total de toda la población.



Gráfica 24. Comparación de la Evolución de la ganancia media diaria (GMD) total, en ambos sistemas.

Por último, la tasa de crecimiento relativo (TCE) se ha calculado por etapas presentado valores entre **0,441-0,625 %/día para el sistema Mixto y de 0,331-0,784 %/día para el NFT**, estos valores superan a los que propone Ramírez et al. (2007) que son de 0,4-0,5 %/día para sistemas acuáponicos, también se superan los conseguido por Martínez et al. (2011) en sistemas de recirculación convencionales en acuicultura que son de 0,3%/día.

En cambio los valores totales de TCE fueron más bajos que los conseguidos por etapas (**ver tabla 9 y 10**), esto es debido que en algunas etapas del ensayo la TCE se obtuvo valores de cero, estas etapas coincidieron con el desove de las hembras.



Ilustración 38. Alevines presentes en el tanque de peces.



## 4. Resultados y discusión

## 5. Conclusiones

Analizando todo lo expuesto en este proyecto podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. En general, el proceso de montaje de las instalaciones resultó sencillo para operarios no especializados, siendo fácil localizar y adquirir los materiales necesarios para ello siguiendo el manual de la FAO (Somerville C. et al., 2014),
2. Los resultados muestran una elevada supervivencia de pez dorado y plantas de lechugas con densidades de cultivo de peces cercanas a  $0,86 \text{ Kg/m}^3$  para el sistema mixto y  $1,4 \text{ Kg/m}^3$  para el NFT.
3. La producción de lechugas en el sistema NFT ha alcanzado valores próximos al sistema hidropónico convencional, en cambio el sistema mixto ha estado bastante por debajo de estos dos, pero aun así las plantas recolectadas son comercializables en otra categoría. Por lo tanto, podemos decir que más del 85% de las plantas recolectadas son consideradas comercializables.
4. La baja tasa diaria de recambio de agua obtenida en ambos sistemas que son, del 0,76% para el sistema Mixto y 1,66% para el NFT frente al 5-10% de la acuicultura convencional, supone una gran ventaja económica y medioambiental.
5. Los sistemas propuestos en este proyecto, con baja densidad de peces, han resultado más interesante para la producción de vegetales principalmente, debido a la baja tasa de crecimiento de una especie como el pez dorado.
6. La novedad en este proyecto es la especie de peces utilizada, es una especie desconocida en sistemas similares descritos en la literatura científica. Pero en los dos prototipos han demostrado una gran adaptabilidad a las temperaturas altas y a pH por encima de 7, presentando tan solo un índice de mortalidad de 3,7%.
7. Las plantas de lechugas sólo presentaron deficiencias de hierro y potasio durante el ensayo, síntomas habituales en los sistemas acuapónicos, y que fueron corregidos mediante aplicaciones foliares de Sulfato potásico y adición al agua del circuito acuapónico de EDDHA sequestrene.
8. Los resultados positivos obtenidos para la producción de peces y plantas, así como la fácil regulación de los parámetros físico-químicos del agua, apoyarían la idea de que es posible poner en funcionamiento un prototipo acuapónico como el descrito, de fácil manejo, controlando tan sólo varios parámetros físico-químicos y sin grandes inversiones, capaz de cumplir el objetivo final de producción de biomasa vegetal y animal.

9. Por la facilidad de manejo y baja inversión, son sistemas indicados para iniciarse en la acuaponía o para su uso en explotaciones familiares para auto consumo.
10. Estos dos prototipos tienen una utilidad didáctica, ya que han servido de ejemplo para la explicación de estos sistemas en prácticas de la asignatura Cunicolas, Avícolas y Alternativas y en las de Tecnología de invernaderos en la E.T.S.I.A. En un futuro puede servir para varias asignaturas, ya que en un sistema acuapónico intervienen varias ramas (hidráulica, cultivos herbáceos, plagas y enfermedades, física, ejecución de proyectos, etc.) del plan docente que se imparte en la E.T.S.I.A.

Por lo expuesto anteriormente, los sistemas acuapónicos se están posicionando como una alternativa sólida, ya que permite hacer un uso más racional del agua, aprovechar los nutrientes contenidos en el agua y reducir en gran medida el porcentaje de agua que necesita reponer una instalación de recirculación de agua.



## 6. Bibliografía

Alarcón, A. L. 2006. Cultivos sin suelo. 1ª Ed. Ediciones de Horticultura. Barcelona.

Ako H. and Baker A. 2004. Nutrient fluxes in acuaponiscs systems. Molecular Biosciences and Bioengineering College of Tropical Agriculutre and human Resources. University of Hawaii at Manoa. Disponible en internet en: <http://www.ctahr.hawaii.edu/mbbe/Aquaponics%20for%workshop.ppt>

Axayacalt, O. 2014. Desventajas de la hidroponía (en línea). Disponible en <<http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/desventajas-de-la-hidroponia.html>> [Consultado en junio de 2016].

Bradley K. F., Howerton R. and Tamaru C.S. 2010. Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems. Biotechnology. June 2010 BIO-10. College of tropical agriculture and human resources. University of Hawaii- and Manoa.

Buxadé C., Abellán E., Albentosa M., Arias A.M., Ariño A., Cardenete G., Fernandez Aldana J.M., Jover M., Quirós M., Lejarcegui J.A., Moyano F.J., Muñoz Amat F., Rodríguez Alvariñó M., Rodríguez Martin A.M., Toro M.A., Torrent F. and Vergara J.M. 1997. Producción animal acuática. 1ª Ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona.

Bocek A. 2011. College of Agriculture. An Introduction to Aquaculture. Auburn University. Disponible en <<http://www.ag.auburn.edu/fish/documents>> [Consultado en junio de 2016].

Carbó, R. 2009. Sistemas de recirculación para acuicultura (SRA). Hoja divulgativa 2: Recirculación. Disponible en internet: <[http:// www. Fundacionoesa.es/images/stories/miscelanea/hoja\\_divulgativa2.pdf](http://www.Fundacionoesa.es/images/stories/miscelanea/hoja_divulgativa2.pdf)> [Consultado en mayo 2017]

Carrasco Silva G. and Sandoval Briones C. 2016. Manual práctico del cultivo de la Lechuga. 1ª Ed. Edicione Mundi-Prensa. Asturias.

Contreras Valenzuela, A. y Gómez Vargas, C. 2008. College of Agriculture. Evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Zamorano, Honduras. 16.p. Disponible en <<http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/855/1/T2569.pdf>> [Consultado junio de 2016].

De Long D. P. and Losordo T.M. 2012. How to Star a Biofilter. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication nº 4502.

Friend, S. and Mann, T 2010. Friendly Aquaponics. Disponible desde internet en: <<http://www.friendlyaquaponics.com>>.

Hoyos, P., Martín, M., Merino M., López A., Granero J.L., Fabien D., Marhuenda A., Galarza J., Cebolla J., Arnedo J., Iriondo E., Gómez A.M., Fuentes M.J., Navarro G., Morell J.M., Rincón L., Monsterrat A., Lacasa A., Guerrero M.M. and Sáiz J.L. 2006. Lechuga: Cultivo y comercialización. 1ª Ed. Editorial Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Lennard, W.A. 2004. Aquaponics research at RMIT University, Melbourne Australia. *Aquaponics Journal*, 35: 18-24.

Lennard, W. 2012. Aquaponic system design parameters: fish to plant ratios (feeding rate ratios). *Aquaponic fact sheet series*. Web "Aquaponic solutions". Disponible en: <<http://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf>> [Consultado en mayo de 2016].

Lennard, W. 2006. Aquaponic integration of Murray Cod (*Maccullochella peelii peelii*) aquaculture and Lettuce (*Lactuca sativa*) hydroponics. Victoria, (Australia).

Linnaeus. 1758. Pez dorado. Disponible en <[http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/carassius\\_auratus\\_linnaeus\\_1758\\_tcm7-286332.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/carassius_auratus_linnaeus_1758_tcm7-286332.pdf)> [Consultado en julio de 2016]

Lobillo, J.R., Fernández-Cabanás, V.M., Chiara, E. y Candón, F.J. 2014. Manejo básico y preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuapónico. *ITEA*, 110(2): 142-159.

Maroto, J.V., Gómez A.M., Baixauli C., Busto A., Fresquet J.L., García M., García M.J., Gómez D., Jiménez J., López S., Pomares F. and Torreño A., 2000. La lechuga y la escarole. 1ª Ed. Editorial Mundi-Prensa. Valencia.

Martinez O., Gómez E. and Hurtado H. 2011. Levante de Goldfish (*Carassius auratus*) en Sistema de recirculación cerrada: 1-350. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.

Nelson Pade. Disponible en <http://aquaponics.com/learn/blog/> [Consultado en abril de 2016].

Rakocy J.E., Masser M.P. and Losordo T.M. 2006. Reacerculating aquaculture tank production sytem: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication nº 454

Ramirez D., Sabogal D. and Hurtado H. 2007. Estudio del Crecimiento de Goldfish (*C. auratus*) y en la Lechua (*L. sativa*) en un Sistema Acuapónico Bajo condiciones de Invernadero. *Rev Med Vet Zoot*; (54): 166-167. Bogotá.



## 6. Bibliografía

Resh M.H. 2006. Cultivos Hidropónicos. 5ª Ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

Rodríguez Aguilar A. and Zafra Trelles A. 2014. Crecimiento de goldfish, *Carassius auratus*, y Lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

Sádaba S., Del Castillo J.A., Sanz de Galdeano J., Uribarri A. and Aguado G. 2007. Lechuga en cultivo hidropónico (en línea). Disponible en <<http://www.itga.com/docs/LechugaenHidroponia.pdf>>. [Consultado en junio de 2016]

Sirtori, G. and Boffelli E. 2007. Las lechugas. 1ª Ed. Editorial de Vecchi. México.

Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A. and Lovatelli A. 2014. Small-scale aquaponic food production. FAO. Roma.

Urrestarazu, M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. 1ª Ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.