

INFORME ANUAL DE RESULTADOS

DEMOSTRACIÓN DE LA TÉCNICA DE ACUAPONIA (PRODUCCIÓN DE PECES Y VEGETALES), CON PLANTAS PRODUCIDAS EN TRES SISTEMAS DE HIDROPONÍA

AÑO: **2021**

CÓDIGO PROYECTO: **21CTP1_9**

- Área:** AGRICULTURA
- Ubicación:** CIFEA Torre-Pacheco (Murcia) Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente.
- Coordinación:** Plácido Varó, CIFEA Torre Pacheco
- Autores:** Joaquín Navarro, Ana Belén Ferretjans y Ricardo Gálvez, CIFEA Torre-Pacheco.
Marta Nicolasa Soto Úbeda
- Duración:** Enero-Diciembre 2021
- Financiación:** Programa de Desarrollo Rural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2014-2020.



“Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural: Europa invierte en las zonas rurales”

Contenido

1. RESUMEN.	3
2. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.	4
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	5
3.1. Especies vegetales y piscícolas, características generales.	5
3.2. Ubicación del proyecto y superficie.	5
3.3. Características de la instalación para cultivo hidropónico.	6
3.4. Características de la instalación para la cría de peces.	13
3.5. Preparación para la puesta en marcha de las instalaciones.	15
3.6. Consideración en la cría de la tilapia.	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	18
4.1 Parámetros y controles realizados en el agua y los peces.	18
4.2 Parámetros y controles realizados en las plantas.	21
4.3 resultados de la recolección de plantas.	28
4.4 resultados de la recolección de peces.	29
5. CONCLUSIONES.	29
6. ACTUACIONES DE DIVULGACION REALIZADAS.	30
7. REPORTAJE FOTOGRAFICO.	31

1. RESUMEN.

En este ensayo pretendemos dar a conocer el sistema de Acuaponia para la producción de cultivos y peces, sin el aporte de fertilizantes ni pesticidas en un sistema cerrado, haciendo recircular el agua, y convirtiéndolo en un sistema de producción sostenible medioambientalmente, aspecto este, de gran importancia para el entorno del Mar Menor por las medidas de protección recogidas en la Ley 3/2020 de 27 de julio de recuperación y protección del Mar Menor.

Se pretende dar a conocer este sistema, poco conocido en la Región de Murcia, para su posible introducción en explotaciones agrarias.

Demostrando que se puede conseguir un buen aprovechamiento del agua, reducir el empleo de fertilizantes, logrando minimizar la lixiviación de nitratos y obtener dos productos para su comercialización: vegetales y peces. La especie piscícola utilizada es la Tilapia (*Oreochromis spp*), por la facilidad en el manejo, rapidez en el engorde y buena acogida en el mercado.

Se estudia el comportamiento de distintas especies vegetales en los sistemas de cultivo, hidropónico, diferentes tipos de lechuga y cultivos de hoja, Lollo rojo, hoja roble roja, coles, escarola, pimientos padrón y de bola.

Para este ensayo disponemos de dos instalaciones de acuaponía: la planta 1 (P-1), que cuenta con incubadora, tanques y sistemas hidropónicos para cultivos, en esta planta se desarrolla la producción de tilapias desde huevos hasta alevines de 30 gramos. A continuación, la planta 2 (P-2) con 8 tanques de producción de tilapia, sistema de decantación, tanque de acumulación, biofiltro y tres sistemas de hidroponía para cultivos.

Los sistemas de hidroponía son: NFT (Nutrient Film Technique), con gradas horizontales y verticales, sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) y mesa de cultivo con arlita.

Son tres los elementos que producen el rendimiento óptimo del sistema de Acuaponia: plantas, peces y bacterias nitrificadoras.

Al incrementar el tamaño de la planta de producción de tilapias y superficie de cultivo se obtiene información útil para la instalación de futuras explotaciones. Con la planta 1 producimos los alevines que se engordan en la planta 2, es decir, nos autoabastecemos de tilapia y de la mayoría de las plantas, que producimos en las bandejas de cultivo.

Problemas en el manejo causaron la pérdida de la producción de peces en agosto, lo que provocó desajustes en la producción. Se consiguen tilapias de calidad comercial, sobre 400 gramos en 8

meses de cría. Hemos incrementado la densidad de plantación con las gradas verticales y horizontales. Se constata que el cultivo de hoja, los cogollos (Little gem), lollos y plantas que no necesitan acogollado tienen gran calidad y rápido crecimiento. La col picuda, aunque de peso y tamaño menor que en sistema tradicional son aceptables, los pimientos, crecimiento lento y baja producción, problemas para producir en mesa de cultivo.

2. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.

Consideramos necesario, realizar ensayos que supongan una alternativa a los cultivos actuales por su innovación o sostenibilidad para zonas de especial protección al medio ambiente o para cumplir la legislación en materia agraria, como es el caso de la comarca del Campo de Cartagena y sobre todo del entorno del Mar Menor.

Hay que buscar alternativas a los cultivos para que tengan como prioridad, la sostenibilidad y el respeto medioambiental, a la vez que, la reducción del agua de riego y fertilizantes, sobre todo los nitrogenados, por lo que las técnicas de Acuaponía, pueden suponer una alternativa viable para determinadas zonas.

La Acuaponía consiste en combinar la cría de peces con el cultivo de plantas en sistemas de hidroponía, aprovechando las sinergias de ambos para lograr una optimización de los recursos y la comercialización de ambos productos, limitando y utilizando los desechos.

En acuicultura, las secreciones de los peces pueden acumularse en el agua, aumentando su toxicidad, siendo necesario renovar el agua; por el contrario, en un sistema de Acuaponía en sistema cerrado, el agua funciona discurre por un circuito, donde desechos generados por los peces (materia orgánica), se separa del agua y se utiliza como compost, el amoníaco es descompuesto 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 tanque de los peces con una menor cantidad de amoníaco y así, iniciar de nuevo el proceso. Esta conversión aeróbica de amoníaco a nitratos es muy importante en la Acuaponía. 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 eliminado 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, por ello el papel de las bacterias de nitrificación es fundamental.

Las bacterias empleadas son de los géneros *Nitrosomonas*, convierten el amoníaco en nitritos y *Nitrobacter*, los 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 arlita. La especie piscícola, la tilapia, pez de aguas cálidas con facilidad de manejo, demandado para consumo y perspectivas de futuro, por lo que resulta el más interesante para los comienzos en esta técnica.

El proyecto actual de mayor dimensión que los anteriores, muestra una instalación de Acuaponia que nos ayuda en conocer esta técnica y dar una visión al sector agrario que permita divulgar esta tecnología a empresarios, técnicos y agricultores, que estén interesados en nuevas técnicas de producción. 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. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Especies vegetales y piscícolas, características generales.

Las especies vegetales han sido diferentes tipos de lechuga y cultivos de hoja, Lollo rojo, hoja roble roja, coles, escarola, pimientos padrón y de bola.

Para la especie piscícola se ha utilizado la Tilapia (*Oreochromis spp*), por su facilidad de cría y la rapidez de crecimiento en altas densidades.

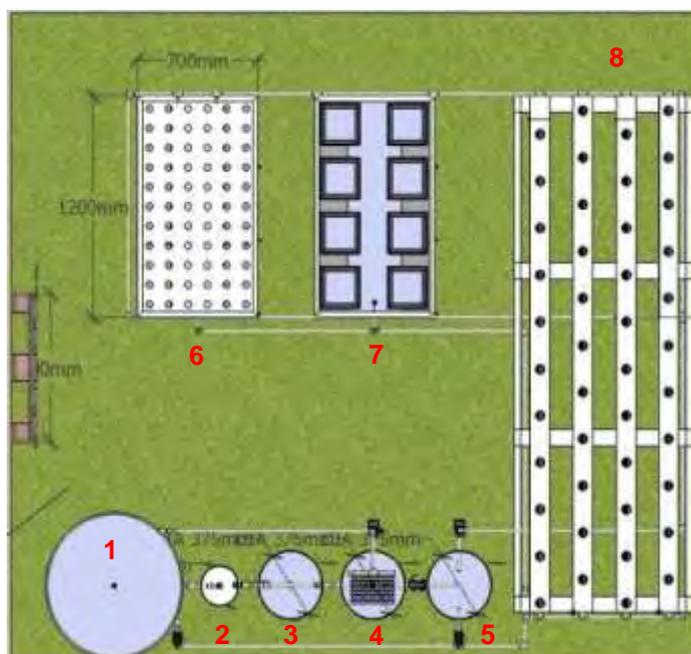
3.2. Ubicación del proyecto y superficie.

La referencia del SIGPAC del CIFEA, es Polígono 19 parcela 9000. La superficie del ensayo 1 es de 80 m², y la del ensayo 2 de 130 m², ampliada finalmente a unos 200 m² entre bancadas de cultivo, depósitos y zona de filtración. Plano del CIFEA de Torre Pacheco con ubicación de los ensayos:



3.3. Características de la instalación para cultivo hidropónico.

La instalación de Acuaponía objeto de este proyecto tiene una superficie total de 80 m² para el ensayo 1 y 130 m² para el ensayo 2 y consta, en general, de cada uno de los elementos que aparecen enumerados el siguiente esquema:



Los componentes de la instalación de Acuaponía son los siguientes:

- Tanque de peces.
- Depósito de sedimentación.
- Filtro biológico.
- Depósito con torre de percolación.
- Depósito de retención o regulación.
- Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).
- Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).
- Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

En primer lugar la **planta 1**, de producción de tilapias, desde huevos hasta alevines de 35 gramos, y unas 150 unidades, en un tanque de metacrilato de 250 litros, tanque decantador, biofiltro, tanque aireación y tanque acumulador. Incubadora con tres compartimentos separados y tubo Mc Donald, para la eclosión de huevos y tres sistemas hidropónicos para los cultivos:

- Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Se trata de la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución acuosa procedente del tanque acumulador, que se hace pasar por un canal o tubería de cultivo donde se colocan cestillas con la planta a raíz desnuda o cepellón en su interior.



Foto 1. Sistema de cultivo NFT (10/05/2021).

- Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).

Consiste en un cajón o mesa de cultivo impermeable (PVC, PE, EPDM) al que se coloca una lámina, bandejas de poli estireno o recipientes de plásticos con agujeros en el fondo que flota en la solución procedente del tanque acumulador.



Foto 2. Sistema de cama de agua (31/05/2021)

- Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).

Está compuesto por un conjunto de contenedores con sustrato, en este caso perlita, con un gotero por contenedor y que drenan dentro de un cajón con una conexión al conducto de drenaje. Los tres sistemas de cultivo están conectados a una tubería de drenaje que se conecta al tanque de peces y tanque acumulador cerrando el circuito.



Foto 3. Sistema de cultivo en contenedores (10/05/2021).

La **planta 2**, con 8 tanques para la cría de tilapia, sistema de decantación, tanque de acumulación, biofiltro y tres sistemas de hidroponía para cultivos.

Dos tanques de chapa de acero inoxidable y el resto de PVC, con capacidades entre 600 y 1000 litros de agua, el número 3 se utiliza para reproducción, con 3 machos y 12 hembras, y el número 8, para finalizar el ciclo. En el resto se colocan por tamaños hasta 40/45 kg de tilapia por tanque de 900 litros.

Los sistemas de cultivo hidropónico de esta planta, son los siguientes:

- Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Se trata de la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución procedente del tanque acumulador que pasa por tuberías de cultivo en forma de gradas verticales y horizontales para conseguir mayor densidad de plantación, donde se colocan las plantas a raíz desnuda o cepellón en su interior con macetas o sobre los huecos en las gradas verticales.



Foto 4. Nuevo sistema NFT vertical de la planta nº 2 (25/03/2021).

- Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).

Consiste en una mesa de cultivo impermeable donde se colocan bandejas de poliestireno con agujeros en el fondo que flotan o planchas de poliestireno con agujeros donde se colocan macetas con la planta en su interior que flotan en la solución nutritiva del tanque acumulador.



Foto 5. Sistema de producción en mesa de agua (03/02/2021).

- Sistema hidropónico con sustrato.

Una mesa de cultivo está compuesto por un conjunto de contenedores con sustrato, en este caso perlita, con bolas de arlita, sobre la que se plantan las plantas al marco adecuado a la especie, con una tubería de entrada y un punto de salida, dejando una capa de unos 3 centímetros de agua en la base. Todos los sistemas están conectados a una tubería de drenaje que vuelve la solución a los tanques de los peces.



Foto 6. Mesa hidropónico con sustrato (03/02/2021).





Foto 7. Nuevo sistema de limpieza de deyecciones de los peces (20/05/2021)



Foto 8. Cascada filtrante de limpieza (09/06/2021)



NUEVO SISTEMA DE BALSAS FILTRANTES



Foto 9. 10/06/2021



Foto 10. Nuevo sistema de tres balsas filtrantes (21/06/2021).



Foto 11. 23/07/2021



Foto 12. 23/07/2021



Foto 13. 02/08/2021

3.4. Características de la instalación para la cría de peces.

La planta nº 1, consta de un tanque, con una capacidad de 200 litros de agua fabricado de metacrilato, pensado para la producción de peces entre 45 a 70 días de vida, con un número aproximado de 120 unidades, más tanque decantador, tanque biofiltro, tanque aireación y tanque acumulador.



Foto 14. Tanque de peces de la planta nº 1

Cuenta además con una Incubadora de fabricación casera, que consiste en dos contenedores, un recipiente de mayor tamaño, donde están los alevines de tilapia con una pequeña bomba de impulsión y otro contenedor de menor tamaño, situado sobre el anterior, donde está el biofiltro (botellín de plástico con biobolas) y una pequeña plancha de poliespan, donde hay plantas hortícolas. Las larvas de tilapias, suelen estar en la incubadora hasta los 40/45 días de su nacimiento.



Foto 15. Incubadora casera para la obtención de alevines

La planta nº 2, consta de un tanque y posteriormente se añade otro tanque, con capacidad de 900 litros fabricado en PVC y que pueden albergar entre 100 y 130 unidades de tilapias, según tamaño, tanque decantador, tanque biofiltro y tanque acumulador. En el tanque de peces se produce el engorde de la tilapia hasta conseguir el tamaño comercial, que se considera a partir de 400 gramos, aproximadamente.

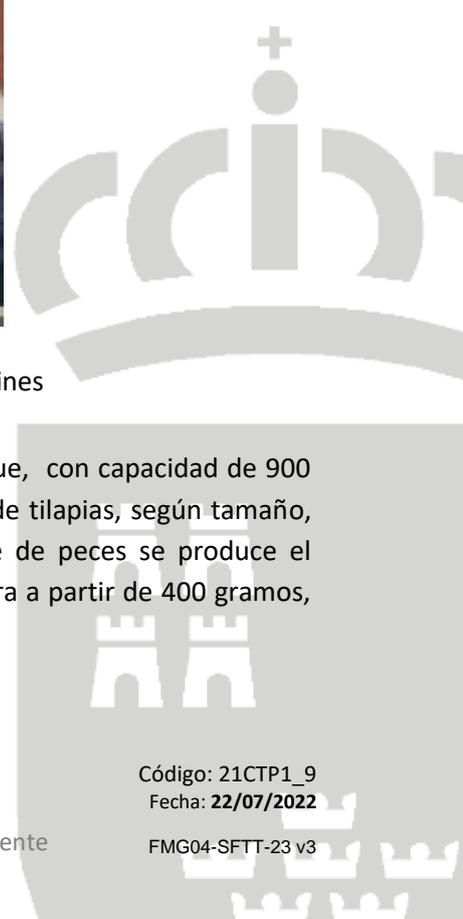




Foto 16. Tanques de peces planta nº 2.

3.5. Preparación para la puesta en marcha de las instalaciones.

El ensayo continua, al igual que el año pasado, con las dos unidades de producción, P-1 y P-2, aumentando su capacidad respecto al año anterior, al pasar de 2 a 8 tanques en esta última unidad. De estos, dos (T3 y T4) se dedican a reproducción, con 15 ejemplares en cada uno (13 hembras y 2 machos).

Durante el mes de enero, comenzamos a realizar un aporte de lenteja de agua (*Lemna minor*) para alimentación de los individuos de la Planta 2, debido a su condición de omnívoros aceptan este alimento perfectamente y además, de este modo, se consigue reducir los costes de producción. Esta práctica se realiza hasta la finalización del cultivo de lenteja en el mes de junio debido a las altas temperaturas.

Se continúa con los ejemplares producidos en la instalación. Los ejemplares nacidos en diciembre del año anterior, ya alcanzan un peso medio de 3,8 gramos, pasando de la incubadora al T-1 (tanque redondo de la Planta 1. Los peces que estaban en este tanque se incorporan a la planta de engorde (Planta 2), con un peso medio de 9,24 gramos.

En marzo comienza la cría, rescatando alevines de los tanques de reproducción, revisadas las hembras, no tenían huevos en la boca, los alevines pasan directamente al contenedor de la incubadora.

En abril se obtienen huevos de las hembras reproductoras, los cuales se colocan en el tubo McDonald hasta su eclosión, en aproximadamente 3-5 días, aunque el proceso se alarga 2 semanas al ir introduciendo aquellos huevos que se obtienen del tanque de reproductores.

Tanto los alevines que van naciendo en la P-2, como los que eclosionan de los huevos en el tubo, se van pasando a la incubadora y los de la incubadora al T-1, de la P-1. El tiempo que permanecen los alevines en la incubadora ronda el mes y medio, hasta alcanzar una media de 4-5 gramos. Tiene que pasar otro mes y medio para que se puedan pasar a la planta de engorde, con un peso que supera los 10 gramos.

En total tuvimos 6 recogidas de alevines vivos en los tanques de reproducción y 5 recogidas de huevos que pasaron al tubo McDonald.

A los 5-6 meses de estar los individuos en la planta de engorde, comenzamos a realizar muestreos y seleccionamos aquellos de tamaño superior a 380 gramos para su sacrificio, obteniéndose en algunos casos pesos de más de 500 gramos. Se observa el rápido crecimiento de los individuos machos en relación a las hembras, pudiendo tener una ganancia de peso de más de un 30% en relación a las hembras.

En los meses de junio/julio se instala un filtro vegetal a fin de aprovechar el agua de limpieza de la planta 2. Este se compone de una pequeña balsa de decantación del agua de deshecho que se bombea hacia una superficie elevada e impermeabilizada que se ha plantado con tomate tipo cherry, el drenaje de estos pasa a otra superficie de plantas filtradoras como son las cañas de Indias (*Canna indica*), papiros (*Cyperus alternifolius*), anea (*Typha latifolia*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y ya, el drenaje de esta última pasa a otra pequeña balsa. Esta última se emplea de nuevo en el circuito de la planta de acuaponía, al mezclarse con agua del trasvase en el aljibe del cabezal. En las analíticas realizadas a estas dos balsas, se comprueba una disminución muy importante de la concentración de nitritos, que pasa de 0,8 ppm en la balsa de limpieza a 0,05 ppm en la balsa biofiltrada, así como una disminución de los fosfatos de 1,8 a 1,2 ppm.

Indicar que, durante el mes de julio, por un problema con una llave del sistema de limpieza del filtro de malla, se produjo una anoxia en la planta de engorde que provocó la muerte de un gran número de peces.

Las especies vegetales cultivadas en los diferentes sistemas y plantas, tienen un comportamiento adecuado a la nutrición recibida, notando mucho su desarrollo negativo cuando los pelos absorbentes de las raíces, se rodean de los restos de heces. Los diferentes sistemas de cultivo nos sirven para adaptar a cada uno de ellos la especie adecuada por su desarrollo radicular.

La alimentación a base de pienso comercial para el crecimiento de las tilapias desde que están en el T-1 de la P-1, y pienso especial para los alevines en la incubadora. El aporte del pienso a las tilapias para el engorde, va variando, dependiendo del peso de las mismas, para lo que se toma como referencia la tabla de Hernández et al. (2014), (tabla nº 1). De enero a junio se le incorpora una pequeña cantidad en la alimentación de lenteja de agua, producida en el CIFEA.

3.6. Consideración en la cría de la tilapia.

Para la cría de la tilapia se recomienda una densidad de peces en el tanque: 20 a 60 kg/m³. En nuestro caso estableceremos una densidad de 30 kg /m³. A partir de esos datos, y debido a que el tanque de peces de la instalación de Acuaponía tiene una capacidad de 200 litros, podremos criar 6 kg de tilapia por temporada.

La talla comercial de la tilapia es de 400-500 gramos y se alcanza en sólo seis meses por ser una especie de crecimiento rápido, según las condiciones en las que se produzca.

Por ello, si asumimos un peso comercial de 400 gramos, el número de ejemplares que podemos criar en nuestro tanque es de 15 peces/temporada. Como vamos a dejarlos para reproducir, se reduce el número a 6 y se mantendrán sin sacrificarlos hasta los 14 meses de vida. +

En la planta nº 2 se utiliza para el engorde de las crías, separando una vez adultas las que se van utilizar de reproductoras y el resto para el consumo.

Las temporadas de cría se han establecido para conseguir una doble producción anual de tilapia y varias de vegetales de hoja. Por lo que permitirá, que la difusión de este proyecto se extienda en mayor medida a los agricultores, empresarios y técnicos, así como al colectivo de estudiantes que podrán realizar prácticas.

Temporada de cría	Duración
1º	Nov- Julio
2º	Agosto-Diciembre

Tasa de alimentación de la tilapia: 1,5 – 2 % de la biomasa /día. En este proyecto asumiremos un consumo de pienso diario de 1,5 % de la biomasa total. La distribución de pienso se realiza 2 veces/día.

El sistema de acuaponía debe de ser diseñado según la adición de alimento puesto que éste es el principal parámetro de control.

De esta manera, por cada kilogramo de pienso añadido al sistema, deberemos de considerar:

- Aproximadamente 360 litros de aire por minuto, suministrado al tanque de peces usando aireadores o bombas de aire.
- Alrededor de 100 m² de área de biofiltración o 140 litros de biomedio (plastic carriers).
- Alrededor de 8-10 m² de superficie para cultivo de plantas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

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.

4.1 Parámetros y controles realizados en el agua y los peces.

Los parámetros de la calidad del agua analizados son la temperatura, pH, ion amonio, amoníaco, dióxido de nitrógeno y nitratos. Los datos de estos parámetros varían en función del tamaño/edad de las tilapias, número de peces en el sistema, el estado de las plantas y la climatología, temperatura del agua, etc.

Los resultados de la analítica indican que se han mantenido dentro de niveles adecuados para el adecuado crecimiento de las tilapias. La temperatura óptima para un buen desarrollo está entre 24 y 28°C, durante el ensayo, sobre todo en invierno y por la noche, estuvo por debajo, a pesar de los calentadores, pero en general, se mantuvo dentro del rango normal. El pH se mantuvo entre 6,5 y 8, coincidiendo los valores de pH bajos con los periodos de precipitaciones, debido al aporte de agua de lluvia tanto en el depósito de abastecimiento de agua como en las mesas de cultivo. El pH de lluvia está en torno a 5,5. En la tabla nº 1, se indican los parámetros del agua:

Tabla nº 1. Parámetros del agua

PARÁMETRO	30/04/2021	21/05/2021	2/07/2021	20/10/2021	9/11/2021
pH	6,5	7	7	7,5	7
NH ₄ (mg/l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	<0,05
NO ₂ (mg/l)	0,4	0,6	0,6	0,4	0,8
NO ₃ (mg/l)	0	0	0	0	0
PO ₄ (mg/l)	1,2	1,2	1,8	1,8	1,8
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0

Parámetros de crecimiento de las tilapias.

Se realizaron varias pesadas durante el ensayo de los diferentes tanques para observar el crecimiento y determinar la cantidad de alimento suministrar a cada tanque.

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), tabla nº 2.

Semana	Peso inicial (g)	Biomasa (kg)	% alimento	% proteína
1	0,6	3	15	50
2	1,2	5,94	10	50
3	3	14,7	6	50
4	5	24,26	6,25	44
5	8	38,42	4,2	44
6	12	57,06	4,6	44
7	15	70,61	4	44
8	20	93,21	4,4	44
9	27	124,57	4	44
10	35	159,87	3,5	40
11	45	203,49	3,6	40
12	55	246,22	3,1	40
13	70	310,33	3,3	35
14	85	372,95	3	35
15	100	434,37	3,3	35

16	120	516,04	3,1	35
17	150	638,59	2,7	35
18	180	758,65	2,5	32
19	210	876,24	2,4	32
20	250	1032,71	2,3	32
21	290	1185,97	2	32
22	350	1417,02	1,8	32
23	400	1603,26	1,6	30
24	435	1726,11	1,5	30
25	470	1846,34	1,4	30
26	510	1983,44	1,3	30

Tabla nº 2. Ejemplo de tabla de alimentación para la tilapia.

Fuente: Hernández et al. (2014).

Peso alevines de tilapias.

El tamaño de los alevines nacidos a finales de diciembre que estaban en la incubadora, alcanzaron a mediados de febrero un peso medio de 3,8 gramos. A mediados de abril ya tenían un peso medio de 9,4 gramos, pasando a la planta de engorde.

Evolución del peso medio de las tilapias.

En la tabla 3, se puede ver la evolución del peso de una generación de tilapias nacidas en el ensayo. Debido al problema de anoxia ocurrido en julio, y que se hizo un reorganización de los animales que quedaron en los distintos tanques, no tenemos la suficiente trazabilidad para indicar la ganancia de peso final de los peces que pasaron a la Planta 2 antes del incidente.

Tabla nº 3. Peso medio de las tilapias del ensayo

13 Abril	27 Mayo	12 Julio	27 Octubre	Diciembre
Alevines	17,28 g	31,86 g	154,80 g	327,25 g

La salida de alevines procedentes de los huevos, comenzó a mediados de abril y continuó hasta noviembre.

El crecimiento y ganancia de peso es proporcional a las condiciones de las tilapias, estado físico/químico del agua, temperatura y alimentación, por lo que son varios los factores que determinan la ganancia en peso.

Uno de estos factores es el sexo del individuo, en uno de los muestreos realizados, se reflejó el peso y el sexo del animal dando como resultado un peso medio de los machos de 375,57 gr frente a unos 286,99 gramos de peso medio de las hembras, lo que supone un 30% más de peso.



Foto 17. Tanque de engorde de tilapias (03/02/2021).

4.2 Parámetros y controles realizados en las plantas.

En lo que respecta a la producción de plantas en hidroponía, el objetivo es ver el comportamiento y adaptación de las distintas especies a los sistemas de cultivo empleados y conocer su comportamiento. Cabe destacar la influencia de diversos factores en el crecimiento de las plantas, como la cantidad de nutrientes que aportan las tilapias, según su estado de crecimiento y la cantidad de bacterias nitrificantes lo que influye de forma notable en la nutrición de las plantas para conseguir tamaño y calidad, por lo que está directamente relacionado con la simbiosis de ambos sistemas.

Otro factor clave en el crecimiento de las plantas es evitar que los residuos de las tilapias (heces), se adhieran a los pelos radiculares e impidan la correcta asimilación de los nutrientes.

Resultados obtenidos en la planta 1.-

Se detectan problemas de subida a flor durante todo el año en las hortalizas de hoja, sin embargo, se continuaron realizando plantaciones a lo largo del año, para evitar la posible toxicidad por exceso de amoníaco en el agua de las tilapias. En el segundo trimestre se realizó una prueba en los contenedores con aromáticas (albahaca, perejil y apio), funcionando muy bien en este entorno.

Cama de agua.-

Las especies producidas han sido: hoja de roble, trocadero, lechuga iceberg, mini romanas, Little gem, Lollo rojo, col picuda y pac-choi.

Las plantaciones comenzaron en enero y finalizaron en noviembre, en las cinco filas de cinco plantas, se han ido alternando las especies por filas. El ciclo de cultivo se acorta del tradicional al aire libre, por la temperatura y la recolección anticipada, sin llegar a la madurez, para obtener calidad y evitar decoloraciones en las hojas, sobre todo en las especies que acogollan. Los ciclos han ido desde los 35 días de la Little gem a los 90 de la coliflor, desde el trasplante.

Las medias obtenidas han sido de 156 gramos en el caso de la hoja de roble, 120 gramos en trocadero; 140 gramos en mini romana. Todas estas recolecciones han sido a principios de año (hasta el mes de marzo) a partir de esta fecha comienza a acelerarse el desarrollo, no produciendo calidad comercial.

Las especies producidas cuya calidad comercial no ha sido adecuada, han sido: col picuda y lechuga iceberg. Además, indicar el problema del Pac-choi, que debido a su gran sistema radicular produce obstrucciones en los sistemas de canalización de agua.



Foto 18. Cama de agua en planta 1.

NFT.-

Las especies producidas han sido: coliflor altair, Lollo rosso, trocadero, mini romana, pac-choi, lechuga rizada.

Las plantaciones comenzaron en enero y finalizaron en diciembre, en las cuatro filas de dieciséis plantas, se han ido alternando las especies por filas, coincidiendo con las plantaciones del sistema de cama de agua, la mayoría de las veces. El ciclo de cultivo se acorta del tradicional al aire libre, por la temperatura y la recolección anticipada, sin llegar a la madurez, para obtener calidad y evitar decoloraciones en las hojas, sobre todo en las especies que acogollan. Los ciclos han ido desde los 35 días de la Little gem a los 90 de la coliflor, desde el trasplante.

En cuanto al peso medio obtenido, tan solo se tiene datos de la hoja de roble, con 97 gr de media. En cuanto a Little gem se han obtenido algunas piezas de calidad aceptable.

Las especies producidas cuya calidad comercial no ha sido adecuada, han sido: la lechuga iceberg por su falta de acogollado. Tampoco ha ido bien la coliflor, que quedan cloróticas y de mala calidad.

Además, indicar el problema del Pac-choi, que debido a su gran sistema radicular produce obstrucciones en los sistemas de canalización de agua.

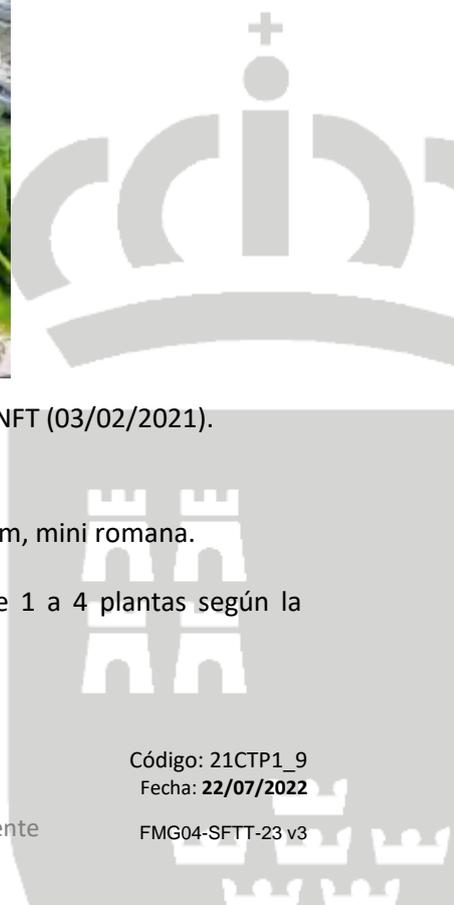


Foto 19. Lechugas próximas a recolectarse en planta 1 en el sistema NFT (03/02/2021).

Contenedores.

Se han producido: col picuda, perejil liso y rizado, pac-choi, coliflor, Little gem, mini romana.

En los 8 contenedores, se iban alternando especies, plantando de 1 a 4 plantas según la especie. Los ciclos en las hortalizas similares a los anteriores sistemas.



La calidad de las plantas en general ha sido buena, incluso en coliflor y brócoli, aunque con pellas de tamaño mini. La de peor calidad ha sido la lechuga iceberg, posiblemente por no ser su fecha de plantación. Las coles picudas también bastante amarillas.

El peso medio obtenido en la lechuga mini romana ha sido de 110 gramos por unidad.

Las especies vegetales de largo ciclo no tienen calidad comercial aceptable, como brócoli, coliflor y melón.

Las plantas aromáticas, albahaca y romero tienen aceptable desarrollo y se adaptan bien al sistema de contenedores. Se obtiene mayor peso para la misma especie en la cama de agua que en el NFT, sobre todo en las lechugas.

Muy importante controlar la densidad de plantación en las especies de mayor volumen, hemos observado este problema, en los contenedores y NFT.

Se siguen observando algunos problemas de pudrición en el cuello en algunas plantas, en cama de agua y NFT, enfermedades fúngicas como el oído en lechugas y Lollo, cuando las temperaturas son elevadas y por ser cultivares no tolerantes a esta enfermedad. En especies como brócoli y coliflor, se constata un crecimiento lento y planta con excesiva inclinación lateral, en el sistema NFT y cama de agua, al tener porte voluminoso y la canalización, con un espacio reducido, para las raíces en el sistema NFT.

Resultados obtenidos en la planta 2.-

Esta planta se compone de 8 tanques con volúmenes de 600 a 1000 litros para peces, depósito decantador, biofiltro y depósito acumulador. Ha sido necesaria la ampliación de la planta para albergar, por tamaño, los peces que se han ido produciendo.

Para la producción de plantas está el sistema NFT; la mesa de agua que se utiliza para producción de planta en bandeja y mesa de arlita.

Producción de la mesa de agua.-

Se han sembrado en bandeja: melón verde, galia y amarillo, acelga, espinaca, perejil, iceberg, Little gem, romana y mini romana, col, coliflor, escarola, berenjena y especies para cultivo de hoja (baby leaf). Se hicieron pruebas con la composición del cepellón utilizando diversos porcentajes de arlita, perlita, vermiculita y sustrato para intentar tener planta con sistema radicular que se pudiese extraer bien de la bandeja y lavar raíces para colocar en el sistema NFT.

Para cultivar en la mesa mediante siembra en contenedores se sembraron: Escarola, lechuga batavía, Lollo roso, eneldo, rúcula, cebollino y berros. Dependiendo de las temperaturas y especies, las semillas germinaban entre los 6 y 8 días.

La planta crece más lentamente que en sustrato por no llevar fertilizantes, aunque con buena calidad. El sistema radicular penetra en el agua de la mesa no llegando a formar un cepellón de raíces, siendo el sustrato con mejores resultados el de sustrato, perlita y vermiculita y trasplantando antes que el sistema radicular se desarrolle en el agua al evitar la rotura de estas.

Las plantas se iban trasplantando en los sistemas de ambas plantas. El comportamiento de las especies en contenedores para su cultivo en la mesa ha sido desigual, siendo fundamental conseguir la densidad adecuada. Las plantas se colocaban en contenedores de macetas con agujero en el fondo para la salida de raíces.

La recolección debe ser precoz, para evitar pérdida de calidad y destacan los cultivos de hoja (lechugas, Lollo, perejil y demás condimentarias. El mejor rendimiento y calidad de las especies cultivadas es el de cultivo para hoja (baby leaf).

En el sistema NFT.-

Se ha incrementado la superficie de cultivo, se han instalado 4 gradas horizontales con 6 tubos de PVC separados en pisos, con 36 orificios cada uno donde se colocan las plantas en contenedores con parte de la raíz desnuda en contacto con el agua que circula por el tubo.

Las especies plantadas: coles, trocadero, mini romana, lechuga roja, melón, escarola, lechuga iceberg, pac choi y Little gem. El objetivo era ver el desarrollo de diferentes especies durante todo el año.

Al no realizar tratamientos fitosanitarios y la falta de tolerancia a determinadas enfermedades fúngicas, algunas especies no alcanzaban la calidad comercial, es el caso del melón, unido a la dificultad de su desarrollo por el volumen de vegetación y longitud de la misma, no haciéndolo aconsejable en este sistema. Las coles en sus fechas de plantación, forman una pella pequeña y el volumen de vegetación hace necesario mayor separación, no siendo indicado tampoco en este sistema. En cambio los cultivos de hoja, salvo en los meses cálidos (mayo-septiembre), la calidad ha sido buena, En abril se recolectaron lechuga tipo trocadero con 155 gramos de media en una de las gradas, recolectándose con 285 gramos en el mes de mayo. La Little gem alcanzó un peso medio de 95 gramos.

Durante los meses cálidos (de mayo a septiembre) no se llegaba a tener planta de calidad comercial, debido a las altas temperaturas impiden un buen acogollado, así como un amarilleamiento generalizado.

A partir de septiembre se retoma el ciclo de cultivo, dando como resultado pesos medio de lechuga trocadero del orden de los 252,8 gramos.

Hay que tener en cuenta que se recolecta sin esperar la maduración óptima. En cambio la lechuga iceberg, no tiene la calidad necesaria por la dificultad de producir un buen acogollado, podría utilizarse troceada para industria.

También se ha instalado un segundo sistema NFT de gradas verticales. Se trata de 5 filas con 12 tubos de PVC en posición vertical, a los que se les ha realizado una serie de aberturas con un soporte para la planta, de forma que, el agua se aporta en la parte superior del tubo y discurre de una a otra abertura hasta que se recoge el sobrante en la parte de debajo, en otro tubo de PVC horizontal por el que se incorpora, nuevamente al circuito de agua de la planta de acuaponía.

Este sistema ha tenido el inconveniente de la obstrucción de los agujeros que permiten el flujo del agua, tanto por las raíces de las plantas como por la suciedad del agua, provocando la salida de agua del sistema, el encharcamiento de la planta con la correspondiente podredumbre y acumulación de suciedad en su interior. Actualmente se están ensayando nuevos sistemas verticales a fin de solucionar esta problemática.

Indicar también el problema de las plantas que acogollan o que tienen una parte aérea muy desarrollada, que se llegan a caer debido al peso.



Fotos 20 y 21. NFT horizontales y verticales en Planta 2.



Foto 22. Detalle de las raíces en sistema NFT (20/05/2021)

En la mesa de arlita.-

En un inicio se realizó una plantación de col picuda, con bastante buen resultado. Se fueron recogiendo de forma escalonada en función de su tamaño y grado de acogollado. El peso medio de las coles recogidas fue de 207,28 gramos con pesos que oscilaban entre los 106 gramos y los 375 gramos.

En este sistema se puede cultivar plantas de mayor porte, como es el caso de los pimientos, aunque necesitan algún tipo de soporte para que la planta no vuelque, al no tener profundidad el sistema radicular.



Foto 23. Producción de col picuda en cama de agua con sustrato de arlita (31/05/2021).



Foto 24. Producción de lechuga y pimientos en cama de agua con sustrato de arlita (06/07/2021).

4.3 resultados de la recolección de plantas.

Se realizó la recolección de plantas escalonada durante todo el año 2021, al haber varios tratamientos, en fechas tan variadas como: 28 de abril, 4 de mayo, 11 de mayo, 20 de mayo, 24 de mayo y 15 de junio.



Foto 25 y 26. Control de calidad. Recolección 04/05/2021 y 20/05/2021.



Foto 27 y 28. Recolección 28/04/2021

4.4 resultados de la recolección de peces.

En este año se han obtenido un total de 73,5 Kg de tilapia, con pesos medios que superaban los 500 gramos por ejemplar, repartidos en 9 tandas de sacrificio. Y teniendo en cuenta que en el mes de julio se produjo un problema en la planta de engorde; que provocó la muerte de casi todos los ejemplares, y por tanto no pudiendo recolectar más ejemplares para sacrificio.

5. CONCLUSIONES.

El objetivo del ensayo es como producir tilapia en un circuito cerrado con calidad y rendimiento comercial, desde la cría de alevines a la venta de tilapias con un peso mínimo de unos 400 gramos pieza en simbiosis con el cultivo hidropónico de especies vegetales, desde hortícolas, aromáticas, condimentarias y ornamentales. De forma sostenible medioambientalmente sin utilizar fertilizantes ni fitosanitarios, las plantas se nutren de los residuos orgánicos de la tilapias, a la vez que se reduce el consumo de agua, reponiendo solo la que se necesita para la limpieza o la reposición de la que se evapora o consumen las plantas. El agua utilizada en el sistema de acuaponia, es la utilizada para riego en la zona, en este caso la procedente del trasvase Tajo-Segura, pudiendo utilizar agua de peor calidad porque la tilapia la tolera.

Intentamos reutilizar todos los residuos generados, el agua de limpieza se recoge y pasa por el biofiltro, pudiendo ser utilizada de nuevo en el sistema. para reutilizar en otras cultivos, La materia orgánica obtenida en el filtrado para evitar que pase a las raíces, se mezcla con restos vegetales para fabricar un compost enriquecido en nutrientes y los restos vegetales no comerciales sirven de alimento a los animales del Centro (gallinas murcianas, conejos, ocas, etc.). Con ello conseguimos un sistema de producción de peces y cultivo sostenible, medioambientalmente, de alta calidad sanitaria y adaptada al cultivo sostenible que cumple con la normativa de la Ley 3/2020 de 27 de julio de recuperación y protección del Mar Menor.

Por ello consideramos que es una alternativa a tener en cuenta para la zona del Campo de Cartagena. Los resultados y la experiencia de los anteriores ensayos, nos indican que puede ser una alternativa viable para la zona. Es necesario seguir avanzando en conocer el funcionamiento de ambos sistemas, y hacerlos compatibles, utilizando las sinergias que entre ambos producen.

Es necesario incrementar la cantidad de peces y superficie de cultivo, para obtener datos que se puedan extrapolar a una pequeña o mediana explotación.

Se sigue constatando que se obtiene más calidad en especies sin acogollado, lechuga hoja verde, roja, Little gem, lollos, hoja de roble, incluso lechuga trocadero que en la lechuga iceberg y especialmente en la producción de hoja pequeña o baby leaf. La solución a esto se lleva también aprovechando la planta sin llegar a finalizarla, para producir hoja suelta.

En col el crecimiento es lento y poco estable por la excesiva inclinación lateral y el pequeño tamaño de la pella, por lo que no es aconsejable este cultivo, salvo en el sistema de contenedores y en la mesa de arlita con la densidad adecuada.

El Pac choi tampoco es adecuado en este sistema por su gran sistema radicular. Se deben utilizar variedades con las máximas tolerancias a plagas y enfermedades y en la fecha adecuada de plantación, dado que se han de emplear productos que sean compatibles con la vida acuática y no generen toxicidad.

Para la reducción de costes en la producción, sobre todo en la alimentación y energía, para el funcionamiento de las bombas, aireadores y calentadores, se deben utilizar como complemento del pienso productos de fácil producción y bajo coste que disminuyan la cantidad de pienso como la lenteja de agua. Y utilizar energía fotovoltaica para producir una energía más económica y sostenible.

6. ACTUACIONES DE DIVULGACION REALIZADAS.

A lo largo de la anualidad 2021, se han realizado visitas de agricultores y técnicos a la instalación.

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

7. REPORTAJE FOTOGRAFICO.



Foto 29 y 30. Visita agricultores instalación de Acuaponía (07/06/2021).





Foto 31. Jornada explicativa del proyecto de de Acuaponía con técnicos (06/07/2021).



Foto 32. Sesión teórica, jornada de Acuaponía con técnicos (06/07/2021).



Foto 33. Visita técnica instalación de Acuaponía (13/07/2021).



Foto 34. Visita investigadores IMIDA instalación Acuaponía (28/09/2021).



Foto 35. Visita profesores Universidad Asunción (Paraguay) planta 2 Acuaponía (30/11/2021).





Foto 36. Visita profesores Universidad Asunción (Paraguay) planta 1 Acuaponía (30/11/2021).

