

## INFORME ANUAL DE RESULTADOS

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

AÑO: 2020

CÓDIGO PROYECTO: 20CTP1\_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 y Ricardo Gálvez del CIFEA T-Pacheco.
- Duración:** Enero-Diciembre 2020
- 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. ....	6
3.3. Características de la instalación para cultivo hidropónico. ....	7
3.4. Características de la instalación para la cría de peces. ....	12
3.5. Preparación para la puesta en marcha de las instalaciones. ....	14
3.6. Consideración en la cría de la tilapia. ....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	17
4.1 Parámetros y controles realizados en el agua y los peces. ....	17
4.2 Parámetros y controles realizados en las plantas. ....	20
5. CONCLUSIONES. ....	25
6. ACTUACIONES DE DIVULGACION REALIZADAS. ....	26
7. REPORTAJE FOTOGRAFICO. ....	28



## 1. RESUMEN.

En este ensayo pretendemos dar a conocer el sistema de Acuaponía para la producción de cultivos y peces por sus ventajas al reducir la lixiviación en cultivos hidropónicos, a través de la reutilización de los efluentes cargados de minerales, sin el aporte de fertilizantes y hacer recircular el agua, haciendo un sistema de producción sostenible medioambientalmente, aspecto este de gran importancia en el entorno del Mar Menor.

Se pretende dar a conocer este sistema, de nueva implantación en la Región de Murcia, para su posible empleo en explotaciones agrícolas, demostrando que se puede conseguir un mejor aprovechamiento del agua y reducir el empleo de fertilizantes, logrando minimizar la lixiviación de nitratos y obtener dos productos disponibles para su comercialización: peces (Tilapia) y vegetales.

Para este ensayo disponemos de la planta 1, para la cría de peces desde estado de larvas hasta 100 gramos de peso y la planta 2 de nueva construcción, con dos tanques de agua para finalizar el proceso de engorde, hasta conseguir peso comercial. En la planta 1, disponemos de un recipiente que hace de incubadora para los primeros 30 días de vida de los alevines.

Los sistemas de cultivo empleados para la producción hidropónica fueron: el NFT (Nutrient Film Technique), 4 tuberías en mesa plana en planta 1, y 8 tubos en trípode vertical, en planta 2, el sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture) en planta 1 y 2 y riego por goteo (Drip system) en planta 1.

Son tres los organismos involucrados en el rendimiento óptimo de los sistemas acuapónicos: plantas, peces y bacterias nitrificadoras.

Se estudia el comportamiento de distintas especies en los tres sistemas de cultivo, en esta campaña: iceberg, Batavia, Little gem, lechuga verde, Lollo rojo, hoja roble roja, coliflor verde, escarola, hoja roble roja, coliflor verde, romanesco y albahaca

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

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.

Se deben utilizar variedades con las máximas tolerancias a plagas y enfermedades y en la fecha adecuada de plantación.

Se han obtenido buenos resultados en la cría de alevines, logrando 4 generaciones de tilapias entre mayo y octubre, pudiendo autoabastecernos, para las cantidades que manejamos, lograr tilapias de calidad comercial en 8 meses de cría, y producir diversas plantas con recolecciones escalonadas, según especies entre abril y diciembre.

Se considera que la Acuaponía resulta adecuada para pequeños productores agrícolas con miras a aprovechar los mercados locales y el agroturismo, además de ser sostenible medioambientalmente.

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 la electricidad necesaria para los bombeos y calefacción.

## 2. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.

Consideramos necesario, realizar ensayos que supongan una innovación o alternativa a la actividad actual y que tenga como prioridad la sostenibilidad y el respeto medioambiental, a la vez que, la reducción del agua de riego y fertilizantes, por lo que las técnicas de Acuaponía, es una alternativa viable para esta zona.

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 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 funciona discurre por un circuito cerrado, de los desechos generados por los peces, la materia orgánica se separan del agua y se utiliza como compost y 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 sin productos tóxicos y así, iniciar de nuevo el proceso.

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 en el proceso de 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 bacterias, principalmente de los géneros Nitrosomonas, que convierten amoníaco en nitritos y las Nitrobacter, que convierten 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, pez de aguas cálidas, por su facilidad de manejo, consumo y perspectivas de futuro resulta el más interesante para los comienzos en esta técnica.

El proyecto nos ayuda en conocer esta técnica e ir avanzando en el diseño de nuevas plantas de mayor superficie y volumen de agua para poder divulgar esta transferencia de tecnología a

empresarios, que estén interesados en esta alternativa a las explotaciones agrarias existentes. 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.

Disponemos de dos instalaciones de Acuaponía, la planta 1, donde se ha desarrollado el cultivo de peces y plantas y la nº 2, realizada en esta anualidad 2020 y de mayor volumen.

En la planta nº 1, se han trasplantado Little roja y verde en la cama de agua y NFT. En los contenedores, se van a ir sembrando: rabanitos, acelgas, espinacas y 3 plantas de tomate. Posteriormente se irá sembrando judía de enrame, zanahoria, puerro, cebollino, etc., para ver su comportamiento.



Contenedores y sistema NFT en planta nº 1 (03/02/2020)



Tres tipos de lechugas en NFT planta 1 (30/09/2020)

En la nº 2 se han trasplantado plantas ornamentales como potos, aromáticas y hortalizas en el sistema de NFT. A la vez que ha servido de semillero que produce las planta hortícolas de ambas plantas de Acuaponía.

La especie piscícola seguirá siendo la tilapia (*Oreochromis spp*).

Esta campaña se ha avanzado un paso más con la obtención de alevines, a partir de los ejemplares adultos, para intentar ser autosuficientes y evitar la compra de los mismos.

Las especies vegetales que se han elegido para cultivar mediante el sistema de Acuaponía son:

Aromáticas: Perejil, hierba buena, eneldo, romero, orégano y salvia.

Hortícolas: Diferentes tipos de lechuga, canónigos, rúcula y espinaca.

Para la especie piscícola hemos utilizado únicamente la tilapia (*Oreochromis spp*).

El pez tilapia es la elección más popular 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.

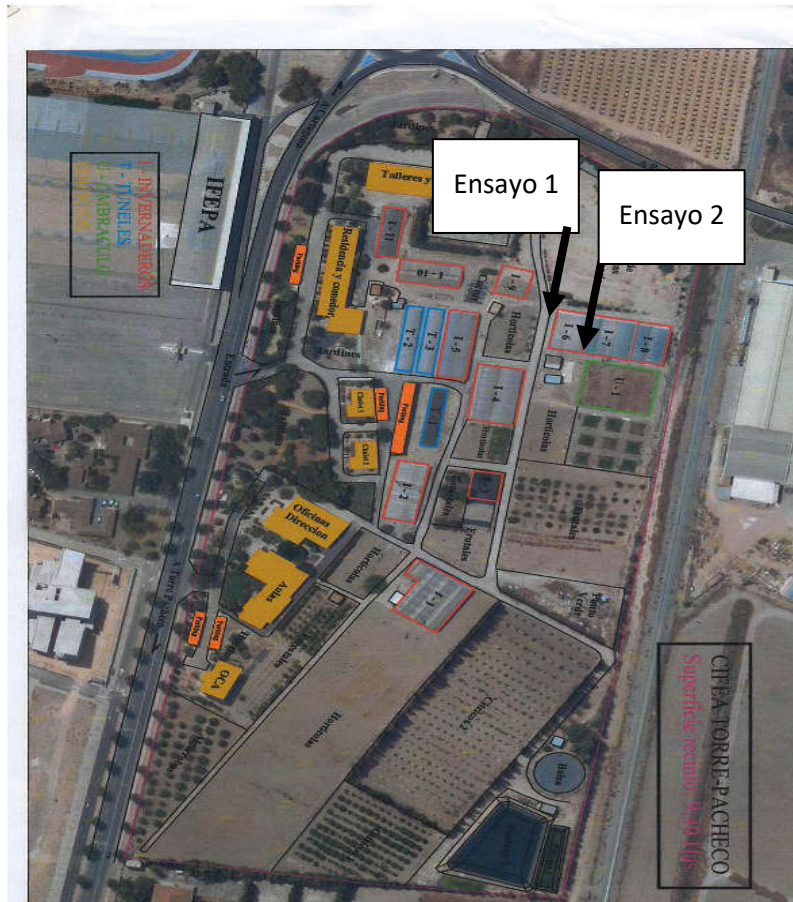


Brócoli en la planta nº 2 (16/01/2020) y nueva plantación el 12/03/2020

### 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 m<sup>2</sup>, y la del ensayo 2 de 130 m<sup>2</sup>, ampliada finalmente a unos 200 m<sup>2</sup> entre bancadas de cultivo, depósitos y zona de filtración.

El ensayo nº 2 se corresponde con una planta de Acuaponía en base a nuestra experiencia de la planta piloto (nº 1) del CIFEA, ampliada durante el año 2020 con más depósitos, calentadores y bombas, cuya adquisición se solicitó en el presente proyecto.

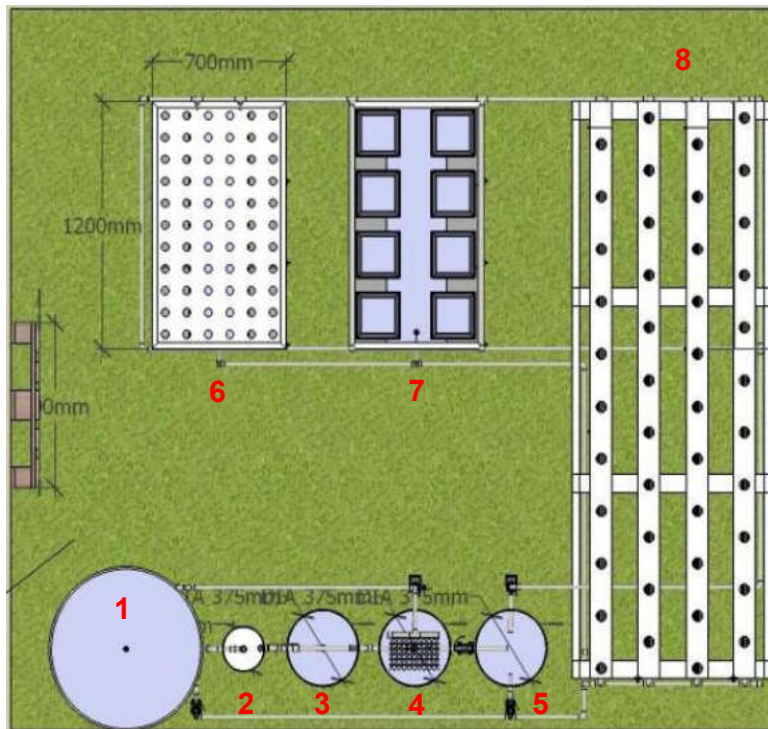


Plano del CIFEA de Torre Pacheco con ubicación de los ensayos

Este ensayo nº 2 ha empleado solamente el método de agua profunda (Deep Water Culture) y el de NFT (Nutrient Film Technique), dejando el de sistema por goteo con sustrato (Drip system) para el ensayo 1, por considerar que son los que mejor se pueden adaptar a la instalación.

### 3.3. Características de la instalación para cultivo hidropónico.

La instalación de Acuaponía objeto de este proyecto tiene una superficie total de 80 m<sup>2</sup> para el ensayo 1 y 130 m<sup>2</sup> 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:

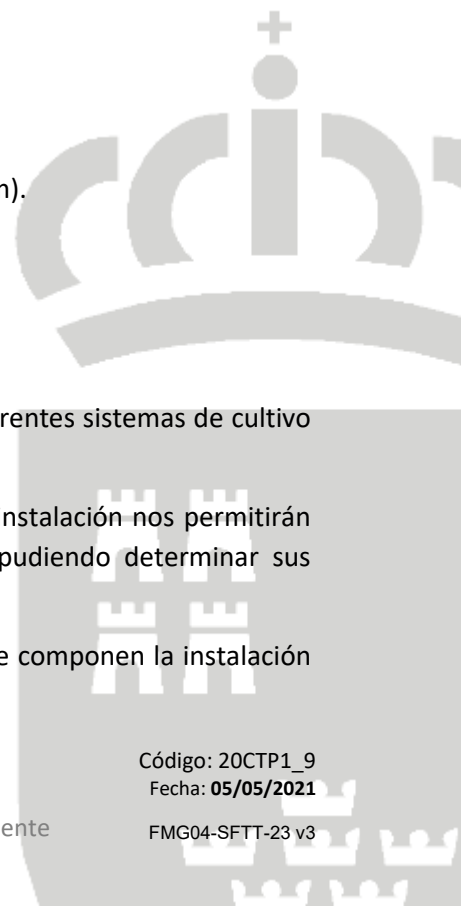
- Tanque de peces.
- Depósito de sedimentación.
- Filtro biológico.
- Depósito con torre de percolación.
- Depósito de retención o regulación.
- Sistema hidropónico con agua profunda (Deep Water Culture).
- Sistema hidropónico con sustrato y riego por goteo (Drip system).
- Sistema hidropónico NFT (Nutrient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

#### **COMPONENTES PARA CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA PLANTA Nº 1**

La instalación de Acuaponía está constituida por tres módulos con diferentes sistemas de cultivo hidropónico, entre los más extendidos en la Región de Murcia.

La variedad de sistemas de cultivo hidropónicos de los que consta la instalación nos permitirán averiguar el sistema 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 de la planta nº 1:





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.



Sistema de cama de agua

b) Sistema por gotero (Drip system)

Está compuesto por un conjunto de contenedores con algún tipo de sustrato en el cual se introduce un gotero. En este proyecto se optó por la fibra de coco como sustrato para este sistema hidropónico. Los contenedores drenarán dentro de un cajón y van a parar al conducto de desagüe.



Sistema de cultivo en contenedores

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).



Sistema de cultivo NFT

### COMPONENTES PARA CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA PLANTA Nº 2

Esta planta es casi completamente de nueva construcción a partir de una pequeña instalación que se realizó en 2019. Los tanques de peces tienen una capacidad de 950 litros de agua y se han empleado dos sistemas de cultivo hidropónico:

a) Sistema de 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 poliestireno o recipientes de plásticos con agujeros en el fondo que flota en la solución nutritiva. La lámina de poliestireno debe ser perforada en diversos puntos con un marco de plantación definido.

En esta planta 2, una mesa de cultivo de 4 x 1,5 m, que actúa como cama de agua de 5 cm de profundidad, utilizada como semillero y cultivo en bandeja, ambas conectadas al circuito para la recirculación del agua (Foto 7).

Las plantas van en estos orificios sujetas en unos vasos fisurados por donde van a emerger las raíces. Una vez que la planta de las bandejas está en condiciones para el trasplante, se pasa a la zona de cultivo y se vuelve a sembrar.



Sistema de producción en mesa de agua.



Cultivos en mesa de agua, planta 2.

c) Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique)

Se trata de la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva por un canal o tubería de cultivo donde se colocan cestillas con la planta a raíz desnuda en su interior, (sin sustrato, para el sostenimiento de la planta se utiliza arlita y/o esponja), sostenido sobre un soporte y que desemboca en un conducto de drenaje (sistema cerrado).

El soporte tiene forma de barraca de 3 metros de altura con dos caras y 4 tuberías horizontales en cada cara, en la planta 2, ambas plantas con un conducto de drenaje conectado a los tanques de impulsión y de peces para recircular el agua, sistema cerrado.



Sistema NFT de la planta nº 2.

Las especies vegetales que se han elegido para los cultivos durante el año 2020 son los siguientes:

Aromáticas: albahaca.

Hortícolas: lechuga iceberg, batavia, little gem, lechuga verde, lollo rojo, hoja roble roja, coliflor verde, escarola, coliflor verde, brócoli y romanesco.

### 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.



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.



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.



Tanques de peces planta nº 2.



Depósitos de aireación planta nº 2 (29/10/2020)

Especie de peces empleada:

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

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

El ensayo continua del año anterior, 2019. En este año 2020, disponemos de dos plantas de producción, P-1 y P-2.

La DANA del mes de septiembre de 2019, interrumpió el proceso de cría, provocando la muerte de las tilapias adultas en un alto porcentaje (80 %), dejando solo 14 ejemplares y no en buenas condiciones, que finalizaron muriendo.

El 3 de marzo se compran 80 tilapias de 32,3 gr. de media, que se colocan en T-1 de la P-1, hasta el 16 de marzo que se pasan al T-1 de la P-2, ya con un peso de 47,7 gr. de media.

Primeros de mayo salen los primeros alevines del T-1 de la P-2, que se colocan en la incubadora P-1, a partir de esta fecha los alevines nacidos se van trasladando a la incubadora. Nos ha causado extrañeza el nacimiento de alevines en tilapias de tan corta edad.

El 8 de junio se pasan los alevines de la incubadora al T-1 de la P-1, para seguir su crecimiento y se introducen los alevines recién nacidos a la incubadora.

EL 21 de julio se coloca en la P-2 el T-2, con las tilapias del T-1, P-1, unos 130 ejemplares, de diversos tamaños y pesos. Ha sido necesario incrementar el número de tanques de producción de tilapia por la cantidad de peces que han ido naciendo desde mayo.

Los alevines que van naciendo en la P-2 se van pasando a la incubadora y los de la incubadora al T-1, de la P-1.

El 24 de agosto se sacrifican parte de las tilapias más grandes del T-1, P-2, con un peso medio de 391,2 gr.

En octubre se modifica la instalación de la P-2 colocando un tanque decantador de 200 litros con una malla donde se recogen las heces, dos depósitos que actúan como decantadores para eliminar las heces que han pasado por la malla, es necesario impedir que pasen a las raíces de los cultivos. A continuación el agua ya filtrada pasa por el tanque de biobolas con las bacterias de transformación del nitrógeno amoniacal en nitrato y el tanque de acumulación de agua, dese donde la bomba de impulsión toma el agua y la envía a las plantas y tanque de peces.

Estos depósitos de decantación requieren un mantenimiento diario, con el sifonado para extracción de las heces del tanque y mallas. Añadir el volumen de agua necesario por las pérdidas en la limpieza, absorción por el cultivo y evaporación.

Los restos de heces sacadas en el sifonado y mallas de decantación de la limpieza se echan a las zonas ajardinadas para su reutilización, aportando riego y fertilizante.

Las especies 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 (fotos 9 a 12).

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):

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 de alimentación para la tilapia. Fuente: Hernández et al. (2014)

A partir de octubre se le incorpora una pequeña cantidad en la alimentación de lenteja de agua, producida en el CIFEA, con dos objetivos: reaprovechar la producción de lenteja derivada de recirculación de drenajes de cultivos hidropónicos e introducir una nueva alimentación alternativa al pienso y más ecológica.

### 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/m<sup>3</sup>. En nuestro caso estableceremos una densidad de 30 kg /m<sup>3</sup>. A partir de esos datos, y debido a que el tanque de peces de la instalación de Acuaponia tiene una capacidad de 200 litros, podremos criar 6 kg de tilapia por temporada.

La talla comercial de la tilapia es de 400-500 g 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 g, 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 m<sup>2</sup> de área de biofiltración o 140 litros de biomedio (plastic carriers).
- Alrededor de 8-10 m<sup>2</sup> 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.



Recolección de lechugas para el control de producción (02/11/2020)

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

###### Parámetros del agua de los peces.

Los parámetros de la calidad del agua analizados son la temperatura, pH, ión amonio, amoniaco, 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, peor en general, se mantuvo dentro del rango normal. El pH se mantuvo estable, entre 7,2 y 7,5. En la siguiente tabla se indican los parámetros del agua:

PARÁMETRO	RANGO	31/03/2020	08/09/2020	20/10/2020
Oxígeno	> 4 ppm			3,7
Temperatura	23-32°C	22	24	25
PH	6,5-9	7,2	7,5	7,5
NH <sub>4</sub>	2 ppm	0,03	0,05 mg/l	0,05
NH <sub>3</sub>	2 ppm	0,3	0,5	0,5
NO <sub>2</sub>	0,1 ppm	0,05-0,10 mg/l	0,05-0,15 mg/l	0,17 mg/l
NO <sub>3</sub>	0,1 ppm	3 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
PO <sub>4</sub>	0,6-1,5 ppm	0,4 mg/l	0,5-1 mg/l	0,5 mg/l
Fe	20 ppm	0	0	0

Parámetros medios en el agua de los peces.

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).



Control de crecimiento de las tilapias (02/11/2020)



Peso alevines de tilapias.

El tamaño de los alevines en el comienzo del ensayo, a 3 de marzo de 2020, estaba comprendido entre 19 y 51 gramos, peso medio de 32,3 gr.

En el ensayo se incorporó una incubadora para comenzar la cría de la tilapia desde el estado de huevo, pasando por diferentes cubetos o tanques, a medida que crezcan los alevines.

Hasta entonces, utilizamos como incubadora dos pequeños contenedores de plástico con bomba y calentador.

Evolución del peso medio de las tilapias.

**Peso medio de las tilapias del ensayo**

03-mar	16-mar	30-abr	29-may	13-jul	24-ago	30-oct
32,3	47,7	90	195,5	326	391,2	735 gr

**Peso medio tilapias nacidas durante el ensayo**

08-jun	21-jul	25-sep	20-oct	28-dic
18	54	117,3	142	271,5



Sacrificio de tilapias por congelación (25/11/2020)

En la primera tabla, se puede ver que el peso medio de las tilapias, desde la puesta en marcha del ensayo, con los alevines de tilapia procedentes de Huerto Lazo, donde puede observarse el crecimiento y ganancia en peso hasta alcanzar los 735 gr. de media en octubre y en la tabla siguiente, el crecimiento de las tilapias nacidas en el ensayo.

La salida de alevines procedentes de los huevos, comenzó primeros de mayo y finalizó en octubre.

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.



Depósito de cría de alevines (02/11/2020)

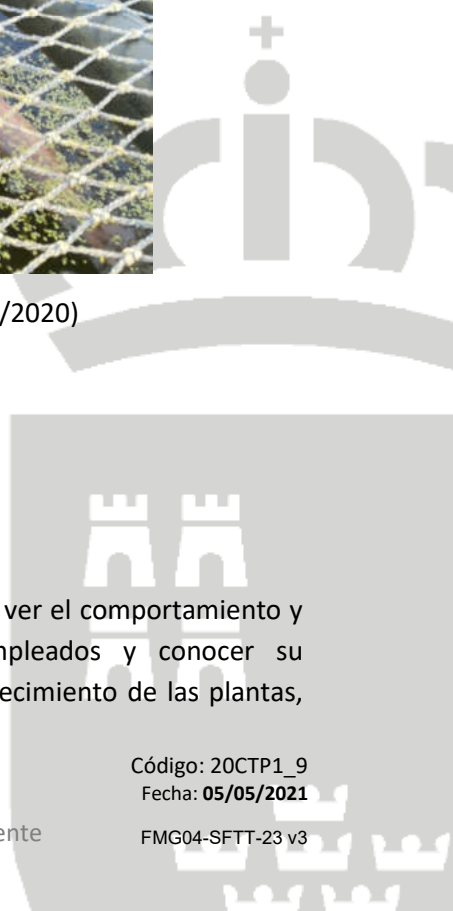


Malla protectora para evitar el salto de las tilapias (29/12/2020)

#### 4.2 Parámetros y controles realizados en las plantas.

##### Parámetros de producción de 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 radicales e impidan la correcta asimilación de los nutrientes.

### **Resultados obtenidos en la planta 1.-**

Son similares a los del ensayo anterior, ya que entre abril y octubre el desarrollo de algunas especies se ve afectado por las altas temperaturas del invernadero. No obstante se han ido realizando plantaciones a lo largo del año, para evitar la posible toxicidad por exceso de amoníaco en el agua de las tilapias.

#### **Cama de agua.-**

Las especies producidas han sido: lechuga iceberg, mini romanas, trocadero, little gem, lechuga verde, lollo rojo, coliflor verde y brócoli.

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 especies producidas cuya calidad comercial no ha sido adecuada, han sido: brócoli, coliflor y la lechuga iceberg.

#### **NFT.-**

Las especies producidas han sido: lechuga iceberg, mini romanas, trocadero, little gem, lechuga verde rizada, lollo rojo, coliflor verde y brócoli.

Las plantaciones comenzaron en enero y finalizaron en noviembre, 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.

Las especies producidas cuya calidad comercial no ha sido adecuada, han sido: brócoli, coliflor y la lechuga iceberg.



Producción de lechuga en sistema NFT (02/11/2020)

#### Contenedores.

Se han producido: lechuga iceberg, Mini romanas, little gem, lechuga verde, hoja de roble roja, coliflor verde, escarola, coliflor verde, brócoli, judía de enrame, melón albahaca y romero.

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

Los pesos obtenidos en la lechuga trocadero han sido entre 128 y 172 gr, con una media de 149 gr y en Little gem entre 116 y 185gr, con medias de 145 gr. De cogollos comerciales. En las especies sin acogollar los pesos han estado entre 100 y 150 gr.

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 un tanque de 900 l para peces, depósito decantador, biofiltro y depósito acumulador. En octubre se coloca un segundo depósito de 900 l. 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 y la mesa de agua que se utiliza como producción de planta en bandeja y alguna especie en maceta.

#### **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 rojo, 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).



Lechuga Baby y lechuga Batavía en estado cercano a la recolección

#### En el sistema NFT.-

Estructura de madera de 3 metros de altura con 4 tubos de PVC, a cada lado separados 40 cm, de 3 metros de longitud con 14 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, brócoli, mini romana, lechuga roja, melón verde, amarillo y galia, escarola, lechuga iceberg, romanesco 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 y romanesco, 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 el ciclo sep/nov, la hoja de roble con un peso de cogollo de 170 gr de media, romana de 300 gr, Little gem de 115 gr y escarola lisa de 220 gr. Hay que tener en cuenta que se recolecta sin esperar la maduración óptima. En cambio la lechuga iceberg, no tiene la calidad de cogollo adecuada.



Producción en maceteros verticales (17/11/2020)



## 5. CONCLUSIONES.

El objetivo del ensayo es comprobar 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 gr pieza, en simbiosis con el cultivo hidropónico de especies vegetales, desde hortícolas, aromáticas, condimentarías y ornamentales.

La producción se realiza 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 acuaponía, es la utilizada para riego en la zona, en este caso la procedente del trasvase Tajo-Segura, pudiendo utilizarse agua de peor calidad porque la tilapia la tolera.

Intentamos reutilizar todos los residuos generados, el agua de limpieza se recoge para reutilizar en otros 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 de protección integral del Mar Menor.

Se trata de un circuito cerrado y con una mínima producción de residuos, 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 lo que debemos seguir avanzando en conocer mejor ambos sistemas, ya que son totalmente diferentes y la vez hacerlos compatibles y utilizar 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.

En brócoli y coliflor 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 con la densidad adecuada.

Se deben utilizar variedades con las máximas tolerancias a plagas y enfermedades y en la fecha adecuada de plantación.

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 2020, se han realizado pocas visitas debido a los confinamientos por el estado de alarma sanitaria debido a la enfermedad COVID-19 producida por la pandemia de coronavirus CO-SARS-V2. No obstante se han recibido algunas visitas hasta la llegada del estado de alarma en 14 de marzo de 2020.



Visita Consejero, técnicos y alcalde de Torre-Pacheco a planta de acuaponía (06/03/2020)



Visita Consejero, técnicos y alcalde de Torre-Pacheco a planta de acuaponía (06/03/2020)



Explicación del sistema de acuaponía, cultivo hidropónico (18/11/2020)



Explicación del sistema de acuaponía, cultivo de peces (18/11/2020)

#### 7. REPORTAJE FOTOGRAFICO.

Por la importancia de las obras realizadas, se refleja aquí el reportaje fotográfico de la construcción de nueva planta de Acuaponía.

Se han incorporado a la planta nº 2 los siguientes elementos:

- Filtros biológicos con biobolas, canastillos para plantas de 2 pulgadas, 100 m<sup>2</sup> de poliestireno estrusionado de 5 cm de grosor de alta densidad y 10 botellas de bacterias de 250 ml.



Ensayo con paja en depósito para filtro (29/10/2020)



Sistema de filtración en cascada cónicos y nueva zona de filtrado (25/11/2020)

- Bombas de impulsión, 150 ml tubería PVC con goteros insertados , 15 pasamuros de 50 mm, 25 codos de 50 mm, 15 T de 50 mm, 10 válvulas 50 mm, 30 empalmes , botes de cola PVC, botes de limpiador PVC, cortatubos sierra y coronas para agujerear el PVC.



Bombas de caudal para movimiento del agua

- 4 depósitos PE 100 l para decantación, biofiltro y regulación peces de 480 mm de diámetro con tapa; 4 depósitos de poliéster rectangulares con tapa para los peces, de 1000 l de capacidad, 2 bombas de 1,5 CV de 330 l/minuto, 4 mesas de cultivo metálicas de 2 m<sup>2</sup>, 10 bastidores de madera de 1 m<sup>2</sup> para NFT, 100 ml tuberías NFT de canal



Instalación de nuevos depósitos (30/11/2020)



Nuevos depósitos instalados 28/12/2020



Instalación de nuevos depósitos de metal y plástico





Instalación de gradas horizontales (11/11/2020)



Cultivo en gradas verticales (27/10/2020)





- Equipos instalación eléctrica y calentamiento de agua nueva: 5 placas solares 330 W, 2 controladores de carga, 100 ml cable eléctrico de 3 hilos de 3 x 2,5 mm, 1 diferencial de 25 A, 1 magnetotérmico 25 A, 12 enchufes, 1 contador.

- Equipos instalación calentamiento agua: 10 calentadores eléctricos tipo acuario de acero inoxidable de 20 cm con cableado, 2 termosifones solares (uno por planta) con placa de 300 l para calentar el agua y 3 reguladores de temperatura.



Intercambiadores de calor de anillos circulares en depósito cónico de acero

Partiendo de la estructura de la planta teníamos tres opciones técnicas:

1) Bomba de calor.

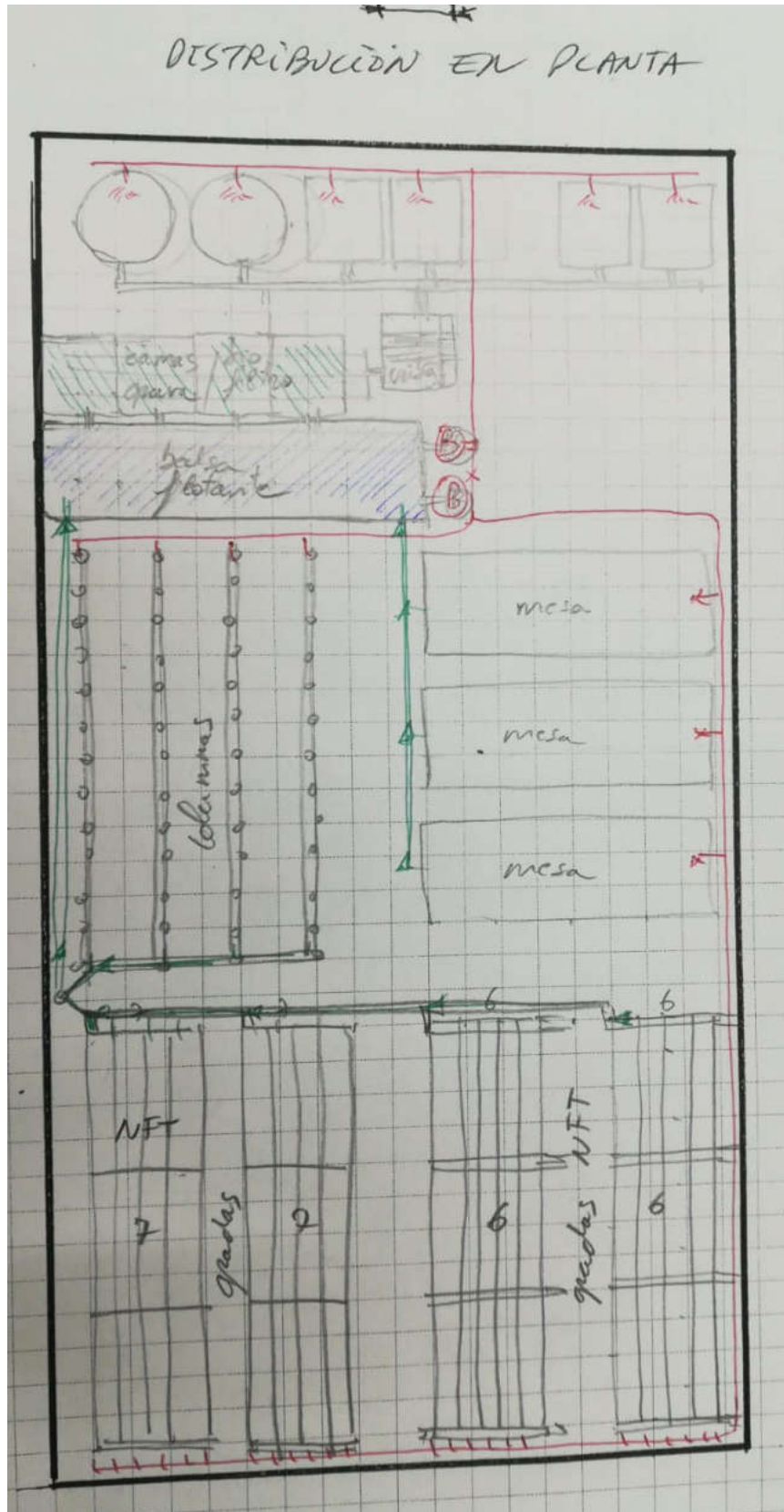
Es un sistema más eficiente que los calentadores de resistencia que tenemos, calienta todo el circuito y eso no es tan efectivo, pero con una bomba de 4000 w se conseguiría calentar 4000 l a 27 °C (3400 w a 24° C). En vez de resistencias en el depósito es una bomba por la que pasa el agua y se calienta.

2) Calentamiento termosolar con placas.

Serían placas solares que hay que diseñar y que no calentarían todo el circuito, solo los tanques. El problema es que requieren de apoyo para días nublados y noches de invierno. Se resolvería con nuestros propios calentadores con termostato, para que se pongan en marcha cuando baje de una determinada temperatura.

3) Calentamiento termosolar con placas + bomba de calor. Sería lo más eficiente energéticamente, pero el presupuesto es más elevado y no aprovechamos nuestros calentadores.

Finalmente nos inclinamos por la opción de bomba de calor, por la cantidad de agua a calentar.





Aspecto general de la nueva planta

