

INFORME ANUAL DE RESULTADOS

19CTP1_09

Demostración de la técnica de Acuaponía (producción de peces y vegetales), con plantas producidas en tres sistemas de hidroponía.

- Área:** AGRICULTURA
- Ubicación:** CIFEA de Torre Pacheco
- Coordinación:** Plácido Varó
- Técnicos:** Anastasia Bafalliu, Sergio Pereyra, Ricardo Gálvez y Joaquín Navarro del CIFEA T. Pacheco.
- Duración** Noviembre 2018- junio 2019
- Financiación** A través del Programa de Desarrollo Rural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2014-2020.



Contenido

1. RESUMEN.	3
2. INTRODUCCIÓN.	4
3. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.	6
4. MATERIAL Y MÉTODOS.	6
4.1. Especies vegetales y piscícolas.	6
4.2. Localización/Ubicación del ensayo (término municipal, polígono y parcela).	9
4.3. Superficie destinada al ensayo y dispositivos.	9
4.4. Infraestructura para Acuaponía instalada.	11
4.5. Fecha de inicio y fin del ensayo y tareas realizadas.	15
4.8. Características del agua. Análisis.	18
4.9. Preparación de la planta de Acuaponía. Plantación.	20
4.10. Riegos y abonados. Consumo de agua y fertilizantes.	21
4.11. Tratamientos fitosanitarios. Incidencias fitopatológicas.	22
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	22
5.1. Parámetros evaluados.	22
5.2. Resultados de divulgación.	30

1. RESUMEN.

Con la parcela demostrativa se trata de poner de manifiesto cómo la producción de cultivos en Acuaponía puede reducir la lixiviación de los cultivos hidropónicos, a través de la reutilización de los efluentes cargados de minerales, aspecto este de gran importancia en el contexto del Decreto-Ley 2/2019 de protección integral del Mar menor. Se pretende dar a conocer este sistema para su posible empleo en explotaciones agrícolas en hidroponía de la zona, demostrando que se puede conseguir un mejor aprovechamiento del agua y fertilizantes, reduciendo el consumo de nitratos y conseguir obtener dos productos disponibles para su comercialización con alto nivel frescura y calidad sanitaria.

A la vez se pretende dar a conocer a las empresas de restauración un pescado muy consumido en otros países del mundo, con buenas propiedades alimenticias, directamente del productor y con precios asequibles para ofertar menús a precios bajos, como es la tilapia.

Tres organismos están involucrados en el rendimiento óptimo de los sistemas acuapónicos: plantas, peces y bacterias nitrificadoras. Las plantas y los peces son cultivos comerciales, mientras que las bacterias nitrificantes juegan un papel importante en la biofiltración, convirtiendo los desechos tóxicos de amoníaco de los peces en nitrato, uno de los nutrientes minerales más importantes requeridos por las plantas.

Las especies vegetales que se han elegido en nuestro proyecto para cultivar mediante el sistema de Acuaponía en la anualidad 2018-2019 han sido aromáticas (perejil) y lechuga de diversos tipos y variedades (de color rojo y verde, pack choi) y siembra de rabanitos, acelgas y espinacas.

Los sistemas de cultivo empleados fueron: el NFT (Nutrient Film Technique), el sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) y Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).

De todas estas variedades implantadas las que mejor resultado dieron por su desarrollo vegetativo fueron

En lo que respecta a las lechugas, se realizó el muestreo a los tipos, analizando el crecimiento en el tiempo y los componentes minerales en hoja exterior e interior. Las condiciones climáticas del cultivo en invernadero no son las adecuadas para este tipo de vegetales, ya que a partir de marzo las temperaturas se incrementan, siendo perjudiciales para el buen desarrollo y calidad comercial de los cultivos; pero se trata de ver como se adaptan diferentes tipos de lechugas al sistema acuapónico e ir

sacando conclusiones para optimizar la producción de tilapia y plantas. La primera plantación comenzó con problemas de calidad por fisiopatías, plagas y enfermedades a partir de mediados de marzo, encontrando diferencias de calidad en los diferentes tipos de lechuga a favor de los tipos Little Gem, Lollo Rosso y Biondo.

La segunda plantación (abril-junio), con similares tipos de vegetales, se realizó para seguir con el crecimiento de las tilapias y comprobar la posibilidad de comercialización de los vegetales como lechuga, utilizando cultivares adaptados a esta comercialización. La calidad comercial de los diferentes tipos fue buena hasta finales de mayo, lo que posibilita la producción en estas condiciones de cultivo y sistema acuapónico para este tipo de comercialización. El cultivo se aguantó hasta el 29 de julio, que se obtuvo el peso suficiente en las tilapias para su consumo, con el consiguiente espigado de los vegetales.

Por tanto, se considera que la Acuaponía resulta adecuada para pequeños productores agrícolas con miras a aprovechar los mercados locales y el agroturismo, además de tener un importante efecto medioambiental. No obstante, hay que seguir ensayando con otros cultivos, técnicas y perfeccionando el sistema de Acuaponía para conseguir buenas producciones de vegetales y peces.

2. INTRODUCCIÓN.

La Acuaponía consiste en combinar el cultivo de peces con el cultivo de plantas en hidropónico aprovechando las sinergias de ambos sistemas para lograr una optimización de los recursos de ambas producciones, limitando los desechos. El fin de los sistemas acuapónicos es que permiten recircular y reutilizar el agua muy eficazmente. El sistema se apoya en la relación entre los animales y las plantas para mantener un medio ambiente acuático estable que tenga una fluctuación mínima en niveles de oxígeno y nutrientes.



Figura 1: Fundamentos de la Acuaponía.

En el CIFE de Torre Pacheco se imparte el ciclo formativo de grado medio de Técnico en Agropecuaria y Grado superior de Paisajismo y Medio Rural, así como, otro tipo de formación: formación para el empleo, acciones formativas para técnicos de empresa, autónomos, agricultores y personas interesadas del sector agrario, por lo que consideramos necesario, realizar ensayos que supongan una innovación o alternativa a la actividad actual y que tenga como prioridad el respeto medioambiental y la reducción del agua de riego, por lo que las técnicas de Acuaponía, es una alternativa.

La Acuaponía consiste en combinar el cultivo de peces con el cultivo de plantas en hidropónico aprovechando las sinergias de ambos sistemas para lograr una optimización de los recursos de ambas producciones, limitando los desechos. En acuicultura, las secreciones de los animales cultivados pueden acumularse en el agua, aumentando su toxicidad, por lo que es necesario renovar el agua; por el contrario, en un sistema de Acuaponía, el agua de la acuicultura, que aquí funciona como un subsistema, alimenta al sistema hidropónico, en el que los desechos son descompuestos en nitritos y posteriormente en nitratos por las bacterias de nitrificación. Estos nitratos son utilizados por las plantas como nutrientes, por lo que es posible que el agua retorne al subsistema de acuicultura.

La función más importante en el proceso de Acuaponía es la nitrificación, que consiste en la conversión aeróbica de amoníaco a nitratos, ya que reduce la toxicidad del agua para los peces, y permite que los compuestos de nitrato resultantes sean eliminados por las plantas para su nutrición. El amoníaco es desprendido constantemente en el agua por excreción y branquias del pez como un producto de su metabolismo, pero la mayoría debe ser filtrado del agua puesto que grandes concentraciones de amoníaco (comúnmente entre 0.5 y 1 ppm) pueden matar al pez. Aunque las plantas, hasta cierto grado, pueden absorber amoníaco del agua, los nitratos son más fácilmente asimilados, reduciendo la toxicidad del agua para los peces. Las encargadas de convertir el amoníaco en otros componentes nitrógenados más fácilmente asimilados por las plantas son las bacterias, principalmente de los géneros *Nitrosomonas* (bacteria que convierte amoníaco en nitritos) o *Nitrobacter* (bacteria que convierte nitritos en nitratos).

Se han ensayado los sistemas de cultivo NFT (Nutrient Film Technique) y el sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) y el sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system). Como especie piscícola la tilapia, que son peces de aguas cálidas cuyo consumo, precio y perspectivas futuras han aumentado significativamente.

La variedad de sistemas de cultivo hidropónicos de los que consta la instalación nos permitirán averiguar qué sistema es el que mejor se adapta a cada tipo de cultivo, pudiendo determinar sus ventajas e inconvenientes.

3. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.

La producción en cultivos acuapónicos puede reducir la lixiviación, la escorrentía y las descargas de agua residuales al medio ambiente, a través de la reutilización de dichos efluentes cargados de minerales, procedentes de la acuicultura y de los subsistemas hidropónicos. Se pretende diseñar y administrar los sistemas de producción agrícola que reduzcan los desechos de agua y minerales al medio ambiente protege la calidad del agua subterránea, hace que el agua de uso agrícola sea más fácil de obtener, y ayuda a las empresas agrícolas a mantener la sostenibilidad a largo plazo. Estos diseños también pueden ayudar a reducir la descarga de nutrientes en las zonas costeras, lo que podría contribuir a la reducción de la proliferación de algas nocivas, tan significativa para el Mar Menor.

Con este proyecto se pretende dar a conocer este sistema, de nueva implantación en la Región para su futura implantación en explotaciones agrícolas en hidroponía de la zona, ya que se puede conseguir un mejor aprovechamiento del agua y fertilizantes, reduciendo el consumo de nitratos y conseguir obtener dos productos disponibles para su comercialización con alto nivel frescura y calidad sanitaria.

A la vez que se pretende dar a conocer a las empresas de restauración de un pescado muy consumido en otros países del mundo, con buenas propiedades alimenticias, directamente del productor y con precios asequibles para ofertar menús a precios bajos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS.

4.1. Especies vegetales y piscícolas.

Tres organismos están involucrados en el rendimiento óptimo de los sistemas acuapónicos: plantas, peces y bacterias nitrificadoras. Las plantas y los peces son cultivos comerciales, mientras que las bacterias nitrificantes juegan un papel importante en la biofiltración, convirtiendo los desechos tóxicos de amoníaco de los peces en nitrato nitrogenado, uno de los nutrientes minerales más importantes requeridos por las plantas.

Cultivos elegidos

Las especies vegetales que se han elegido en la campaña 2018-2019 son:

Aromáticas: perejil.

Hortícolas: lechuga (diferentes tipos y cultivares), de color rojo y verde, pak choi y siembra de rabanitos, acelgas, y espinacas.

Especies de peces

Para la especie piscícola se ha utilizado la Tilapia (*Oreochromis spp*), por su facilidad de cría y la rapidez de crecimiento en altas densidades. La Tilapia es el nombre genérico con el que se denomina a un grupo de peces de origen africano, que consta de varias especies, pertenecientes al género *Oreochromis*.

El tanque de peces tiene una capacidad de 200 litros de agua y sus paredes están fabricadas con metacrilato para proporcionar una mejor visualización de su contenido.

Los sistemas de cultivo empleados para la producción de lechuga fueron el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique), el sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) y las aromáticas/condimentarias, en el sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).



Foto nº 1. Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) 21/02/2019.





Foto nº 2. Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) 21/02/2019.



Foto nº 3. Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system) 21/02/2019.

Especies de peces

Para la especie piscícola se ha utilizado la Tilapia (*Oreochromis spp*), ya que es la elección más popular en Acuaponía, por el precio que éstos obtienen en el mercado, sus pocos requisitos de manutención (son vegetarianos), su facilidad de cría y la rapidez de crecimiento en altas densidades.

Son peces de aguas cálidas, que viven tanto en agua dulce como salada e incluso pueden acostumbrarse a aguas poco oxigenadas. Considerado hace tiempo como un pez de bajo valor comercial, hoy su consumo, precio y perspectivas futuras han aumentado significativamente, siendo todos estos los motivos de su elección en el proyecto demostrativo.

4.2. Localización/Ubicación del ensayo (término municipal, polígono y parcela).

La referencia del SIGPAC del CIFEA, es Polígono 19 parcela 9000, en la que engloba una gran cantidad de terreno, en la que está el CIFEA.



Figura nº 2. Plano del CIFEA de Torre Pacheco con indicación de la instalación de Acuaponía.

4.3. Superficie destinada al ensayo y dispositivos.

La superficie del ensayo es de 80 m² y los dispositivos ubicados en ella son los siguientes:

La zona de cría de peces se encuentra dotada de:

- Tanque de cría y cultivo
- Filtro de decantación

- Filtro biológico
- Una torre de aireación
- Tanque de compensación
- 2 bombas
- 3 calentadores de agua eléctricos
- 2 compresores de aire
- 2 comederos automáticos



Foto nº 4. Aspecto de la zona de cría de peces con los dispositivos instalados, al fondo soportes para los cultivos hidropónicos.

La zona de producción de plantas consta de varios sistemas de cultivo hidropónico, que se explican más adelante, en los que se ha tratado de comprobar la adaptación de las plantas a cada uno de ellos:

- Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).
- Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).
- Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).

En los dos primeros, sin sustrato de base, se han ensayado las hortalizas y en el tercero las aromáticas.

4.4. Infraestructura para Acuaponía instalada.

Aunque primordialmente consten de dos partes, los sistemas de Acuaponía suelen agruparse en varios componentes o subsistemas responsables de la eliminación eficaz de los residuos sólidos, la incorporación de bases para neutralizar los ácidos o el mantenimiento de la oxigenación del agua.

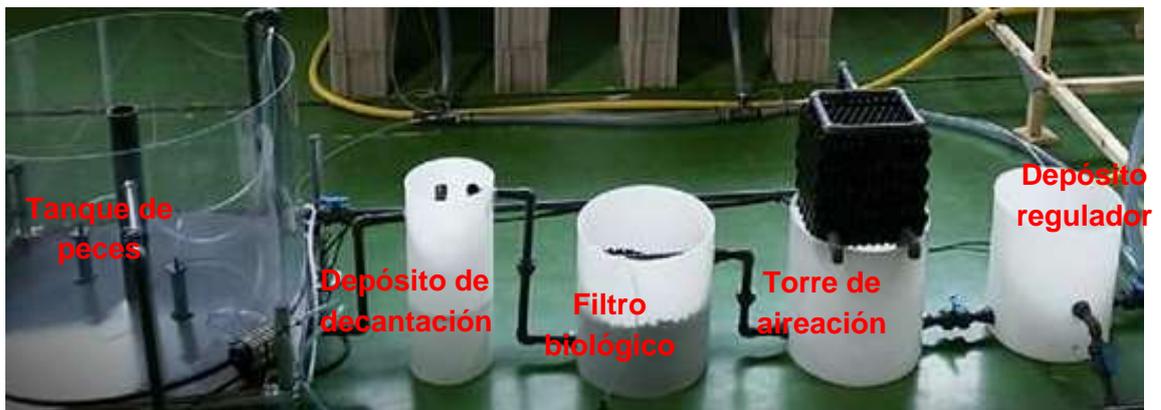


Foto nº 5. Elementos del sistema de cría de peces y nitrificación de los desechos.

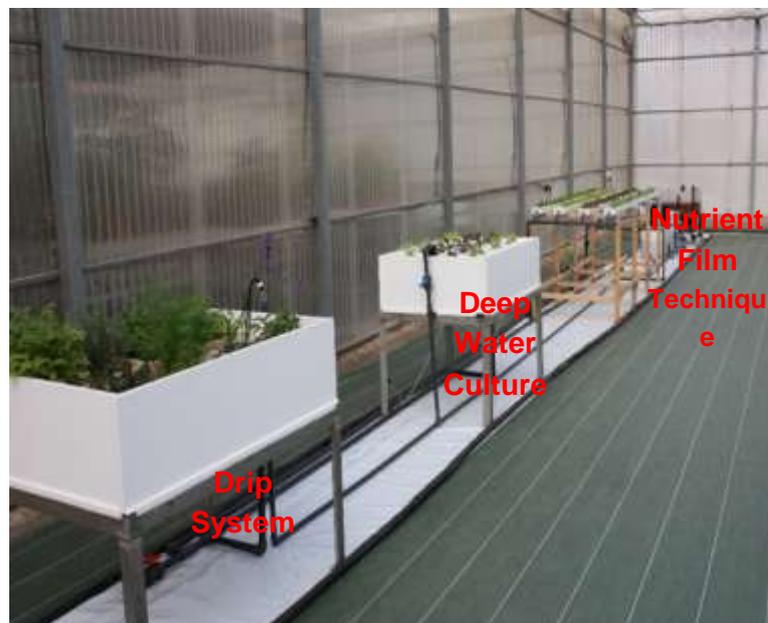


Foto nº 6. Los tres sistemas de cultivo hidropónico instalados.

Los elementos de que se compone el sistema de Acuaponía son los siguientes:

- 1) **Tanque de crianza:** el tanque donde crecen y se alimentan los peces.

- 2) Depósito de sedimentación: una unidad que recoge los alimentos no consumidos y sustancias desprendidas, y las partículas finas sedimentadas.
- 3) Biofiltro o filtro biológico: un lugar donde la bacteria de nitrificación puede crecer y convertir amoníaco en nitratos, que son usados por las plantas.
- 4) Depósito con torre de aireación.
- 5) Depósito de retención o regulación.
- 6) Subsistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).
- 7) Subsistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).
- 8) Subsistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

El tanque de peces tiene una capacidad de 200 litros de agua y sus paredes están fabricadas con metacrilato para proporcionar una mejor visualización de su contenido.

La instalación de Acuaponía diseñada está constituida por tres módulos con diferentes sistemas de cultivo hidropónico, alguno de ellos muy extendido en la Región de Murcia. De esta manera, la variedad de sistemas de cultivo hidropónicos de los que consta la instalación nos permitirán averiguar qué sistema es el que mejor se adapta a cada tipo de cultivo, pudiendo determinar sus ventajas e inconvenientes.

A continuación se detallan los tres sistemas de cultivo hidropónico que componen la instalación de Acuaponía:

a) Sistema de agua profunda (Deep Water Culture).

Consiste en un cajón impermeable (PVC, PE, EPDM) al que se coloca una lámina de espuma de poliestireno que flota en la solución nutritiva.

La lámina de poliestireno debe ser perforada en diversos puntos con un marco de plantación definido.

Las plantas van en estos orificios sujetas en unos vasos fisurados por donde van a emerger las raíces.



Foto nº 7. Sistema Deep Water Culture (21/05/2019).

b) Sistema con sustrato y goteros (Drip system).

Está compuesto por un conjunto de contenedores con algún tipo de sustrato en el cual se introduce un gotero. Este ha sido el sistema empleado para las plantas ornamentales.

En este proyecto se optó por la fibra de coco como sustrato para este sistema hidropónico.

Los contenedores drenan dentro de un cajón e irán a parar al conducto de desagüe.



Foto nº 8. Sistema con sustrato y goteros (21/05/2019).

c) NFT (Nutrient Film Technique).

Se trata de la **circulación continua** o intermitente de una fina lámina de **solución nutritiva** por un canal de cultivo, (sin sustrato alguno) sostenido sobre una estructura y que desemboca en un conducto de drenaje (**sistema cerrado**).



Foto nº 9. Sistema Nutrient Film Technique (21/05/2019).



La infraestructura con la que se cuenta para el ensayo es la siguiente:

- Nave-almacén
- Invernadero
- Oficina.
- Red de riego
- Instalación de riego por goteo.
- Cabezal de riego automático.
- Estación meteorológica al aire libre.
- Electrificación general.
- Una parcela para el ensayo de 80 m².

SUMINISTROS

- Semilla, planta y peces.
- Energía eléctrica.
- Agua.
- Fertilizantes.
- Fitosanitarios.
- Malla cubre suelos.
- Material de riego.
- Materiales (depósitos, filtros, bombas, sistemas de cultivo, equipos de medida).
- Herramientas.

4.5. Fecha de inicio y fin del ensayo y tareas realizadas.

El ensayo se inicia en noviembre de 2018 y finaliza en junio de 2019, con la 2ª recolección de las hortalizas y de las tilapias.

Puesta en marcha y tareas realizadas

El 27 de noviembre de 2018 se sueltan 15 tilapias en la pecera, cuyas dimensiones están entre 4 y 11,5 cm de largo y entre 3 y 17 gramos de peso (tabla 1).

A la vez se realiza el trasplante de diferentes tipos de lechugas, lollo roso y Little gem. Se echan bacterias nitrificantes al sistema, en tres ocasiones, a razón de 25 cc (26 de nov, 14 y 18 de dic. De 2018), para intentar su fijación, las tilapias son pequeñas y no hay suficiente materia orgánica en el circuito para que se instalen correctamente, por ello, las aplicaciones consecutivas de bacterias comerciales.

Se realiza la siembra directa en los contenedores de perlita.

Se producen mermas de plantas por la pudrición del cuello al estar este en contacto con el agua, principalmente en el sistema de NFT y cama de agua, por lo que se van reponiendo las plantas afectadas (foto 7).

Se colocan anillas de polietileno a los cestillos de las plantas para elevar el cuello de la planta del nivel del agua y así evitar el contacto directo con el cuello de la planta.

Las hojas grandes más viejas de las plantas de lechuga se trocean y se echan al tanque, siendo consumidas fácilmente por las tilapias.

Semanalmente, se realizaron mediciones de parámetros del agua, especialmente amonio, amoniaco, nitratos, nitritos, pH, etc., El alimento suministrado se fue incrementando a medida que las tilapias ganan peso y es consumido, evitando que restos de pienso, pasen al sistema.



Foto nº 10. Preparado de los dispositivos para los peces (31/01/2019).

Tareas de mantenimiento

Diariamente se realizaron controles de la instalación observando el estado de los peces, de las plantas, los niveles de agua, cantidad de pienso y en general el buen funcionamiento de la instalación.

A lo largo de todo el ensayo se realizan limpiezas para eliminar los restos de algas que se generaban en las paredes de los tanques, como consecuencia de las temperaturas y la intensa luminosidad. Los restos de heces y comida del tanque de decantación se extraen mediante sifonado cuando la cantidad depositada era considerable.

Estos restos de agua y materia orgánica se mezclan con otros restos vegetales para hacer compost.

FRECUENCIA	TAREA
2 veces/semana	Sifonado tanque decantación
1 vez/semana	Limpieza tanques
2 veces /día	Alimentación con pienso
16-ene	Siembra de bacterias nitrificantes
05-mar	Siembra de bacterias nitrificantes

Tabla nº 2. Tareas de mantenimiento y su frecuencia.

El cronograma de actuaciones realizadas es el siguiente:

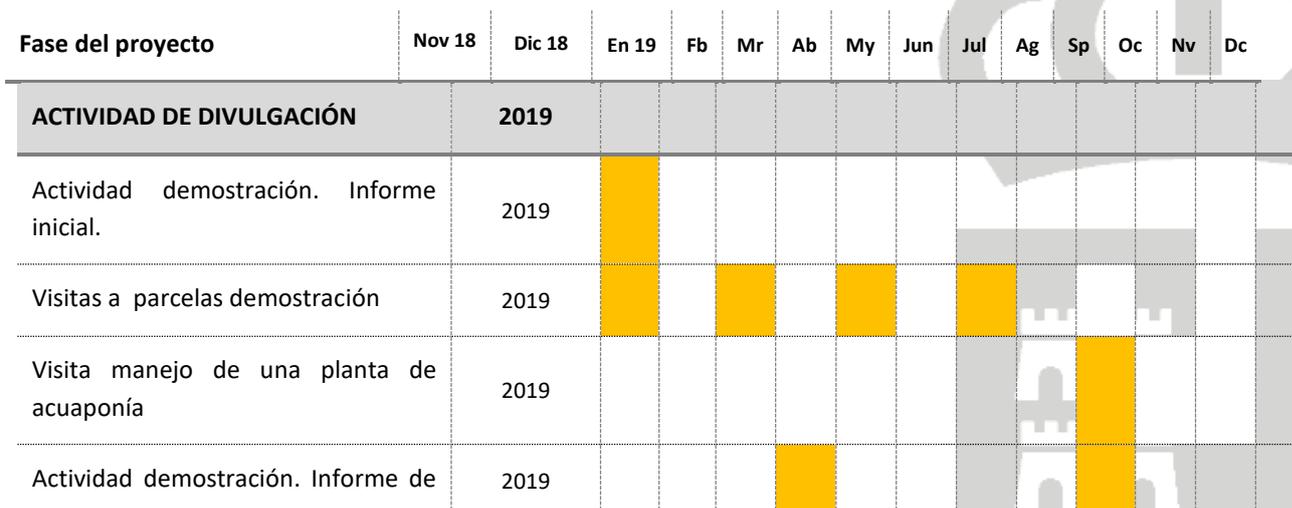




Figura nº 3. Cronograma con las fases del proyecto en la primera anualidad.

4.8. Características del agua. Análisis.

El agua para las tilapias procede de la suministrada por la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, que es una mezcla de aguas del Trasvase Tajo Segura, más una pequeña parte de aguas depuradas y cada vez mayor de desaladas. El agua de la hidroponía procede de la recirculante de la Acuaponía.

Se realizó un análisis con una muestra de agua del embalse del CIFEA, y éstos fueron los resultados.

Determinaciones (Parameters)	Resultado (Result)	Incertidumbre (mg/l) (Uncertainty)	Equivalencias (Equivalency)		LC (LQ)	Método (Method)
			meq/l	mmol/l		
Sodio (Na)	122	± 12	5.30	5.30	5.0 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
Potasio (K)	6.18	± 0.53	0.158	0.158	1.0 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
Calcio (Ca)	52.9	± 4.5	2.65	1.32	5.0 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
Magnesio (Mg)	28.7	± 2.4	2.36	1.18	5.0 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
Boro (B)	0.501	± 0.044	0.0463	0.0463	0.05 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
*Cloruros (Cl-)	193		5.44	5.44	5.0 (mg/l)	IC-100
*Sulfatos (SO4)	148		3.08	1.54	5.0 (mg/l)	IC-100
*Carbonatos (CO3 2-)	< 5.0		< 0.167	< 0.0833	5.0 (mg/l)	QUI0006
*Bicarbonatos (HCO3 -)	118		1.93	1.93	5.0 (mg/l)	QUI0006
*Nitratos (NO3)	6.14		0.0990	0.0990	1.0 (mg/l)	IC-100
*Nitrógeno Amoniacal (NH4)	< 0.10		< 0.00556	< 0.00556	0.1 (mg/l)	QUI0009
Fosfatos (H2PO4)	0.548	± 0.049	0.00565	0.00565	0.31 (mg/l)	QUI1000_ICP_MS
DETERMINACIONES POTENCIOMETRICAS						
Determinaciones (Parameters)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)	Incertidumbre (Uncertainty)	LC (LQ)	Método (Method)	
pH (a 22.4°C)		8.1	± 0.2	N.D.	AGU0101	
Conductividad Eléctrica (a 25°C)		1.11 (mS/cm)	± 0.11	0.15 (mS/cm)	AGU0201	
OTRAS DETERMINACIONES						
Determinaciones (Parameters)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)	Incertidumbre (Uncertainty)	LC (LQ)	Método (Method)	
*Sales Solubles Totales (TDS)		724 (mg/l)		N.D.		
INDICES (Indicators)						
Índice (Indicator)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)	Índice (Indicator)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)	
*Sales Solubles	0.67	(g/l)	*SAR Ajustado	4.92		
*Presión Osmótica	0.40	(atmósferas)	*Índice de Scott	10.59		
*Punto de congelación	-0.03	(°C)	*Índ. de Saturación de Langelier	0.18		
*Dureza	25.06	(° Franceses)	*Alcalinidad a eliminar	2.89	(meq/l)	
*pH Corregido (pHc)	7.93		*Alcalinidad P	96.72	(ppm CaCO3)	
*Carbonato Sódico Residual (C.S.R.)	-3.08	(meq/l)	*Alcalinidad M	< 4.17	(ppm CaCO3)	
*Relación de Adsorción de Sodio (SAR)	3.35		*Índice de Ryzner	7.75		

Tabla nº 3. Análítica e índices del agua del trasvase en el año 2019.

El presente informe consta de los siguientes apartados:

1.- NIVELES

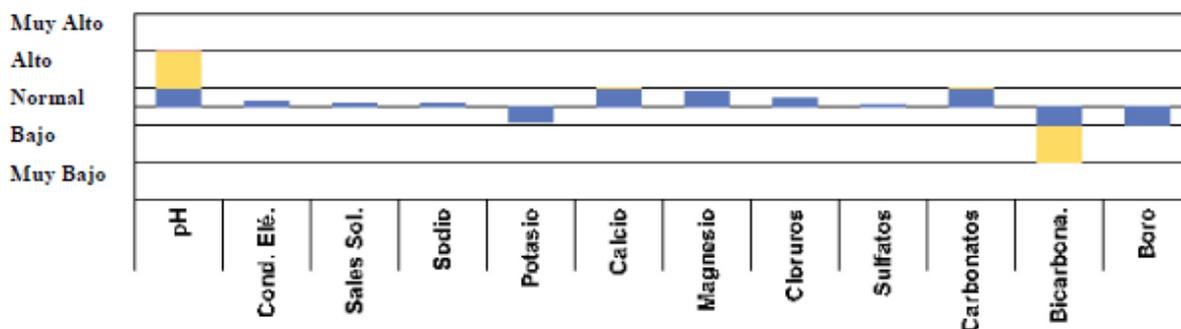


Figura nº 4. Niveles de los parámetros principales del agua.

2.- SALINIDAD

Esta agua presenta una concentración de sales normal.

3.- TOXICIDAD POR BORO

El nivel de este micronutriente es normal. Este microelemento resulta perjudicial por su acumulación en ciertos cultivos (es el caso de los Cítricos).

4.- CONTAMINACIÓN POR NITRÓGENO

Debido a su procedencia, un agua de riego puede tener cierta concentración de Nitrógeno. Para el caso de agua de pozo, artesiana, esto supone que esta agua tiene aportes de aguas superficiales, drenajes, que en la mayoría de los casos empeoran su calidad. Para esta agua, la cantidad de Nitrógeno es baja.

5.- ÍNDICES

ÍNDICE	VALOR	CALIFICACIÓN
S.A.R. (Relación de Adsorción de Sodio)	3.35	BAJO
S.A.R. Ajustado	4.92	BAJO
pHc	7.93	
C.S.R. (Carbonato Sódico Residual)	-3.08	ACEPTABLE
DUREZA (°Franceses)	25.06	SEMIDURA
ÍNDICE DE SCOTT (Coeficiente Alcalimétrico)	10.59	CALIDAD TOLERABLE
ALCALINIDAD A ELIMINAR (meq/litro)	2.89	

Tabla nº 4. Índices de los principales parámetros para la evaluación del agua.

Durante el ciclo de cultivo se ha realizado un análisis de un fruto de melón obtenido en Acuaponía, bajo el sistema de cultivo con sustrato de perlita, para constatar si se ha producido una nutrición adecuada del fruto o no. Los resultados se indican en el apartado correspondiente.

4.9. Preparación de la planta de Acuaponía. Plantación.

Antes de montar la planta en su ubicación, se cubrió el suelo con malla antihierbas y se nivela.

Se instalan los elementos de la planta de Acuaponía y se rellenan los con agua de riego y se introducen las tilapias. A la semana, hacia principios de noviembre de 2018, se colocaron las plantas en los tres sistemas previstos.

Las plantas utilizadas, son de crecimiento rápido, para que se adapten a las condiciones climáticas y necesidades nutritivas compatibles con la cría de la tilapia. Por ello se ha probado diferentes

tipos de lechuga. En los recipientes con perlita se han plantado especies aromáticas que se utilizan para condimentos, como el perejil.

4.10. Riegos y abonados. Consumo de agua y fertilizantes.

La planta necesita un control permanente de los niveles de agua en los tanques para su correcto funcionamiento, por lo que se va añadiendo diariamente debido al consumo de los vegetales y evaporación. También cuando se realiza la limpieza de los tanques se procede a completar el nivel del sistema.

Una vez puesta en marcha toda la instalación se procedió al control del amonio, nitrato y temperatura del agua, parámetros vitales para el buen funcionamiento de la tilapia. A la vez que se controla el pH y CE del agua.

No se aportan fertilizantes a los vegetales ni aromáticas, solo se alimentan de los elementos que proceden de los desechos de las tilapias.



Foto nº 11. Aspecto de las tilapias en su tanque de crecimiento (31/01/2019).

Se utilizan especies con bajas necesidades en nutrientes para que sólo sea necesario el aporte orgánico y nitrato producido por los peces y evitar añadir nutrientes a las plantas que puedan perjudicar a la tilapia; aunque se han visto, sobre todo al final de cultivo, decoloraciones en las hojas de los vegetales, principalmente lechugas.

4.11. Tratamientos fitosanitarios. Incidencias fitopatológicas.

No se han realizado tratamientos fitosanitarios, ni ha habido incidencias fitopatológicas durante el cultivo. La idea era ver los posibles problemas que se pueden presentar en los diversos cultivos sin la aplicación de fitosanitarios.

4.12. Datos climáticos.

La planta de Acuaponía se ubica en el interior de un invernadero multitunel con paredes de policarbonato y cubierta de polietileno, con control de temperatura mediante la ventilación cenital del invernadero que actúa automáticamente mediante el programa de climatización del invernadero, lo que le confiere unas condiciones de temperatura favorables al crecimiento de los peces y negativas para algunas especies en determinados periodos, sobre todo a partir de marzo, lo que condiciona la calidad de las plantas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Parámetros evaluados.

Se controlaron los siguientes parámetros:

- Parámetros del agua de los peces.
- Parámetros de crecimiento de las tilapias.
- Parámetros de producción de plantas.
- Parámetros de calidad comercial de las plantas.

Parámetros del agua de los peces.

Los parámetros de la calidad del agua analizados son la temperatura, pH, ión amonio, amoníaco, dióxido de nitrógeno, nitratos y cloruros. Los parámetros relacionados con el nitrógeno y el cloro se han mantenido dentro de unos niveles adecuados para el adecuado crecimiento de los peces, por debajo de los necesarios, hasta un crecimiento de los, peces y establecimiento de las bacterias. Los cloruros estuvieron en niveles normales, la temperatura fue aceptable para el normal desarrollo de los peces, puede que por debajo de las necesidades de las tilapias por la noche, aunque las propiedades del invernadero evitan mayor descenso. El pH se mantuvo bastante estable, entre 7,2 y 7,5, salvo al principio que alcanzó los 8. Respecto al amoníaco, puntualmente se alcanzaron niveles de 5 ppm.

El nitrógeno amoniacal total (NAT) en el agua, se compone de amonio no ionizado o amoníaco (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+) y ambos se encuentran en equilibrio sujeto a la temperatura del agua y al

pH. Este equilibrio y su relación con esos factores, son importantes a la hora de evaluar la toxicidad del amoníaco para los peces. Durante la nitrificación, el NAT es paulatinamente convertido en una primera fase o etapa a nitrito (NO_2) y de manera simultánea al producto final nitrato (NO_3) por las bacterias nitrificantes. Estas bacterias, pertenecen a dos grupos genéricos denominados Nitrosomas (productoras de NO_2), y Nitrobacter (productoras de NO_3) y son estrictamente aeróbicas, ya que el proceso, es básicamente una oxidación: $\text{NAT (NH}_3 \text{ NH}_4) + \text{BACTERIAS} + \text{O}_2 \text{ NO}_2 + \text{BACTERIAS} + \text{O}_2 \text{ NO}_3$.

El amoníaco es extremadamente tóxico para los peces, valores menores a 1 parte por millón (ppm), o miligramo por litro (mg/l), comprometen la sobrevivencia de muchas especies e incrementan el estrés en muchas otras. En el ensayo se han podido mantener los valores en niveles aceptables la mayor parte del tiempo, si bien puntualmente se han alcanzado las 5 ppm, lo que muy probablemente provocó la muerte de dos peces. El problema de la concentración de amoníaco es que los peces y anfibios lo eliminan de sus cuerpos con excreción directa, siendo incluso en concentraciones diluidas altamente tóxico para animales acuáticos, y por esa razón es clasificado "peligroso para el ambiente".

En lo que respecta a los nitratos, que llegaron a alcanzar 50 ppm, éstos pueden llegar a ser tóxicos para los peces solo en concentraciones muy altas, mayores a 300-500 ppm, valores que nunca llegaron a concentrarse. Por existir una apropiada densidad de vegetales en el sistema. Las bacterias son absolutamente reguladoras del equilibrio en el sistema, ya que cumplen la función vital de "desactivar" mediante esta transformación la toxicidad del amoníaco, y a su vez dejar disponible el nitrato, el nutriente principal para las plantas. Si bien los tres compuestos nitrogenados pueden ser utilizados por las plantas, el nitrato es de lejos, el compuesto más asimilable.

Respecto a los demás parámetros medidos, los cloruros estuvieron en niveles normales, la temperatura fue aceptable para el normal desarrollo de los peces gracias a la acción del invernadero y el pH se mantuvo bastante estable, entre 6,6 y 7,6 como valores extremos. Mantener valores equilibrados de pH es importante junto con la temperatura y el % de amonio, para la disponibilidad de nutrientes en estos procesos biológicos naturales y reducir el estrés de los peces.

Parámetros de crecimiento de las tilapias.

Se realizaron varias pesadas coincidiendo con las fechas 27 de noviembre y 19 de diciembre 2018, 30 de enero, 29 de marzo y 26 de junio de 2019.

La ración de alimento se preparaba según la biomasa y el tanto por ciento según la edad de las tilapias, para lo que se utiliza la tabla de Hernández et al (2014).

Peso gr (27 nov)	Longitud cm
6	6.5
6,5	6
7	6.3
3	4
4	4.5
11.5	8
31	11.5

6	5
3	4
15	9.5
3	4
11	9
15	9.5
12	8
17	10

Tabla nº 5. Peso de los alevines de tilapias (27/11/2018).

El tamaño de los alevines en el comienzo del ensayo, a 26 de noviembre, estaba comprendido entre 3 y 31 gramos, con una longitud de entre 6 y 11,5 cm. Se aprecia poca igualdad entre los alevines en peso y tamaño, lo que condiciona la uniformidad de la muestra y un crecimiento desigual en el tamaño que puede ir en aumento.

Peso gr					
	27-nov	19-dic	30-ene	29-mar	26-jun
6		18,5	51,5	124	289
6,5		35,5	35	84	169
7		14,5	40	67	115
3		9,5	52	52	125
4		4,5	66,5	103	117
11.5		30	18	114	203
31		9	40	95	121
6		18	18	86	
3		13	76		
15		18	32		
3		14,5	25		
11		3	18		
15		5,5	16		
12		3	8		
17		3	6		

Total gr.	139,5	199,5	502	725	1139
Peso medio					
gr.	9,3	13,3	33,5	90,62	162,7
Ganancia					
gr.		4	20,2	57,12	72,08

Tabla nº 6. Evolución del peso medio de las tilapias (noviembre 2018 a junio 2019).

En la tabla se puede ver que el crecimiento en peso de las tilapias ha sido mínimo, incrementándose los dos primeros meses hasta 20 gr de media, los dos siguiente a razón hasta 57 gr y los tres siguiente hasta junio 72 gr.

Esto puede ser debido a una lucha entre las tilapias que llegaron a reducir su número a la mitad, por las muertes producidas, por los ataques y mordeduras entre ellas, apreciándose heridas en los costados provocadas por las mordeduras. Estas luchas entre ellas puede que hayan ocasionado el bajo crecimiento y engorde, reduciéndose a la mitad las unidades del tanque.



Foto nº 12. Tilapias con heridas por mordeduras.

Otro aspecto fundamental para un crecimiento lento es la temperatura del agua, muy por debajo de lo aconsejable en estas especies (25/30 grados °C), estando por debajo de 10 por la noche y llegando a los 20/22 °C al medio día.



Foto nº 13. Tilapias preparadas para consumo (julio 2019).

Parámetros de producción de plantas.

En lo que respecta a la producción de plantas en hidroponía, en las lechugas y resto de plantas se realizaban controles de crecimiento semanales mediante la visualización del aspecto y sistema radicular. Los graves problemas de pudrición de cuello hicieron que se replantas varias veces, 28 de diciembre y 25 de enero en el cultivo NFT, dejando las de la cama de agua y perlita.



Fotos nº 14 y 15. Plantación de lechugas en sistema Nutrient Film Technique y Deep Water Culture.

La mayor calidad se obtiene en la Little gem y romana roja, el resto muy mala calidad.

El 21 de febrero se trasplantan Baby leaf de CN seeds en NFT y cama de agua en bandeja procedente de Semilleros Doloresplant.



Foto nº 16. Plantación de rabanitos y perejil en sistema con sustrato de perlita (Drip system).

Se recolecta perejil y acelgas en buen estado den perlita, los rabanitos son de pequeño tamaño.

En mayo, cuando las temperaturas son elevadas durante el día se produce es espigamiento de las plantas en NFT y cama de agua, sustituyéndolas por aromáticas y ornamentales.



Foto nº 17. Plantas tipo baby leaf y Little roja (marzo de 2019).

En los contenedores de perlita se plantó melón tendral y alficoz y se continuó con el cultivo de perejil y acelgas.

Parámetros de calidad comercial de las plantas.

Se realizó el análisis de fruto de melón, determinando en laboratorio los siguientes componentes B, Ca, Cu, Fe, JK, Mg, Mn, Na, P, Zn, cloruros, Nitratos, Fosfatos y Sulfatos. Se tomó muestra de melón del cultivo de perlita el 12 de julio de 2019



Foto nº 18. Muestra de melón de Acuaponía Plantas tipo Baby leaf y Little roja (julio de 2019).

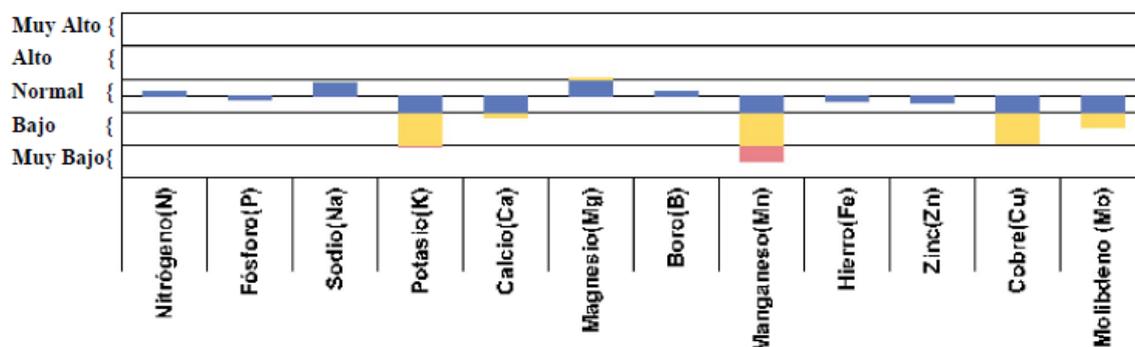
El análisis del fruto de melón dio los siguientes resultados:

INFORME DE ENSAYO (Analytical Report)						
RESULTADOS: Los resultados obtenidos, con su incertidumbre para un factor K=2 han sido los siguientes: RESULTS: the results uncertainty has been calculated for k=2 factor						
La incertidumbre indicada corresponde a la incertidumbre expandida utilizando un valor de k=2, el cual corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95% The uncertainty indicated corresponds to the expanded uncertainty using a value of k=2 corresponding to a confidence level of 95%						
Determinaciones (Parameters)	Método (Method)	Unidades (Units)	Resultado (mues seca) (Result) (dried sampl)	Incert. (Uncert.)	LC (LQ)	
*Nitrógeno (N)	ALI0035	(%)	4.4	± 0.7	0.08 (%)	
*Fósforo (P)	QUI_1000_ICP_MS	(%)	0.5	± 0.1	0.025 (%)	
*Potasio (K)	QUI_1000_ICP_MS	(%)	1.92	± 0.38	0.13 (%)	
*Calcio (Ca)	QUI_1000_ICP_MS	(%)	1.85	± 0.37	0.13 (%)	
*Magnesio (Mg)	QUI_1000_ICP_MS	(%)	1.03	± 0.21	0.13 (%)	
*Sodio (Na)	QUI_1000_ICP_MS	(%)	1.80	± 0.36	0.13 (%)	
Boro (B)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	65.2	± 11.1	3.0 (mg/kg)	
Manganeso (Mn)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	10.7	± 1.4	1.0 (mg/kg)	
*Hierro (Fe)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	110	± 22	2.0 (mg/kg)	
Zinc (Zn)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	54.9	± 9.9	2.0 (mg/kg)	
Cobre (Cu)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	4.20	± 0.84	1.0 (mg/kg)	
Molibdeno (Mo)	QUI_1000_ICP_MS	(mg/kg)	0.206	± 0.029	0.08 (mg/kg)	

ABREVIATURAS / ABBREVIATIONS: **NA:** No Aplica / Not Applicable **ND:** No Detectado / Not Detected **Incert:** Incertidumbre / Uncertainty
 LAS DETERMINACIONES MARCADAS CON UN ASTERISCO (*) EN ESTE INFORME ESTÁN EXCLUIDAS EN EL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO.
 PARAMETERS MARKED IN THIS REPORT WITH AN ASTERISK (*) ARE EXCLUDED FROM THE SCOPE OF LABORATORY ACCREDITATION.

Y el informe agronómico arroja los siguientes resultados:

1.- NIVELES.



2.- ESTADO DE LOS MACROELEMENTOS.

Presentan desequilibrio con niveles por encima de los óptimos en: Magnesio(Mg).
 Presentan desequilibrio con niveles por debajo de los óptimos en: Potasio(K), Calcio(Ca).

MACRONUTRIENTE	NIVELES OPTIMOS (% S.M.S.)	NIVEL EN HOJA
Nitrógeno (N)	2.50 - 5.50	NORMAL
Fósforo (P)	0.30 - 0.80	NORMAL
Potasio (K)	3.00 - 5.00	MUY BAJO
Calcio (Ca)	2.00 - 9.00	BAJO
Magnesio (Mg)	0.40 - 1.00	ALTO
Sodio (Na)	< 2.00	NORMAL
Cloruros		
Azufre (S)		

3.- ESTADO DE LOS MICROELEMENTOS.

Presentan desequilibrio con niveles por debajo de los óptimos en: Manganeso(Mn), Cobre(Cu), Molibdeno (Mo).

MICRONUTRIENTE	NIVELES OPTIMOS (ppm S.M.S.)	NIVEL EN HOJA
Boro (B)	40 - 80	NORMAL
Manganeso (Mn)	60 - 200	MUY BAJO
Hierro (Fe)	60 - 200	NORMAL
Zinc (Zn)	35 - 100	NORMAL
Cobre (Cu)	7 - 17	BAJO
Molibdeno (Mo)	0.3 - 3	BAJO

Tabla nº 7. Resultados del análisis de melón en perlita (01/07/2019).

El análisis del fruto y el informe agronómico indican que la composición de macroelementos es normal en N, P y Na, algo baja en Ca, alta en Mg y muy baja en potasio. Esto indica que este tipo de cultivos, si bien consigue niveles normales de nutrientes tan necesarios como el N y el P, en el caso del potasio precisa de corrección importante y algo menos en el del calcio.

En cuanto respecta a micronutrientes, el nivel es normal, tirando a bajo, pero no llegando a provocar deficiencias en las plantas por esta causa.

En cuanto a la determinación de los componentes de las hojas de lechuga, se tomaron muestras de hoja interior y de hoja exterior, siendo las composiciones normales. El contenido de la hoja exterior de lechuga en calcio era mucho más elevado, como consecuencia de tratarse de una hoja envejecida, el triple que una hoja interior. El contenido de potasio también se doblaba en la hoja interior y en cambio el contenido en fósforo era algo menor en la hoja exterior. Es de destacar que no se detectó contenido de nitratos en ninguna de las muestras, lo que es positivo para la calidad de la lechuga.

Algunas lechugas empezaron con un deficiente desarrollo y hubo que arrancarlas, posiblemente por una muy baja cantidad de nitratos al comienzo del cultivo, cuando las tilapias eran pequeñas y producían poco N.



Fotos nº 19 y 20. Plantas con deficiencias nutricionales al principio del cultivo.

5.2. Resultados de divulgación.

Entre las actividades de divulgación se han recibido visitas de agricultores y técnicos interesados en el desarrollo de los ensayos.

Con posterioridad, en julio de 2019 se realizó una jornada de degustación de tilapia en la que participaron, personal y profesores del CIFEA, técnicos del Servicio de Formación y Transferencia Tecnológica e investigadores del IMIDA y fue invitado además el Alcalde de Torre-Pacheco y personal de su equipo, interesado por este tipo de instalaciones.

Toda la información del proyecto se encuentra disponible en la web del Servicio de Formación y Transferencia Tecnológica www.sftt.es.



Foto nº 21. Jornada degustación tilapias (29/07/2019).



Foto nº 22. Jornada degustación tilapias (29/07/2019).

