



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
ETSIA

TESIS DOCTORAL

**Caracterización y optimización de la
producción de alimentos a través de sistemas
acuapónicos de pequeña escala**

Gina Patricia Suárez Cáceres
2021





Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
ETSA

Tesis Doctoral

Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala

Gina Patricia Suárez Cáceres

Programa de Doctorado en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo

Rural Sostenible

Línea de Investigación en Tecnología de la Producción Vegetal

Director/Tutor: Luis Pérez Urrestarazu

Director: Víctor Manuel Fernández Cabanás

Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

Departamento Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos

Departamento de Agronomía

2021



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
ETSIA

Tesis Doctoral

Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala

Luis Pérez Urrestarazu
Tutor

Víctor Manuel Fernández Cabanás
Director

Gina Patricia Suárez Cáceres
Doctoranda

Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
Departamento Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos
Departamento de Agronomía
2021

Esta tesis cumple con los requisitos para su depósito como tesis de régimen tradicional, con la publicación de un artículo científico en la revista “International Journal of Gastronomy and Food Science” con un índice de impacto JCR (2019): 2.186, Q2, ocupando el puesto 65/139. El apartado que hace alusión al artículo es “Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina” (3.2.3; 4.2.2; 5.2.2). Asimismo, la cita del artículo es la siguiente:

Suárez-Cáceres, G.P.; Fernández-Cabanás, V.M.; Lobillo-Eguíbar, J.; Pérez-Urrestarazu, L. Consumers’ knowledge, attitudes and willingness to pay for aquaponic products in Spain and Latin America. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2021, 24, 100350, doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100350.

Agradecimientos

Para llegar a culminar un trabajo de investigación como es la tesis doctoral, se debe recorrer un arduo camino, el cual se inicia junto a varias personas que serán tu soporte constante, pero, asimismo, van cruzándose personas que te acompañaran una parte del camino o llegaran contigo hasta la meta. Sin importar, la parte del trayecto recorrido a mi lado, quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente y que contribuyeron de alguna forma a que se pudiese cumplir con los objetivos trazados en esta tesis doctoral.

Es así, como inicio agradeciendo a las personas que no solo son expertas en el tema de la acuaponía, sino que a la vez son personas con un gran talento y un calor humano, con una virtud de trabajar en equipo, acompañándome de inicio a fin en esta trayectoria investigativa, a mis tutores Luis Pérez Urrestarazu y Víctor Manuel Fernández Cábanas. Gracias por confiar en mí, trabajar conmigo y darme la oportunidad de hacer parte del grupo de investigación “Naturación Urbana e Ingeniería de Biosistemas”, agradecer por sus consejos, recomendaciones y sugerencias que fueron muy importantes e imprescindibles tanto en la consolidación de la tesis como en el desarrollo de mi perfil como investigadora. De igual forma, quiero agradecer al Doctor José Lobillo Eguíbar, por su entrega durante el desarrollo del proyecto acuapónico en el Polígono Sur (Sevilla), por las facilidades que nos ofreció, también agradecer su entusiasmo y positivismo tan pegadizos, que me motivaron y me encariñaron con este tema, que era poco conocido por mi parte.

Asimismo, la culminación de esta tesis doctoral se ha logrado por el apoyo que me brindaron las personas que me estiman, que a su vez me ofrecieron fuerza y energía anímica. Gracias a mi familia, a mis padres Jorge y Esther, a mis hermanos Mónica y Andrés, que se encuentran en Colombia, porque a pesar de la distancia que nos separa, al estar al otro lado del charco, me han prestado un gran apoyo moral muy valioso, brindándome siempre sabios consejos. También agradecerle a mi hermana Rocío, que la tengo más cerquita, en Cádiz, por su compañía constante y orientarme al momento de tomar decisiones, aportándome sus vivencias durante el doctorado que culminó hace un año. Igualmente, agradezco a mi única sobrinita Sofía, porque ha sido mi fuente de inspiración, al querer ser yo una mejor persona cada día y así, poder llegar a ser un ejemplo a seguir para ella (mi futura niña científica).

Agradecimientos

Agradecer a mis amigos, Heyde, Esteban y Edna, como a mi compañero de trabajo Javier Flores, que han sido un gran soporte durante los momentos más difíciles de este trabajo. En especial, quiero agradecer a mi pareja Julio José por su paciencia, comprensión y el ánimo incondicional durante todo este proceso de formación, juntos hemos tenido la oportunidad de vivir todo este proceso en paralelo, al estar ambos realizando la tesis doctoral de forma simultánea, por lo que sabemos en qué consiste este arduo trabajo, que nos deja en lo personal y profesional una gran satisfacción, al culminar la tan deseada última etapa de la formación formal.

Para terminar, le dedico este trabajo a todas las grandes personas que nombre anteriormente y a las que les tengo una gran estima, decirles que este trabajo también es de ustedes, sin ustedes no hubiera llegado a buen puerto.

Infinitas gracias para todos.

Índice

I. Resumen	1
II. Abstract.....	3
1. Introducción.....	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Sistemas hidropónicos: producción de alimentos sin suelo agrícola.....	6
1.3. Sistemas acuícolas: producción y cría de especies acuáticas.....	8
1.3.1. Tipos de sistemas acuícolas	9
1.4. Acuaponía: Integración de la hidroponía con la acuicultura	10
1.4.1. Clasificación de los sistemas acuapónicos	13
1.4.1.1. Según su función u objetivos.....	13
1.4.1.2. Según sus dimensiones	14
1.4.1.3. Según el acoplamiento de los sistemas hidropónico y acuícola	14
1.4.1.4. Según el sistema hidropónico utilizado	15
1.4.2. Estado del arte de la acuaponía.....	18
1.4.3. Brechas de la acuaponía de pequeña escala por solventar.....	22
2. Objetivos	27
3. Materiales y métodos	29
3.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo	29
3.1.1. Localización de la investigación y descripción de los sistemas acuapónicos	29
3.1.2. Descripción detallada de los sistemas acuapónicos.....	31
3.1.3. Producción de plantas y peces	32
3.1.4. Seguimiento de los sistemas acuapónicos	34
3.1.5. Indicadores de rendimiento	37
3.1.6. Contribución de la producción acuapónica a una dieta saludable	38
3.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores	39
3.2.1. Diseño del cuestionario y distribución de la encuesta.....	39
3.2.2. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina.....	39
3.2.3. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina	40

4. Resultados 43

4.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo	43
4.1.1. Insumos necesarios	43
4.1.2. Mantenimiento de la calidad del agua	44
4.1.3. Producción de plantas	46
4.1.4. Producción de tilapia	52
4.1.5. Contribución de la producción acuapónica a una dieta saludable	55
4.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores	58
4.2.1. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina.....	58
4.2.1.1. Datos demográficos y características de los productores	58
4.2.1.2. Objetivos y motivaciones	60
4.2.1.3. Características de las instalaciones acuapónicas	61
4.2.1.2.1. Producción de plantas	63
4.2.1.2.2. Producción acuícola.....	64
4.2.1.3. Funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones acuapónicas.....	65
4.2.1.3.1. Mantenimiento de la producción vegetal.....	65
4.2.1.3.2. Mantenimiento de la producción piscícola.....	66
4.2.2. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina	67
4.2.2.1. Datos demográficos y características de los participantes.....	67
4.2.2.2. Conocimientos de los participantes sobre acuaponía	69
4.2.2.3. Preferencias de los participantes por los productos acuapónicos	71

5. Discusión 75

5.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo	75
5.1.1. Insumos necesarios	75
5.1.2. Calidad del agua y balance de nutrientes.....	77
5.1.3. Producción y contribución nutricional de las plantas y peces	79
5.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores	84
5.2.1. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina.....	84
5.2.1.1. Perfil y motivaciones de los pequeños productores acuapónicos.....	84
5.2.1.2. Características y gestión de las instalaciones acuapónicas a pequeña escala	88

5.2.2. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina	92
5.2.2.1. Conocimientos y características de los participantes	92
5.2.2.2. Preferencias de los participantes por productos acuapónicos.....	94
6. Conclusiones	97
7. Futuras líneas de investigación	101
8. Referencias.....	103
9. Anexo I: Distribución y producción de plantas durante un año.....	117
10. Anexo II: Cuestionario con preguntas y respuestas - Productores.....	147
11. Anexo III: Cuestionario con preguntas y respuestas - Consumidores	153

Índice de Figuras

Figura 1.	Ejemplo de una unidad hidropónica (Somerville et al., 2014).	6
Figura 2.	Organismos presentes en una unidad acuapónica. Cultivo de plantas, cría de peces y colonia de bacterias.....	11
Figura 3.	Tipo de sistemas hidropónicos para acuaponía. A) Técnica de cama de cultivo (Media Bed). B) NFT. C) DWC. (Somerville et al., 2014).	18
Figura 4.	Invernadero con una cubierta de polietileno transparente (derecha). Instalaciones recién construidas (izquierda).....	30
Figura 5.	Esquema del sistema acuapónico a microescala empleado con los tres subsistemas hidropónicos: Técnica de Película de Nutrientes (NFT), Cama de Cultivo (GB) y Cultivo en Aguas Profundas (DWC). Números y letras, indican la ubicación de las plantas.....	31
Figura 6.	Aspecto del policultivo (izquierda). Aspecto del cultivo de berenjena y tomates (derecha)	33
Figura 7.	Tanque con tilapias rojas híbridas	34
Figura 8.	Evolución diaria de la temperatura máxima y mínima en el interior del invernadero.....	35
Figura 9.	Evolución semanal de las temperaturas máxima y mínima del agua y del pH de cada sistema (SAM1 y SAM2). La línea roja discontinua indica la fecha en la que se retiraron los peces del SAM2.	45
Figura 10.	Producción de lechuga en el subsistema NFT.....	50
Figura 11.	Evolución de la biomasa de peces (kg), el número de peces extraídos y la producción de tilapia (kg) en los diferentes meses.....	53
Figura 12.	Evolución de los índices calculados: Incremento de Peso Diario por Tanque (IPDT) (g d-1), Ganancia Media Diaria (GMD) (g d-1) e Índice de Transformación (IT) en el SAM1 (arriba) y en el SAM2 (abajo).	55
Figura 13.	Distribución de los encuestados (% sobre el total de respuestas) por sexo y edad.....	58
Figura 14.	Relación entre el objetivo de las instalaciones y las motivaciones para iniciar un proyecto acuapónico. A: Producir alimentos saludables. B: Producir alimentos de mayor calidad. C: Preocupación por el medio ambiente. D: Autonomía. E: Ahorrar dinero en comida o tener algún ingreso. F: Realizar una actividad física moderada y saludable para mí. G: Aprender cosas nuevas. H: Sentirme útil. I: Compartir conocimientos con otras personas. J: Divertirme y relajarme. El % que aparece en las columnas denota el porcentaje de productores que seleccionaron el objetivo y motivación al mismo tiempo.....	61
Figura 15.	Distribución de los participantes por sexo y edad.....	67

Figura 16. Evolución de los nitratos en el agua en comparación con la cantidad de alimento para peces, la biomasa de peces y la cosecha de plantas obtenida en (a) SAM1 y (b) SAM2. La línea roja discontinua indica la fecha en que se retiraron los peces del SAM2..... 79

Índice de Tablas

Tabla 1.	Insumos utilizados durante el año.....	44
Tabla 2.	Media y desviación estándar de la concentración de aniones y cationes en el agua y del oxígeno disuelto en cada sistema (mg L ⁻¹).....	45
Tabla 3.	Caracterización de la producción vegetal en los tres subsistemas (GB: Cama de sustrato; NFT: Técnica de Película de Nutrientes; DWC: Cultivo en Aguas Profundas).....	48
Tabla 4.	Producción de plantas (kg) por especie vegetal en los diferentes meses.....	51
Tabla 5.	Seguimiento y evolución de la tilapia en el SAM1 y SAM2 durante todo el año.....	54
Tabla 6.	Indicadores de crecimiento de la tilapia en SAM1 y SAM2	55
Tabla 7.	Porcentaje de contribución de cada SAM respecto a la dieta mediterránea recomendada (2000 cal/día) para una familia de cuatro miembros. (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015).....	56
Tabla 8.	Porcentaje de contribución de cada SAM respecto a las vitaminas y minerales recomendados para una dieta saludable de una familia de cuatro miembros (United States Department of Agriculture - USDA, 2019) .	57
Tabla 9.	Características sociodemográficas de los participantes. N: número de encuestados; (%): porcentaje sobre el total de respuestas.	58
Tabla 10.	Sistema hidropónico utilizado en función del objetivo de las instalaciones.....	62
Tabla 11.	Producción anual de plantas en relación con el destino de las producciones, el tipo de producción de plantas y el sistema hidropónico utilizado.....	64
Tabla 12.	Nivel académico, ocupación, número de miembros de la familia e ingresos del hogar de los participantes. N: número de encuestados; (%): porcentaje del total de respuestas.....	68
Tabla 13.	Conocimientos previos de los participantes sobre acuaponía según diferentes variables sociodemográficas. N: número de participantes; (%): porcentaje del total de cada respuesta.	70
Tabla 14.	Relación entre la dieta de los encuestados y el tipo de producto acuapónico que estarían dispuestos a comprar.	72
Tabla 15.	Porcentaje de los encuestados que están dispuestos a pagar por un producto acuapónico teniendo en género, edad, nivel académico, ubicación residencial, ingresos familiares mensuales y saber que es la acuaponía. (1) % total de participantes que respondieron que estaban dispuestos a pagar más por productos acuapónicos que por	

productos convencionales. (2) % total de participantes que estaban dispuestos a pagar lo mismo o más.....	74
Tabla 16. Relación entre las motivaciones para tener instalaciones acuapónicas a pequeña escala, las necesidades humanas (adaptadas de Max-Neef (1994)) y la finalidad de las instalaciones.	87

I. Resumen

La acuaponía combina la producción de peces (acuicultura) y de plantas (hidroponía), de forma sostenible y en un marco de economía circular, imitando un ecosistema natural complejo. Aunque las instalaciones acuapónicas llevan más de 50 años desarrollándose y pueden construirse con fines comerciales, la perspectiva del autoconsumo también es importante, debido a su alta proliferación en todo el mundo. Sin embargo, hay escasos conocimientos sobre cómo se lleva a cabo la producción acuapónica a pequeña escala y la presencia de productos acuapónicos en los mercados es todavía muy limitada.

Los objetivos de esta tesis son: 1) Evaluar la producción acuapónica de un policultivo de diferentes hortalizas, hierbas y frutas junto con tilapias, para autoconsumo, durante todo un año, teniendo en cuenta las limitaciones climáticas durante el verano y el invierno, probando dos alternativas para reducir el consumo de energía en épocas frías. 2) Determinar el perfil y las motivaciones de los productores acuapónicos, las características de las instalaciones y el rendimiento de la producción en España y América Latina. 3) Caracterizar las preferencias de los potenciales consumidores y su disposición a pagar precios más altos por los productos acuapónicos en países hispanohablantes.

Esta investigación proporciona una descripción exhaustiva del funcionamiento y manejo de dos Sistemas Acuapónicos de Pequeña Escala (SAPE), autoconstruidos basándose en modificaciones de los propuestos por la FAO. En ellos se produjeron 62 kg de tilapia y 352 kg de 22 verduras y frutas diferentes durante un año, lo que demostró que una instalación acuapónica a pequeña escala puede proporcionar parte de las frutas, verduras y pescado recomendadas para la subsistencia de una familia de cuatro miembros durante todo el año.

En relación al pequeño productor acuapónico medio, el perfil más común es el de un hombre de mediana edad, con cierto nivel de estudios y una renta familiar moderada. Las principales motivaciones para tener una instalación acuapónica fueron la producción de alimentos sanos y de alta calidad, la preocupación por el medio ambiente y la autonomía adquirida. Estas motivaciones condicionaron los fines de las instalaciones acuapónicas (principalmente educativos, para autoconsumo y como afición), que, salvo para pequeñas ventas, no tenían un motivo económico. Por sus características, las

instalaciones acuapónicas están especialmente adaptadas a la agricultura urbana (muchas de ellas estaban ubicadas en azoteas) y la mayoría de las estudiadas eran de reciente construcción. La técnica de la película de nutrientes fue el subsistema hidropónico más utilizado, seguido de los lechos de medios, donde se produce mayoritariamente un policultivo de hortalizas de hoja y de fruta y aromáticas. La tilapia fue la especie de pez más frecuentemente empleada. En general, los productores carecen de conocimientos y experiencia adecuados sobre estos sistemas complejos para poder operarlos de forma eficiente y existe una necesidad generalizada de formación, particularmente en gestión de plagas y enfermedades y mantenimiento de la calidad del agua.

Por último, en cuanto a los consumidores acuapónicos, casi el 60% de los encuestados sabía qué era la acuaponía, y ese conocimiento estaba relacionado con el nivel académico y la preocupación por el medio ambiente. La mayoría de los participantes consideraron la acuaponía como un sistema de producción de alimentos muy interesante. El consumo de productos acuapónicos estaba motivado principalmente por su calidad, sabor y a la ausencia de pesticidas o residuos químicos. En cuanto a la disposición a pagar precios más elevados, se constató una notable influencia de los ingresos del hogar, la preocupación por el medio ambiente y, sobre todo, los conocimientos previos sobre acuaponía. Por lo tanto, sería aconsejable realizar campañas publicitarias que proporcionen información específica sobre este tipo de producción de alimentos para aumentar su grado de aceptación del público en general.

II. Abstract

Aquaponics combines the sustainable production of fish (aquaculture) and plants (hydroponics), within a circular economy context, while simulating a complex natural ecosystem. Although aquaponic installations have been developing for more than 50 years and can be built for commercial purposes, the perspective of self-consumption is also important, due to its high proliferation worldwide. However, there is little knowledge on how it is carried out and the presence of aquaponic products in the markets is still very limited.

The objectives of this thesis are: 1) To evaluate the aquaponic production of a polyculture of different vegetables, herbs and fruits together with tilapias, for self-consumption, during a whole year, taking into account the climatic limitations during summer and winter, and testing two alternatives to reduce energy consumption in cold periods. 2) To determine the profile and motivations of aquaponic producers, the characteristics of their installations and the production yield in Spain and Latin America. 3) To characterize the preferences of potential consumers and their willingness to pay higher prices for aquaponic products in Spanish-speaking countries.

This research provides a comprehensive description of the operation and management of two self-built Small-Scale Aquaponic Systems (SAM), based on FAO models. In them, 62 kg of tilapia and 352 kg of 22 different vegetables and fruits were produced during one year. It was proved that a small-scale aquaponic installation can provide part of fruits, vegetables and fish recommended for the subsistence of a family of four members during a whole year.

In relation to the average small aquaponic producer, the average profile was a middle-aged man, with a certain level of education and a moderate family income. The main motivations for having an aquaponic installation were the production of healthy and high-quality food, the concern for the environment and the autonomy acquired. These motivations conditioned the purposes of the aquaponic installations (mainly educational, for self-consumption and as a hobby). Except in the case of small sales, they did not have an economic motive. Due to their characteristics, aquaponic installations are particularly adapted to urban agriculture (many of them were located on rooftops) and most of those

studied were of recent construction. The nutrient film technique was the most widely used hydroponic subsystem, followed by media beds, where mostly a polyculture of leafy vegetables and fruit and aromatic vegetables was produced. Tilapia was the most used fish species. In general, producers lack adequate knowledge and experience of these complex systems to be able to operate them efficiently. Therefore, there is a need for training, specially in pest and disease management and water quality management.

Finally, regarding aquaponic consumers, almost 60% of the respondents knew what aquaponics was, which was related to their academic level and concern for the environment. Most of the participants considered aquaponics as a very interesting food production system. The consumption of aquaponic products was mainly motivated by their quality, taste and the absence of pesticides or chemical residues. As for the willingness to pay higher prices, there was a notable influence of household income, concern for the environment and, above all, previous knowledge about aquaponics. Therefore, it would be advisable to carry out advertising campaigns providing specific information about this type of food production to increase its degree of acceptance by the general public.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Desde hace años la población humana tiende a concentrarse en los centros urbanos. La ONU estimó que en el año 2018 el 53,3% de los habitantes del mundo ya vivía en una ciudad, y que en 2030 llegaría al 60,4% y al 68,4% en 2050 (United Nations, 2018). En el caso europeo, este porcentaje se eleva al 74,5% en 2018, al 77,5% en 2030 y al 83,7% en 2050. La mayor población humana concentrada en las grandes ciudades también aumenta la demanda de alimentos, lo que a su vez requiere la creación de centros logísticos o grandes mercados para la recepción y distribución de alimentos, así como el transporte de alimentos asociado a las largas cadenas de suministro y a los métodos de agricultura intensiva. Esta organización es necesaria para sostener una alta demanda de alimentos en las ciudades, aunque la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria está llevando a nuevas y complementarias formas de producción local y sostenible de alimentos para abastecer a las grandes ciudades. Están surgiendo cada vez más pequeñas empresas que practican la agricultura ecológica en zonas periurbanas o rurales cercanas a las grandes ciudades venden y distribuyen sus productos directamente a las redes de consumidores, a los pequeños comercios o a las grandes empresas (Dimuro, 2014).

Asimismo, están surgiendo nuevas formas de producción local de alimentos para el uso doméstico o el autoconsumo en las grandes ciudades. Se suelen dar en patios traseros, azoteas o huertos comunales ubicados en suelos públicos cedidos a los vecinos por los Ayuntamientos (Maćkiewicz et al., 19; Nasr et al., 2017). Por ejemplo, en la ciudad de Sevilla (España) existen actualmente 27,5 ha distribuidas en 13 zonas de huertos urbanos ecológicos, donde los alimentos son producidos orgánicamente por las familias (Puente et al., 2016). Esto es especialmente interesante en las zonas más desfavorecidas para personas con bajos recursos. Aunque el volumen de alimentos producidos con métodos agrícolas más sostenibles, a nivel doméstico o por pequeños productores periurbanos, tiene una contribución muy baja a la demanda global de alimentos en las grandes ciudades, existe una demanda creciente debido a la calidad de los productos obtenidos y a la preocupación que surge sobre la sostenibilidad en las zonas urbanas.

1.2. Sistemas hidropónicos: producción de alimentos sin suelo agrícola

La hidroponía es un método de cultivo de plantas utilizando una fuente de agua enriquecida con nutrientes sin el uso de suelo, el cual es reemplazado por otros medios de cultivos inertes (sustratos) que proporcionan soporte para las plantas y la retención de humedad para las raíces desnudas (Somerville et al., 2014) (Figura 1). Durante los últimos años, este tipo de cultivo ha incrementado potencialmente debido al uso eficiente de la cantidad de agua y de fertilizantes (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012), reduce los riesgos de incidencia de plagas y enfermedades que son transmitidas por el suelo, y a condiciones climáticas adversas (Kwon et al., 2021), asimismo, permite controlar la temperatura del agua, la concentración de nutrientes, la conductividad eléctrica, el pH y el oxígeno disuelto (Son et al., 2020).

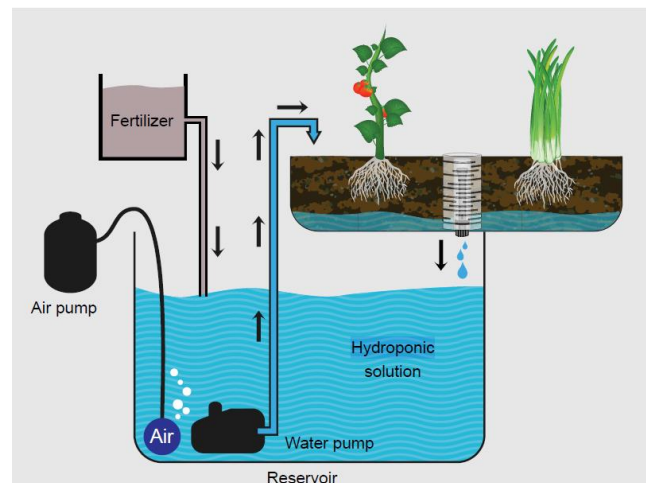


Figura 1. Ejemplo de una unidad hidropónica (Somerville et al., 2014).

Existen dos tipos de sistemas hidropónicos que dependen del ciclado de la solución nutritiva. Los sistemas hidropónicos abiertos tienden a no reutilizar ni reciclar la solución nutritiva, en cambio, los sistemas hidropónicos cerrados sí la reutilizan o la reciclan (Jensen, 1999). Estos últimos tienen la ventaja de ahorrar aproximadamente el 30% del agua respecto a los sistemas abiertos (Kumar y Cho, 2014), asimismo, pueden llegar a ser más rentables, sin embargo, son mucho más sensibles a la salinidad al no renovarse el agua (Lippert, 1993).

1. Introducción

Para que el funcionamiento de un sistema hidropónico sea idóneo, es necesario el uso de concentraciones apropiadas de nutrientes en la composición de la solución nutritiva, la cual depende mucho del tipo de cultivo, la etapa de crecimiento, el medio y las condiciones climáticas. De forma general, la solución nutritiva consta de cationes esenciales (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+) y aniones (sulfato (SO_4^{2-}), nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-})) (Kwon et al., 2021). El nivel de los mismos en la solución nutritiva se mide a través de la conductividad eléctrica, y es un factor influyente en el crecimiento, la calidad y la salud de las plantas (Van Delden et al., 2020). Existen diferentes preparaciones de soluciones nutritivas para los sistemas hidropónicos, que dependen de las necesidades del cultivo. Según Van Delden et al. (2020), las soluciones nutritivas más comúnmente utilizadas son Murashige and Skoog (1962), Hoagland y Arnon (1950), Tocquin et al. (2003), Hermans et al. (2010) y Conn et al. (2013).

La absorción de nutrientes en los cultivos hidropónicos, suele ser proporcional a la concentración de los distintos elementos en la solución nutritiva, pero a su vez, está muy influenciada por varios factores como la oxigenación, temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva (Domingues et al., 2012), teniendo estos dos últimos factores el mayor potencial para influir en el desarrollo de las plantas (Wortman, 2015). Por ejemplo, cuanto mayores sean los valores de pH, más se reduce la absorción de hierro (Alam, 1981), del manganeso soluble (Lindsay, 1972) y del fósforo (Savvas y Manos, 1999). Una forma de mejorar y controlar el pH es añadiendo nitrógeno amónico en la solución nutritiva, que contribuye al proceso de nitrificación y a la liberación de H^+ por la absorción de NH_4 (Savvas y Gizas, 2002). Esto contribuiría a lograr los valores de pH óptimos, entre 5,5 a 6,5, para la mayoría de los cultivos hidropónicos (Sharma et al., 2018). Por otro lado, la CE es un buen indicador de la cantidad de iones disponibles para las plantas. No obstante, valores altos de CE dificultan la absorción de nutrientes al aumentar la presión osmótica, lo que se puede solventar agregando agua pura a la solución. En cambio, valores bajos de CE pueden afectar el desarrollo de la planta, por lo que una forma de aumentar la CE consiste en agregar nutrientes a la solución (Kaewwiset y Yooyativong, 2017). Los valores óptimos de CE en sistemas hidropónicos se encuentran entre 1,5 y 2,5 $dS\ m^{-1}$ (Sharma et al., 2018).

Uno de los inconvenientes que tiene el uso de solución nutritiva es que necesita ser reemplazada periódicamente (Kumar y Cho, 2014). Al desechar soluciones nutritivas sin un tratamiento previo, se puede llegar a contaminar suelos y a eutrofizar cuerpos de

agua, y perjudicar la salud humana, debido a las altas concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Kwon et al., 2021).

1.3. Sistemas acuícolas: producción y cría de especies acuáticas

Los sistemas acuícolas consisten en la cría en cautividad y la producción de especies acuáticas, especialmente de peces, crustáceos, moluscos y algas, bajo condiciones controladas, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y climáticas específicas de su ubicación (Somerville et al., 2014).

En el año 2018, la Unión Europea (UE) alcanzó una producción acuícola (tanto de agua salada como dulce) de 1,32 millones de toneladas que representan un valor monetario de 4.800 millones de euros, teniendo un descenso del 4% en volumen (50.330 toneladas), pero un aumento del 5% en valor (348.000 millones de euros) frente a 2017. Por otro lado, en comparación con hace diez años, la producción ascendió un 3% (cerca de 40.000 toneladas), al mismo tiempo que el valor subió un 36% (1.300 millones de euros). El incremento del valor de la acuicultura durante los últimos años se debió por un lado al aumento de la producción de especies de gran valor (salmón, lubina y atún rojo) y por otro, a la gran subida del precio de algunas especies principales (salmón, lubina, dorada, ostra y almeja). Aumentando el nivel de autoabastecimiento de pescados de agua dulce, pasando del 25% en el año 2009 a un 37% en el año 2018. España ha pasado a ocupar el primer lugar de los estados miembros de la UE con mayor producción acuícola, de las 285.000 toneladas producidas en 2014 a 319.000 toneladas en 2018, y ocupando el tercer lugar con el mayor valor de la producción acuícola, pasando de 472 millones de euros en 2014 a 658 millones de euros en 2018 (European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products - EUMOFA, 2020).

En relación a los pescados de agua dulce, la UE produjo 95.447 toneladas en pesca y 101.500 toneladas en acuicultura en 2018, representando en esta última un 8% menos frente a 2017 y tendiendo a ser una producción baja respecto a otros tipos de producciones acuícolas. Se puede considerar la producción de pescado de agua dulce en acuicultura como deficitaria en la UE ya que en el año 2018 se importaron 261.495 toneladas y se exportaron solamente 4.669 toneladas. El consumo de estos productos provenientes de acuicultura se cifró en 2018 en 358.326 toneladas (frente a 2.852.091 toneladas de pescado de agua salada). Por el contrario, el consumo de pescado de agua dulce

proveniente de la pesca fue menor (171.429 toneladas) (European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products - EUMOFA, 2020).

Esta tendencia general que se observa en la UE de consumir más productos acuícolas cultivados que pesqueros, resalta la importancia de llevar a cabo buenas prácticas de producción acuícola, para evitar algunos efectos nocivos que pueden estar relacionados con la contaminación de aguas subterráneas y superficiales debido al vertido de agua rica en nitrógeno y fósforo (Turcios y Papenbrock, 2014), la propagación de enfermedades y el escape de especies exóticas o invasoras que pueden afectar la biodiversidad autóctona (Boyd, 2003).

1.3.1. Tipos de sistemas acuícolas

Sistemas de acuicultura abiertos

Los sistemas de acuicultura abiertos usan masas de aguas naturales para la producción y cría de especies acuáticas con interés comercial. Las densidades de biomasa suelen ser bajas con el fin de propiciar concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas. Asimismo, los desechos suelen eliminarse mediante procesos naturales, por bacterias y hongos heterótrofos. En especial, los desechos nitrogenados excretados por el animal (amonio), son eliminados o procesados por los componentes quimioautótrofos del ciclo natural del nitrógeno (nitrificación) o asimilados por las algas (Tidwell, 2012).

Generalmente se encuentran ubicados en cuencas hidrográficas, estuarios, lagos y zonas costeras, considerados como recursos hídricos naturales receptores de todo tipo de contaminantes, tanto del suelo como de los ríos, que podrían afectar a las especies que se cultivan (Pahri et al., 2015).

Sistemas de Acuicultura Recirculante (RAS)

Los sistemas de acuicultura recirculante (RAS en sus siglas en inglés) se caracterizan por la cría de peces en zonas interiores, utilizando tanques con un ambiente controlado, donde se purifica el agua mediante la eliminación de los desechos metabólicos (filtración) (Ahmed and Turchini, 2021). Asimismo, muchas veces se lleva a cabo la desinfección a través de radiación ultravioleta (UV) u ozono con el fin de reducir organismos patógenos (Tidwell, 2012) y el agua pasa por un filtro biológico, antes de recircular nuevamente por el sistema. Es por ello, que tiene un menor consumo de agua, mejora la gestión de los desechos y recicla los nutrientes (Martins et al., 2010),

destacándose por su sostenibilidad ambiental y su adaptabilidad al cambio climático (Ahmed and Turchini, 2021).

Estos sistemas tienen la ventaja de permitir simular y regular las condiciones ambientales (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, fotoperiodo, nitratos, alcalinidad) a niveles óptimos para la producción acuícola (Tinker-Kulberg et al., 2020). Es así como se consideran instalaciones ideales en zonas con latitudes altas, vulnerables a períodos prolongados de bajas temperaturas y que desafían muchas veces este tipo de producción (Dalsgaard et al., 2013). Adicionalmente, ofrecen la posibilidad de producir de una amplia gama de productos en las proximidades de mercados, que contribuye a una producción local (evitándose el transporte de largas distancias y las importaciones de alimentos) (Martins et al., 2010).

A pesar de las ventajas que ofrece la producción de peces a través de RAS, aún no se ha practicado ampliamente debido a importantes limitaciones tecnológicas y económicas respecto a la acuicultura convencional, ya que necesitan de una alta inversión inicial para instalar y operar equipos sofisticados (reguladores de temperatura del agua, unidades de filtración y esterilización) (Ahmed and Turchini, 2021). Algunos de los retos que tiene que afrontar esta tecnología están relacionados con los sólidos finos que son difíciles de retirar del agua y que pueden llegar a afectar el proceso de nitrificación. Otro reto está relacionado con la eficiencia y la rentabilidad al momento de eliminar fosfatos (Martins et al., 2010).

1.4. Acuaponía: Integración de la hidroponía con la acuicultura

La acuaponía es un sistema biointegrado dependiente de la actividad microbiana que combina la acuicultura con la hidroponía (Goddek et al., 2015). Por ello, cuenta con dos circuitos interconectados, el sistema hidropónico y el de acuicultura (Kamauddin et al., 2019). Se considera un modelo de producción sostenible, ya que la acumulación de alimento no consumido y las heces de los peces (compuestos nitrogenados) son transformados, a través de actividad microbiana, en nutrientes minerales que son utilizados por las plantas (Somerville et al., 2014), mejorándose así la calidad del agua que regresa nuevamente a los peces (Hasan et al., 2017) (Figura 2). Se evita de esta forma el vertido de aguas contaminadas al medio ambiente y el elevado consumo de agua de reposición



Figura 2. Organismos presentes en una unidad acuapónica. Cultivo de plantas, cría de peces y colonia de bacterias.

De este modo, se considera que la acuaponía sigue los principios de la economía circular, ya que se comporta como un sistema natural de regeneración donde los “outputs” no son considerados y dispuestos como residuos, sino como materia prima para otros procesos (Aleksić y Šušteršič, 2020).

Esa transformación de desechos a nutrientes ocurre a través de la nitrificación, en la que el amoníaco excretado por los peces se oxida inicialmente a nitrito y, finalmente, a nitrato, debido a la acción de bacterias nitrificantes. De esta forma, se evita tener elevadas concentraciones de nitratos en el agua que pueden resultar tóxicas para los peces, ya que las plantas los toman del agua para utilizarlos como nutrientes para su crecimiento (Kasozi et al., 2020).

Los niveles naturales de fósforo en la mayoría de los suelos no son suficientes para mantener la producción agrícola convencional a largo plazo, siendo necesario el uso de insumos adicionales (fertilizantes químicos o estiércol), que se traduce a un gasto económico (Kvakić et al., 2018). Por lo que, las heces de los peces se pueden considerar una fuente orgánica de fósforo, carbono y nitrógeno (Nozzi et al., 2018), las principales limitantes del crecimiento de los cultivos (Hossain et al., 2010). Aun así, la solución acuapónica suele ser deficiente en hierro y potasio, por lo que deben añadirse como quelatos de hierro e hidróxido de potasio (Roosta y Hamidpour, 2011), ya que no están presentes en la mayoría de los alimentos para peces (Wortman, 2015). En relación al pH óptimo, ronda los valores de 7,0, que asegura la actividad bacteriana (transformación del amoníaco en nitrito y luego en nitrato) y la absorción de los nutrientes por las plantas (Tyson et al., 2004). Por otro lado, la conductividad eléctrica (CE) óptima oscila entre 0.3

y 1.1 dS m^{-1} (Wortman, 2015), que asegura la eficiencia de absorción de ciertos elementos esenciales por parte de las plantas.

Se considera que la acuaponía es capaz de producir más que un sistema de cultivo convencional y utiliza menos cantidad de agua dulce que una instalación de acuicultura convencional, por lo que puede contemplarse como una posible solución sostenible a las deficiencias de la producción pesquera y agrícola (Oladimeji et al., 2020).

Por otro lado, algunos estudios identifican una acción protectora natural de los efluentes acuícolas o acuapónicos contra los patógenos de las plantas, debido a que la presencia de materia orgánica disuelta o en suspensión (restos de comida y heces de los peces) y a que los residuos vegetales, pueden llegar a modular un ambiente favorable para que microorganismos antagonistas o compuestos inhibidores pueden abatir a los patógenos (Gravel et al., 2015; Sirakov et al., 2016; Stouvenakers et al., 2019)

Los sistemas acuapónicos domésticos son una opción cuando se trata de producir alimentos para el autoconsumo (Pineda-Pineda et al., 2018), contribuyendo en la mejora de la seguridad y la autosuficiencia alimentaria, que en ciudades como Sidney (Australia) podría alcanzar el 15% (Mcdougall et al., 2020). Tienen la capacidad de adaptarse a ser una forma de cultivo periurbano e interior para producir diversas hortalizas, como las de hoja verde, que se consideran parte de una dieta más equilibrada y saludable (Spence, 2020). De tal modo, los sistemas de producción acuapónicos pueden situarse en terrenos no cultivables cercanos a los mercados, acortando así la cadena de suministro y reduciendo la huella de carbono asociada a las explotaciones rurales y al transporte de los productos a los mercados de las ciudades (Joyce et al., 2019). Asimismo, podría convertirse en un sistema agrícola integrado que juega un papel crucial en las futuras llamadas "Smart cities", especialmente desde la perspectiva ambiental, socioeconómica y sostenible, ya que emplea sistemas innovadores para proporcionar, a través de cadenas de suministro cortas, alimentos frescos (dos Santos, 2016).

Sin embargo, dados los requisitos de terreno de estas instalaciones, ubicarlas en zonas urbanas no es fácilmente accesible debido a los costes de construcción y al precio del suelo. En estas situaciones, la agricultura vertical es una solución de ingeniería para mantener o aumentar la producción de alimentos utilizando menos superficie de suelo y extendiendo la producción a la dimensión vertical (Pinstrup-Andersen, 2018; Touliatos et al., 2016). El uso de los efluentes de la acuicultura en los sistemas acuapónicos también

contribuye a un mayor impacto positivo en el medio ambiente, al convertir el material de desecho en un insumo fertilizante para otro, en un marco de economía circular. La reutilización de los productos de desecho debe incluirse en la evaluación de los gases de efecto invernadero asociados no sólo a la producción de alimentos en las ciudades, sino también al transporte de alimentos desde las explotaciones. En este sentido, los estudios realizados por (Lee et al., 2015) estimaron que en la ciudad de Seúl se podrían reducir las emisiones de CO₂ en 11,67 millones de kg año⁻¹, el equivalente a la cantidad de CO₂ absorbida anualmente por un bosque de pinos de 20 km².

Debido al seguimiento y control constante que requiere la producción acuapónica, la mayoría de las instalaciones son de pequeña escala con fines educativos o de investigación, siendo las instalaciones comerciales muy escasas (Love et al., 2015a). Aunque no existen censos oficiales por países de instalaciones de acuaponía para uso doméstico o autoconsumo (la llamada "acuaponía de traspatio"), parece ser una práctica extendida (Villaruel et al., 2016). Sin embargo, es muy difícil encontrar datos cuantitativos sobre la producción de peces y vegetales en estos sistemas, o si se encuentran, no parecen haber sido evaluados con un procedimiento científico. Una de las características que dificultan la evaluación de los sistemas acuapónicos domésticos es que son muy heterogéneos, con una variedad de diseños adaptados a las diferentes condiciones socioeconómicas y climáticas, utilizando también diferentes especies de peces y policultivos de diferentes vegetales.

1.4.1. Clasificación de los sistemas acuapónicos

1.4.1.1. Según su función u objetivos

Existen sistemas acuapónicos para autoconsumo, que consisten en la producción de alimentos para la subsistencia, consumo propio y uso doméstico (Lobillo-Eguíbar et al., 2020). Los sistemas que tienen fines educativos, permiten a los estudiantes comprender de manera práctica ciclos de la naturaleza, las interacciones entre diferentes subsistemas, así como la importancia del reciclaje y de la producción de alimentos de forma sostenible, minimizando su impacto en el medio ambiente (Maucieri et al., 2018). Los sistemas acuapónicos comerciales, se caracterizan por producir alimentos a gran escala en búsqueda de una rentabilidad, la mayoría desarrollan prácticas de monocultivo (lechuga o albahaca). Sin embargo, debido a la elevada inversión inicial y a la escasa

experiencia a esta escala, este tipo de sistemas son escasos (Somerville et al., 2014). Por otro lado, la mayoría de los sistemas acuapónicos tienen fines de entretenimiento o pasatiempo, en los cuales las personas disfrutan produciendo alimentos en casa, sin invertir mucho dinero (Blanchard, 2019). Varios institutos académicos de los Estados Unidos, Europa y Asia han construido sistemas acuapónicos con fines investigativos, que buscan entender y solventar los retos que acarrea la producción acuapónica (Somerville et al., 2014).

1.4.1.2. Según sus dimensiones

Las instalaciones comerciales suelen ser sistemas más grandes, ya que se ha descrito una relación positiva entre el tamaño y la rentabilidad (Tokunaga et al., 2015). Los sistemas acuapónicos más pequeños son comunes cuando el objetivo no es comercial. La categorización de las pequeñas instalaciones acuapónicas es algo variable, algunos autores como Somerville et al. (2014) consideran de pequeña escala sistemas acuapónicos con un tamaño de tanque de 1000 L y un espacio de crecimiento de unos 3 m². Por otro lado, Maucieri et al. (2018) consideran instalaciones pequeñas aquellas entre 50-200 m², muy pequeñas entre 5-50 m² y microsistemas < 5 m², mientras que otros definen como Sistemas Acuapónicos de Pequeña Escala (SAPE) aquellos con una superficie total cubierta inferior a 20 m² (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

1.4.1.3. Según el acoplamiento de los sistemas hidropónico y acuícola

Los sistemas acuapónicos acoplados se caracterizan por mantener un flujo de nutrientes constante entre las unidades de acuicultura e hidropónicas (Palm et al., 2019). El agua proveniente de los tanques de peces es recirculada por el subsistema hidropónico y luego es devuelta de nuevo a los tanques, al mismo tiempo, que los lodos ricos en nutrientes se extraen del sistema (Goddek et al., 2019). Por tal motivo, la calidad del agua es la misma tanto para los peces como para las plantas, lo que condiciona la producción óptima de cada unidad (Love et al., 2015a), ya que la adición de fertilizantes en situaciones de desequilibrio de nutrientes no es una opción viable, al poder ser tóxicos para los peces (Monsees et al., 2017).

Por otro lado, los sistemas acuapónicos desacoplados tienen los circuitos de agua y de nutrientes de la unidad de acuicultura y de hidroponía aislados (Goddek et al., 2019), por lo que el agua recircula dentro de cada unidad respectivamente, RAS o hidroponía. El agua que se utiliza en el subsistema hidropónico proviene del de acuicultura, pero luego

no retorna a él como ocurre en los acoplados. Este sistema desacoplado permite un mejor control de los parámetros del agua para cumplir los requisitos específicos de cada especie, de plantas y de peces, de forma independiente, permitiéndose el uso de fertilizantes en los subsistemas hidropónicos que sumados con los nutrientes aportados por los peces, optimizan las demandas específicas de las plantas (Kloas et al., 2015). Es así, como en este tipo de sistemas, el rendimiento vegetal puede ser considerablemente mayor respecto a los acoplados, al regularse el pH y la dinámica de nutrientes por separado, salvaguardando el bienestar de los peces (Monsees et al., 2017).

Existen dos diseños de sistemas desacoplados: el de dos bucles y el multibucle. El primero se caracteriza por emplear la mineralización de los lodos (heces de los peces), extrayendo a partir de ellos los nutrientes para proporcionárselos a las plantas en forma soluble. Sin embargo, uno de los inconvenientes de este diseño es que los nutrientes tienden a acumularse en los sistemas RAS, de tal modo, es necesario suministrar nutrientes al circuito hidropónico y, asimismo, requiere un recambio de agua periódico, debido a niveles críticos de nutrientes que pueden llegar a afectar la calidad del agua de los peces.

Como solución, surgió el diseño del sistema desacoplado multibucle, que puede hacer uso de la mineralización y movilización eficiente de nutrientes, a través de un reactor anaeróbico que, a su vez, reduce el vertido de aguas residuales, o la otra opción es a través de la destilación/desalinización térmica que concentra la solución de nutrientes en la unidad hidropónica para mejorar la recuperación y el suministro de nutrientes, reduciendo la necesidad de fertilizantes adicionales. Aun así, es preciso abordar varios problemas de este diseño, relacionados con el escalamiento del sistema, la optimización de los parámetros y las opciones tecnológicas para diferentes escenarios regionales (Goddek et al., 2019).

1.4.1.4. Según el sistema hidropónico utilizado

Los sistemas hidropónicos se caracterizan por ser muy versátiles, lo que contribuye a que se pueda optimizar el crecimiento de las plantas, teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo. Suelen usarse especies de plantas de porte pequeño (no leñosas), como lo pueden ser las verduras de hoja, tomates, pepinos, pimientos y fresas (Sharma et al., 2018).

Existe una amplia variedad de modelos para los sistemas hidropónicos usados en acuaponía, que muchas veces sufren modificaciones que se adaptan a los requerimientos del cultivo de las plantas y de los peces, de las condiciones climáticas de la zona, de la naturaleza del agua, entre otras variables.

- **Cama de sustrato (Media Bed Technique)**

Este modelo es el más popular para la acuaponía a pequeña escala, debido a que su diseño es el más sencillo de llevar a cabo y su coste inicial es relativamente bajo. Cuenta con un medio de cultivo que tiene como función sostener las raíces y actúa a la vez como filtro mecánico, para las partículas en suspensión, y biológico (Figura 3A) (Somerville et al., 2014). Asimismo, están diseñados para inundar y drenar al medio, permitiendo condiciones aeróbicas y un hábitat de gran superficie para bacterias beneficiosas importantes para el proceso de nitrificación (Kasozi et al., 2020).

Algunos de los medios ideales para la unidad hidropónica son la grava volcánica (toba), la caliza, arlita, arena y perlita (Oladimeji et al., 2020; Somerville et al., 2014). Sin embargo, algunos de estos medios no están disponibles a nivel local, por lo que su precio suele ser elevado. Según Kamauddin et al., (2019) se han identificado varios materiales baratos, viables y fácilmente de conseguir a nivel local, como lo son la fibra de coco y la cáscara de arroz. Asimismo, la turba de Sphagnum y las cáscaras del grano de la palma de aceite son subproductos no comestibles, originados en las industrias de la agricultura (Oladimeji et al., 2020), y pueden tener un uso alternativo como medio de cultivo en la acuaponía, contribuyéndose de esta forma el ideal de economía circular de este sistema, al aprovecharse un desecho como materia prima.

- **Técnica de la Película Nutritiva (NFT)**

Es un método que utiliza canales horizontales, cada uno de ellos con una corriente poco profunda de agua con nutrientes (aportada por los peces). Las plantas se colocan dentro de agujeros en la parte superior de los tubos, donde parte de las raíces desnudas se encuentran sumergidas en una fina película de agua (Figura 3B) (Somerville et al., 2014), que proporciona nutrientes y oxigenando constantemente.

Se caracteriza por el ahorro económico y la sencillez para su construcción y mantenimiento. Asimismo, el peso de las instalaciones es sustancialmente menor y requiere de volúmenes de agua más bajos respecto a otros diseños, por lo que suele ser el

1. Introducción

más utilizado y mejor comprendido en la acuaponía. Además, la ligereza de estos sistemas permitiría su disposición a varias alturas, maximizando la producción por unidad de superficie. A pesar de estas ventajas, aún no ha recibido mucha atención (Lennard and Leonard, 2006).

Como desventajas, los sistemas NFT necesitan un suministro eléctrico constante para que su funcionamiento sea el óptimo (Zaini et al., 2018). Igualmente, las raíces son más susceptibles de sufrir infecciones fúngicas debido a que se encuentran sumergidas en una solución recirculante (Lee and Lee, 2015).

- **Técnica de cultivo en aguas profundas (Deep Water Culture, DWC)**

En los sistemas de DWC, también llamados de cama flotante, las plantas se encuentran en soportes flotantes o colgantes (balsas, paneles, tablas) en depósitos con solución nutritiva (Figura 3C) (Maucieri et al., 2019). Generalmente el agua cuenta con más de 5 cm de profundidad en circulación (Yep and Zheng, 2019). El oxígeno se considera un factor condicionante en el rendimiento de estos sistemas porque al encontrarse las raíces de las plantas sumergidas en agua se limita considerablemente la aireación (Yang and Kim, 2020). Este método es el más común para la acuaponía comercial de gran tamaño de cultivo específico (verduras de hoja) (Somerville et al., 2014). Entre las ventajas de este sistema está el bajo uso de fertilizantes, con una menor necesidad de mantenimiento y monitoreo (Saaid et al., 2013).

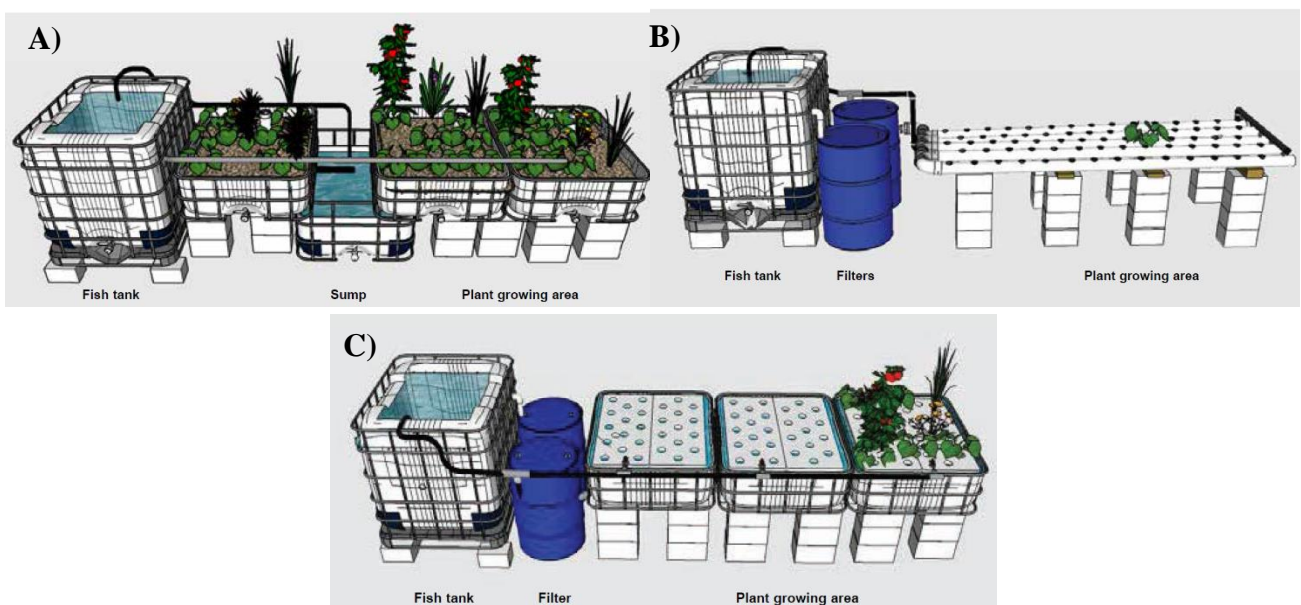


Figura 3. Tipo de sistemas hidropónicos para acuaponía. A) Técnica de cama de cultivo (Media Bed). B) NFT. C) DWC. (Somerville et al., 2014).

1.4.2. Estado del arte de la acuaponía

- Comparación de la producción entre sistemas hidropónicos y acuapónicos.

Existen varios estudios que comparan la producción de sistemas hidropónicos y acuapónicos. Por ejemplo, Pantanella et al. (2012) compararon los rendimientos estivales de cultivos de lechuga romana (*Lactuca sativa* L. 'Integral') en dos ensayos. Cada ensayo constaba de un sistema hidropónico y dos sistemas acuapónicos con diferentes densidades de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). Se obtuvo una producción similar entre el sistema hidropónico y el sistema acuapónico de alta densidad de peces, pero en comparación con el sistema de baja densidad tuvo una mayor producción. En el segundo ensayo no se observaron diferencias entre la producción del sistema hidropónico y los dos sistemas acuapónicos (de alta y baja densidad). Otros estudios, destacan sobre todo la producción hortícola, sin tener en cuenta a los peces. Por ejemplo, Suhl et al. (2016) encontraron que durante una producción anual de tomate los rendimientos fueron similares entre los sistemas hidropónicos y acuapónicos, pero el uso de fertilizantes y de agua fue menor en estos últimos. Por otro lado, Wilson et al. (2017) reportaron que el crecimiento de la albahaca en sistemas de cultivo hidropónicos y acuapónicos fue diferente, teniendo un menor rendimiento las plantas cultivadas en estos últimos.

- Comparación de diferentes sistemas hidropónicos en instalaciones acuapónicas

Lennard y Leonard (2006) utilizaron bacalao Murray, *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell) y lechuga para probar diferencias entre tres subsistemas hidropónicos (cama de grava, cama flotante y NFT). Encontraron que los subsistemas NFT fueron menos eficientes en la acumulación neta de nutrientes en el conjunto del sistema y en el crecimiento de las plantas que los subsistemas flotantes o de cama de grava. Geisenhoff et al. (2016) evaluaron el efecto de dos sustratos (piedra triturada número 3 - CS III y espuma flexible de poliuretano - FPF) en la producción de lechuga acuapónica con la producción intensiva de tilapia. Encontraron que el tratamiento en el que se utilizó FPF presenta las condiciones más adecuadas como sustrato en un sistema acuapónico. Schmutz et al. (2016) compararon el rendimiento de tomate en tres sistemas hidropónicos diferentes (técnica de película de nutrientes, sistema de riego por goteo y

cultivo en balsa flotante). Encontraron que la elección del sistema de cultivo tuvo poca influencia en el contenido de minerales en los tomates y que la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) fue ligeramente mayor en los tomates del sistema acuapónico respecto a los producidos en cultivo tradicional, debido a que parece ser menos estresante para las plantas, favoreciendo la producción de tomates de alta calidad. Pérez-Urrestarazu et al. (2019) compararon la producción de lechuga y carpines, así como el consumo de agua entre tres sistemas acuapónicos basados en modelos modificados de la FAO con diferentes subsistemas hidropónicos (NFT, DWC y fieltro vertical). Reportaron que el subsistema hidropónico NFT obtuvo mejores resultados en la producción de cultivos y en menor consumo de agua. Todos los sistemas mostraron resultados similares en la producción de pescado.

- Balance de nutrientes en sistemas acuapónicos

Cerozi y Fitzsimmons, (2017) desarrollaron un modelo de dinámica de fósforo dentro de un sistema acuapónico con lechugas y tilapias, para determinar las tasas de alimentación adecuadas de los peces para soportar un número deseado de plantas cultivadas en acuaponía. Encontraron que el 71,7% del aporte total de fósforo fue en forma de alimento, siendo asimilado un 42,3% por los peces y un 29,4% por las plantas. Confirmaron de este modo que la acuaponía es una técnica excelente para reciclar fósforo, mientras se obtiene un cultivo de alta calidad. Por otro lado, Delaide et al. (2017), a través de un sistema acuapónico a pequeña escala con producción de lechuga, albahaca y tilapia, encontraron, en relación al balance de macronutrientes, que casi todo el nitrógeno, fósforo y potasio se introdujo en el sistema a partir de la alimentación de los peces, mientras que más del 75% de calcio, magnesio y azufre fue introducido por el agua del grifo. En cuanto al balance de micronutrientes, casi todo el hierro, zinc y manganeso se introdujo por la alimentación, y el 75% de sodio, el 50% de boro y el 30% de cobre por el agua del grifo. Afirmaron que los nutrientes presentes en el agua del grifo tienen la ventaja de encontrarse disponibles para las plantas, respecto a los piensos, por lo que podría ser una alternativa viable para introducir algunos nutrientes siempre y cuando su calidad sea adecuada.

Otros estudios, como el de Zou et al. (2016a) investigaron las transformaciones de nitrógeno en sistemas acuapónicos a escala de laboratorio con carpa común (*Cyprinus carpio*) y pakchoi (*Brassica chinensis*), durante el verano y el otoño en el norte de China.

Encontraron un mejor rendimiento de producción en verano, sin embargo, la variación estacional tuvo poco efecto en la eficiencia del uso de nitrógeno (EUN), siendo un 43,8% en verano y un 44,6% en otoño. Se observó un fenómeno similar en la emisión de N₂O, teniendo una tasa de conversión de 1,6% en verano y un 1,3% en otoño. Estos resultados se deben a que las altas temperaturas aceleraron la tasa de nitrificación, siendo necesario compensar con mayor número de plantas en el sistema o el uso de plantas más eficientes en la absorción del nitrógeno. Asimismo, otro estudio con estas mismas especies, carpa común y pakchoi, se enfocaron sobre el efecto del pH en las transformaciones del nitrógeno (Zou et al., 2016b). Encontraron una EUN de 50,9% a un pH de 6,0, seguido de 47,3% a un pH de 7,5 y de 44,7% a un pH de 9,0, debido a que un ambiente ácido inhibe la nitrificación. Por ello, sugieren que la producción acuapónica se mantenga con un pH de 6,0 para una mayor EUN.

- Estudios microbiológicos relacionados con los sistemas acuapónicos.

Schmautz et al. (2017) investigaron sobre la biodiversidad microbiana en los diferentes compartimientos de un sistema acuapónico, encontraron que las heces de los peces contenían una comunidad separada dominada por bacterias del género *Cetobacterium*, mientras que las muestras de raíces de plantas, biofiltro y perifiton eran más similares entre sí y más diversas. Asimismo, se observó, que otros organismos nitrificantes distintos a los del género *Nitrospirae* estaban presentes en cantidades bajas, mientras que los del género *Nitrospirae* dominaban y realizaban el proceso de nitrificación en la biopelícula. Por otro lado, Munguia-Fragozo et al. (2015), destacan la importancia de los enfoques “ómicos” como la metagenómica y la metatranscriptómica en los estudios relacionados con la diversidad microbiana en los biosistemas acuapónicos, con el fin de aumentar el conocimiento del papel ecológico y la funcionalidad de los componentes microbianos en estos sistemas de producción.

Algunos otros estudios están enfocados en relación con enfermedades que se pueden transferir a través del agua, que pueden llegar a afectar a los peces, como es el caso de Chitmanat et al. (2015), que examinaron las bacterias en tanques de bagre y cuantificaron la prevalencia de *Aeromonas hydrophila*, un patógeno bacteriano de peces,. Así mismo, otras enfermedades pueden llegar a afectar la producción de plantas. Por ejemplo, Stouvenakers et al. (2019) determinaron que los patógenos transmitidos por el suelo, como *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp. y *Pythium* spp. son los más problemáticos

debido a su preferencia a condiciones ambientales húmedas, por lo que es importante profundizar aún más en la capacidad supresora de enfermedades del biotopo acuapónico, teniendo en cuenta además el aislamiento, caracterización y formulación de antagonistas microbianos de patógenos de plantas.

- Viabilidad y rentabilidad de la producción acuapónica

Goddek et al. (2015) identificaron y analizaron los desafíos que subyacen a los factores socioeconómicos, técnicos y ecológicos en el desarrollo comercial de sistemas acuapónicos sostenibles: recuperación de nutrientes para una reducción en la adición de minerales, manejo adaptado de plagas, reducción del consumo de agua, uso de fuentes de energía alternativas, y el uso de métodos innovadores de estabilización del pH. Una revisión bibliográfica sistemática realizada por Greenfeld et al. (2019), determinaron que a pesar de los puntos de vista contradictorios sobre la rentabilidad de los sistemas acuapónicos, existe un consenso de que los sistemas más grandes son económicamente superiores a los más pequeños, que la rentabilidad es sensible a los precios minoristas y las instalaciones comerciales son más rentables a través de planes de negocios mejorados. Asimismo, resaltaron que los aspectos poco estudiados en la acuaponía comercial incluyen las consideraciones de los productores (planificación financiera y gestión de riesgos), la percepción del consumidor de los productos acuapónicos (disposición a pagar más por su valor agregado), y el valor económico de los beneficios ambientales de los sistemas acuapónicos y las formas de internalizarlos con fines de lucro, teniendo en cuenta siempre la mejora continua de los sistemas de producción.

Joly et al. (2015) resaltan que la falta de una legislación específica y armonizada para la acuaponía (en general y en entornos urbanos) dificulta que los empresarios formulen un plan de negocios. Por esta razón, a través de un grupo de trabajo especializado de la acción COST (Cooperation in Science and Technology) FA1305 "Aquaponics Hub", reunieron información sobre el impacto percibido de la legislación actual sobre las posibilidades empresariales para desarrollar la acuaponía comercial, en relación a tres cuestiones principales: contradicciones administrativas, medio ambiente y seguridad en el producto. A pesar de ello, cabe destacar que algunos países europeos han desarrollado soluciones para crear instalaciones de acuaponía.

1.4.3. Brechas de la acuaponía de pequeña escala por solventar

Los sistemas acuapónicos, además de utilizarse con fines comerciales, están desarrollando un gran potencial para el autoconsumo familiar por medio de sistemas a pequeña escala, que a su vez tiene la facilidad de adaptarse a espacios limitados para la producción de alimentos, como lo pueden ser las zonas urbanas (Pérez-Urrestarazu et al., 2019). Sin embargo, la mayoría de los estudios de sistemas de pequeña escala se han centrado en la producción de monocultivos de plantas o con poca variedad de especies de forma simultánea, como es el caso de Delaide et al. (2017), que evaluaron el rendimiento de la producción de plantas, cultivando lechuga y albahaca junto a tilapia. Asimismo, Maucieri et al. (2017) investigaron sobre el rendimiento y la calidad de un cultivo intercalado entre lechuga y achicoria roja junto a pangasius. Stathopoulou et al. (2018), evaluaron la producción de albahaca junto a tilapia. Es así, como surge la necesidad de generar estudios relacionados con un policultivo de plantas en sistemas de pequeña escala, con el fin de identificar si son capaces de cumplir con las necesidades de dieta saludable para una familia, y si a su vez son rentables para el autoconsumo.

Por otro lado, no existe información específica en relación a pequeños productores acuapónicos, con el fin de identificar las motivaciones que han tenido para iniciar este tipo de proyecto, los tipos de sistemas productivos, los principales problemas que han tenido y las características sociodemográficas de dichos productores.

Para poder identificar la viabilidad general de la producción acuapónica, además de tener en cuenta la preocupación de los productores, es determinante reconocer las percepciones de los consumidores y su disposición a pagar por productos acuapónicos. Existen algunos estudios relacionados con la percepción de consumidores de productos acuapónicos (Greenfeld et al., 2020; Short et al., 2017; Tamin et al., 2015), sin embargo hay poca información en relación a España y países latinoamericanos.

Es así, como en esta tesis se abordan estos tres aspectos: producción de un policultivo acuapónico para autoconsumo, la caracterización de pequeños productores y la percepción de consumidores potenciales de productos acuapónicos en España y Latinoamérica.

- **Producción de policultivo acuapónico de hortalizas para autoconsumo**

Los sistemas acuapónicos actuales en Europa producen principalmente tilapia, hierbas aromáticas y hortalizas (Pérez-Urrestarazu et al., 2019; Villarroel et al., 2016). En la mayoría de los casos, especialmente en los sistemas comerciales a gran escala, solo se produce un cultivo vegetal y una especie de pez simultáneamente. Sin embargo, la producción de una variedad de cultivos (policultivos o cultivos intercalados) es más común en los sistemas de pequeña escala, especialmente cuando se destinan al autoconsumo. Los cultivos intercalados, en los cuales se disponen varias plantas intercaladas entre sí por especie, tienen el potencial de permitir mayores rendimientos sin el uso de mayores insumos dentro de los sistemas acuapónicos. Esto se puede aprovechar para intensificar la producción, manteniendo la sostenibilidad dentro del sistema (Brooker et al., 2015). Asimismo, evita la competencia intra o interespecífica, promoviendo el crecimiento y la supervivencia de las plantas vecinas (Hauggaard-Nielsen y Jensen, 2005). Sin embargo, existen pocos trabajos de investigación relacionados con los sistemas acuapónicos de policultivo y los existentes incluyen un bajo número de especies cultivadas (Maucieri et al., 2017; Roy et al., 2013). No hay ningún estudio que evalúe el uso de un elevado número de especies vegetales producidas en sistemas acuapónicos destinados al autoconsumo, ni que evalúen su capacidad para satisfacer las necesidades alimentarias de una familia para lograr una dieta saludable.

Por otro lado, la rentabilidad de un sistema acuapónico, se encuentra ligada a los insumos necesarios para un óptimo funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones acuapónicas (Hao et al., 2020), como lo puede ser el gasto energético. En este sentido, la implantación de un sistema acuapónico en lugares que cuentan con bajas temperaturas constituye un reto si se utilizan especies de peces no adaptadas a estas condiciones (como la tilapia). Esto conlleva a un consumo excesivo de energía, que a menudo representa uno de los principales costes en la producción acuapónica (Ghamkhar et al., 2020; Maucieri et al., 2018). Se considera que el calentamiento de agua consume la mayor cantidad de electricidad (65.8%) respecto a todos los equipos eléctricos utilizados en el sistema (Love et al., 2015b). Por esta razón es importante desarrollar estrategias para evitar dichos altos costes energéticos, que pueden estar relacionadas con la adaptación de los sistemas acuapónicos propuestos por la FAO, la incorporación de otras tecnologías para la obtención de energía sostenible o la elección adecuada de especies de plantas y vegetales

teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la explotación (estacionalidad climática) (Somerville et al., 2014).

- **Caracterización de pequeños productores acuapónicos**

Aunque la producción acuapónica doméstica, considerada también de pequeña escala, ha proliferado en diferentes partes del mundo, no se encuentran censos oficiales fiables de las existentes. Sin embargo, existe una gran variedad de foros y grupos sobre acuaponía a pequeña escala a través de las redes sociales que parecen mostrar la expansión de este tipo de acuaponía. Estos foros han contribuido decisivamente a ampliar y compartir los conocimientos sobre acuaponía (Somerville et al., 2014). En España, por ejemplo, la red ACUASF (<http://acuaponiasinfronteras.org/>) agrupa a casi 200 productores familiares de acuaponía. En el caso de América Latina, existen asociaciones como la “Asociación de Acuaponía en Colombia” (<https://www.adacol.org/>) o grupos en redes sociales como “Acuaponía e Hidroponía Latinoamérica” (www.facebook.com/groups/1618976174981253), “Acuaponía, alimentación saludable y soberanía alimentaria” (www.facebook.com/groups/403903370437106), etc.

Las técnicas y sistemas de producción acuapónica a pequeña escala son muy variados y aún no se conocen bien. Por ello, la caracterización de este tipo de producción es interesante para evaluar su potencial y definir estrategias para su desarrollo. En este sentido, también es importante conocer las motivaciones para iniciar este tipo de producción. Existen algunos estudios basados en cuestionarios dirigidos a productores acuapónicos. Love et al. (2014, 2015) documentaron los métodos de producción, las experiencias, las motivaciones y los datos demográficos de los practicantes de la acuaponía a través de una encuesta en línea distribuida principalmente en Estados Unidos y Australia. La gran mayoría de los participantes fueron productores comerciales, ya que uno de los principales enfoques de dichos estudios era determinar la rentabilidad de la acuaponía comercial.

Villarroel et al. (2016) evaluaron el estado de los productores e instalaciones acuapónicas en Europa mediante 68 cuestionarios en línea. Sin embargo, en este estudio los participantes españoles solo representaban el 5% del total de participantes. Turnsek et al. (2020) realizaron dos encuestas para cuantificar la experiencia y las expectativas de los empresarios de la acuaponía y para evaluar la comercialización de la acuaponía en Europa (en general) y en Francia (en particular), obteniendo 60 y 43 encuestados,

respectivamente. Mchunu et al. (2018) obtuvieron 44 respuestas a un cuestionario destinado a recoger información sobre los tipos de sistemas utilizados, la gestión y la distribución de la acuaponía en Sudáfrica. Sin embargo, no existen estudios de esta índole dirigidos específicamente a la acuaponía de pequeña escala enfocados específicamente a países de habla hispana. Cabe desatacar, que llegar a caracterizar este tipo de población y sus instalaciones, permitiría identificar el peso que tienen o podrían tener la producción de alimentos acuapónicos de proximidad (recorridos cortos para distribución), proponer sistemas productivos más adecuados, detectar deficiencias formativas o caracterizar los principales problemas en plantas y animales en las explotaciones.

- **Potenciales consumidores de productos acuapónicos**

La sostenibilidad económica de los sistemas acuapónicos aún no está del todo clara, debido a diferentes factores como las condiciones climáticas, infraestructuras agrícolas, requerimientos de mano de obra, especies de plantas y peces, y el tamaño de las instalaciones (Lobillo-Eguíbar et al., 2020). En este contexto, alcanzar un precio de venta superior al de los productos convencionales podría contribuir a mejorar la viabilidad económica de las explotaciones. Además, un etiquetado adecuado de los productos acuapónicos sería muy conveniente para diferenciarlos de los productos convencionales (como ocurre con los ecológicos), y obtener precios más altos en el mercado.

Se han realizado diferentes estudios sobre las preferencias de los consumidores y sobre la disposición a pagar precios más elevados por estos productos en función de su sostenibilidad medioambiental. La aceptación de productos acuapónicos es un factor clave que afecta su comercialización (Turnsek et al., 2020) y, por tanto, la sostenibilidad económica de las instalaciones.

Tamin et al. (2015) analizaron al consumidor malasio frente a los productos acuapónicos, obteniendo la participación de 390 encuestados. Greenfeld et al. (2020) comparó la disposición de consumir productos acuapónicos entre consumidores australianos (321 encuestados) e israelíes (200 encuestados). Short et al. (2017) obtuvieron 450 encuestados en Minnesota (EE. UU.) para evaluar el potencial de mercado de los productos acuapónicos teniendo en cuenta la percepción de los consumidores en relación con la receptividad de los productos acuapónicos y sus fuentes de información preferidas. Specht et al. (2016) realizaron una encuesta en Berlín (Alemania) para identificar la aceptación de diferentes formas de agricultura urbana y los productos

obtenidos, entre los que se encuentra la acuaponía. Miličić et al. (2017) analizaron 635 respuestas de un cuestionario en línea distribuido en 16 países europeos (aunque la mayoría de las respuestas fueron de Bélgica, Grecia, Islandia, Eslovenia y los Países Bajos), con el fin de estimar el conocimiento de los consumidores sobre la acuaponía y la aceptación de sus productos en diferentes regiones europeas. Sin embargo, en este estudio los participantes españoles solo representaron el 0,3% del total.

Teniendo en cuenta que la producción acuapónica puede considerarse como una producción sostenible, el comportamiento del consumidor puede ser similar al de los productos ecológicos. En ese sentido, y dado que en España el consumo de alimentos ecológicos se encuentra entre los más bajos de la Unión Europea (Willer et al., 2020), sería de gran utilidad disponer de información más detallada sobre las preferencias del consumidor y la disposición a pagar precios más altos por productos acuapónicos. Lo mismo ocurre con los países de América Latina, donde es muy escasa la información sobre el consumo de productos ecológicos (Schlatter et al., 2020). De hecho, existe evidencia de la existencia de similitudes entre las preferencias de los consumidores en España y América Latina basadas en el idioma y aspectos socioculturales (Estévez-Moreno et al., 2020).

2. Objetivos

Teniendo en cuenta los vacíos de información en la literatura científica señalados anteriormente, para la caracterización de los sistemas acuapónicos de pequeña escala y las preferencias de los consumidores potenciales de productos acuapónicos, se plantea la presente tesis doctoral con los siguientes objetivos:

OG1 - Objetivo General 1

Evaluar y optimizar una producción acuapónica para autoconsumo, con más de 20 hortalizas, frutas y hierbas junto a tilapia híbrida roja, con dos adaptaciones diseñadas para evitar las temperaturas excesivamente bajas del agua en los tanques de los peces durante los meses de invierno en Sevilla (**Apartados 3.1, 4.1 y 5.1**).

OE - Objetivos Específicos

OE1.1: Comparar la productividad de dos sistemas con estrategias diferentes para evitar un alto consumo eléctrico durante el invierno: 1) Uso de un panel termosolar o calentadores sumergibles para calentar el agua. 2) Retirada de los peces y transformación a sistema hidropónico para evitar calentar el agua.

OE1.2: Evaluar la combinación de diferentes especies vegetales, con el fin de proporcionar una dieta saludable para una familia tipo (4 personas) durante el período de un año.

OE1.3: Comparar la producción anual de plantas y peces entre los dos sistemas estudiados, teniendo en cuenta las cosechas mensuales, sustitución de plantas y bajas de los peces.

OE1.4: Identificar la cantidad de insumos, el consumo de agua y electricidad, así como la mano de obra para el funcionamiento y mantenimiento de cada sistema.

OG2 - Objetivo General 2

Determinar el perfil de pequeños productores acuapónicos y las características de sus instalaciones en España y América Latina (**Apartados 3.2.2, 4.2.1 y 5.2.1**).

OE - Objetivos Específicos

OE2.1: Determinar el perfil sociodemográfico de los pequeños productores acuapónicos.

2. Objetivos

OE2.2: Identificar las principales motivaciones para la producción acuapónica a pequeña escala, así como su finalidad.

OE2.3: Caracterizar las instalaciones acuapónicas a pequeña escala, la producción de plantas y peces, y los principales inconvenientes experimentados durante la implementación y el mantenimiento de la explotación.

OG3 - Objetivo General 3

Identificar el conocimiento que tienen las personas sobre la acuaponía, así como evaluar su aceptación y preferencias hacia los productos acuapónicos (**Apartados 3.2.3, 4.2.2. y 5.2.2**).

OE3.1: Caracterizar el conocimiento de potenciales consumidores sobre los productos acuapónicos.

OE3.2: Estimar el perfil de consumidores potenciales de productos acuapónicos y su disposición a pagar por ellos.

3. Materiales y métodos

En esta tesis se abordaron tres investigaciones diferentes. Una hace alusión a la producción acuapónica de un policultivo de hortalizas junto a tilapia roja híbrida para autoconsumo, teniendo en cuenta dos estrategias de producción distintas durante los meses más fríos en Sevilla. Las otras dos, están relacionadas con la distribución de un cuestionario en línea con el fin de reconocer el perfil de pequeños productores acuapónicos como la caracterización de sus instalaciones, y por otro lado, identificar el conocimiento de potenciales consumidores de productos acuapónicos, como su aceptación y preferencia a dichos productos.

3.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo

3.1.1. Localización de la investigación y descripción de los sistemas acuapónicos

Esta investigación se llevó a cabo en un invernadero situado en el IES Joaquín Romero Murube, en el barrio del Polígono Sur, Sevilla, España (37°21'30.4 "N, 5°58'19.8 "W), que presenta una de las mayores tasas de exclusión social y pobreza económica de España. El invernadero contaba con 9 m de largo, 5 m de ancho y 3,5 m de alto (en el punto más alto) con una cubierta de polietileno transparente. Se utilizaron dos instalaciones acuapónicas idénticas que ya habían sido construidas basadas en los diseños de la FAO para sistemas acuapónicos de microescala (SAM) con algunos cambios para mejorar el rendimiento y el manejo de la instalación (Figura 4), gracias a un proyecto acuapónico “El milagro de los peces” a cargo del Doctor José Lobillo, miembro de la Oficina del Comisionado del Polígono Sur, junto a un equipo de trabajo del IES Joaquín Romero Murube. Emplearon materiales baratos y fáciles de conseguir, aun así, los costes totales para la construcción de las instalaciones fueron alrededor de 1.300 euros por cada SAM.



Figura 4. Invernadero con una cubierta de polietileno transparente (arriba).
Instalaciones recién construidas (abajo)

Cada SAM constaba de un tanque para la producción de peces y una conjunción de tres subsistemas hidropónicos diferentes: Técnica de Película de Nutrientes (NFT), Cama de Cultivo (GB) y Cultivo en Aguas Profundas (DWC). Contaban con una superficie total de cultivo fue de $4,56 \text{ m}^2$, de los cuales 3 m^2 corresponden a NFT, $1,2 \text{ m}^2$ a GB y $0,36 \text{ m}^2$ a DWC. El volumen total de agua de recirculación fue de $1,8 \text{ m}^3$ (Figura 5).

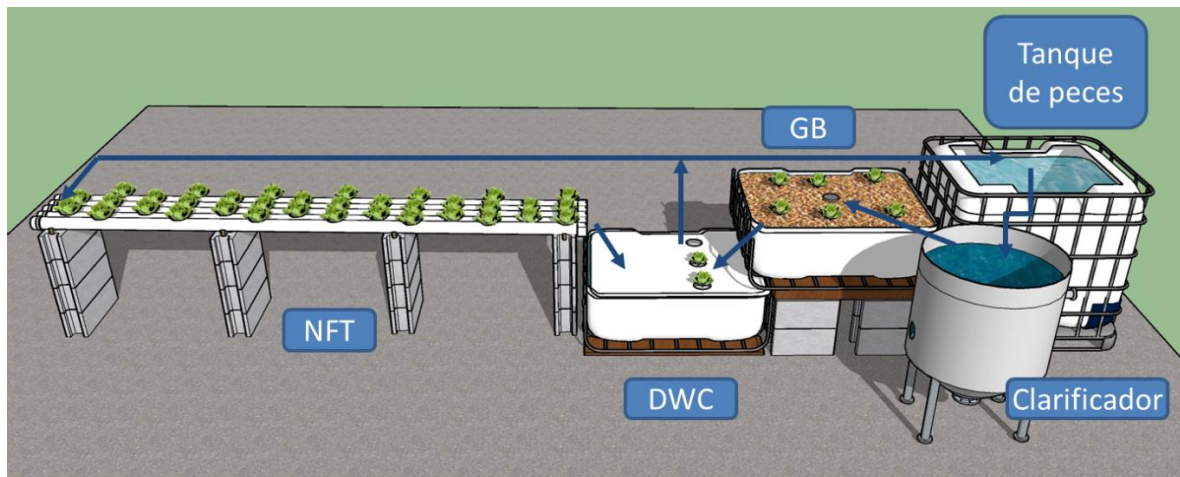


Figura 5. Esquema del sistema acuapónico a microescala empleado con los tres subsistemas hidropónicos: Técnica de Película de Nutrientes (NFT), Cama de Cultivo (GB) y Cultivo en Aguas Profundas (DWC). Números y letras, indican la ubicación de las plantas.

3.1.2. Descripción detallada de los sistemas acuapónicos

El tanque de peces consistía en un tanque tipo IBC (Intermediate Bulk Container) (1,0 m x 1,2 m x 1,0 m) con una abertura de 0,7 m por 0,7 m recortada en la parte superior para permitir las operaciones con los peces. En la abertura de los tanques se colocaron mallas para evitar que los peces saltaran fuera del agua y para generar sombra. El agua era oxigenada mediante una bomba de aire de 5 w con un caudal de $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ y el nivel del agua del tanque se mantuvo constante para asegurar siempre el mismo volumen ($0,95 \text{ m}^3$).

El tanque de peces estaba conectado a través de una tubería de PVC de 50 mm a otro tanque (clarificador) de $0,45 \text{ m}^3$. Este tanque tenía una forma cilíndrico-cónica con una válvula de drenaje en su parte inferior. El agua del tanque de peces entraba en el clarificador a través de un codo, provocando un movimiento circular que facilitaba la sedimentación de los residuos sólidos, mientras que el agua limpia fluía hacia arriba. El agua salía del clarificador a través de un tubo de PVC de 75 mm unido a un conector de mampara situado 9 cm por debajo del borde superior y pasaba a la parte superior del tanque de la cama de cultivo. Éste se hizo con un tanque IBC cortado por la mitad con una capacidad de $0,45 \text{ m}^3$ y relleno con $0,4 \text{ m}^3$ de arcilla expandida prelavada.

3. Materiales y métodos

El agua pasaba por un sifón de campana hasta el tanque del sumidero (1 m x 1,2 m x 0,45 m), que contenía 0,54 m³ de agua. Una lámina de espuma de poliestireno extruido de 0,04 m de espesor (0,3 m x 1,2 m) cubría 1/3 de su superficie, y contaba con tres orificios (0,05 m de diámetro) que permitían colocar plantas en su interior, separadas 0,25 m entre sí, como subsistema hidropónico DWC. Desde el sumidero, el 80% del agua regresaba al tanque de los peces por medio de una bomba sumergible SunSun JTP de 4800 L·h⁻¹ y 32W. El 20% restante era recirculado por un subsistema hidropónico NFT, y de nuevo al sumidero. Para el NFT se utilizaron cinco tubos de PVC (longitud: 5 m; diámetro: 0,11 m; separación: 0,11 m entre sí), colocados sobre bloques de hormigón nivelados para obtener una pendiente del 1%. Cada uno de los tubos tenía 12 orificios (0,05 m de diámetro) separados entre sí a 0,25 m.

3.1.3. Producción de plantas y peces

Se cultivaron un total de 22 tipos de hortalizas durante un año en ambos SAM (Figura 6). Seleccionando un policultivo de frutas, verduras y hierbas (Anexo I) (especies bien adaptadas a la producción hidropónica) con el objetivo de proporcionar una diversidad de productos que permitiera conseguir una dieta saludable para una familia tipo de 4 miembros. Las diferentes especies fueron plantadas según su estación óptima de crecimiento y las plántulas se obtuvieron de viveros comerciales.



Figura 6. Aspecto del policultivo (arriba). Aspecto del cultivo de berenjena y tomates (abajo)

La especie de pez seleccionada para este estudio fue la tilapia roja híbrida (*Oerochromis niloticus* x *Oerochromis mossambicus*) (Figura 7), debido a su alta tasa de crecimiento (Nakphet et al., 2017), necesaria para mantener una alta biomasa de plantas. Existen otras especies con esta característica, pero es más fácil conseguir alevines de tilapia en España. Asimismo, las tilapias se encuentran entre las especies mayoritariamente producidas en la acuicultura mundial (FAO, 2018). Los peces se obtuvieron del criadero "Aula del Mar" (Málaga, España) 1-2 semanas después de la absorción del saco vitelino, y fueron criados durante 118 días dentro de las instalaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) de la Universidad de Sevilla (España). Cuando pesaron 15 g de media, se trasladaron al IES Joaquín Romero Murube. Una vez allí, se repoblaron 110 alevines en el SAM1 con una biomasa total de 1615 g y 106 alevines en el SAM2 con una biomasa de 1635 g.



Figura 7. Tanque con tilapias rojas híbridas

Se alimentaron los peces utilizando el pienso compuesto Skretting TI-3 Tilapia (32,6% de proteína y 6% de grasa) en pellets de 3 mm de diámetro, cuatro veces al día. La cantidad diaria de alimento variaba en función de la biomasa de los peces, se suministraba entre el 1 y el 4 % del peso total de los peces al día.

3.1.4. Seguimiento de los sistemas acuapónicos

Antes de iniciar la producción acuapónica, se recirculó el agua a través de las SAM sin plantas ni peces (durante 40 días), para que las bacterias nitrificantes pudieran proliferar. Para la carga inicial de ambos SAM, se empleó una mezcla de agua de lluvia y agua potable de la red pública para conseguir un pH entre 7 y 7,4. Posteriormente, se utilizó únicamente agua de clorada para reponer las pérdidas de agua (evaporación directa y evapotranspiración). El 16 de abril de 2018 se introdujeron los peces en los SAM y el 24 de abril se trasplantaron las primeras hortalizas.

La temperatura dentro del invernadero se pretendía mantener entre 5°C y 40°C y en realidad oscilaron entre 4,8 y 43,4°C. Las temperaturas más extremas se alcanzaron en diciembre y junio (Figura 8). Desde el 21 de junio hasta el 15 de octubre, la cubierta de plástico del techo del invernadero se sustituyó por una malla de sombreado (40% de grado de sombra), con el fin de evitar las altas temperaturas extremas. Por lo tanto, las temperaturas durante estos meses no superaron los 40°C (excepto cinco días de agosto con temperaturas máximas entre 40,5 y 42,5°C).

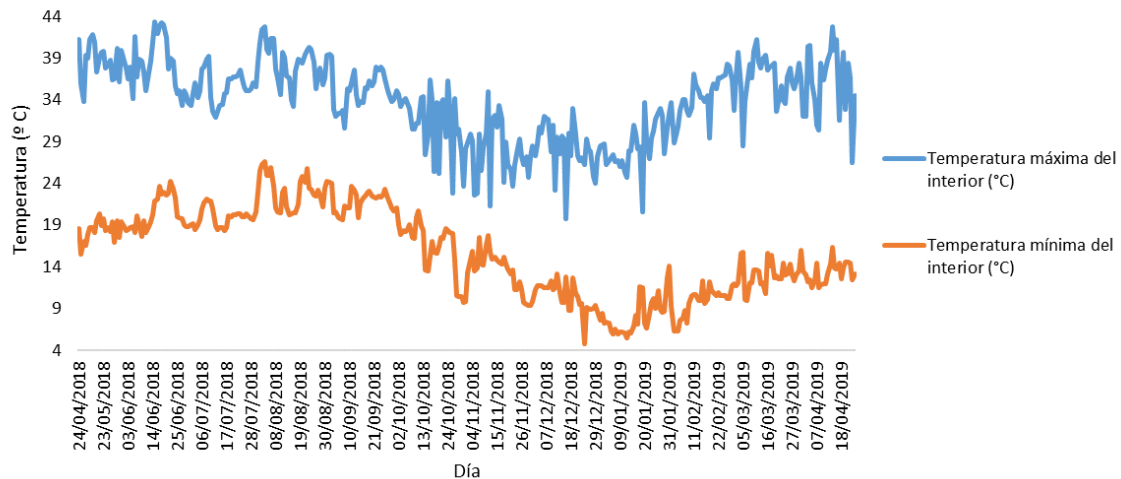


Figura 8. Evolución diaria de la temperatura máxima y mínima en el interior del invernadero.

Se llevó a cabo un seguimiento exhaustivo de cada SAM a lo largo de un año completo, desde el 24 de abril de 2018 hasta el 24 de abril de 2019. Las acciones de manejo y mantenimiento fueron realizadas por el Dr. José Lobillo, junto a un equipo de trabajo del IES Joaquín Romero Murube, de la misma manera que lo haría una familia para una producción acuapónica autogestionada.

El funcionamiento de ambos SAM fue idéntico hasta que la temperatura del agua comenzó a descender por debajo de los 20°C (temperatura a la que las tilapias ralentizan su crecimiento, dejando de comer). En ese momento (11 de noviembre, día 200 desde la primera siembra), se emplearon dos estrategias diferentes.

En el SAM1, se calentaba el agua mediante un panel termosolar autoconstruido acoplado al sistema, para evitar temperaturas del agua por debajo de los 10-13°C, valores que se consideran letales para la tilapia (DanMei et al., 2010), teniendo en cuenta que en torno a los 17°C reducen significativamente el consumo de alimento (Wu et al., 2019). Si las temperaturas en el exterior del invernadero se acercaban a los cero grados, se colocaban dos calentadores sumergibles en el tanque de peces, que estaban en funcionamiento durante 8-10 horas por la noche.

Por otro lado, el SAM2 dejó de funcionar como acuapónico a partir de la fecha anteriormente mencionada, ya que se retiraron los peces para evitar tener que calentar el agua del tanque. Se transformó en una instalación hidropónica en la que sólo funcionaban el tanque de cama de cultivo, el NFT y el DWC, con un volumen total de 180 L. Para

3. Materiales y métodos

proporcionar los nutrientes necesarios para la producción hidropónica de las plantas, se empleó un biofertilizante obtenido de una pequeña instalación de vermicompost (Dasgan et al., 2017) instalada junto al invernadero. Se colocaron 2 bolsas de malla con vermicompost maduro (40% de humedad) en 2 cajas de plástico (0,45x0,23x0,23 m) en la arcilla expandida en el tanque de cama de cultivo. Asimismo, se usó fibra de perlón encima de las bolsas para la filtración mecánica. El agua del sumidero entraba por debajo de las mallas con vermicompost, de modo que el flujo de agua tenía una dirección ascendente para rebosar en la arcilla expandida. Cada una de las 2 mallas se cargaba con 7 a 15 kg de vermicompost maduro cada 24, 48 o 72 horas, según el estado de crecimiento de las plantas y el nivel de consumo de nutrientes (utilizando el nivel de nitratos en el agua como indicador). Cuando los nitratos estaban por debajo de 5 ppm, se retiraban las mallas y se introducía una nueva carga de vermicompost maduro.

Para el seguimiento de la producción, se registró la información sobre la fecha exacta de la cosecha, el número de hortalizas o frutos obtenidos y su peso. También se controló la biomasa de los peces en cada tanque mediante su pesaje. Se realizó un pesaje inicial para obtener la línea de base y luego se realizaron diez mediciones más, distribuidas durante el año. También se pesaron los peces cuando se cosecharon. Se mantenía una observación rutinaria del estado de salud de los peces y de las plantas, el control de los niveles de agua y de los caudales, el pesaje de los peces cada mes, el mantenimiento y la limpieza de la instalación.

Se utilizó jabón potásico (Castalia-Bio) a 20 mL L^{-1} mezclado con aceite de Neem (Camassia) a 1 g L^{-1} contra los pulgones (que afectaban principalmente a las sandías, los pepinos, el melón y las acelgas) de julio a noviembre. Se añadió cal apagada (6-9 g cada 24 horas) en los colectores para elevar el pH de 6-6,2 a 6,4-6,5. Se aplicó azufre micronizado (Bio-Flower) por vía foliar al $0,3\% \text{ g L}^{-1}$ contra los hongos patógenos (como el oídio en calabacín) y ocasionalmente contra la araña roja que apareció en muy poca cantidad en las fresas. El abono de algas (Trade Alghemp C-growth, Optigarden) a 10 mL L^{-1} se utilizó sólo durante 3 semanas, pulverizado sobre las hojas, al principio del funcionamiento de las instalaciones acuapónicas, entre abril y mayo, porque al ser la biomasa de peces todavía baja, el nivel de nutrientes para las plantas también lo era. Se utilizó FERRAMOL (Neudorff) a 5 g m^{-2} contra los caracoles y babosas que aparecieron durante el otoño. Se utilizó purín de ortiga (AgroBeta) a 15 mL L^{-1} como aplicación foliar contra la mosca blanca que afectaba a las lechugas en otoño.

3. Materiales y métodos

Se midieron y controlaron periódicamente los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH, nitratos y oxígeno disuelto). Cuando las concentraciones de nitrato en el agua superaban las 80 ppm, se introducían nuevas plantas en el sistema. También se realizaron aplicaciones foliares de K_2SO_4 y $MnSO_4$ cuando fue necesario. Se añadió directamente al agua una solución de hierro quelado EDDHA Sequestrene 138 Fe (al 1%).

Para la medición de los parámetros químicos del agua se utilizaron kits de análisis del agua sencillos y económicos que emplean métodos colorimétricos (NO_3 profi test SERA, TETRA test O_2 y QP test pH/cloro). Durante el ensayo se realizaron tres análisis completos del agua en ambos SAM. Para ello, se tomaron muestras de agua del sumidero y se analizaron por espectrofotometría (American Public Health Association et al., 2000; Murphy and Riley, 1962). La temperatura diaria del agua en el tanque de peces se controló mediante un termómetro digital de máxima y mínima (Velleman nv, Bélgica).

Se realizaron análisis microbiológicos tanto de los peces como de la lechuga (muestras de tejido muscular y de hojas centrales de lechuga, respectivamente) para detectar posibles microorganismos nocivos, por ejemplo, *Escherichia coli*, *Salmonellas* spp. y *Listeria monocytogenes*, siguiendo la metodología estipulada en la normativa española (UNE-En ISO 11290-1, 2017; UNE-En ISO 16649-3, 2016; UNE-En ISO 6579-1, 2017). Se ha utilizado la lechuga para el análisis porque es uno de los cultivos que se produce durante todo el año y se consume cruda, no cocinada, además de que las partes que se consumen están más cerca del agua. Las muestras de lechuga se recogieron en junio, septiembre, diciembre, febrero y abril (2 lechugas de cada SAM), y las de pescado en agosto, septiembre, octubre y abril (2 peces de cada SAM). Todas las pruebas microbiológicas resultaron negativas.

3.1.5. Indicadores de rendimiento

Se calcularon los indicadores de producción de los cultivos para cada uno de los tres subsistemas hidropónicos (GB, NFT y DWC) de ambos SAM: producción total, número de plantas, producción media por planta, peso de los frutos u hojas y número total de frutos.

También se registró la evolución de la producción de peces a lo largo del año y otros parámetros relacionados: el peso inicial, el consumo de alimento, el número de peces, el número de muertes, la cosecha y el peso medio por pez. Se calcularon tres

3. Materiales y métodos

indicadores de crecimiento de los peces: (1) Incremento de Peso Diario por Tanque (IPDT) (g d^{-1}), (2) Ganancia Media Diaria (GMD) (g d^{-1}) y (3) Índice de Transformación (IT) (Panase y Mengumphan, 2015). El IPDT da información sobre el peso total ganado de los peces por día entre las mediciones. El GMD se refiere al cambio en el peso medio por pez (PMP) sobre una base diaria. Por último, el IT mide la eficiencia con la que los peces convierten el alimento en peso corporal. Se calcula de la siguiente manera:

$$IPDT (\text{g} \cdot \text{día}^{-1}) = \frac{PTP_t - PTP_{t-1}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$GMD (\text{g} \cdot \text{día}^{-1}) = \frac{\ln(PMP_t) - \ln(PMP_{t-1})}{\Delta t} \cdot 100 \quad (2)$$

$$IT = \frac{IA}{PTP_f - PTP_{t-1}} \quad (3)$$

Dónde: PTP_t y PTP_{t-1} son el peso total de todos los peces de cada SAM en dos mediciones diferentes, de trayendo el peso de los peces cosechados en esas dos fechas; PMP_t y PMP_{t-1} son el peso medio por pez en dos momentos diferentes; IA es la ingesta de alimento durante el tiempo transcurrido entre ambas mediciones (g) y Δt representa el número de días transcurridos entre una y otra medición de peso.

El consumo de agua se midió diariamente para calcular el consumo medio diario de reposición en cada SAM, el volumen total de agua utilizada (reposición y recambios de agua) y la tasa de reposición de agua. Esta última se estimó como la relación entre el consumo medio diario y el total de agua en cada SAM.

3.1.6. Contribución de la producción acuapónica a una dieta saludable

A través del manual “Dietary Guidelines for Americans 2015-2020” del Departamento de Salud y Servicios Humanos, y del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (conocido por sus siglas en inglés USDA), (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015), se identificaron los diferentes grupos de alimentos que hacen parte de una dieta mediterránea saludable, teniendo como límite el consumo de 2000 calorías al día: 1) Vegetales: verde oscuro (hortalizas con hojas de color verde), rojo y naranja (hortalizas de color rojo y naranja), leguminosas (judías y guisantes, almidón, otros (hortalizas que no entran en los otros grupos); 2) Frutas; 3) Granos: cereales integrales, granos refinados; 4) Lácteos; 5)

Alimentos proteicos: comida de mar/peces, carnes, aves, huevos, frutos secos, semillas y productos de soja; 6) Aceites. Cada hortaliza producida por los SAM fue asignada al grupo de alimentos correspondiente, igualmente con la tilapia. Se calculó la relación (%) entre la cantidad de alimentos que proporciono cada SAM y la cantidad de alimento recomendado en la dieta.

Por otro lado, se identificaron las vitaminas y minerales que proporciona cada alimento producido por los SAM a través de la base de datos “FoodData Central” del USDA (United States Department of Agriculture - USDA, 2019) y se calculó la cantidad de vitaminas y minerales necesarias para una familia de cuatro miembros (FAO/WHO, 2004). De esta forma, se calculó la relación (%) entre la cantidad de vitaminas y minerales proporcionadas por cada SAM y la cantidad recomendada para tener una dieta saludable.

3.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores

3.2.1. Diseño del cuestionario y distribución de la encuesta

El cuestionario se elaboró en español para ser contestado en línea a través de Google Forms. Se distribuyó mediante el método de bola de nieve (Johnson, 2014) en páginas web relacionadas con la acuaponía y la hidroponía, redes sociales (WhatsApp, Facebook, Twitter, LinkedIn) y por correo electrónico.

El cuestionario estuvo disponible desde el 13 de mayo hasta el 18 de junio de 2020 e incluía una breve introducción del grupo de investigación responsable del estudio y sus objetivos. También informaba sobre el anonimato, la confidencialidad en el manejo y el uso de los datos recogidos.

3.2.2. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina

El cuestionario para pequeños productores acuapónicos contaba con 42 preguntas, abiertas y cerradas. La primera parte del cuestionario estaba dedicada a conocer las características sociodemográficas de los participantes. La segunda parte incluía preguntas sobre los objetivos y motivaciones para contar con instalaciones acuapónicas. La tercera parte se refería a la caracterización de las instalaciones. La última parte estaba relacionada con el funcionamiento y el mantenimiento de la instalación acuapónica (Anexo II).

Para el tratamiento de los datos se utilizó estadística descriptiva mediante Microsoft Office Professional Plus - Excel 2016®.

3.2.3. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina

El cuestionario para consumidores de productos acuapónicos estaba compuesto por 27 preguntas. La mayoría de las preguntas fueron formuladas con formato cerrado y con opción de respuesta múltiple. La primera parte del cuestionario estaba relacionada con la información sociodemográfica de los participantes. Se preguntó sobre sus conocimientos previos respecto a la acuaponía. Llegado el caso de que no conocían su significado, se presentaba una breve definición de lo que es la acuaponía. La segunda parte del cuestionario incluyó preguntas sobre sus preferencias en productos (acuapónicos, ecológicos y convencionales), el interés de ser en un futuro productores acuapónicos, dieta habitual y hábitos de compra, asimismo, si producían o estaban dispuestos a producir alimentos para autoconsumo y las razones que tendrían para comprar productos acuapónicos. Posteriormente, se preguntó sobre la preferencia por comprar productos convencionales, ecológicos o acuapónicos (al mismo precio). Finalmente, se preguntó a los participantes sobre su disposición a pagar (DAP) por productos acuapónicos, teniendo en cuenta una escala cualitativa “nunca compraría un producto acuapónico” hasta “estar dispuesto a pagar un precio 30% más alto que un producto convencional” (Anexo III).

Tratamiento de datos y análisis estadístico

Debido a que estas variables no cumplieron con las asunciones de normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Prueba de Levene), se realizó la prueba de Mann-Whitney para comparar la varianza entre la variable “conocimiento previo sobre acuaponía” (si/no) y la variable “preferencia en comprar productos acuapónicos, ecológicos o convencionales, al mismo precio”. Además, se llevó a cabo la prueba de Kruskal-Wallis para comparar la varianza de “preferencia por productos acuapónicos, ecológicos o convencionales, al mismo precio” entre aquellos que sí sabían que era la acuaponía y entre quienes no sabían que era la acuaponía, se prosiguió a realizar una prueba post hoc de Games-Howell.

3. Materiales y métodos

Por otro lado, se realizaron dos correlaciones de Spearman, una para identificar si la dieta de los encuestados estaba relacionada con el consumo de productos acuapónicos y la otra para reconocer si el ingreso familiar medio por país estaba relacionado con pagar más por productos acuapónicos. Además, se realizó una prueba de Chi-cuadrado para determinar si el nivel académico estaba relacionado con saber qué es la acuaponía.

Se realizó una regresión probit binaria para caracterizar a los encuestados que sabían qué es la acuaponía (si / no), considerando las variables género, nivel académico, edad, preocupación por el medio ambiente y quiénes estarían de acuerdo en comprar productos ecológicos. Además, se utilizó una regresión probit ordinal para caracterizar a los encuestados que estarían dispuestos a pagar por productos acuapónicos (menor a mayor disposición), teniendo en cuenta las variables: género, edad, miembros de la unidad familiar, disposición en comprar productos ecológicos, ingresos del hogar, ser un consumidor habitual de productos acuapónicos y estar dispuesto a tener una instalación acuapónica. Estas variables cumplieron con las asunciones de normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Prueba de Levene).

4. Resultados

4.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo

4.1.1. Insumos necesarios

Se registraron los principales insumos necesarios para el adecuado funcionamiento de los SAM (Tabla 1). Se estimó que el coste anual de funcionamiento y mantenimiento de los sistemas era de unos 300 euros por SAM, teniendo en cuenta que los sistemas eran autogestionados. Para el funcionamiento del SAM1 fueron necesarios 11188 L de agua, y para el del SAM2 16221 L. Esta gran diferencia se debió a los 7166 L necesarios para el cambio de agua cuando el SAM2 funcionaba sólo como sistema hidropónico. El consumo diario de agua fue de 27,15 L d⁻¹ para el SAM1 y de 39,37 L d⁻¹ para el SAM2. La tasa de reposición diaria de agua fue del 1,51 % en el SAM1 y del 2,19 % en el SAM2. El agua utilizada en el SAM1 procedía principalmente de la red municipal de suministro de agua, pero el 15 % del volumen total era agua de lluvia. En el caso del SAM2, el 53,6 % del agua utilizada era de lluvia, ya que era la principal fuente de agua cuando el sistema funcionaba sólo como hidropónico.

El consumo de energía fue, como era de esperar, menor en el SAM2 debido a la estrategia seguida en ese sistema durante los meses fríos (transformación de acuapónico a hidropónico), observándose lo mismo en relación con el consumo de alimento para peces y en la adición de Fe. Además, se añadieron un total de 37,5 g de Mn₂SO₄, 129,85 g de K₂SO₄ y 40 mL de fertilizante de algas a cada uno de los SAM. En el SAM2 se emplearon 823 kg de vermicompost (cuando era hidropónico).

En términos de mano de obra, se emplearon un total de 100 h de trabajo en todo el año en el SAM1. El SAM2 requirió un 20 % más debido a la gestión de la instalación de vermicompost para obtener la solución nutritiva para la producción hidropónica.

Tabla 1. Insumos utilizados durante el año

	Consumo de agua (L)		Consumo de energía (kWh)	Alimento de peces (kg)	Fe (L)	Mano de obra (h)	Media de mano de obra (minutos d ⁻¹)
	Reposición	Cambio de agua					
SAM1	8563	2625	334,5	43,07	3,09	100	14,6
SAM2	7054,8	9166	329,8	33,40	0,93	120,8	17,6

4.1.2. Mantenimiento de la calidad del agua

Para el SAM1, la temperatura del agua osciló entre un mínimo de 13,4°C y un máximo de 32,6°C, siendo esos mismos valores 6,3 y 32,7, respectivamente, para el SAM2. En ambos sistemas, el pico de temperatura mínima fue en enero de 2019 y el pico de temperatura máxima fue en agosto de 2018 (Figura 9). Las temperaturas del agua en SAM1 y SAM2 se mantuvieron similares hasta la semana 25 (desde la primera siembra de los sistemas), cuando SAM2 se convirtió en un sistema hidropónico. En ese momento, la temperatura máxima del agua de SAM2 aumentó ligeramente en comparación con la de SAM1 y la temperatura mínima disminuyó, ya que no se utilizaron calentadores de agua y el volumen total de agua se redujo a 0,18 m³ (menos inercia térmica).

En cuanto al pH, se observaron valores similares en los dos sistemas, oscilando entre 6 y 7,5 debido a la nitrificación bacteriana y al CO₂ resultante de la respiración de los peces. A partir de la semana 25, el pH en el SAM2 aumentó ligeramente en comparación con el SAM1, debido a la solución nutritiva. Los valores medios de pH fueron (6,57±0,38) en SAM1 y (6,70±0,39) en SAM2. Los valores medios de conductividad eléctrica fueron de (547,1±116 μS cm⁻¹) y (449,6±90,1 μS cm⁻¹) para SAM1 y SAM2, respectivamente. Por otra parte, a partir de la semana 25, el SAM2 registró valores mucho más altos de conductividad eléctrica cuando se incluyó el vermicompost (1006,3±300,3 μS cm⁻¹).

4. Resultados

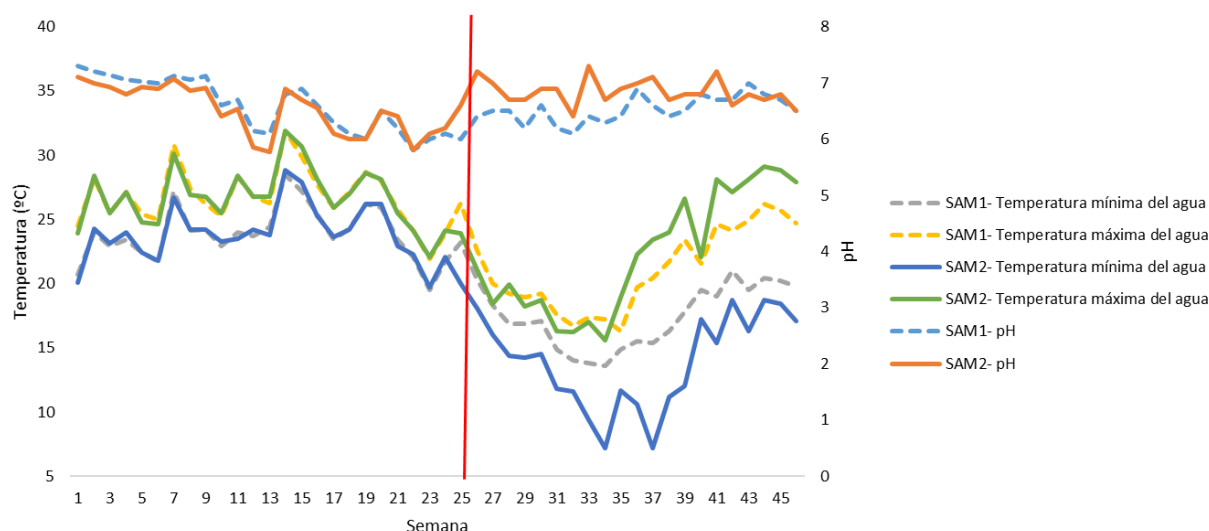


Figura 9. Evolución semanal de las temperaturas máxima y mínima del agua y del pH de cada sistema (SAM1 y SAM2). La línea roja discontinua indica la fecha en la que se retiraron los peces del SAM2.

En la Tabla 2 se observa los valores medios de la concentración de aniones y cationes del agua en cada sistema. Se obtuvieron niveles similares en ambos SAM, aunque fueron ligeramente superiores en el SAM1 (con la excepción del SO_4^{2-}). No se detectaron CO_3^{2-} ni Mn^{2+} .

Tabla 2. Media y desviación estándar de la concentración de aniones y cationes en el agua y del oxígeno disuelto en cada sistema (mg L^{-1}).

Elemento	NO_3^-	PO_4^{3-}	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}
SAM1	$90,8 \pm 36,67$	$7,69 \pm 7,00$	$2,27 \pm 2,15$	$0,20 \pm 0,11$	$58,15 \pm 13,98$	$18,69 \pm 0,81$	$92,31 \pm 28,40$
SAM2	$80,4 \pm 37,49$	$7,01 \pm 5,98$	$1,35 \pm 1,62$	$0,17 \pm 0,09$	$50,56 \pm 15,70$	$17,12 \pm 2,56$	$96,68 \pm 19,89$
Elemento	HCO_3^-	Cl^-	Na^+	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	O_2 disuelto
SAM1	$39,96 \pm 25,89$	$31,22 \pm 5,24$	$26,44 \pm 2,95$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,00$	$0,02 \pm 0,00$	$6,33 \pm 2,15$
SAM2	$38,94 \pm 22,61$	$23,74 \pm 7,07$	$24,37 \pm 3,61$	$0,04 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,00$	$6,70 \pm 0,39$

Las concentraciones de fosfatos y cationes Mg^{2+} y Ca^{2+} aumentaron con el tiempo y se acumularon en el agua. En algunos casos, originó pequeñas floraciones de microalgas que competían con las plantas por los nutrientes (diciembre 2018), cuando se alcanzaron niveles bajos de NO_3^- , por lo que fue necesario aumentar los recambios de agua para evitarlo. Los niveles de Na en ambos SAM (entre 20 y 28 mg L⁻¹) estaban dentro de los límites tolerables para el crecimiento de las plantas.

La concentración de potasio aumentó inicialmente de julio a septiembre y luego disminuyó hasta noviembre, cuando se redujo el consumo de alimento. A finales de febrero, volvió a aumentar debido al incremento de la temperatura del agua. Estos cambios determinaron la aparición de deficiencias de potasio en las plantas desde abril hasta mediados de junio de 2018, y desde octubre de 2018 hasta finales de febrero de 2019, periodos en los que se añadió sulfato de potasio por vía foliar.

No se detectaron manganeso ni carbonatos. La deficiencia de manganeso en las plantas puede confundirse con la de hierro, pero dado que el hierro quelado añadido al agua no solucionó los síntomas de deficiencia, también se aplicó foliarmente sulfato de manganeso. La falta de carbonatos (o sus niveles muy bajos) se compensó con los altos niveles de iones de bicarbonato.

4.1.3. Producción de plantas

La producción hortícola total, el número de plantas y frutos, la producción media por planta y el peso medio de los frutos u hojas en los diferentes subsistemas hidropónicos se muestra en la Tabla 3. Ambos SAM tuvieron una producción total anual por superficie de cultivo similar: 38,96 y 38,31 kg m⁻² para SAM1 y SAM2, respectivamente. El NFT fue el subsistema hidropónico más productivo, debido principalmente a la producción de lechuga. Sin embargo, GB fue el subsistema con mayor producción por superficie de cultivo (60 kg m⁻² de media), seguido de NFT (32 kg m⁻²) y DWC (24 kg m⁻²). El subsistema NFT tuvo una mayor densidad de especies vegetales, con 20 plantas m⁻². La densidad de plantas en el subsistema GB fue de 11,7 plantas m⁻², siendo los valores más bajos en el DWC (8,3 plantas m⁻²).

El pepino y el brócoli fueron las únicas plantas que se cultivaron en los tres subsistemas, siendo el GB el de mayor producción para ambas especies. Las especies más productivas fueron el calabacín, el pepino y el tomate Roma en el GB; la lechuga, la

acelga, el pimiento italiano para freír y el tomate Roma en el NFT; y la calabaza en el DWC. Las plantas que tardaron, de media, menos tiempo en estar listas para la cosecha en el SAM1 fueron la estevia (21 días), el calabacín (35,5 días) y el pepino (35,7 días). Para el SAM2, fueron la estevia (21 días), la lechuga (44 días) y la albahaca (49,5 días). Por otro lado, las plantas que más tardaron en entrar en producción en el SAM1 fueron la fresa (115,7 días), la sandía (105 días) y el pimiento de cuerno de cabra (100,5 días). Para el SAM2, fueron la calabaza (107 días), la sandía (105 días) y el pimiento de cuerno de cabra (97 días).

Tabla 3. Caracterización de la producción vegetal en los tres subsistemas (GB: Cama de sustrato; NFT: Técnica de Película de Nutrientes; DWC: Cultivo en Aguas Profundas).

SAMI	GB						NFT						DWC							
	PT	NP	PMP	PMFH	NTF	PT	NP	PMP	PMFH	NTF	PT	NP	PMP	PMFH	NTF	PT	NP	PMP	PMFH	NTF
Tomate Raf	8.5	2	4.25	157.4 ± 100.6	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate Roma	6.55	1	6.55	63.6 ± 45.1	103	7.6	1	7.6	60.32 ± 36.6	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sandía	4.9	1	4.9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Berenjena	3.34	1	3.34	222.5 ± 47.7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pepino	9.68	1	9.68	254.7 ± 98.7	38	6.85	1	6.85	311.3 ± 94.4	22	1.99	1	1.99	284.9 ± 84.4	7	-	-	-	-	-
Pimiento Lamuyo	4.66	1	4.66	145.5 ± 59.3	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pimiento para freír italiano	1.57	2	0.78	16.6 ± 6.4	94	8.99	4	2.25	27.2 ± 13.0	331	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pimiento de cuerno de cabra	-	-	-	-	-	1.91	4	0.48	23.9 ± 10.7	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Basil	1	1	1	-	NC	0.78	1	0.78	NC	NC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cebolla	0.06	1	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estevia	-	-	-	-	-	0.22	1	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calabaza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acelga	0.13	2	0.06	10.6 ± 2.5	12	9.21	16	0.58	14.8 ± 13.3	642	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brócoli	2.18	1	2.18	311.3 ± 183.9	7	0.63	1	0.63	209.3 ± 235.6	1	0.12	1	0.12	NC	1	-	-	-	-	-
Coliflor	0.13	1	0.13	-	1	-	-	-	-	-	0.36	1	0.36	NC	1	-	-	-	-	-
Coliflor	0.52	1	0.52	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Col China	-	-	-	-	-	1.73	1	1.73	NC	NC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fresa	0.25	2	0.13	13.3 ± 9.1	19	0.49	2	0.25	17 ± 10.4	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Patata	2.5	2	1.25	46.2 ± 37.4	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calabacin	16.84	2	8.42	467.8 ± 225.1	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lecunga	3.67	24	-	152.8 ± 39.0	-	65.05	283	-	229.9 ± 115.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	66.47	46			103.44	315				7.76	5									

PT: Producción total (kg). NP: Número de plantas. PMP: Producción media por planta (kg). PMFH: Peso medio del fruto u hojas (± Desviación Estándar) (g). NTF: Número total de frutos. NC: No Computado

SAMZ	GB						NFT						DWC					
	PT	NP	PMP	PMFH	NIF	NTF	PT	NP	PMP	PMFH	NIF	NTF	PT	NP	PMP	PMFH	NIF	NTF
Tomate Raf	12.44	2	6.22	157.5 ± 83.3	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate Roma	7.51	1	7.51	92.7 ± 50.4	81	4.97	1	4.97	41.8 ± 24.9	119	-	-	-	-	-	-	-	-
Sandía	1.65	1	1.65	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Berenjena	10.16	1	10.16	241.9 ± 88.9	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pepino	13.95	1	13.95	296.7 ± 89.9	47	4.91	1	4.91	272.7 ± 75.6	18	1.48	1	1.48	1	1.48	296.4 ± 135.9	5	-
Pimiento Lamuyo	3.86	1	3.86	137.9 ± 45.3	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pimiento para freír italiano	1.27	2	0.63	28.1 ± 18.4	45	7.65	6	1.27	27.6 ± 13.6	277	-	-	-	-	-	-	-	-
Pimienta de cuerno de cabra	-	-	-	-	-	0.87	1	0.87	24.9 ± 10.1	35	-	-	-	-	-	-	-	-
Basil	1.05	1	1.05	0	NC	0.56	1	0.56	NC	NC	-	-	-	-	-	-	-	-
Cebolla	0.06	1	0.06	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estevia	-	-	-	-	-	0.17	1	0.17	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calabaza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.44	1	5.44	1813.7 ± 484.1	3	-
Melón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.43	1	1.43	476 ± 382	3	-
Acelga	0.36	2	0.18	18.7 ± 7.9	19	6.96	15	0.46	17.0 ± 9.6	409	-	-	-	-	-	-	-	-
Brócoli	1.13	1	1.13	188.7 ± 133.8	6	0.19	1	0.19	0	1	0.44	1	0.44	1	0.44	221.5 ± 208.6	2	-
Coliflor	0.22	1	0.22	0	1	-	-	-	-	-	0.41	1	0.41	1	0.41	0	1	-
Col	0.58	1	0.58	289 ± 171.1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Col China	-	-	-	-	-	1.79	2	0.89	NC	NC	-	-	-	-	-	-	-	-
Fresa	0.33	3	0.05	12.5 ± 9.2	26	0.47	4	0.12	17.3 ± 9.1	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Patata	1.09	2	0.55	60.7 ± 55.3	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calabacín	16.77	2	8.38	465.8 ± 191.8	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lechuga	3.93	24	-	163.6 ± 57.7	-	60.62	289	-	209.8 ± 106.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	76.34	47	-	-	-	89.15	322	-	-	-	9.21	5	-	-	-	-	-	-

PT: Producción total (kg). NP: Número de plantas; PMP: Producción media por planta (kg). PMFH: Peso medio del fruto u hojas (± Desviación Estándar) (g). NTF: Número total de frutos. NC: No Computado

4. Resultados

La distribución de la producción durante el año para todas las especies cultivadas se detalla en el Anexo I. El número de plantas cultivadas cada mes dependía de la biomasa total de peces en los sistemas y de los nutrientes suministrados por vermicompost (cuando el SAM2 paso a ser hidropónico). La lechuga fue la única especie vegetal cultivada durante todo el año en los subsistemas GB y NFT (Figura 10), por lo que tuvo la mayor producción anual con 68,7 kg (38,1% de la producción total en el SAM1) y 64,5 kg (38,1% de la producción total en el SAM2). También el pepino y el calabacín tuvieron una producción elevada (12 y 9,5 % de la producción total, respectivamente). Por el contrario, la cebolla y la col fueron las especies que menos contribuyeron a la producción total (0,03 y un 0,1 % de la producción total, respectivamente).



Figura 10. Producción de lechuga en el subsistema NFT

La presencia de pulgones afectó levemente a las acelgas y al pepino, sin embargo, pudieron crecer y dar una producción satisfactoria. La fresa tuvo una baja producción debido a la plantación tardía (fuera de su temporada natural). Las plantas de frutos grandes y típicas del verano en Andalucía, como la sandía, la calabaza y el melón, produjeron muy pocos frutos en septiembre y octubre. A pesar de que las plantas de sandía y melón se vieron muy afectadas por pulgones, pudieron dar frutos.

Los meses con más producción fueron abril, julio y agosto, representando el 46 % del total en todo el año, siendo mayo y febrero los de menor producción. En el caso de mayo, esto se debió a que fue el primer mes de funcionamiento de los SAM, cuando la biomasa de peces era todavía baja (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de plantas (kg) por especie vegetal en los diferentes meses

SAM 1	Año												Total por hortaliza
	Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Lechuga	1,23	3,83	3,26	0,62	2,26	7,26	4,43	1,95	11,94	11,58	20,36	68,72	
Sandía					0,005							4,9	
Acelga					1,05	2,02	1,81	1,25	1,58	0,98	0,65	9,33	
Tomate Raf			4,7	3,65	0,15							8,5	
Tomate Roma			4,05	7,34	2,77							14,16	
Berenjena			1,08	0,81	0,13	0,66						3,34	
Pepino		3,6	8,53	5,95	0,44							18,52	
Albahaca		0,05	0,05	0,79	0,18	0,55			0,12	0,05		1,78	
Cebolla			0,06									0,06	
Pimiento para freir italiano		0,11	2,15	1,61	3,28	3,25	0,04					10,44	
Pimiento de cuerno de cabra			0,02	0,74	0,44	0,58	0,24					2,02	
Pimiento de Lamuyo				1,41	0,83	2,07	0,34					4,66	
Brócoli								0,72	1,76	0,45		2,92	
Fresa									0,05	0,19	0,36	0,75	
Coliflor									0,49			0,49	
Col										0,52		0,52	
Patata											2,5	2,5	
Calabacín											4,82	12,02	
Col china									0,15	0,49	1,09	1,73	
Estevia				0,06	0,03					0,12		0,22	
Melón					0,13	0,53						0,66	
Calabaza					0,3	4,33						4,63	
Producción hortícola total	1,23	7,58	23,9	22,99	16,88	21,26	7,53	3,91	16,09	2,79	18,49	35,02	
												177,66	

SAM 2	Año												Total por hortaliza
	Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Lechuga	2,07	3,09	2,46	0,53	3,06	7,27	4,45	2,73	9,58	10,42	18,89	64,54	
Sandía					1,65							1,65	
Acelga				0,09	1,47	1,65	1,78	0,28	0,05	1,38	0,61	7,31	
Tomate Raf			5,49	6,56	0,39							12,44	
Tomate Roma		0,09	5,36	5,37	1,66							12,48	
Berenjena		0,7	3,54	1,56	0,68	1,07	0,9	1,26	0,47			10,16	
Pepino		5,97	8,82	5,01	0,54							20,34	
Basil		0,06	0,05	0,46	0,38	0,48		0,17				1,61	
Cebolla			0,06									0,06	
Pimiento para freir italiano		0,05	1,51	1,52	2,31	2,61	0,28					8,28	
Pimiento de cuerno de cabra			0,06	0,16	0,76	0,37	0,16					1,51	
Pimiento de Lamuyo			0,31	0,5	0,94	1,82	0,29					3,86	
Brócoli								0,53	1,24			1,77	
Fresa									0,05	0,25	0,34	0,79	
Coliflor									0,63			0,63	
Col							0,07		0,58			0,65	
Patata												1,09	
Calabacín											4,85	16,77	
Col chino										0,34	1,44	1,79	
Estevia			0,01	0,12	0,05							0,17	
Melón					0,57	0,86						1,43	
Calabaza					1,26	4,18						5,44	
Producción hortícola total	2,07	9,95	27,66	21,87	15,7	20,31	7,93	4,97	12,61	1,97	17,66	32,05	174,77

4.1.4. Producción de tilapia

La producción total de tilapia fue de 33,5 kg en el SAM1 y de 29,28 kg en el SAM2. Las cosechas de peces se produjeron en agosto (dos cosechas), septiembre, octubre y abril (esta última sólo en el SAM1). La evolución de la biomasa de peces se muestra en la Figura 11.

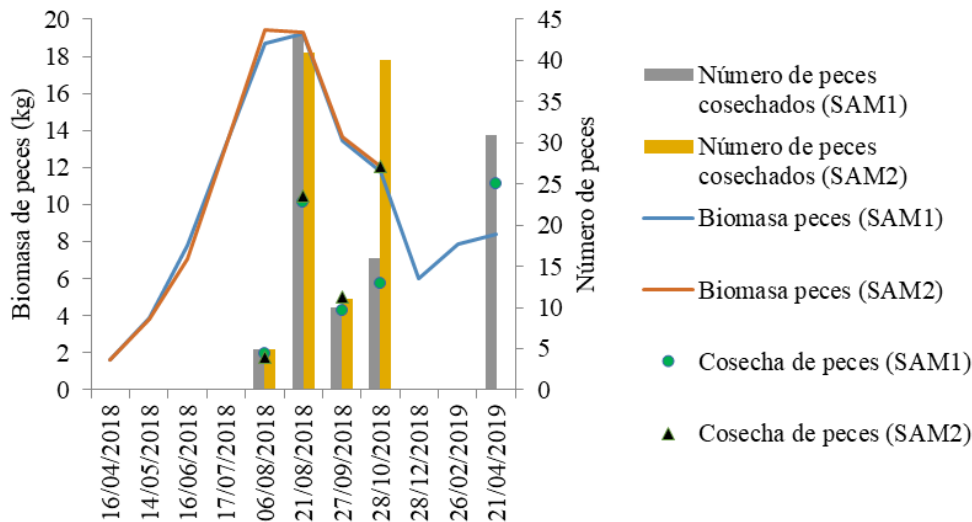


Figura 11. Evolución de la biomasa de peces (kg), el número de peces extraídos y la producción de tilapia (kg) en los diferentes meses.

La mayor cosecha de peces se llevó a cabo en el quinto pesaje ya que se extrajeron 43 peces del SAM1 y 41 peces del SAM2, debido a la elevada biomasa de peces (20 kg m^{-3}), además, las altas temperaturas redujeron los niveles de oxígeno disuelto en el agua a niveles críticos. En el séptimo pesaje, se cosecharon 16 peces del SAM1 y en el SAM2 se cosecharon todos los peces restantes (40 peces), para convertirse en un sistema completamente hidropónico. El peso medio por pez cosechado fue de 317 g en el SAM1 y de 302 g en el SAM2. Entre los 31 peces finalmente cosechados en el SAM1 a finales de abril de 2019 después de 1 año de crecimiento, 14 de ellos pesaron menos de 350 g. No hubo depredación de peces pequeños, sin embargo, un total de 5 peces murieron en el SAM1 y 9 peces en el SAM2 (Tabla 5). Asimismo, se muestra la evolución de los indicadores de crecimiento a lo largo de todo el ciclo en cada SAM (Figura 12) y sus valores medios (Tabla 6).

Tabla 5. Seguimiento y evolución de la tilapia en el SAM1 y SAM2 durante todo el año

Variables	Fecha 1		Fecha 2		Fecha 3		Fecha 4		Fecha 5		Fecha 6		Fecha 7		Fecha 8		Fecha 9		Fecha 10		Media		
	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	SAM1	SAM2	
Peso inicial (g)	1613	1635	3890	3819	7780	7060	13199	13105	18700	19410	19260	13430	13640	11790	12040	7876	8388	11138	11138	10642	11251		
Días desde la última medición	-	-	28	28	33	33	31	31	20	20	14	37	37	31	31	61	61	58	58	37	28		
Alimento (g)	1973	2051	4201	3891	5738	6128	5540	4081	3974	6600	6658	5162	4795	3540	0	1521	4523	0	0	4288	4732		
Número de peces	0	0	109	106	108	104	108	104	103	57	51	47	40	31	0	31	31	0	0	66,82	76,25		
Número de muertes	0	0	1	0	1	2	0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	1,13		
Número de peces cosechados	0	0	0	0	0	0	0	5	5	43	41	10	11	16	40	0	0	31	21,00	24,25			
Peso cosecha (g)	0	0	0	0	0	0	0	1939	1783	10143	10443	4280	5012	5749	12039	0	0	11138	6650	7319			
Peso medio por pez (g)	14,66	15,42	35,69	36,03	72,04	67,89	122,21	126,01	173,15	186,63	192,60	235,61	267,45	250,85	301,00	194,87	254,06	270,58	165,12	151,28			
% Peso ganado	-	-	141,16	133,60	100,02	84,86	69,64	85,62	41,68	48,11	13,36	22,39	24,78	19,66	25,01	15,56	69,66	41,42	54,79	64,26			

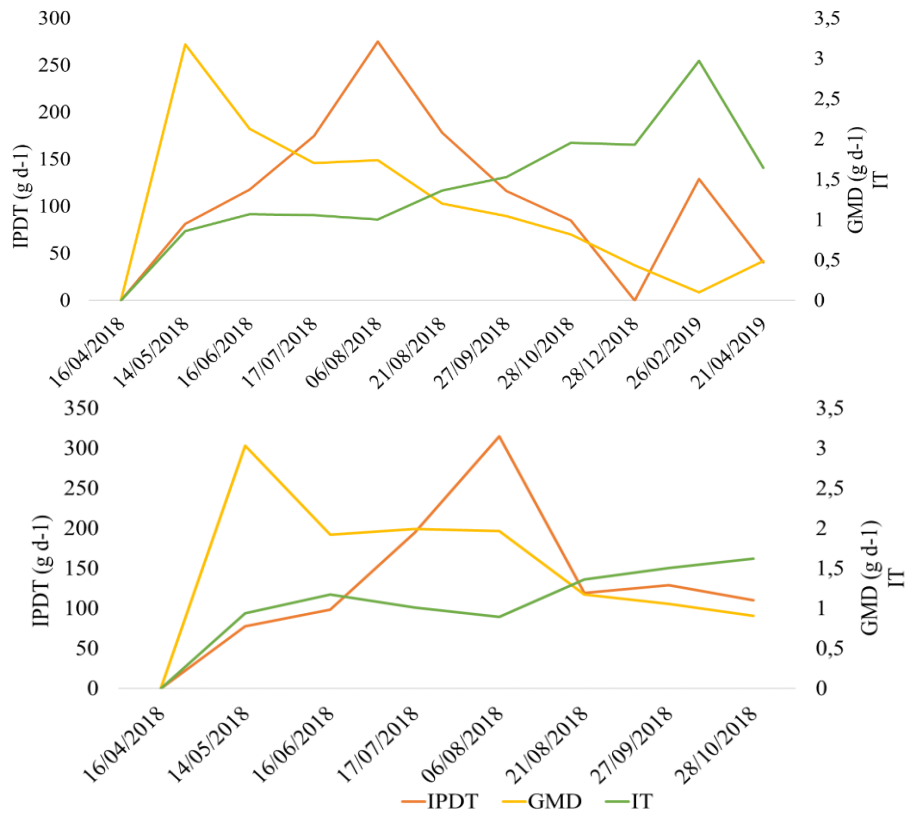


Figura 12. Evolución de los índices calculados: Incremento de Peso Diario por Tanque (IPDT) (g d-1), Ganancia Media Diaria (GMD) (g d-1) e Índice de Transformación (IT) en el SAM1 (arriba) y en el SAM2 (abajo).

Tabla 6. Indicadores de crecimiento de la tilapia en SAM1 y SAM2

Indicadores de crecimiento	SAM1	SAM2
Incremento de Peso Diario por Tanque (IPDT) (g d ⁻¹)*	145,8	155,87
Ganancia Media Diaria (GMD) (g d ⁻¹)*	1,3	1,7
Índice de Transformación (IT)**	1,4	1,2

* IPDT y GMD: media de los índices.

**IT: calculado con los valores finales e iniciales del ensayo.

4.1.5. Contribución de la producción acuapónica a una dieta saludable

Debido a que la producción en los SAM no incluía cereales, granos, lácteos, carne o huevos y aceite (alimentos necesarios para una dieta saludable), se deben adquirir aparte por parte de la familia. Sin embargo, en relación a lo que se refiere a los otros grupos de

4. Resultados

alimentos, se observa que cada SAM produjo un excedente de verduras de color verde oscuro (hortalizas con hojas de color verde) respecto a la cantidad recomendada para una dieta mediterránea balanceada (147% en el SAM1 y 134% en el SAM2). En cambio, los vegetales que aportaron almidón y las frutas tuvieron una producción muy baja en ambos SAM (1% de la cantidad recomendada). En cuanto a la tilapia (comida de mar/peces), los SAM produjeron uno poco más de la cuarta parte de lo recomendado (38% SAM1 y 33% SAM2) (Tabla 7).

Tabla 7. Porcentaje de contribución de cada SAM respecto a la dieta mediterránea recomendada (2000 cal/día) para una familia de cuatro miembros. (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015)

Grupo de alimentos	%SAM1	%SAM2
Verduras*	26	26
Verde oscuro (hortalizas con hojas de color verde)	147	134
Rojo y naranja (hortalizas de color rojo y naranja)	13	15
Leguminosas (judías y guisantes)	0,0	0,0
Almidón	1	1
Otros	39	43
Frutas**	1	1
Granos	0	0
Cereales integrales	0	0,0
Granos refinados	0	0,0
Lácteos	0	0,0
Alimentos proteicos	12	11
Comida de mar/Peces***	38	33
Carnes, Aves, Huevos	0	0
Frutos secos, semillas y productos de soja	0	0
Aceites	0	0
Límite de calorías para otros usos (% de calorías)	0	0

*Verde Oscuro: Brócoli, lechuga, albahaca, acelga. Rojo y naranja: Tomate, calabaza. Almidón: Patata. Otros: Berenjena, pepino, pimientos, cebolla, coliflor, col, calabacín.

**Fruta: Sandía, melón, fresa

***Comida de mar/Peces: Tilapia

4. Resultados

En cuanto a las vitaminas y minerales que ofrecieron los sistemas, se observa en general que el SAM1 fue el sistema que aportó más nutricionalmente respecto al SAM2. Por ejemplo, la vitamina K se produjo en exceso un 195% en el SAM1 y un 167% en el SAM2. Por otro lado, la mitad de la vitamina C recomendada fue producida por el SAM 1 (54%) y un poco menos de la mitad por el SAM2 (47%). Una cuarta parte de la vitamina A fue producida por ambos sistemas, un 26% por el SAM1 y un 25% por el SAM2. Por último, la vitamina B12 fue aportada un 17% el SAM1 y un 15% el SAM2 (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de contribución de cada SAM respecto a las vitaminas y minerales recomendados para una dieta saludable de una familia de cuatro miembros (United States Department of Agriculture - USDA, 2019) .

Nutrientes	SAM1 (%)	SAM2 (%)
Vitamina A (µg)	26	25
Vitamina B1 (mg)	6	5
Vitamina B2 (mg)	7	6
Vitamina B3 (mg)	12	11
Vitamina B6 (mg)	5	4
Folato (µg)	9	9
Vitamina B12 (µg)	17	15
Vitamina C (mg)	54	47
Vitamina D (µg)	14	12
Vitamina E (mg)	8	7
Vitamina K (µg)	195	167
Calcio (mg)	3	3
Magnesio (mg)	12	11
Hierro (mg)	5	5
Zinc (mg)	5	5

4.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores

4.2.1. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina

4.2.1.1. Datos demográficos y características de los productores

Participaron en la encuesta 53 pequeños productores, principalmente de España (41,5%), México (20,8%) y Colombia (15,1%). El 22,6% restante corresponde a Perú, Bolivia, Guatemala, Ecuador, El Salvador, Honduras, Paraguay y República Dominicana. La Figura 13 muestra la distribución de los encuestados por sexo y edad. Sus características sociodemográficas se muestran en la Tabla 9.

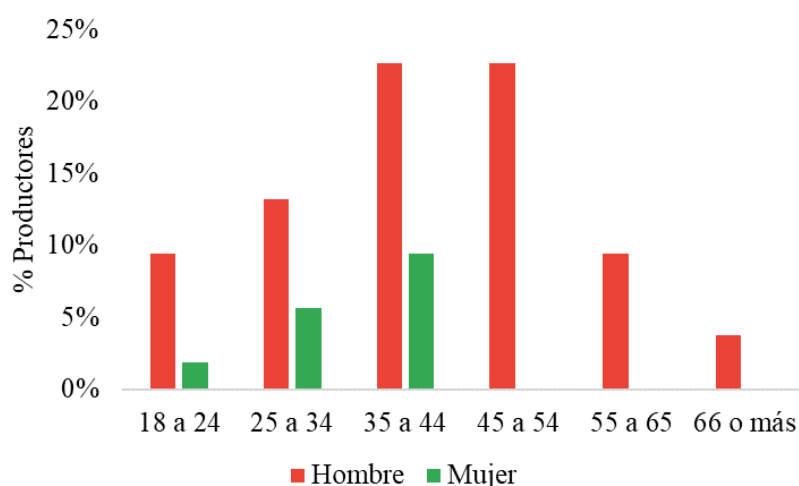


Figura 13. Distribución de los encuestados (% sobre el total de respuestas) por sexo y edad.

Tabla 9. Características sociodemográficas de los participantes. N: número de encuestados; (%): porcentaje sobre el total de respuestas.

Características sociodemográficas		N (%)
Nivel académico	Básica/Obligatoria	3 (5,7)
	Formación profesional/ Carrera técnica	14 (26,4)
	Graduado/Diplomado/Licenciado/Ingeniero	22 (41,5)
	Maestría / Doctorado	14 (26,4)

4. Resultados

Ocupación actual	Estudiante	6 (11,3)
	Desempleado	3 (5,7)
	Trabajador por cuenta propia	20 (37,7)
	Trabajador por cuenta ajena	19 (35,8)
	Jubilado	4 (7,5)
	Labores en el hogar	1 (1,9)
Miembros de la familia	1-2	9 (17,0)
	3-4	28 (52,8)
	5 o más	14 (26,4)
	No responde	2 (3,8)
Ingreso medio de los hogares (euros o dólares/mes)	Hasta 499 €//\$	8 (15,1)
	500-999 €//\$	6 (11,3)
	1000-1499 €//\$	13 (24,5)
	1500-1999 €//\$	5 (9,4)
	2000-2499 €//\$	8 (15,1)
	2500-2999 €//\$	5 (9,4)
	3000-4999 €//\$	2 (3,8)
	5000 €//\$ o más	5 (9,4)
	No responde	1 (1,9)
Ubicación residencial	Urbano	41 (77,4)
	Rural	12 (22,6)

La mayoría de los encuestados (84,9%) no pertenecían a ninguna asociación o grupo de producción acuapónica.

4.2.1.2. Objetivos y motivaciones

La principal motivación para iniciar este tipo de producción parece ser la obtención de alimentos sanos (seleccionada por un 71,7% de los encuestados), libres de residuos de plaguicidas (seguridad alimentaria). Otras motivaciones mayoritariamente seleccionadas fueron la preocupación por el medio ambiente (58,5%), la producción de alimentos de alta calidad (50,9%) y la obtención de autonomía (producir alimentos de autoconsumo) (49,1%). Algunos destacaron igualmente el interés por aprender cosas nuevas (45,3%), ahorrar dinero en la compra de alimentos y tener algunos ingresos (35,8%) y compartir conocimientos con otras personas (34,0%). El 28,3% tenían una producción acuapónica por diversión, el 24,5% por sentirse útil, el 18,9% señaló razones de salud (realizar actividad física moderada) y el 11,3 % de los encuestados seleccionó todas las opciones previstas como motivaciones.

En cuanto a los objetivos que tenían las instalaciones acuapónicas, el 52,8% tenían una finalidad educativa (colegios, granjas escuela...), el 49,1% para la producción de alimentos de autoconsumo, 30,2% como hobby, el 20,8% declaró utilizar los productos para pequeñas ventas, el 20,8% para el intercambio de bienes y el 13,2% de las instalaciones acuapónicas tenían un objetivo de investigación. Cabe señalar que esta pregunta permitía respuestas múltiples, por lo que las combinaciones de objetivos más contestadas fueron: educativo + autoconsumo + regalo e intercambio (7,5%); educativo + autoconsumo (5,7%), y autoconsumo + pequeñas ventas (5,7%). La Figura 14 se observa la combinación entre los objetivos de la instalación acuapónica y las razones que motivaron la puesta en marcha de las instalaciones acuapónicas.

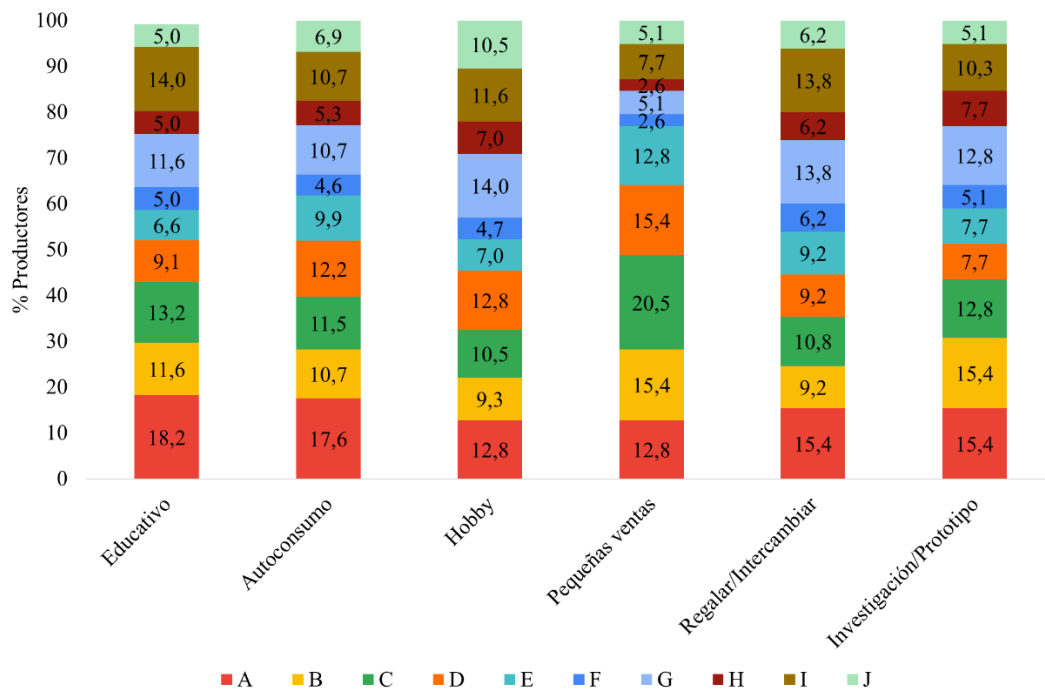


Figura 14. Relación entre el objetivo de las instalaciones y las motivaciones para iniciar un proyecto acuapónico. A: Producir alimentos saludables. B: Producir alimentos de mayor calidad. C: Preocupación por el medio ambiente. D: Autonomía. E: Ahorrar dinero en comida o tener algún ingreso. F: Realizar una actividad física moderada y saludable para mí. G: Aprender cosas nuevas. H: Sentirme útil. I: Compartir conocimientos con otras personas. J: Divertirme y relajarme. El % que aparece en las columnas denota el porcentaje de productores que seleccionaron el objetivo y motivación al mismo tiempo.

Los productos acuapónicos se destinaron principalmente al autoconsumo (73,6%), a la venta (32,1%) o al intercambio (26,4%). El resto (13,3%) declaró la donación, la conservación de especies, la educación y como ornamental.

4.2.1.3. Características de las instalaciones acuapónicas

El 26,4% de los productores tenían sus sistemas acuapónicos en un patio, el 22,6% en una parcela agrícola, el 18,9% en una azotea, el 11,3% en el interior de su casa, el 9,4% en un jardín y el porcentaje restante (13,3%) en centros educativos, cobertizos, invernaderos, terrazas o parques periurbanos.

En cuanto a los medios usados para proteger a las instalaciones contra la intemperie, el 34,0% de los productores declaró tener invernaderos de plástico, el 18,9%

utilizó un invernadero con malla de sombra y sólo dos productores utilizaron un invernadero de cristal. El 13,2% contaban con un cobertizo, un garaje o una habitación pequeña, el 5,7% instaló solo un pequeño techo como cubierta y el 26,4% no utiliza ningún tipo de protección.

La mayoría de los productores (88,7%) utilizaba sistemas acoplados (el agua retorna al tanque de peces después de circular por el subsistema hidropónico), mientras que el 9,4% tenía sistemas desacoplados (el agua no retorna al tanque de peces) y el 1,9% no respondió.

Según el sistema hidropónico instalado, el 54,7% de los productores utilizaba la técnica de película de nutrientes (NFT), el 45,3% el cultivo en aguas profundas (DWC), el 39,6% cama de cultivo y el 5,7% tenía otros tipos de sistemas. En la Tabla 10 se muestra el porcentaje de productores en relación con el objetivo de sus instalaciones y el tipo de sistema hidropónico utilizado.

Tabla 10. Sistema hidropónico utilizado en función del objetivo de las instalaciones.

Objetivo de las instalaciones	Sistema hidropónico		
	DWC (%)	NFT (%)	Cama de sustrato (%)
Educativo (colegios, granja colegios...)	23,8	35,7	40,5
Producción de alimento para autoconsumo	25,7	42,9	31,4
Hobby	26,3	36,8	36,8
Pequeñas ventas	21,4	57,1	21,4
Regalar e intercambiar	20,0	33,3	46,7
Investigación/Prototipo	20,0	40,0	40,0

La mayoría de los productores (69,8%) tenían sus instalaciones conectadas a la red eléctrica, mientras que el resto disponía de paneles solares.

4.2.1.2.1. Producción de plantas

El 50,9% de las instalaciones contaban con menos de 10 m² para la producción de plantas, el 13,2% contaban entre 11 a 25 m², el 7,5% entre 26 a 50 m², el 13,2% entre 51 y 100 m², y el 13,2% contaba con más de 100 m².

En la mayoría de las instalaciones (81,1%) se cultivaban diferentes especies vegetales (policultivo), mientras que en el resto sólo se cultivaba una especie (monocultivo). Las instalaciones destinadas a la pequeña venta (100%) y al autoconsumo (92,3%) utilizaban mayoritariamente policultivos, seguidas por las que tenían como objetivo la investigación (85,7%), intercambiar (81,8%), educativo (75%) y por afición (75%). El tipo de cultivo más habitual en los sistemas acuapónicos (81,1%) fueron las verduras de hoja verde (lechuga, acelga, col rizada...), seguido por las hortalizas de fruto (tomate, pepino, calabacín...) (66,0%), cultivos aromáticos (albahaca, menta, cilantro...) (60,4%), y ornamentales (clavel, gerbera...) y medicinales (17,0%).

La mayoría de los productores (54,7%) obtuvieron una producción hortícola anual de entre 1 y 10 kg/m², el 7,5% de entre 11 y 20 kg/m² y el 7,6% produjo más de 20 kg/m². El 30,2% no respondió. En la Tabla 11 se observa la producción media anual de plantas según el destino, el tipo de producción y el sistema hidropónico utilizado.

Tabla 11. Producción anual de plantas en relación con el destino de las producciones, el tipo de producción de plantas y el sistema hidropónico utilizado.

Variable	Categoría (% en esa categoría)	Producción anual de plantas (kg/m ²)
Destino de la producción*	Autoconsumo (73,6%)	14,4±25,0
	Pequeñas ventas (32,1%)	10,0±15,2
	Intercambio (26,4%)	22,1±33,6
Tipo de producción	Monocultivo (18,9%)	13,4±17,0
	Policultivo (81,1%)	11,6±23,3
Sistema hidropónico**	Cultivo en aguas profundas (DWC) (45,3%)	9,3±11,6
	Técnica de la película de nutrientes (NFT) (54,7%)	15,7±27,4
	Cultivo en sustrato inerte (Media Bed) (39,6%)	9,5±13,5

*Pregunta de selección múltiple. Para las categorías: "donación", "conservación de especies", "educación" y "ornamental" no se tuvo en cuenta la media y la desviación estándar porque contaban con menos de tres respuestas.

**Pregunta de selección múltiple. Para la categoría "otros", no se ha tenido en cuenta la media y la desviación típica porque contaba con menos de tres respuestas.

4.2.1.2.2. Producción acuícola

El 13,2% de los encuestados declaró tener más de 5000 L de agua en los tanques de peces, el 17% tenía entre 2000 y 5000 L, el 22,6% tenía entre 1000 y 1999 L, mientras que el 18,9% declaró tener entre 500 y 999 L y el 28,3% menos de 500 L. La fuente de agua más utilizada fue la red de agua potable (67,9%), mientras que el 20,8% obtenía el agua de pozos, el 13,2% de cursos de agua superficiales (ríos, arroyos, lagos, pantanos...), el 9,4% de agua de lluvia y el 1,9% de ósmosis inversa.

En cuanto a las especies de peces criadas, el 69,8% de los participantes producían tilapias, el 9,4% crustáceos y el 9,4% carpas. También reportaron otros animales como: trucha, tenca, bagre, gambusia, anguilas, moluscos, cachama, chame, tortuga y otros (peces ornamentales como guppys, loricáridos, tetras, cíclidos...). En cuanto a la producción animal obtenida, la mayoría de los encuestados lo desconocen o no respondieron a la pregunta.

4.2.1.3. Funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones acuapónicas

Un poco más de la mitad de los productores (52,8%) no recibió ningún tipo de asesoramiento técnico sobre el diseño de las instalaciones acuapónicas, por lo que obtuvieron información a través de páginas web (69,8%), libros (54,7%) y preguntando a conocidos con cierta experiencia en el tema (47,2%). El 47,2% restante declaró haber recibido cursos de formación. Independientemente de la forma en que se hayan adquirido los conocimientos sobre acuaponía, el 49,1% de los productores cree que necesita formación adicional en acuicultura (alimentación, gestión, salud...) y el 47,2% en producción vegetal (nutrición, gestión, protección de cultivos...).

Se encontró que el 49,1% de las instalaciones acuapónicas estaban en funcionamiento desde hace menos de un año, el 32,1% entre uno y dos años, el 5,7% entre dos y tres años, y el 9,4% de las instalaciones llevaba más de tres años. El 83% de los productores aún tenía sus instalaciones en funcionamiento.

Los principales problemas e inconvenientes reportados se refieren al mantenimiento de los sistemas (73,6%), la falta de conocimientos o experiencia (20,8%), cuestiones económicas (9,4%) y dificultades en la construcción (7,5%). El 1,9% no declaró algún problema.

En relación al tiempo que se invierte dentro de la instalación, el 67,9% de los productores dedicó entre 1-10 horas/semana, el 22,6% entre 11-20 horas/semana, el 3,8% entre 21-30 horas/semana, el 3,8% entre 31-40 horas/semana y el 1,9% no respondió. Asimismo, en el 50,9% de los casos sólo una persona operaba las instalaciones, en el 28,3% había 2 personas, en el 7,5% había 3 personas, en el 3,8% había 4 personas y en el 3,8% había 5 o más personas.

Un poco menos de la mitad de los productores (43,4%) no respondieron sobre cuánto dinero gastaban al mes en sus instalaciones acuapónicas, el 37,7% gastaba entre 1-50 euros/mes, el 9,4% gastaba entre 51-100 euros/mes, el 5,7% gastaba más de 100 euros/mes y el 3,8% no lo sabía. Asimismo, solo el 17,0% recibió financiación externa para la construcción y/o el mantenimiento de las instalaciones acuapónicas.

4.2.1.3.1. Mantenimiento de la producción vegetal

En relación con el uso de nutrientes adicionales o correctivos en los cultivos, el 28,3% de los productores añadió hierro, el 26,4% potasio, el 24,5% una mezcla comercial

de nutrientes, el 22,6% calcio, el 11,3% manganeso y el 9,5% restante estiércol, guano o lixiviado de lombriz. El 17,0% no utilizó ningún aditivo y el 15,1% no respondió. También fue frecuente la combinación de algunos de ellos (por ejemplo, hierro + potasio + calcio).

Las principales plagas que afectaron a los cultivos fueron los pulgones (47,2%), la mosca blanca (32,1%), los ácaros (araña roja...) (15,1%) y las orugas (11,3%). Otras plagas señaladas fueron los saltamontes/langostas, los trips, las hormigas, las tijeretas, los caracoles, las iguanas y los pájaros. El 9,4% declaró no tener ninguna plaga y el 7,5% no respondió. Los productores que tuvieron problemas de plagas, el 37,5% utilizó métodos de control biológico (depredadores o parásitos) para controlar las plagas, el 22,9% trampas (películas adhesivas...), el 12,5% purines de ortiga y el 10,4% azufre. Otros métodos menos empleados por los productores fueron el jabón de potasio, el caolín, las plantas aromáticas, el aceite de neem, el tabaco o el chile picante. El 4,2% no utilizó ningún método de control.

Las principales enfermedades en sus cultivos estaban relacionadas con los hongos, el 52,8% aéreos (oídio, botritis, mildiu...) y el 13,2% afectaban a las raíces. El 5,7% indicó enfermedades bacterianas y víricas. Entre los productores que indicaron la afectación por enfermedades, el 36,8% las trató con agentes de biocontrol (BCA), el 26,3% utilizó azufre y el 2,6% aplicó tratamientos químicos.

4.2.1.3.2. Mantenimiento de la producción piscícola

La mayoría de los encuestados (77,4%) utilizaba un pienso compuesto comercial, mientras que el 22,6% utilizaba un pienso elaborado por ellos mismos.

Los principales problemas de la producción de peces fueron las enfermedades fúngicas (11,3%), la mala calidad del agua (17,0%) y las algas (3,8%). El 24,5% indicó que no tuvieron problemas. Algunos productores también informaron problemas relacionados con la septicemia o el estrés de los animales. Estos problemas se evitaban filtrando y renovando el agua (40,0%), realizando un tratamiento físico del agua (28,9%), utilizando antibióticos (15,0%) y baños de sal contra las enfermedades (15,0%). Otras soluciones constaban en el uso de aceites esenciales, biocompuestos, aumentando el número de plantas en el sistema o reduciendo la densidad de animales.

4.2.2. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina

En el Anexo III se puede observar las respuestas obtenidas para cada una de las preguntas del cuestionario (número y porcentaje del total de respuestas).

6.2.2.1. Datos demográficos y características de los participantes

Un total de 636 participantes respondieron el cuestionario. Las respuestas se obtuvieron de 13 países de habla hispana: España (58,8%), Colombia (23,3%), Ecuador (7,2%) y México (3,6%). El 7,1% restante incluyó respuestas de participantes de Bolivia, Perú, Argentina, El Salvador, Panamá, Cuba, Nicaragua, Chile, Guatemala, Costa Rica, Venezuela, República Dominicana y Uruguay.

La Figura 15 muestra la distribución de los encuestados por sexo y edad, y en la Tabla 12 el nivel académico, ocupación, miembros de la familia e ingresos.

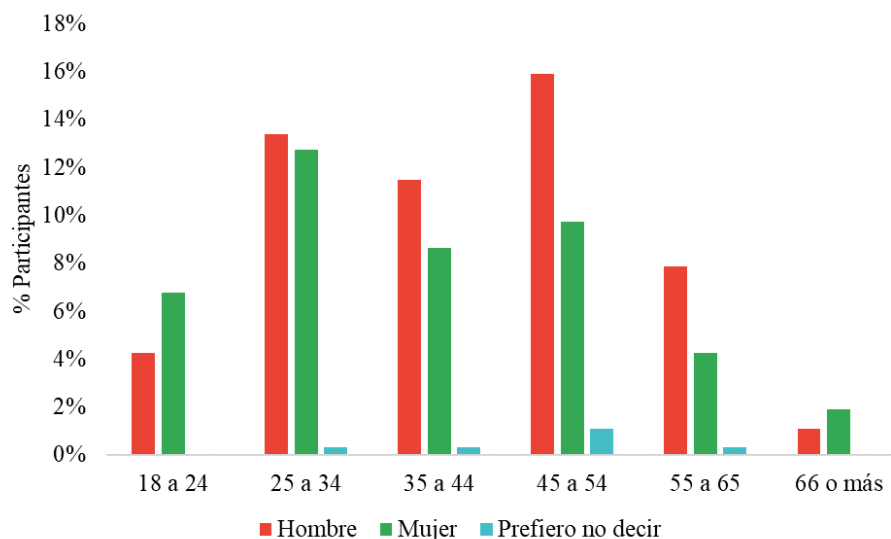


Figura 15. Distribución de los participantes por sexo y edad.

Tabla 12. Nivel académico, ocupación, número de miembros de la familia e ingresos del hogar de los participantes. N: número de encuestados; (%): porcentaje del total de respuestas.

Nivel académico	N (%)
Básica/Obligatoria	39 (6,1)
Formación profesional/Carrera Técnica	142 (22,4)
Graduado/Diplomado/Licenciado/Ingeniero	296 (46,5)
Maestría/Doctorado	159 (25,0)
Miembros en la unidad familiar	
1-2	198 (31,1)
3-4	319 (50,2)
5 o más	119 (18,7)
Ocupación actual	
Estudiante	90 (14,2)
Desempleado	50 (7,9)
Trabajador por cuenta propia	101 (15,9)
Trabajador por cuenta ajena	354 (55,7)
Pensionado/Jubilado	30 (4,7)
Labores en el hogar	11 (1,6)
Ingresos medios de los hogares (euros o dólares/mes)	
Hasta 499 €//\$	81 (12,7)
500-999 €//\$	86 (13,5)
1000-1499 €//\$	104 (16,4)
1500-1999 €//\$	79 (12,4)

4. Resultados

2000-2499 €/€/\$	81 (12,7)
2500-2999 €/€/\$	57 (9,0)
3000-3999 €/€/\$	73 (11,5)
4000-4999€/€/\$	33 (5,2)
5000 €/€/\$ o más	25 (3,9)
No responde	17 (2,7)

La mayoría de los participantes (87,3%) suele elegir productos locales al momento de hacer la compra y el 80,9% tiene una preocupación alta o muy alta por el medio ambiente. En cuanto al lugar donde los participantes habitualmente adquirirían sus alimentos (selección múltiple), el 59,1% informó comprar en grandes superficies, el 55,2% en pequeñas tiendas de barrio, el 40,6% en mercados, el 8,6% en tiendas de comercio justo, el 8,3% de productores ecológicos, 6,6% de cooperativas agropecuarias, 5% de grupos o redes de consumidores que compran directamente a productores cercanos, 4,7% de tiendas gourmet y 0,2% suele hacerlo en línea.

El 84% de los participantes suelen comer todo tipo de productos, mientras que el 10,8% solo verduras, productos lácteos y huevos, y el 3,8% tanto verduras como pescado. Algunos de los participantes (30,8%) producían algún tipo de alimento para autoconsumo (principalmente verduras).

6.2.2.2. Conocimientos de los participantes sobre acuaponía

Un poco más de la mitad de los participantes (58,3%) sabía qué era la acuaponía antes de responder el cuestionario. La Tabla 13 muestra la distribución de las respuestas en relación al conocimiento sobre acuaponía por edad, género, nivel académico, lugar de residencia y país. Curiosamente, el 37,5% de los participantes mostró el interés de llegar a ser un productor acuapónico (de los cuales, 53,7% respondieron que sabían qué era la acuaponía), principalmente con el objetivo de consumir, intercambiar o regalar los productos (68,5%) más que comercializarlos (31,5%).

4. Resultados

Tabla 13. Conocimientos previos de los participantes sobre acuaponía según diferentes variables sociodemográficas. N: número de participantes; (%): porcentaje del total de cada respuesta.

Conocimiento previo sobre la acuaponía		Si N (%)	No N (%)
Edad	18 - 24 años	35 (50)	35 (50)
	25 - 34 años	102 (60,7)	66 (39,3)
	35 - 44 años	72 (55,4)	58 (44,6)
	45 - 54 años	100 (59,2)	69 (40,8)
	55 - 65 años	50 (63,3)	29 (36,7)
	66 años o más	11 (57,9)	8 (42,1)
Género	Prefiero no decir	7 (53,8)	6 (46,2)
	Mujer	153 (54,6)	127 (45,4)
	Hombre	210 (61,4)	132 (38,6)
Nivel académico	Básica/Obligatoria	16 (39,5)	23 (60,5)
	Formación profesional/Carrera Técnica	74 (52,1)	68 (47,9)
	Graduado/Diplomado/Licenciado/Ingeniero	168 (56,8)	128 (43,2)
	Maestría/Doctorado	113 (71,1)	46 (28,9)
Ubicación residencial	Urbano	306 (56,9)	232 (43,1)
	Rural	64 (66,0)	33 (34,0)
País	España	213 (57,0)	161 (43,0)
	Colombia	81 (54,7)	67 (45,3)
	Ecuador	27 (58,7)	19 (41,3)
	México	17 (73,9)	6 (26,1)
	Otro*	33 (73,3)	12 (26,7)

* Bolivia, Perú, Argentina, El Salvador, Panamá, Cuba, Nicaragua, Chile, Guatemala, Costa Rica, Venezuela, República Dominicana y Uruguay.

Se realizó un análisis de regresión probit, con el fin de identificar los factores que influyeron en que los participantes supieran qué era la acuaponía, antes de contestar el cuestionario. Los factores que mejor explicaron fueron “nivel académico” (p -valor=0,000), “preocupación por el medio ambiente” (p -valor=0,000) y “disposición a comprar productos ecológicos, al mismo precio que un producto convencional” (p -valor=0,040). Es decir, que aquellas personas que tenían un nivel académico más alto, que estaban más preocupados por el medio ambiente y que estaban dispuestos a comprar productos ecológicos tendían a saber que es la acuaponía.

4.2.2.3. Preferencias de los participantes por los productos acuapónicos

La gran mayoría de los participantes (90,1%) informó que la acuaponía es un tipo de producción bastante o muy interesante, mientras que solo el 1,4% declaró que era de poco interés o nada interesante. De hecho, el 89,1% de los participantes estaban dispuestos a consumir productos acuapónicos, a pesar de que solo el 13,4% declaró ser consumidores habituales. En cuanto a la motivación para consumir estos productos, el 57,4% reportó la calidad y el sabor del producto, seguido por el 51,6% que es lo hace por preocupación por plaguicidas agrícolas o residuos químicos peligrosos para la salud, el 28,3% por el precio, el 18,1% por la proximidad del producto, el 17,8% por preocupación por el medio ambiente y un 11,5% por preocupación por el bienestar animal.

En cuanto a la preferencia de adquirir varios tipos de productos (convencionales, ecológicos y acuapónicos) al mismo precio, el 48% de los participantes prefirieron productos acuapónicos o ecológicos sobre los convencionales, en cambio, solo el 11,7% prefería productos convencionales. Alrededor del 30% parecen ser indiferentes con respecto al tipo de producto que comprarían.

Hubo diferencias significativas entre el conocimiento previo de los encuestados sobre la acuaponía y su preferencia por comprar productos acuapónicos (p -valor = 0,003) y ecológicos (a igualdad de precios) (p -valor = 0,008), lo que no ocurrió con los productos convencionales, es decir, las personas que sí tenían un conocimiento previo tendieron a tener una mayor preferencia en comprar productos acuapónicos y ecológicos que convencionales, respecto a lo que no tenían un conocimiento previo. Además, tanto las personas que tenían o no conocimiento previo sobre la acuaponía como las que no

4. Resultados

tendieron a preferir de igual forma a los productos acuapónicos y ecológicos (alta preferencia) en comparación con los convencionales (p -valor = 0,000).

Por otro lado, a través de la correlación de Spearman, se encontró una correlación positiva muy débil ($R_s = 0,105$; p -valor = 0,008) entre la dieta de los encuestados y los productos acuapónicos que estaban dispuestos a comprar (ninguno, solo pescado, solo vegetales, pescado y vegetales). Esto quiere decir que cuanto más variada fuera la dieta de una persona, más dispuesta estaría a comprar tanto pescado como verduras acuapónicas (Tabla 14). La mayoría de los que comen verduras y pescado (77,3%), de los que comían verduras, lácteos y huevos (62,5%) y de los que comían de todo (77,4%) comprarían pescado y verduras acuapónicas.

Tabla 14. Relación entre la dieta de los encuestados y el tipo de producto acuapónico que estarían dispuestos a comprar.

Tipo de dieta	¿Qué tipo de productos acuapónicos compraría?									
	No sé		Ninguno		Solo pescado		Solo vegetales		Pescado y vegetales	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Solo como vegetales (N=3)	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	66,7	1	33,3
Como vegetales y pescado (N=22)	0	0,0	3	13,6	1	4,5	1	4,5	17	77,3
Como vegetales y productos lácteos (N=3)	0	0,0	0	0,0	2	66,7	1	33,3	0,0	0,0
Como vegetales, productos lácteos y huevos (N=72)	0	0,0	9	12,5	4	5,6	14	19,4	45	62,5
Como de todo (N=536)	20	3,7	39	7,3	15	2,8	47	8,8	415	77,4

Asimismo, a través de la correlación de Spearman se observa una correlación positiva débil entre el ingreso familiar medio y estar dispuesto a pagar más por un producto acuapónico en México ($R_s = 0,418$, p -valor = 0,050), además, hubo una correlación positiva muy débil para el caso de España ($R_s = 0,145$, p -valor = 0,006) y no hubo correlación para Ecuador ($R_s = 0,175$, p -valor = 0,255) y Colombia ($R_s = -0,079$, p -valor = 0,348).

Solo el 1,6% de los participantes declaró que no compraría productos acuapónicos y el 6% que solo los compraría si fueran más baratos que los productos convencionales. El 31,9% pagaría lo mismo por los productos acuapónicos y convencionales. Los

participantes restantes expresaron su disposición a pagar un precio más alto por los productos acuapónicos: el 11,3% pagaría hasta un 2% más, un 19,5% hasta un 5% más y un 17,5% hasta un 10% más. El 12,3% compraría productos acuapónicos con un precio superior al 10% más con respecto a los convencionales.

En la Tabla 15 se observa la distribución de participantes dispuestos a pagar diferentes precios en cada una de las categorías consideradas anteriormente. No se observaron diferencias claras en el género. En términos de edad, el porcentaje entre las personas de 66 años o más que estaban dispuestas a pagar más por productos acuapónicos (especialmente entre 2% y 10% más) fue más alto que para otros grupos de edad. El porcentaje de encuestados dispuestos a pagar más por productos acuapónicos aumentó para las personas con niveles académicos más altos y para los que viven en áreas rurales. Sin embargo, fue menor para los encuestados que declararon tener un ingreso familiar más bajo. Un porcentaje más alto (68,8%) de los que sabían que era la acuaponía estaban dispuestos a pagar más por productos acuapónicos, en comparación con los que no sabían que era la acuaponía (50% estaban dispuestos a pagar más).

Se realizó un análisis de regresión adicional para identificar los factores que explicaban mejor la pregunta “disposición a pagar por un producto acuapónico”. Los factores: “disposición a comprar productos ecológicos” (al mismo precio que los productos convencionales) (p -valor = 0,001), “ingresos familiares” (p -valor = 0,000) y “disposición a tener una instalación acuapónica” (p -valor = 0,000) fueron los que mejor explicaron el modelo.

Tabla 15. Porcentaje de los encuestados que están dispuestos a pagar por un producto acuapónico teniendo en género, edad, nivel académico, ubicación residencial, ingresos familiares mensuales y saber que es la acuaponía. (1) % total de participantes que respondieron que estaban dispuestos a pagar más por productos acuapónicos que por productos convencionales. (2) % total de participantes que estaban dispuestos a pagar lo mismo o más.

	Nunca compraría	Si fuera más barato	Si tuviera el mismo precio	2% más	5% más	10% más	Dispuesto a pagar				Σ Dispuesto a pagar lo mismo o más (1)	Σ Dispuesto a pagar lo mismo o más (2)
							15% más	20% más	30% más			
Género	Mujer N=76	1,8	5,4	31,2	14,1	19,9	16,7	4,0	5,1	1,8	61,6	92,8
	Hombre N=30	0,9	7,0	31,5	9,7	19,1	19,4	5,2	5,2	2,1	60,6	92,1
Edad	18-24 N=66	1,5	7,6	40,9	10,6	21,2	7,6	7,6	0,0	3,0	50,0	90,9
	25-34 N=163	0,0	6,1	26,4	15,3	23,3	15,3	6,1	6,7	0,6	67,5	93,9
	35-44 N=128	2,3	5,5	29,7	10,9	18,0	20,3	4,7	6,3	2,3	62,5	92,2
	45-54 N=166	1,2	5,4	31,3	10,8	17,5	21,7	4,2	6,0	1,8	62,0	93,4
	55-65 N=77	3,9	7,8	40,3	5,2	16,9	16,9	1,3	3,9	3,9	48,1	88,3
	66 o más N=19	0,0	5,3	21,1	21,1	26,3	26,3	0,0	0,0	0,0	73,7	94,7
Nivel académico	Básica Obligatoria N=37	0,0	10,8	54,1	5,4	13,5	10,8	0,0	5,4	0,0	35,1	89,2
	Formación profesional/Carrera Técnica N=135	0,7	6,7	37,8	12,6	17,8	17,8	3,7	2,2	0,7	54,8	92,6
	Graduado/Diplomado/Licenciado/Ingeniero N=590	1,4	6,9	27,6	10,3	22,1	17,9	5,5	6,6	1,7	64,1	91,7
	Maestría/Doctorado N=157	2,5	3,2	28,0	14,6	18,5	19,1	5,1	5,1	3,8	66,2	94,3
Ubicación residencial	Área urbana N=225	1,1	5,9	33,7	12,6	18,1	17,1	4,8	4,4	2,3	59,3	93,0
	Área rural N=94	3,2	7,4	19,1	6,4	28,7	21,3	4,3	9,6	0,0	73,5	89,4
Ingresos del hogar	hasta 499 € N=81	0,0	12,3	33,3	16,0	12,3	17,3	0,0	4,9	3,7	54,3	87,7
	500-999 € N=86	0,0	7,0	37,2	11,6	25,6	12,8	4,7	1,2	0,0	55,8	93,0
	1000-1499 € N=104	2,9	1,9	36,5	12,5	21,2	14,4	6,7	1,0	2,9	58,7	95,2
	1500-1999 € N=79	1,3	7,6	24,1	13,9	20,3	20,3	6,3	6,3	0,0	67,1	91,1
	2000-2499 € N=81	1,2	6,2	35,8	6,2	21,0	17,3	1,2	9,9	1,2	56,8	92,6
	2500-2999 € N=57	3,5	5,3	28,1	10,5	28,1	10,5	8,8	5,3	0,0	63,2	91,2
Conocimiento sobre acuaponía	3000-3999 € N=73	1,4	4,1	27,4	12,3	16,4	17,8	4,1	11,0	5,5	67,1	94,5
	4000-4999 € N=33	3,0	3,0	24,2	9,1	9,1	39,4	9,1	3,0	0,0	69,7	93,9
	5000 € o más N=25	0,0	8,0	24,0	8,0	16,0	32,0	4,0	4,0	4,0	68,0	92,0
Conocimiento sobre acuaponía	Si N=359	1,7	3,9	25,6	11,7	23,4	19,2	6,1	5,6	2,8	68,8	94,4
	No N=260	1,2	9,2	39,6	11,5	14,6	15,8	2,7	4,6	0,8	50,0	89,6

5. Discusión

5.1. Producción acuapónica de un policultivo de hortalizas y tilapias rojas híbridas para autoconsumo

5.1.1. Insumos necesarios

La producción combinada de pescado y verduras influye considerablemente en la optimización de los insumos necesarios. La cantidad de agua requerida en los sistemas acuapónicos es mucho menor respecto a la acuicultura convencional. De hecho, en sistemas de acuicultura recirculante (RAS), que tienen un uso del agua más eficiente que los sistemas tradicionales, se suele reponer diariamente entre el 5 y el 10% del volumen total de agua usado (Timmons et al., 2007). En comparación, la tasa media de reposición de agua calculada en esta investigación fue de 1,51% SAM1 y 2,19 % SAM2, considerablemente menor. Estos valores son también inferiores respecto a los observados para producción acuapónica por Rakocy et al. (2004) de 2,4 % y por Delaide et al. (2017) de 3,6 %. Sin embargo, son similares a los observados por Pérez-Urrestarazu et al. (2019) entre 0,76 % y 2,48 % y se encuentran dentro del rango determinado por Love et al. (2015b) de 0,5-10 %.

Se calculó la huella hídrica media de los productos vegetales asignando el 50% del volumen total del agua consumido a la producción de las plantas y el otro 50% a la de los peces, tal y como recomiendan Delaide et al. (2017). De este modo, se obtuvo una huella hídrica de 64 L kg⁻¹ (SAM1) y de 91,3 L kg⁻¹ (SAM2), siendo inferiores a los obtenidos por Love et al. (2015a), en el rango entre 100 y 250 L kg⁻¹, y por Delaide et al. (2017) (488 L kg⁻¹). Por otro lado, en la producción de pescado se necesitaron 53,7 L kg⁻¹ en el SAM1 y 78,4 L kg⁻¹ en el SAM2, que son valores similares a los reportados por Pérez-Urrestarazu et al. (2019) en su mejor escenario de 72,9 L kg⁻¹.

La cantidad de energía que requerían las instalaciones acuapónicas de esta investigación fue muy baja, ya que los únicos dispositivos que necesitaban electricidad para funcionar eran las bombas y los compresores de aire. Se obtuvo un consumo medio anual diario muy similar en SAM1 y SAM2 de 0,86 kWh d⁻¹. Aunque, durante los meses fríos, el SAM2 presentó un consumo diario ligeramente inferior y el de SAM1 aumentó a 0,91 kWh d⁻¹, debido a que a veces el panel solar no era suficiente para el

funcionamiento de los calentadores, por lo que, en estos casos el consumo diario fue de 5,7 kWh d⁻¹. Aun así, la energía consumida fue considerablemente baja, de 1,6 kWh kg⁻¹ de producto, respecto a lo reportado por Love et al. (2015b), que informaron un consumo anual de electricidad aproximado a 10900 kWh más 8500 kWh en propano (con un consumo total de 19400 kWh), que supone 53,15 kWh d⁻¹. Teniendo en cuenta la producción conjunta de plantas y pescado, necesitaron 41,15 kWh kg⁻¹ de producto (25,8 kWh kg⁻¹, con solo electricidad). En cuanto al estudio hecho por Delaide et al. (2017), reportaron un consumo de energía mucho mayor (89 kWh kg⁻¹ de producto), a pesar de que el consumo medio diario fue menor (37,2 kWh). Por otro lado, Ghamkhar et al. (2020) obtuvieron un consumo de 41,5 kWh kg⁻¹ en un clima mucho más frío.

El factor que más influyó en el consumo energético, entre los estudios reportados anteriormente y esta investigación, fue el calentamiento del agua, considerándose el parámetro más sensible en el sistema acuapónico. Delaide et al. (2017) indicaron que los calentadores sumergibles que tuvieron un consumo diario de 21,6 kWh, que supusieron el 57 % de la energía necesaria. Por el contrario, Atlason et al. (2017) mostraron un consumo energético mucho menor 8,9 kWh kg de producto⁻¹, debido a que utilizaron el calor residual de un sistema de cogeneración para calentar el agua. Aun así, fue 5,5 veces mayor que en este ensayo. Del mismo modo, Roque d'Orbcastel et al., (2009) reportó un consumo 10 veces superior (16 kWh kg⁻¹ de trucha), en un RAS convencional, asociado a la circulación de agua, oxigenación, funcionamiento y mantenimiento de biofiltros. Cabe destacar que el ahorro energético en este estudio de producción acuapónica es considerablemente mayor en relación a sistemas de producción acuícolas, ya que estos últimos implementan dispositivos se suman al consumo energético (reactores de desnitrificación, irradiación de ozono y/o ultravioleta) (Martins et al., 2010).

Por otro lado, se puede afirmar que al proporcionar las heces de los peces nutrientes orgánicos como nitrógeno, fósforo y carbono (Nozzi et al., 2018), se está ahorrando la adición de estos insumos en el sistema acuapónico, que son cada vez más escasos de forma natural y que a su vez limitan el crecimiento de los cultivos (Hossain et al., 2010).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por otros estudios, se puede afirmar que las estrategias empleadas en esta investigación fueron acertadas, ya que se logró una gran reducción del consumo de energía, lo que se traduce en bajos costos energéticos, que

suelen ser uno de los factores más influyentes en la viabilidad de la producción acuapónica (Maucieri et al., 2018).

Por otro lado, el costo de la mano de obra requerida en estos sistemas no fue alta, en términos relativos, ya que se necesitó una media de 14-18 minutos al día para su mantenimiento y supervisión, sin embargo, una carga de trabajo anual de 100-120 h sí puede llegar a tener un coste elevado si los SAM no son autogestionados (Lobillo-Eguibar et al., 2020).

5.1.2. Calidad del agua y balance de nutrientes

La clave para que un sistema acuapónico sea exitoso, particularmente si se trata de un sistema acoplado a pequeña escala, es el controlar los parámetros fisicoquímicos del agua para que tanto los peces, las plantas y las bacterias nitrificantes puedan encontrarse en un ambiente ideal. Esto no es fácil, al tratarse de tres grupos de seres vivos con necesidades diferentes. Es por ello, que el mantener una calidad de agua adecuada para que las plantas, los peces y los microorganismos puedan funcionar correctamente, se considera un reto constante para la producción acuapónica (Goddek et al., 2015; Lennard y Goddek, 2019).

El pH es uno de los factores más influyentes en la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Por ello, los sistemas acoplados tienden a ser más vulnerables respecto a los desacoplados, ya que en estos últimos se puede llegar a adaptar el pH más fácilmente al encontrarse aislados los circuitos (hidropónicos con los acuapónicos) (Yep and Zheng, 2019). Los valores de pH óptimos para la producción de peces es de $\sim 7,5$ y para las plantas $\sim 5,5$ (Lennard y Goddek, 2019). Sin embargo, Cerozi y Fitzsimmons (2016) recomiendan que el pH en los sistemas acuapónicos se debe mantener en un rango de 5,5 a 7,2 para que tanto las plantas, los peces y las bacterias nitrificantes puedan coexistir. Durante esta investigación, el pH se mantuvo con valores de $6,45 \pm 0,47$ (SAM1) y $6,62 \pm 0,51$ (SAM2), evitándose valores inferiores a 6 que pueden llegar a reducir considerablemente la nitrificación bacteriana (Hauggaard-Nielsen y Jensen, 2005; Somerville et al., 2014). En los casos en que el pH disminuyó demasiado, se añadió hidróxido de calcio. Cuando se transformó el SAM2 de acuapónico a hidropónico los niveles de pH, NO_3^- y CE fluctuaron inmediatamente, y se observó una subida del pH (de

6,8-7 a 7,5) en las primeras horas, por lo que se optó por añadir ácido clorhídrico para amortiguar el efecto.

En la Figura 16 se observa la cosecha de plantas, la biomasa de peces, los nitratos y la cantidad de alimento para los peces durante el transcurso del tiempo. Del SAM1, se observa que los niveles más altos de nitratos fueron de 155 mg L^{-1} en agosto de 2018, lo que está relacionado con el aumento de alimento suministrado a los peces (277 g) y por ende al aumento en la biomasa de los peces (18,7 kg). Estos resultados indican que se podría aumentar la superficie al cultivo de plantas durante el verano, para aprovechar el exceso de nutrientes aportados por los peces. Otra alternativa podría ser introducir hortalizas de fruto, ya que tienen una mayor demanda de nutrientes respecto a las de hoja verde, por lo que tenderían a producir más kg en la cosecha, aumentando la producción anual de las plantas.

El efecto contrario se observó a principios de diciembre de 2018, donde los niveles de nitratos descendieron, manteniéndose en 50 mg L^{-1} , debido al bajo consumo de alimento por parte de los peces (25-30 g d^{-1}). Dicho comportamiento se observó hasta finales de febrero de 2019, cuando se alcanzaron los niveles de nitratos más bajos, en 21 mg L^{-1} con una biomasa de peces de 8,34 kg y 24,9 g de alimento suministrado. Al momento de medir los nitratos, la disminución de estos no fue inmediata debido a la arcilla expandida utilizada en el subsistema GB, que pudo actuar como una "esponja de nutrientes" por la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas y porque en ella se suele acumular una parte importante de sólidos (restos de pienso no consumidos y heces de los peces).

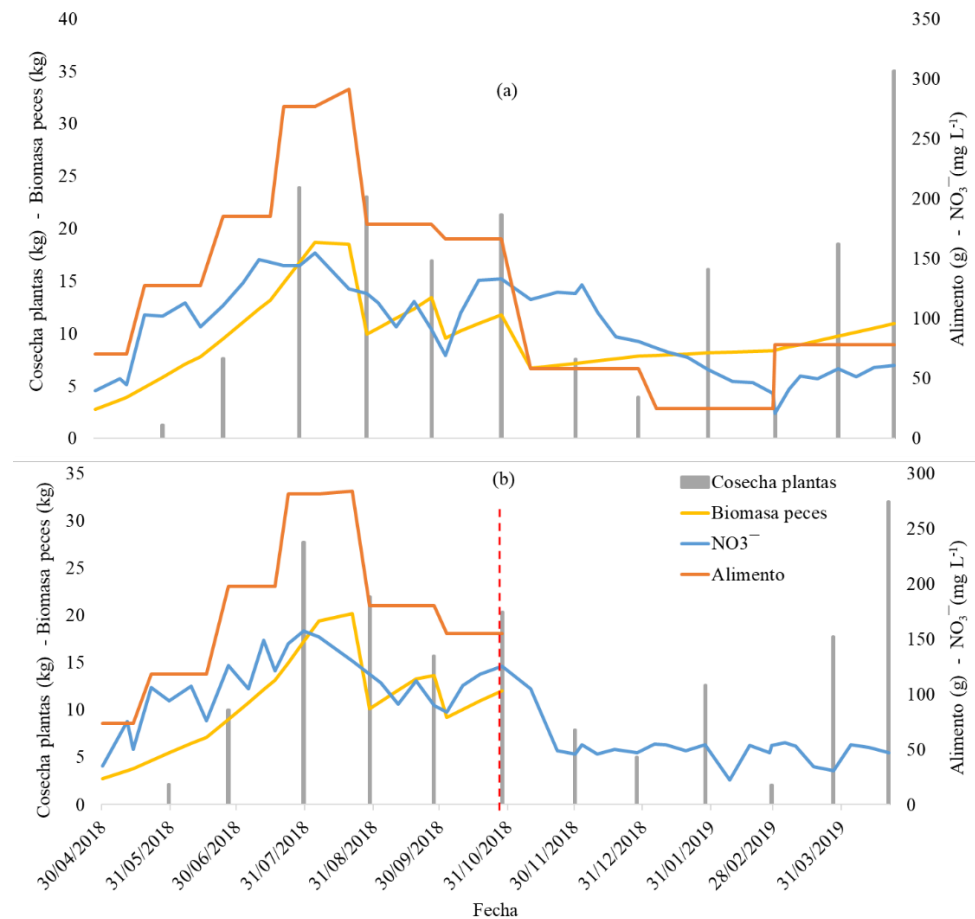


Figura 16. Evolución de los nitratos en el agua en comparación con la cantidad de alimento para peces, la biomasa de peces y la cosecha de plantas obtenida en (a) SAM1 y (b) SAM2. La línea roja discontinua indica la fecha en que se retiraron los peces del SAM2.

5.1.3. Producción y contribución nutricional de las plantas y peces

La producción total conjunta de plantas y de peces durante el año de investigación, fue aproximadamente de 211 kg en el SAM1 y 204 kg en el SAM2, en un área máxima de cultivo de 4,56 m² y un volumen del tanque de peces de 0,95 m³ (ocupando una superficie de 1,2 m²). Entrando en detalle, los rendimientos por unidad de superficie de producción tanto de plantas como de peces, fue de aproximadamente 36 kg m⁻². Es preciso tener en cuenta toda la superficie necesaria para llevar a cabo la producción, con el fin de comparar correctamente los rendimientos obtenidos con los de otros métodos de producción, no sólo teniendo en cuenta el área de cultivo (Pérez-Urrestarazu et al., 2019). Para esta investigación la superficie para cada SAM fue de 16 m² (incluyendo los pasillos de servicio, la zona dedicada al clarificador y otros equipos...). Asimismo, la producción

total, sumando ambos SAM, fue de 415 kg de producto en un invernadero de 45 m². Estos datos arrojan una productividad de 9,2 kg m⁻², sin tener en cuenta la superficie ocupada por el proceso de preparación del vermicompost. Dicho valor duplica considerablemente la productividad media de 3-4 kg m⁻² en los huertos urbanos sociales de Sevilla (Pourias y Puente, 2017).

El haber cultivado 22 especies diferentes de hortalizas, hierbas y frutas en esta investigación hace difícil comparar la producción total de plantas con otros trabajos de investigación ya que la mayoría están relacionados con la producción acuapónica de monocultivos. Por ejemplo, en un estudio realizado por Sommerville et al. (2014) estimaron que un SAM tipo FAO podría producir 360 cabezas de lechuga, 54 kg de tomate y 30 kg de pescado durante un año con una superficie de cultivo de 3 m², pero no especificaron el peso medio por cabeza de lechuga. Sin embargo, si se estima que el peso por cabeza es de 250 g, la producción total fue aproximadamente de 90 kg de lechugas que sumados a los de tomates y pescado, darían una producción total de 174 kg año⁻¹, cantidad levemente inferior a la obtenida en esta investigación. No obstante, la producción de pescado sí fue muy similar.

Asimismo, las condiciones climáticas de cada lugar influyen en la producción, lo que complica aún más la comparación con otras experiencias acuapónicas. En zonas con una clara diferencia de temperatura y radiación solar durante las estaciones del año (períodos de calor y frío más extremos), como ocurre en Sevilla, pueden llegar a originar grandes variaciones en la producción mensual que pueden condicionar el suministro de alimentos acuapónicos.

Aun así, las productividades observadas en esta investigación fueron similares a las obtenidas por Sommerville (2017) en las zonas comprendidas entre Israel, Gaza y Ribera Occidental que se encuentran a 32° de latitud y con condiciones climáticas similares, aunque probablemente con temperaturas menos frías en otoño-invierno. En otro estudio hecho en la ciudad de Palermo, ubicada a 38° de latitud con un clima algo más suave por la influencia del mar, Ascuito et al (2019) produjeron una media de 2250 cabezas de lechuga y 70 kg de tilapia en 5 m² de superficie de cultivo a una densidad muy alta (50 cabezas m⁻²). Sin embargo, no reportaron la producción por unidad de superficie de cultivo, por lo que se optó por calcularla teniendo en cuenta una media de 165 g por cabeza de lechuga, obteniendo una estimación de 74,25 kg m⁻², que duplica la obtenida

en esta investigación. Cabe destacar que los autores no detallaron información relacionada con la temperatura del agua en los sistemas acuapónicos ni cómo lograron una biomasa suficiente de tilapia para mantener una producción de lechuga tan alta con bajas temperaturas del agua (desde octubre a marzo).

Otro estudio realizado por Love et al. (2015b) describieron la producción de una variedad de verduras durante dos años en Baltimore (ubicada a 39° de latitud), alcanzando 22 kg m⁻² en el primer año y 31,5 kg m⁻² en el segundo, con un área de cultivo de 13,4 m² utilizando tilapia. Estos resultados son más consistentes con los de esta tesis.

En relación con los peces, en el presente estudio la cosecha escalonada permitió obtener 5 cosechas de tilapias en SAS1 y 4 en SAS2 a lo largo del año, similar a las 4 cosechas al año que obtuvieron Somerville et al. (2014). En cambio, la repoblación escalonada de peces no fue posible en nuestro caso. Esta técnica consiste en el cultivo de varios grupos de edad al mismo tiempo (múltiples cohortes), de forma que cuando un grupo de edad alcanza el tamaño comercial se cosecha, e inmediatamente se repone un número igual de alevines en el mismo tanque (Rakocy et al., 2006). En este sentido, en España no es posible conseguir un suministro regular de pequeñas partidas de alevines de tilapia, además de ser inviable económicamente debido al elevado precio de venta de las tilapias de 50 g y la inversión extra para montar nuevas instalaciones para cultivarlas. Por ello, al contar con solo un tanque con un lote de peces, se siguió lo recomendado por la FAO (Somerville et al., 2014), utilizar un mayor número de alevines, pero partiendo de una única repoblación al año, lo que facilitó el manejo y el mantenimiento de los SAM. Ascuito et al., (2019) sí optó por la repoblación de peces escalonada, pero con dos rondas de repoblación al año, manteniendo al mismo tiempo una mayor biomasa de peces al contar con 2 tanques de 500 L cada uno.

En nuestro estudio, debido a que los peces procedían de un rango de edad o cohorte con grandes diferencias de peso entre los individuos (entre 1 y 45 g tras 3-4 meses en el vivero), fue posible cosechar peces maduros (mayores de 350 g) en ambos SAM a partir del cuarto mes, y al mismo tiempo permitir que los peces juveniles siguieran creciendo para mantener una biomasa estable que nutriera las plantas.

En esta tesis se obtuvo una GMD de 1,3 g d⁻¹ en el SAM1 y 1,7 g d⁻¹ en el SAM2. Esos valores son en ambos casos inferiores al obtenido por Rakocy et al. (2006) de 2,7 g d⁻¹ y superiores a los reportados por Delaide et al. (2017) de 1 g d⁻¹. Asimismo, los IT

reportados en esta tesis fueron de 1,4 para el SAM1 y 1,2 para el SAM2, valores inferiores respecto a los reportados por Rakocy et al. (2006) de 1,8 y Effendi et al. (2017) entre 1,6 - 2,02. Sin embargo son cercanos a los publicados por Love et al. (2015b) de 1,29, Yıldız y Bekcan (2017) de 1,16 y Delaide et al. (2017) de 1,56.

Se realizó una cosecha de peces en verano como precaución frente a la bajada de oxígeno debido a las altas temperaturas, lo cual originó una reducción de la biomasa de peces para la entrada a los meses de otoño-invierno, limitando considerablemente la producción de plantas e impidiendo una cosecha de peces mayor en esa época. Por ello, una forma de paliar los efectos de climas similares a los de la ciudad de Sevilla, podría ser que durante los meses de verano se aumente la aireación del agua en los tanques de peces, en lugar de reducir la biomasa. Esto permitiría reducir a la mitad la segunda cosecha de agosto (a 5 kg de pescado), acumulándose los 5 kg restantes para aumentar la biomasa en los meses de otoño-invierno e incluso permitiría realizar cosechas mayores durante este período.

De forma general, se puede afirmar que la producción anual proporcionada por los SAM de esta investigación, contribuye a aportar una dieta saludable y balanceada a una familia tipo. De hecho, el consumo anual per cápita en 2018 en España fue de 10 kg de pescado fresco y 57 kg de verduras frescas (MAPA, 2019). Teniendo en cuenta estos valores, la producción obtenida en esta investigación representaría el 155 % del pescado fresco que consume anualmente una familia de cuatro miembros y el 129 % de las hortalizas (sumando la producción de los dos SAM). Por otro lado, se puede afirmar que los españoles consumieron 12kg de pescado menos del recomendado por el USDA (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015). Una de las principales causas ha sido por el aumento del precio del pescado (European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products - EUMOFA, 2020).

Con mayor detalle, la elección de especies y el número de hortalizas que se produjeron en los sistemas acuapónicos un excedente de verduras de color verde oscuro (hortalizas con hojas de color verde) respecto a la cantidad recomendada para una dieta mediterránea balanceada. Sin embargo, produjeron una muy baja cantidad de vegetales con almidón y de frutas, y una cuarta parte de producción de tilapia de lo recomendado. Esto indica la importancia de planificar el cultivo cada mes, teniendo en cuenta las necesidades nutricionales de la familia, los ciclos de las hortalizas y el desarrollo de los

peces según la estacionalidad, con el fin de potencializar al máximo la producción en el sistema acuapónico.

En cuanto a las vitaminas y minerales contenidas en los alimentos que se produjeron en los sistemas, se observa en general que el SAM1 fue el sistema que aportó más vitaminas y minerales respecto al SAM2. La vitamina K se produjo con mayor exceso en ambos SAM, lo que era de esperar debido a la sobreproducción de verduras de color verde oscuro que son ricas en este tipo de vitaminas. Por otro lado, la mitad de la vitamina C recomendada fue producida por los SAM, debido a la presencia de frutas y una cuarta parte de la vitamina A de ambos sistemas, fue proporcionada por la presencia de verduras rojas y las naranjas. Por último, la vitamina B12 solo fue aportada por alimentos proteicos, en este caso, por el consumo de tilapia (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015). Al ser el SAM1 el sistema más productivo (en hortalizas y pescado) era de esperar que aportara mayor cantidad de vitaminas y minerales. Además, la transformación del SAM2 de acuapónico a hidropónico afectó a que produjera menos pescado. Cabe resaltar, que estos SAM pueden suplir parte de una dieta saludable para una familia, por lo que los demás nutrientes deben ser adquiridos aparte de los sistemas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este apartado, es importante desarrollar la escalabilidad dentro de una producción acuapónica, con el fin de identificar el tamaño o la cantidad óptima de los sistemas, las especies más fáciles de mantener por una familia, como mantener la diversificación de hortalizas para los fines de autoconsumo, para de esta forma producir alimentos que puedan suplir necesidades nutricionales de una familia. Para ello es necesario realizar más estudios que puedan evaluar la optimización de la producción, de los recursos (instalaciones, especies, mano de obra) y el mantenimiento de este tipo de producción desde un punto de vista técnico (calidad de agua, balance de nutrientes).

5.2. Perspectivas sobre la acuaponía: productores y consumidores

5.2.1. Caracterización de los productores y de las instalaciones a pequeña escala en España y América Latina

La inexistencia de un censo regional y la falta de información relacionada con productores acuapónicos, dificultó que el cuestionario llegara a muchos de los productores que en realidad existen en España y América Latina. Esto constituyó una de las principales limitaciones de esta investigación, lo que se ve reflejado en el bajo número de participantes en este y otros estudios similares. A pesar de ello, los datos recolectados fueron útiles para tener una visión general y así llegar a definir no solo las principales características de los pequeños productores acuapónicos, de sus instalaciones y operaciones productivas, sino también para recabar sus motivaciones y sus objetivos productivos. Asimismo, cabe destacar que la adquisición y estandarización de la información relacionada con la producción acuapónica puede llegar a ser compleja debido a la heterogeneidad de los diseños de los sistemas, de las condiciones socioeconómicas y climáticas, y a la gran diversidad de las especies de plantas y peces cultivadas.

5.2.1.1. Perfil y motivaciones de los pequeños productores acuapónicos

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se puede deducir que el perfil más frecuente del pequeño productor acuapónico es el de un hombre, de entre 35 y 44 años, con estudios universitario, trabajador por cuenta propia, con una renta familiar media entre 1000-1499 €/€ y que vive en un entorno urbano. Este perfil es similar al reportado por Love et al. (2014), a diferencia de la edad media que fue más cercana al rango de 50-59 años. En otro estudio, Villarroel et al. (2016) también observaron una mayor prevalencia de hombres sobre mujeres, distribuidos principalmente en los grupos de 30-34 y 45-49 años, pero la mayoría tenía un nivel de estudios más alto que en esta investigación, cerca del 91,7% tenía un título de postgrado, lo que podría indicar un sesgo en la muestra. Asimismo, Turnsek et al. (2020) y Mchunu et al. (2018) indicaron una alta participación de hombres con un nivel educativo más alto y con edades entre los 31 y los 50 años.

En este trabajo, los productores acuapónicos suelen ser autodidactas para llevar a cabo sus proyectos de acuaponía, ya que obtuvieron información en línea, a través de amigos u otros productores en foros en línea, lo que también fue reportado por Villarroel et al. (2016). La mayor parte de los conocimientos de los productores parece obtenerse

de la experiencia (propia o ajena). Curiosamente, pocos encuestados declararon pertenecer a alguna asociación de productores acuapónicos, lo que quizás se deba al desconocimiento de su existencia, dispersión geográfica de los productores, falta de coordinación o desinterés. En cualquier caso, los sistemas acuapónicos son complejos y la mitad de los productores manifestaron estar interesados en obtener una formación más específica en acuicultura, la otra mitad sobre horticultura con el fin de optimizar el funcionamiento de sus instalaciones. Las necesidades de formación se centraban fundamentalmente en el manejo de la alimentación de los peces y nutrición de las plantas, el manejo de los sistemas y el tratamiento de plagas y enfermedades.

En relación con los principales objetivos de tener instalaciones acuapónicas, los productores respondieron por orden de frecuencia de selección: educativo, producir alimentos para autoconsumo y por hobby. Love et al. (2014) también señalaron como objetivos la afición y la educación, aunque no contemplaron respuestas relacionadas con autoconsumo o investigación. Por otro lado, Villarroel et al. (2016) reportaron que el objetivo principal de sus encuestados era la investigación seguido de la educación, lo que era de esperarse debido a que la mayoría tenían un título de postgrado, de igual forma, no informaron respuestas relacionadas con autoconsumo o la donación y el intercambio. En otro estudio, Mchunu et al. (2018) determinaron como principales objetivos el ocio y la subsistencia (autoconsumo), y encontraron que el 25% de los productores acuapónicos tenían un propósito comercial.

Las principales motivaciones observadas en esta investigación fueron la producción de alimentos saludables y de alta calidad, la preocupación por el medio ambiente y la autonomía, que son similares a las reportadas por Love et al. (2014) y Villarroel et al. (2016), que hacen alusión a cultivar sus propios alimentos, la sostenibilidad ambiental y mejorar el estado de su salud. Adicionalmente, añadieron la adaptación al cambio climático, mejorar la educación y formación, como otras motivaciones. Por otro lado, también se puede percibir que la motivación económica fue irrelevante para los pequeños productores acuapónicos, que no suelen prestar atención de los gastos que tienen sus instalaciones, ya que cerca del 43% no conocía sus gastos mensuales. No obstante, los que producen alimentos para autoconsumo o para la venta sí mostraron una mayor atención y preocupación por los costes económicos.

Se puede afirmar que las motivaciones no económicas son más relevantes en los sistemas acuapónicos a pequeña escala, como lo pueden ser la salud, la calidad de los alimentos, la preocupación por el medio ambiente y la autonomía, que son la base de la existencia y mantenimiento de otros tipos de producción familiar a pequeña escala en todo el mundo: sistemas de producción campesina o sistemas de huertos urbanos familiares/comunitarios (Maćkiewicz et al., 2019; Schneider y Niederle, 2010; van der Ploeg, 2010). Lobillo-Eguibar et al. (2020), en uno de los pocos estudios económicos relacionados con la producción acuapónica a pequeña escala, encontraron un alto grado de autonomía, que hace alusión a la condición en la que los individuos tienen opciones para lograr una cierta estabilidad ante cualquier tipo de contingencia que puedan afectar su supervivencia o su reproducción social en general (Schneider y Niederle, 2010), con la participación e interés de los miembros de la familia.

Por otro lado, algunas motivaciones parecen más importantes, dependiendo del objetivo principal de la instalación acuapónica (Figura 14). Se observó que las instalaciones que tenían como objetivo el educativo, las motivaciones principales eran “aprender cosas nuevas” y “compartir conocimientos con otras personas”. Con el objetivo de hobby, tuvieron mayor influencia “diversión y relajación” y “aprender cosas nuevas. Curiosamente, “producir alimentos de mayor calidad” fue más importante en los sistemas destinados a la venta a pequeña escala y a la investigación, mientras que “producir alimentos sanos” destacaba cuando la finalidad era educativa o de autoconsumo.

Cabe resaltar, que las motivaciones, no relacionadas con la parte económica, son formas de responder o satisfacer las necesidades humanas básicas, denominadas también como satisfactores y que han sido definidas por Max-Neef (1994) en su enfoque de “desarrollo a escala humana” (Tabla 16).

Tabla 16. Relación entre las motivaciones para tener instalaciones acuapónicas a pequeña escala, las necesidades humanas (adaptadas de Max-Neef (1994)) y la finalidad de las instalaciones.

Motivación	Necesidades humanas satisfechas por la motivación	Propósito de la instalación
Producir alimento saludable	Subsistencia, Protección, Identidad (ser parte de una comunidad, de quienes consumen alimentos saludables), Libertad (decidir consumir y elegir productos libres de residuos químicos peligrosos)	Autoconsumo / Pequeñas ventas / Intercambio / Investigación
Producir alimento de alta calidad	Subsistencia, Protección, Identidad (ser parte de una comunidad, de quienes buscan la calidad), Libertad (decidir consumir y elegir productos de alta calidad)	Autoconsumo / Pequeñas ventas / Intercambio / Investigación
Preocupación por el medio ambiente	Subsistencia, Protección, Identidad (ser parte de una comunidad, de quienes quieren proteger el medio ambiente)	Educación / Investigación
Autonomía	Subsistencia, Protección, Libertad (no depender de las imposiciones de los mercados)	Autoconsumo / Intercambio
Ahorrar dinero y tener algún ingreso	Subsistencia, Libertad (no depender de las imposiciones de los mercados y ofrecer otra forma de consumo)	Autoconsumo / Pequeñas ventas / Intercambio
Aprender	Comprensión, Participación, Ocio, Creación	Educación / Investigación / Hobby
Compartir conocimiento	Afecto (sentirse útil y apreciado al compartir con los demás), Comprensión, Participación, Creación, Identidad (ser	Educación / Investigación

	parte de una comunidad, difundiendo conocimiento) y Libertad	
Sentirse útil	Afecto (sentirse útil y apreciado al llevar alimentos a una familia/comunidad), Participación e Identidad (compartir alimentos en familia/comunidad)	Intercambio / Educación / Investigación
Hacer actividad física moderada	Protección (salud física), Ocio	Hobby
Diversión y relajación	Afecto (apreciar lo que conlleva producir alimentos), Participación, Ocio, Libertad (invertir tiempo en los intereses personales, como producir alimento)	Hobby

5.2.1.2. Características y gestión de las instalaciones acuapónicas a pequeña escala

La producción acuapónica a pequeña escala tiene como ventaja el poderse llevar a cabo en lugares con poco espacio ya que no necesitan requisitos especiales de terreno y puede instalarse fácilmente en entornos urbanos. Lo que se ve reflejado en este trabajo, debido a que el 77% de los productores tenían sus instalaciones en zonas urbanas. Inesperadamente, un alto porcentaje de las instalaciones, cerca del 20%, se encontraban ubicadas sobre tejados, lo que implica el uso de materiales poco pesados, además de un volumen reducido de agua, para evitar problemas por sobrecarga de la estructura de los edificios. Por otro lado, muy pocas de instalaciones se encontraban en el interior de edificios. Love et al. (2014) informaron que tan solo un 3 % de las instalaciones estaban situadas en tejados, mientras que el 28 % estaban dentro de edificios. Villarroel et al. (2016) reportó que el 7,5% de las instalaciones estaban ubicados en azoteas. Lo que está relacionado con la tendencia creciente de la producción de alimentos en azoteas, a través de pequeños huertos urbanos, sistemas hidropónicos, a pequeña escala (Orsini et al., 2017). Llegado el caso de que los productores optaran por transformar sus sistemas para fines comerciales, al estar ubicadas sus instalaciones en zonas urbanas, estarían más cerca de los mercados, acortándose la cadena de suministro y reduciendo la huella de carbono

asociada a las explotaciones rurales y al transporte de alimentos a las ciudades (Joyce et al., 2019).

En esta investigación, se observa que más de la mitad de las instalaciones utilizaron el subsistema hidropónico NFT para cultivar plantas, seguido por el DWC y la cama de cultivo. En cambio, Love et al. (2014) informaron de que la mayoría de los encuestados (86,0%) utilizaban cama de cultivo, el 46% DWC y solo el 19% NFT. Un estudio de Villarroel et al. (2016) también mostraron que los subsistemas DWC y la cama de cultivo eran los métodos más utilizados, siendo el NFT el menos empleado. Asimismo, Mchunu et al. (2018) reportaron que la mayoría de las instalaciones acuapónicas en Sudáfrica (96%) utilizaban cama de cultivo. Las diferentes elecciones del tipo de subsistemas hidropónicos podrían estar asociadas a la disponibilidad de agua y al tipo de vegetales producidos en las zonas donde se llevaron a cabo los estudios. Aunque la cama de cultivo es el tipo de sistema hidropónico más aconsejable cuando se cultivan especies de plantas de mayor tamaño, su mantenimiento suele ser más complejo, debido más que todo a la limpieza del sustrato que también tiene la función de biofiltro. Por este motivo, es habitual combinar diferentes tipos de subsistemas hidropónicos en una misma instalación acuapónica. Por ello, en esta investigación se encontró que el 13,2% de los encuestados contaba con un subsistema NFT junto a una cama de cultivos, el 11,3% contaba con subsistema de DWC, NFT y una cama de cultivo en el mismo sistema. Por otro lado, se observa que la selección del sistema hidropónico está intrínsecamente relacionado con el objetivo de la instalación (Tabla 10), ya que la mayoría de los encuestados que contaban con NFT producían alimentos para autoconsumo o para pequeñas ventas, en cambio, la cama de cultivo fue más común en las instalaciones educativas o para regalar e intercambiar productos.

Cabe destacar que la mayoría de las instalaciones acuapónicas reportadas por los encuestados eran sistemas acoplados, en los cuales el flujo de nutrientes va del sistema de acuicultura al sistema hidropónico y vuelve nuevamente al primero (Palm et al., 2019). La abundancia de este tipo de instalaciones reportada en esta investigación, respalda la idea de que los pequeños productores suelen implementar sistemas acuapónicos acoplados. En cambio, los sistemas desacoplados son los que suelen usarse en las granjas acuapónicas comerciales modernas, en los cuales el flujo va solo en una dirección, es decir, de los tanques de peces a los sistemas hidropónicos sin retornar. En estos sistemas, se pueden incorporar circuitos adicionales de mineralización o destilación/desalinización

que optimizan la producción, minimizan el recambio de agua y el uso de fertilizantes (Goddek et al., 2019).

La mayoría de las instalaciones hacían uso de energía eléctrica, sin embargo, un poco más del 30% usaban energías renovables (específicamente energía solar). Love et al. (2014) observaron que un porcentaje más alto (57%) de los participantes utilizaba otras fuentes de energía alternativas (paneles solares, estufas de leña o pellets, compost, geotermia y energía eólica). Este aspecto es de gran interés, dado que una gran parte de los costes económicos relacionados con el funcionamiento de los sistemas acuapónicos es debido al consumo energético (Ghamkhar et al., 2020; Lobillo-Eguíbar et al., 2020; Maucieri et al., 2018).

Por otro lado, se observó que los productores no suelen hacer un seguimiento exhaustivo de la producción de hortalizas y peces en sus instalaciones, especialmente de estos últimos. Dado que apenas describían el control y tratamiento de las enfermedades de las plantas, lo que quizás se deba a que los productores no tenían muchos conocimientos sobre las enfermedades de las plantas y cómo controlarlas, o, por otro lado, es posible que la incidencia de las enfermedades fuera menor en estos sistemas productivos. En este sentido, varios estudios identifican una acción protectora natural de los efluentes acuícolas o acuapónicos contra los patógenos de las plantas durante las pruebas in vitro (Gravel et al., 2015; Sirakov et al., 2016). Lo que podría explicarse, a la presencia de microorganismos antagonistas o compuestos inhibidores en el agua de los peces. Asimismo, la presencia de materia orgánica disuelta o en suspensión, que no sólo procede de los restos de comida no consumida y de las heces de los peces, sino también de exudados de raíces y residuos vegetales, podría desempeñar un papel importante en la supresión de algunas enfermedades, ya que puede modular un ecosistema microbiano menos favorable para los patógenos de las plantas (Stouvenakers et al., 2019).

Los productores que contaban con monocultivo informaron de una producción media anual de plantas de $13,4 \pm 17,0$ kg/m² y los que tenían policultivo de $11,6 \pm 23,3$ kg/m², valores menores a los reportados por Lobillo-Eguíbar et al. (2020), que informaron una producción anual de plantas considerablemente mayor ($39,5$ kg/m²) en policultivo, al igual que Love et al. (2015b) entre el rango de 22 - 31 kg/m². Esta menor producción observada en esta encuesta puede deberse a la falta de conocimientos y experiencia de los productores frente a estos complejos sistemas, un bajo nivel de automatización y poco

tiempo dedicado a la producción acuapónica. Cabe destacar, que las producciones no cuentan con un control o seguimiento, por lo que algunos encuestados no saben exactamente la cantidad de alimento que producen. Aun así, reportaron que las plantas más comunes que producían eran hortalizas de hoja y de fruto, y aromáticas. Asimismo, indicaron a la tilapia como la especie de pez más comúnmente utilizada, lo cual también fue observado por Love et al. (2014), Villarroel et al. (2016) y Mchunu et al. (2018), a pesar de que estos estudios se llevaron a cabo en países con climas diferentes.

En cuanto a la alimentación de los peces, en esta investigación el alimento más utilizado fue el pienso compuesto comercial, seguido del producido en la explotación. Por ejemplo, Love et al. (2014), Mchunu et al. (2018) y Villarroel et al. (2016) también informaron de un uso mayoritario de piensos compuestos (94%, 98% y 90% respectivamente). Aunque dichos autores describieron el uso de otras fuentes de alimentación para los peces, no informaron si se produjeron o no en la propia explotación.

Curiosamente, la mayoría de las instalaciones acuapónicas fueron construidas recientemente, tenían menos de 3 años, lo que también fue observado por Love et al. (2014). Por el contrario, un estudio de Villarroel et al. (2016) indicaron que la mayoría de las instalaciones funcionaban desde hacía hasta 6 años y Turnsek et al. (2020) que llevaban funcionando entre 3 y 9 años. Paradójicamente, en este trabajo se encontró con que el 17% de los encuestados ya no tenía instalaciones acuapónicas en funcionamiento. Asimismo, Turnsek et al. (2020) informaron que un 19% de los proyectos acuapónicos fueron abandonados en Europa y un 35% en Francia. Las principales razones del abandono que identificaron, se debieron a motivos personales: por traslado y causas familiares, asimismo, dificultades para asegurar la inversión económica inicial o consolidar un modelo de negocio viable. Aunque las instalaciones acuapónicas a pequeña escala pueden construirse con materiales baratos y reciclados (Lobillo-Eguíbar et al., 2020; Somerville et al., 2014), es necesaria realizar una inversión relacionada con el funcionamiento y mantenimiento. En esta investigación, sólo el 17% de los encuestados recibió alguna subvención o financiación para desarrollar su proyecto acuapónico, en cambio, Villarroel et al. (2016) informaron de un mayor porcentaje de productores (35,3%) que obtuvieron fondos del gobierno o de otras organizaciones.

En esta investigación, los encuestados indicaron un gasto medio de mantenimiento y funcionamiento de los sistemas acuapónicos de 26,5 € al mes, lo que quizás se deba a

que los pequeños productores no están interesados en la rentabilidad de la producción para fines comerciales, por lo que invierten menos dinero. Lo que se respalda con los costes de funcionamiento de otros sistemas acuapónicos a pequeña escala, en torno a 20-23 € al mes (Asciuto et al., 2019; Lobillo-Eguíbar et al., 2020). Sin embargo, otros estudios reportaron un gasto mayor, por ejemplo, Love et al. (2015a) identificaron que un productor acuapónico gastaba entre 517 y 833 dólares mensualmente y Villarroel et al. (2016) indicaron que la mayoría de los encuestados gastaban menos de 139 euros al mes. En la acuaponía comercial, la mano de obra de personal representa otro coste importante. El número más habitual de empleados reportado por Love et al. (2015a) fue de 1 o 2 a tiempo completo y 1 a tiempo parcial. En otro estudio, Turnsek et al. (2020) indicaron que la mayoría de las instalaciones tenían entre 1-3 empleados. En cambio, las instalaciones de pequeña escala con fines no comerciales suelen ser autogestionadas, lo que se ve reflejado en este trabajo, donde la mayoría de las instalaciones estaban gestionadas por una sola persona, que dedicaba una media de 8 horas a la semana. Cabe destacar, que estos últimos productores acuapónicos no dedican mucho tiempo al funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones, probablemente porque la acuaponía no representa su actividad principal, por lo que esta tendencia a dedicar poco tiempo a la producción acuapónica refuerza la necesidad de automatizar las instalaciones.

5.2.2. Conocimiento, actitudes y disposición a pagar de los consumidores en España y América Latina

5.2.2.1. Conocimientos y características de los participantes

Es probable que el uso de métodos de recolección de información basados en el muestreo de bola de nieve para las encuestas en línea suscite preocupación por el posible sesgo en la población muestreada que podría generarse (jóvenes, con un alto nivel educativo y socioeconómico). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que esta estrategia es adecuada para conseguir una alta tasa de reclutamiento en las encuestas a bajo coste y en muy poco tiempo en estudios internacionales (McRobert et al., 2018).

De forma general, los resultados obtenidos en este apartado de la tesis revelan un alto interés sobre la producción acuapónica. Lo mismo reportaron Miličić et al. (2017) en un estudio en diferentes países de Europa, donde la mayoría de los encuestados tenía una

actitud generalmente positiva hacia la acuaponía, y que a su vez, no implicaba necesariamente una mayor disposición a pagar más por productos acuapónicos.

El conocimiento sobre acuaponía fue un factor importante que influyó en las preferencias de los participantes. En nuestro estudio, cerca del 60% de los participantes declararon tener conocimientos previos sobre acuaponía. Esto puede ser debido a que la distribución de la encuesta se realizó en parte a través de páginas web relacionadas con el tema de estudio o más afines a este tipo de sistemas de producción. En cambio, Miličić et al. (2017) observaron que más del 50% de los encuestados en toda Europa declararon que nunca habían oído hablar de la acuaponía.

Los participantes en el rango de edad entre 18 a 24 años fueron los que menos sabían sobre acuaponía. En cuanto al género, no tuvo alguna significancia. En cambio, el nivel de estudios resultó ser un factor de influencia (Chi-cuadrado Pearson p-valor = 0,000), ya que a medida que las personas contaban con un nivel académico superior, aumentaba la probabilidad de conocer qué era la acuaponía, alcanzando a más del 70% para los que tenían un máster o doctorado. Los participantes con cierta preocupación por el medio ambiente, que están dispuestos a consumir productos ecológicos y aquellos que vivían en zonas rurales mostraron igualmente un mayor conocimiento.

Cabe destacar que solo el 12,2% de los que sabían que era acuaponía eran consumidores habituales de productos acuapónicos, sin embargo, el 62,5% de ellos estarían dispuestos a ser productores acuapónicos (un 19,7% a nivel comercial y un 42,8% a pequeña escala). Esto refuerza la idea de que, dada la baja disponibilidad de productos acuapónicos en el mercado, las personas que están dispuestas a consumirlos son conscientes de la necesidad de producirlos.

Por otro lado, las principales motivaciones para la compra de productos acuapónicos parecen basarse en la creencia de que ofrecen estándares organolépticos y de calidad más altos, lo que también está relacionado con la preocupación por los pesticidas agrícolas o los residuos químicos peligrosos para la salud. Esto mismo fue observado por Miličić et al. (2017), quien además identificó otro motivador: la conexión con los productores locales. De hecho, en esta investigación la mayoría de los encuestados (87,3%) prefería comprar productos locales. En la actualidad, los canales de distribución cortos de alimentos tienen como fin brindar productos de calidad local a los consumidores, que a su vez suelen ser producidos mediante prácticas amigables con el

medio ambiente y minimizan la huella de carbono. Además, esta forma de distribución de productos garantiza un valor añadido para los agricultores y permite a los consumidores apoyar la economía local (pequeñas explotaciones y/o empresas) (Red Europea de Desarrollo Rural - REDR, 2016).

5.2.2.2. Preferencias de los participantes por productos acuapónicos

Los consumidores están dispuestos a pagar más por los productos acuapónicos cuando se destacan sus beneficios, desde la perspectiva de la sostenibilidad (Abusin and Mandikiana, 2020; Greenfeld et al., 2020). Risius et al. (2017) resaltaron, en un estudio que evaluó las preferencias de los consumidores por productos acuícolas sostenibles, la necesidad de mejorar las formas de informar sobre los productos y crear etiquetados específicos con el fin de aumentar la aceptación y tener un impacto decisivo en el comportamiento de compra de los consumidores. Por ello, es importante generar estrategias de divulgación, ya sea desde una perspectiva de política pública, comercial o de certificación, que puedan resaltar el valor agregado de este tipo de producción para que sea percibido por los consumidores finales (Mauracher et al., 2013; Miličić et al., 2017).

El 60,5% de los encuestados, una proporción bastante alta, declaró estar dispuesto a pagar un precio más alto por un producto acuapónico que por uno convencional, mientras que el 31,9% lo compraría al mismo precio que uno convencional. En cambio, otros estudios reportaron un número menor de participantes dispuestos a pagar una prima por los productos acuapónicos. En el estudio de Miličić et al. (2017), reportaron que solo el 17% de los encuestados estaban dispuestos a pagar más por productos acuapónicos. Asimismo, Specht et al. (2016) indicaron que solo el 27% expresó su disposición a comprar productos de acuaponía en Berlín y que más del 50% estaban dispuestos a comprar productos hortícolas, pero rechazaban productos de sistemas de producción intensiva de animales. Estas diferencias en la intención de pagar precios más altos podrían estar asociadas con la mayor proporción de encuestados que sabían qué era la acuaponía en este trabajo. Este conocimiento puede ayudar a valorar los productos acuapónicos, relacionándolos con una producción más sostenible, más saludable y con una mayor calidad organoléptica.

Cabe destacar que el incremento de precio que los participantes parecen estar dispuestos a pagar no es muy elevado, entre un 2% y un 10% más de lo que vale un

producto convencional. Teniendo en cuenta que para el año 2020 en España el precio medio de productos convencionales, como las hortalizas, fue torno a 1,94 € kg⁻¹ y el de la fruta 1,71 € kg⁻¹ (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020), el precio que estarían los participantes dispuestos a pagar por productos acuapónicos estaría entre 1,97 y 2,13 € kg⁻¹ para las hortalizas, y entre 1,74 y 1,88 € kg⁻¹ para la fruta.

En cuanto al consumo de pescado, en España no existen estudios que discriminen entre pescado de agua dulce o agua salada. Los datos que hay publicados hacen alusión al consumo de pescado en general (pescados frescos, pescados congelados, mariscos/moluscos/crustáceos, conservas de pescados y moluscos). Aun así, considerando que para el año 2020 el precio medio de dicho pescado fue de 8,92 € kg⁻¹ (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020), se estima que los participantes de este estudio estarían dispuestos a pagar entre 9,10 y 9,81 € kg⁻¹ por un pescado acuapónico.

Algo parecido fue reportado por Ureña et al. (2008) en relación a productos ecológicos, donde el 83,7% de los participantes estaba dispuesto a pagar una prima del 5% por fruta ecológica y el 42,2% admitiría un aumento del 20% en el precio. Asimismo, mostró que las mujeres tenían una actitud más favorable hacia la compra y consumo de alimentos ecológicos que los hombres, en cambio, los hombres se inclinaban a pagar un precio más alto que las mujeres. En contraposición, en nuestro trabajo el género no pareció ser un factor significativo, mientras que variables como “ingresos familiares altos”, “disposición a tener una instalación acuapónica” y “disposición a consumir productos ecológicos” influyeron en que los encuestados estuviesen dispuestos a pagar precios más altos por productos acuapónicos. Por otro lado, Greenfeld et al. (2020), sugirieron que los ingresos no eran un factor que afectara el consumo de productos acuapónicos en Israel y Australia, pero definieron a los consumidores habituales de acuaponía como "familias con dietas ecológicas".

Por todo ello, parece haber una asociación de los productos acuapónicos con los ecológicos, que también ayudaría a incrementar su valor añadido (Quagraine et al., 2018). En España, a cierre del año 2020, el precio medio de productos ecológicos estuvo en torno a 2,81 € kg⁻¹ (46,3% más que un producto convencional). Sin embargo, el consumo medio de estos productos ecológicos fue de 24,50 kg año⁻¹, mientras que el de productos convencionales fue para las hortalizas de 63,93 y para la fruta de 99,74kg/año

(Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020). De este modo, el consumo de productos ecológicos representó un 70% menos que el de convencionales. Por ello, se puede afirmar que la proporción de consumidores dispuestos a pagar una prima por un producto ecológico disminuye a medida que aumenta el incremento de precio, lo mismo que ocurre para los productos acuapónicos (Short et al., 2017; Yiridoe et al., 2005).

Para incrementar el número de consumidores de productos acuapónicos es necesario establecer canales de distribución efectivos, con el apoyo de cooperativas de alimentos (Katchova y Woods, 2011), de empresas acuapónicas, acuícolas o hidropónicas, y de organismos gubernamentales para la comercialización y promoción de los productos. Teniendo en cuenta las características de los participantes que estarían dispuestos a pagar más por productos acuapónicos (altos ingresos familiares, alta disposición a tener una instalación acuapónica y a consumir productos ecológicos), se podría potenciar más su consumo a través de una serie de actividades de degustación, seminarios y talleres educativos con el fin de aumentar la conciencia y familiaridad con el consumidor (Han et al., 2017), y dando a conocer el funcionamiento y las ventajas de la producción acuapónica, resaltando su carácter sostenible. Asimismo, la promoción de productos locales, como lo pueden ser los acuapónicos, pueden llegar a ser atractivos para el turismo, ya que a través del consumo y aceptación del producto, se puede llegar a más personas, recomendando a amigos y familiares (Madaleno et al., 2019).

6. Conclusiones

Las siguientes conclusiones hacen alusión a los tres objetivos generales planteados en esta tesis doctoral:

OG1 – *“Evaluar y optimizar una producción acuapónica de autoconsumo, con más de 20 hortalizas, frutas y hierbas junto a tilapia híbrida roja, para evitar las temperaturas excesivamente bajas del agua en los tanques de los peces durante los meses de invierno”.*

1. Se demostró que un sistema acuapónico a microescala puede proporcionar parte de una dieta saludable y balanceada, con suficientes frutas, verduras y pescado para una familia tipo durante todo un año. Sin embargo, todavía existe una importante carencia de estudios sobre la producción acuapónica de policultivos (producción de diferentes especies vegetales) para el autoconsumo.
2. Es necesario implementar estrategias para optimizar los sistemas, minimizando el consumo energía (usando energías más baratas, renovables y más limpias) y reducir las necesidades de mano de obra (mediante el empleo de automatismos y sensorización), factores clave para el éxito de la producción acuapónica.
3. Las dos estrategias de producción acuapónica de esta investigación, que buscaban reducir el gasto energético asociado a la regulación de la temperatura del agua en instalaciones familiares, fueron eficaces, aunque cabe destacar que el uso del panel solar permitió obtener una mayor producción utilizando menos agua y mano de obra.

OG2 – *“Determinar el perfil de pequeños productores acuapónicos y las características de sus instalaciones en España y América Latina”.*

1. El perfil del productor acuapónico medio en España y Latinoamérica es un hombre de mediana edad, con un cierto nivel de estudios y unos ingresos familiares moderados.

6. Conclusiones

2. Entre las motivaciones de los pequeños productores acuapónicos destaca la de adquirir nuevos conocimientos y compartirlos con otras personas, lo que refuerza el propósito educativo de muchas instalaciones acuapónicas. La motivación económica tiene habitualmente escasa importancia, razón por la cual los pequeños productores no suelen prestar mucha atención a los gastos y el rendimiento de la producción.
3. Los objetivos principales de las instalaciones acuapónicas parecen centrarse en producir de forma sostenible alimentos sanos y de alta calidad que aporten cierta autonomía a la familia.
4. Las principales deficiencias de los pequeños productores están relacionadas con el bajo nivel de conocimiento sobre la producción de plantas y peces (especialmente sobre las enfermedades) y el manejo adecuado de los sistemas (mantenimiento de la calidad del agua). Por ello, es necesario desarrollar programas formativos específicos centrados en estas carencias de conocimiento y promover el asociacionismo o las redes temáticas para compartir experiencias y recursos.

OG3 – *“Identificar el conocimiento que tienen las personas sobre la acuaponía, así como evaluar su aceptación y preferencias hacia los productos acuapónicos”.*

1. Poco más de la mitad de los encuestados sabía qué era la acuaponía, estando la probabilidad de conocer este sistema de producción relacionada con su nivel educativo y su preocupación por el medio ambiente.
2. La motivación para consumir productos acuapónicos está basada principalmente en su calidad, sabor y ausencia de pesticidas o residuos químicos.
3. Los ingresos del hogar, la preocupación por el medio ambiente, la tendencia a comprar productos ecológicos y el conocimiento sobre qué es la acuaponía influyeron en la disposición a pagar precios más altos por productos acuapónicos.

6. Conclusiones

- 4.** El perfil del consumidor potencial de productos acuapónicos en los países de habla hispana es similar al observado en otros países, pero su disposición a pagar más por ellos parece ser mayor.
- 5.** El porcentaje de consumidores habituales de productos acuapónicos sigue siendo bajo, lo que puede deberse al desconocimiento de su existencia y su baja disponibilidad en el mercado. Por esta razón, muchos consumidores mostraron el interés de producir sus propios alimentos acuapónicos.
- 6.** Son necesarias campañas de promoción de productos acuapónicos con el fin de abrirles mercado e informar a las personas en que consiste este tipo producción de alimentos.

7. Futuras líneas de investigación

Se proponen las siguientes futuras líneas de trabajo, que surgen a partir de la investigación hecha en esta tesis doctoral, con el fin de paliar las carencias, necesidades y vacíos que aún se identifican en la producción acuapónica:

- Producción de policultivos acuapónicos, teniendo en cuenta varias especies de plantas como de peces en una misma producción, para autoconsumo y con fines comerciales que contribuya con el mercado local.
- Producción acuapónica de especies con un alto valor en el mercado, para que el costo de su producción sea compensado con su precio en el mercado (proponer una prima en el precio de dichas plantas al ser exóticas y acuapónicas).
- Proponer la producción de alimentos acuapónicos como una herramienta de inclusión social y empoderamiento de la mujer, en lugares con familias de bajos recursos y donde los recursos son limitados (suelos fértiles, agua dulce...).
- Preparación de productos elaborados con valor añadido, siendo como materias primas plantas y peces acuapónicos (salsas, aceites, patés...).
- Investigar alimentos alternativos para los peces, que sean más sostenibles y que a su vez, generen un mayor rendimiento en la producción.
- Identificar fuentes de energía limpias y renovables que sean viables en la producción acuapónica, evitándose o minimizándose la dependencia a la energía eléctrica.
- Determinar estrategias para la creación redes de productores y consumidores acuapónicos, a través de ayudas y proyectos de cooperación, y contando con la participación de actores claves que faciliten su creación (asociaciones, centros educativos e investigativos...).

7. Futuras líneas de investigación

8. Referencias

Abusin, S.A.A., Mandikiana, B.W., 2020. Towards sustainable food production systems in Qatar: Assessment of the viability of aquaponics. *Glob. Food Sec.* <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100349>

Ahmed, N., Turchini, G.M., 2021. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *J. Clean. Prod.* 297, 126604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>

Alam, S.M., 1981. Effects of Solution Ph on the Growth and Chemical Composition of Rice Plants. *J. Plant Nutr.* 4, 247–260. <https://doi.org/10.1080/01904168109362916>

Aleksić, N., Šušteršič, V., 2020. Recycling and Sustainable Development Analysis of Application of Aquaponic System as a Model of the Circular Economy-A Review. *Recycl. Sustain. Dev.* 13, 73–86. <https://doi.org/10.5937/ror2001073A>

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2000. Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos.

Asciuto, A., Schimmenti, E., Cottone, C., Borsellino, V., 2019. A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. *Urban For. Urban Green.* 38, 397–402. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2019.02.001>

Atlason, R.S., Danner, R.I., Unnthorsson, R., Oddsson, G.V., Sustaeta, F., Thorarinsdottir, R., 2017. Energy Return on Investment for Aquaponics: Case Studies from Iceland and Spain. *Biophys. Econ. Resour. Qual.* 2, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41247-017-0020-5>

Blanchard, J., 2019. Feasibility of Custom Aquaponics for Home Use. *Agric. Econ. Agribus. Undergrad. Honor. Theses* 14, 1–67.

Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226, 101–112. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00471-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00471-X)

Brooker, R.W., Bennett, A.E., Cong, W.-F., Daniell, T.J., George, T.S., Hallett, P.D., Hawes, C., Iannetta, P.P.M., Jones, H.G., Karley, A.J., Li, L., McKenzie, B.M., Pakeman, R.J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C.A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J., White, P.J., 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 206, 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>

Cerozi, B. da S., Fitzsimmons, K., 2016. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresour. Technol.* 219, 778–781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>

Cerozi, B.S., Fitzsimmons, K., 2017. Phosphorus dynamics modeling and mass balance in an aquaponics system. *Agric. Syst.* 153, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.020>

- Chitmanat, C., Pimpimol, T., Chaibu, P., 2015. Investigation of Bacteria and Fish Pathogenic Bacteria Found in Freshwater Aquaponic System. *J. Agric. Sci.* 7, 254. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n11p254>
- Conn, S.J., Hocking, B., Dayod, M., Xu, B., Athman, A., Henderson, S., Aukett, L., Conn, V., Shearer, M.K., Fuentes, S., Tyerman, S.D., Gilliam, M., 2013. Protocol: Optimising hydroponic growth systems for nutritional and physiological analysis of *Arabidopsis thaliana* and other plants. *Plant Methods* 9, 4. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-9-4>
- DanMei, M., GuangPing, C., HaiYan, Y., 2010. Lethal reaction of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under low temperature stress. *Guangxi Agric. Sci.* 41, 726–728.
- Dasgan, H.Y., Cetinturk, T., Altuntas, O., 2017. The effects of biofertilisers on soilless organically grown greenhouse tomato 555–561. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.73>
- Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., Jijakli, M.H., 2017. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquac. Eng.* 78, 130–139. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2017.06.002>
- Dimuro, G., 2014. La agroecología urbana en Sevilla: canales cortos de comercialización y nuevo modelo de ciudad, in: *El II Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana. Huertos Urbanos, Autoconsumo y Participación Social*. Utrera, Sevilla, Spain.
- Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P., Nixdorf, S.L., 2012. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Comput. Electron. Agric.* 84, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>
- dos Santos, M.J.P.L., 2016. Smart cities and urban areas—Aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban For. Urban Green.* 20, 402–406. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.004>
- Effendi, H., Wahyuningsih, S., Wardiatno, Y., 2017. The use of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) in water recirculation system. *Appl. Water Sci.* 7, 3055–3063. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0418-z>
- Estévez-Moreno, L.X., María, G.A., Sepúlveda, W.S., Villarroel, M., Miranda-de la Lama, G.C., 2020. Attitudes of meat consumers in Mexico and Spain about farm animal welfare: A cross-cultural study. *Meat Sci.* 173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108377>
- European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products - EUMOFA, 2020. *El mercado pesquero de la UE*. Luxemburgo. <https://doi.org/10.2771/637512>
- FAO/WHO, 2004. *Vitamin and mineral requirements in human nutrition* Second edition, World Health Organization. World Health Organization and Food and Agriculture

- Organization of the United Nations 2004, Bangkok, Thailand. <https://doi.org/9241546123>
- FAO, 2018. The state of world fisheries and aquaculture. Rome.
- Geisenhoff, L.O., Jordan, R.A., Santos, R.C., Oliveira, F.C. de, Gomes, E.P., Geisenhoff, L.O., Jordan, R.A., Santos, R.C., Oliveira, F.C. de, Gomes, E.P., 2016. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Eng. Agrícola* 36, 291–299. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016>
- Ghamkhar, R., Hartleb, C., Wu, F., Hicks, A., 2020. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *J. Clean. Prod.* 244, 118767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118767>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability* 7, 4199–4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Goddek, S., Joyce, A., Wuertz, S., Körner, O., Bläser, I., Reuter, M., Keesman, K.J., 2019. Decoupled Aquaponics Systems, in: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer Nature Switzerland AG, Cham, pp. 201–232. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_25
- Gravel, V., Dorais, M., Dey, D., Vandenberg, G., 2015. Fish effluents promote root growth and suppress fungal diseases in tomato transplants. *Can. J. Plant Sci.* 95, 427–436. <https://doi.org/10.4141/CJPS-2014-315>
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J., Dos-Santos, M.J., Angel, D., 2020. Consumer preferences for aquaponics: a comparative analysis of Australia and Israel. *J. Environ. Manage.* 257, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109979>
- Greenfeld, A., Becker, N., Mcilwain, J., Fotedar, R., Bornman, J.F., 2019. Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Rev. Aquac.* 11, 848–862. <https://doi.org/10.1111/raq.12269>
- Han, R., Shin, J.T., Kim, J., Choi, Y.S., Kim, Y.W., 2017. An overview of the South Korean edible insect food industry: challenges and future pricing/promotion strategies. *Entomol. Res.* 47, 141–151. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- Hao, Y., Ding, K., Xu, Y., Tang, Y., Liu, D., Li, G., 2020. States, Trends, and Future of Aquaponics Research. *Sustainability* 12, 7783. <https://doi.org/10.3390/su12187783>
- Hasan, Z., Dhahiyat, Y., Andriani, Y., Zidni, I., 2017. Water quality improvement of Nile tilapia and catfish polyculture in aquaponics system. *Nusant. Biosci.* 9, 83–85.
- Haugaard-Nielsen, H., Jensen, E.S., 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Springer, Dordrecht*, pp. 237–250. https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7_13
- Hermans, C., Vuylsteke, M., Coppens, F., Craciun, A., Inzé, D., Verbruggen, N., 2010. Early transcriptomic changes induced by magnesium deficiency in *Arabidopsis thaliana*

reveal the alteration of circadian clock gene expression in roots and the triggering of abscisic acid-responsive genes. *New Phytol.* 187, 119–131. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03258.x>

Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *Circ. Calif. Agric. Exp. Stn.* 347, 1–32.

Hossain, M.D., Musa, M.H., Talib, J., Jol, H., 2010. Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Levels on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and Photosynthesis. *J. Agric. Sci.* 2, 49–57.

Jensen, M.H., 1999. Hydroponics worldwide. *Acta Hortic.* 481, 719–729. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1999.481.87>

Johnson, T.P., 2014. Snowball Sampling: Introduction. *Wiley StatsRef Stat. Ref. Online.* <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05720>

Joly, A., Junge, R., Bardocz, T., 2015. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles* 1, 3–5. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v1i2.30>

Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B., Wuertz, S., 2019. Aquaponics: closing the cycle on limited water, land and nutrient resources, in: *Aquaponics Food Production Systems.* Springer International Publishing, pp. 19–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2

Kaewwiset, T., Yooyativong, T., 2017. Estimation of electrical conductivity and pH in hydroponic nutrient mixing system using Linear Regression algorithm, in: *2nd Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology: Digital Economy for Sustainable Growth, ICDAMT.* Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Chiang Mai, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904922>

Kamauddin, M.J., Syahmi, N., Othman, I.A., Haafiz, M., Bakar, A., Johari, A., Hassim, M.H., 2019. Performance of Water Treatment Techniques on Cocopeat Media Filled Grow Bed Aquaponics System. *E3S Web Conf.* 90, 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199002001>

Kasozi, N., Kaiser, H., Wilhelmi, B., 2020. Metabarcoding Analysis of Bacterial Communities Associated with Media Grow Bed Zones in an Aquaponic System. *Int. J. Microbiol.* 8884070. <https://doi.org/10.1155/2020/8884070>

Katchova, A.L., Woods, T.A., 2011. Local Food Procurement and Promotion Strategies of Food Cooperatives, in: *Southern Agricultural Economics Association (SAEA).* pp. 1–27. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.98853>

Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertz, S., Zikova, A., Rennert, B., 2015. A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquac. Environ. Interact.* 7, 179–192. <https://doi.org/10.3354/aei00146>

Kumar, R.R., Cho, J.Y., 2014. Reuse of hydroponic waste solution. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 9569–9577. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3024-3>

- Kvakić, M., Pellerin, S., Ciais, P., Achat, D.L., Augusto, L., Denoroy, P., Gerber, J.S., Goll, D., Mollier, A., Mueller, N.D., Wang, X., Ringeval, B., 2018. Quantifying the Limitation to World Cereal Production Due To Soil Phosphorus Status. *Global Biogeochem. Cycles* 32, 143–157. <https://doi.org/10.1002/2017GB005754>
- Kwon, M.J., Hwang, Y., Lee, J., Ham, B., Rahman, A., Azam, H., Yang, J.S., 2021. Waste nutrient solutions from full-scale open hydroponic cultivation: Dynamics of effluent quality and removal of nitrogen and phosphorus using a pilot-scale sequencing batch reactor. *J. Environ. Manage.* 281, 111893. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111893>
- Lee, G.G., Lee, H.W., Lee, J.H., 2015. Greenhouse gas emission reduction effect in the transportation sector by urban agriculture in Seoul, Korea. *Landsc. Urban Plan.* 140, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.012>
- Lee, S., Lee, J., 2015. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 195, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.011>
- Lennard, W., Goddek, S., 2019. Aquaponics: The Basics, in: *Aquaponics Food Production Systems*. Springer International Publishing, pp. 113–143. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5
- Lennard, W.A., Leonard, B. V., 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquac. Int.* 14, 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>
- Lindsay, W.L., 1972. Zinc in Soils and Plant Nutrition. *Adv. Agron.* 24, 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60635-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60635-5)
- Lippert, F., 1993. Amounts of organic constituents in tomato cultivated in open and closed hydroponic systems. *Acta Hortic.* 339, 113–124. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1993.339.10>
- Lobillo-Eguívar, J., Fernández-Cabanás, V.M., Alberto Bermejo, L., Pérez-Urrestarazu, L., Jorge, G., 2020. Economic Sustainability of Small-Scale Aquaponic Systems for Food Self-Production. *Agron.* 2020, Vol. 10, Page 1468 10, 1468. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101468>
- Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X., Semmens, K., 2014. An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS One* 9, e102662.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R.E., 2015a. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture* 435, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>
- Love, D.C., Uhl, M.S., Genello, L., 2015b. Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquac. Eng.* 68, 19–27. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2015.07.003>

- Maćkiewicz, B., Asuero, R.P., Almonacid, A.G., 2019. Urban Agriculture as the Path to Sustainable City Development. Insights into Allotment Gardens in Andalusia. *Quaest. Geogr.* 38, 121–136. <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/quageo-2019-0020>
- Madaleno, A., Eusébio, C., Varum, C., 2019. The promotion of local agro-food products through tourism: a segmentation analysis. *Curr. Issues Tour.* 22, 643–663. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1296417>
- MAPA, 2019. Informe del consumo alimentario en España 2018 [WWW Document]. Minist. Agric. Pesca y Aliment. URL https://www.mapa.gob.es/images/es/20190807_informedeconsumo2018pdf_tcm30-512256.pdf (accessed 7.30.20).
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d’Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
- Maucieri, C., Forchino, A.A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P., Borin, M., 2018. Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *J. Clean. Prod.* 172, 3119–3127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.097>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E. van, Anseeuw, D., Havermae, R. Van, Junge, R., 2019. Hydroponic Technologies, in: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer Nature Switzerland AG, Cham, pp. 77–112. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_25
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Schmutz, Z., Sambo, P., Komives, T., Borin, M., Junge, R., 2017. Vegetable Intercropping in a Small-Scale Aquaponic System. *Agronomy* 7, 63. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040063>
- Mauracher, C., Tempesta, T., Vecchiato, D., 2013. Consumer preferences regarding the introduction of new organic products. The case of the Mediterranean sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in Italy. *Appetite* 63, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.12.009>
- Max-Neef, M., 1994. *Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Icaria, Barcelona, Spain.
- Mcdougall, R., Rader, R., Kristiansen, P., 2020. Urban agriculture could provide 15% of food supply to Sydney, Australia, under expanded land use scenarios. *Land use policy* 94, 104554. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104554>
- Mchunu, N., Lagerwall, G., Senzanje, A., 2018. Aquaponics in South Africa: Results of a national survey. *Aquac. Reports* 12, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.08.001>
- McRobert, C.J., Hill, J.C., Smale, T., Hay, E.M., Van der Windt, D.A., 2018. A multi-modal recruitment strategy using social media and internet-mediated methods to recruit

- a multidisciplinary, international sample of clinicians to an online research study. *PLoS One* 13, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200184>
- Miličić, V., Thorarinsdottir, R., Dos-Santos, M., Turnšek-Hančič, M., Dos Santos, M., Hančič, M.T., 2017. Commercial aquaponics approaching the european market: to consumers' perceptions of aquaponics products in Europe. *Water* 9, 1–22. <https://doi.org/10.3390/w9020080>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2020. Informe del consumo alimentario en España 2020. Madrid.
- Monsees, H., Kloas, W., Wuertz, S., 2017. Decoupled systems on trial: Eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. *PLoS One* 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183056>
- Munguia-Fragozo, P., Alatorre-Jacome, O., Rico-Garcia, E., Torres-Pacheco, I., Cruz-Hernandez, A., Ocampo-Velazquez, R. V., Garcia-Trejo, J.F., Guevara-Gonzalez, R.G., 2015. Perspective for Aquaponic Systems: “omic” Technologies for Microbial Community Analysis. *Biomed Res. Int.* 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/480386>
- Murashige, T., Skoog, F., 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiol. Plant.* 15, 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Nakphet, S., Ritchie, R.J., Kiriratnikom, S., 2017. Aquatic plants for bioremediation in red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) recirculating aquaculture. *Aquac. Int.* 25, 619–633. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0060-7>
- Nasr, J., Komisar, J., de Zeeuw, H., 2017. A Panorama of Rooftop Agriculture Types. pp. 9–29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57720-3_2
- Nozzi, V., Graber, A., Schmutz, Z., Mathis, A., Junge, R., 2018. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. *Agronomy* 8, 27. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030027>
- Oladimeji, A.S., Olufeagba, S.O., Ayuba, V.O., Sololmon, S.G., Okomoda, V.T., 2020. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *J. King Saud Univ. - Sci.* 32, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.02.001>
- Orsini, F., Dubbeling, M., de Zeeuw, H., Gianquinto, G. (Eds.), 2017. *Rooftop Urban Agriculture, Urban Agriculture*. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57720-3>
- Pahri, S.D.R., Mohamed, A.F., Samat, A., 2015. LCA for open systems: a review of the influence of natural and anthropogenic factors on aquaculture systems. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 1324–1337. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0929-0>

- Palm, Harry. W, Knaus, U., Appelbaum, S., Strauch, S.M., Kotzen, B., 2019. Coupled Aquaponics Systems, in: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer Nature Switzerland AG, Cham, pp. 163–200. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_25
- Panase, P., Mengumphan, K., 2015. Growth performance, length-weight relationship and condition factor of backcross and reciprocal hybrid catfish reared in net cages. *Int. J. Zool. Res.* 11, 57–64. <https://doi.org/10.3923/ijzr.2015.57.64>
- Pantarella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., Marcucci, A., 2012. Aquaponics vs. hydroponics: production and quality of lettuce crop. *Acta Hortic.* 887–893. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.109>
- Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguíbar, J., Fernández-Cañero, R., Fernández-Cabanás, V.M., 2019. Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquac. Eng.* 85, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.04.001>
- Pineda-Pineda, J., Valdez-Zamora, A., Miranda-Velázquez, I., Rodríguez-Pérez, J.E., Ramírez-Arias, J.A., Lozano-Toledano, A., 2018. Yield of two cultivars of lettuce (*Lactucasativa* L.) in hydroponic and aquaponic systems. *Acta Hortic.* 1227, 347–354. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.43>
- Pinstrup-Andersen, P., 2018. Is it time to take vertical indoor farming seriously? *Glob. Food Sec.* 17, 233–235. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.09.002>
- Pourias, J., Puente, A.R., 2017. *Agriculture urbaine et Populations Vulnérables*. UMR SAD-APT, AgroParisTech – INRA, Universidad Pablo de Olavide. Fondation Carrefour.
- Puente, A.R., Mendoza, M.M.S., Pazos, G.F.J., Rodríguez, E.S., Bonilla, E.A., Zarandieta, J.A.V., Navarro, D.M., García, H.D.J., 2016. RHUS: Red de huertos urbanos de la ciudad de Sevilla: Bases y estrategias para la creación de la red de huertos urbanos en Sevilla [WWW Document]. URL <https://www.urbanismosevilla.org/areas/planeamiento-desa-urb/huertos-urbanos-de-sevilla> (accessed 7.20.20).
- Quagraine, K.K., Valladão-Flores, R.M., Kim, H.-J., McClain, V., 2018. Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest. *J. Appl. Aquac.* 30, 1–14. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1414009>
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- integrating fish and plant culture. *SRAC Publ. - South. Reg. Aquac. Cent.* 16. <https://doi.org/454>
- Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S., Thoman, E.S., 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system, in: *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science, pp. 63–69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>

- Red Europea de Desarrollo Rural - REDR, 2016. Cadenas de distribución de alimentos y bebidas inteligentes y competitivas. *Rev. Rural la UE* 22, 1–48.
- Risius, A., Janssen, M., Hamm, U., 2017. Consumer preferences for sustainable aquaculture products: Evidence from in-depth interviews, think aloud protocols and choice experiments. *Appetite* 113, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.021>
- Roosta, H.R., Hamidpour, M., 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 129, 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.006>
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J.P., Aubin, J., 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquac. Eng.* 40, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.002>
- Roy, M., Salam, M., Belal Hossain, M., Shamsuddin, M., 2013. Feasibility Study of Aquaponics in Polyculture Pond. *World Appl. Sci. J.* 23, 588–592. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.23.05.74168>
- Saaïd, M.F., Yahya, N.A.M., Noor, M.Z.H., Ali, M.S.A.M., 2013. A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC), in: *IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications*. IEEE, pp. 328–332. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2013.6530066>
- Savvas, D., Gizas, G., 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 96, 267–280. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00054-7)
- Savvas, D., Manos, G., 1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agric. Eng. Res.* 73, 29–33. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0389>
- Schlatter, B., Trávníček, J., Lernoud, J., Willer, H., 2020. Current statistics on organic agriculture worldwide: area, operators and market, in: Willer, H., Schlatter, B., Trávníček, J., Kemper, L., Lernoud, J. (Eds.), *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2020*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn, Germany, pp. 32–131.
- Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R., Smits, T.H.M., 2017. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Arch. Microbiol.* 199, 613–620. <https://doi.org/10.1007/s00203-016-1334-1>
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T.G., Junge, R., 2016. Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/w8110533>
- Schneider, S., Niederle, P.A., 2010. Resistance strategies and diversification of rural livelihoods: the construction of autonomy among Brazilian family farmers. *J. Peasant Stud.* 37, 379–405. <https://doi.org/10.1080/03066151003595168>

- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., Chaurasia, O.P., 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *J. Soil Water Conserv.* 17, 364–371. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>
- Short, G., Yue, C., Anderson, N., Russell, C., Phelps, N., 2017. Consumer perceptions of aquaponic systems. *Hort Technol.* 27, 358–366. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03606-16>
- Sirakov, I., Lutz, M., Graber, A., Mathis, A., Staykov, Y., Smits, T.H.M., Junge, R., 2016. Potential for combined biocontrol activity against fungal fish and plant pathogens by bacterial isolates from a model aquaponic system. *Water (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/w8110518>
- Somerville, C., 2017. Rooftop aquaponics for family nutrition in the Gaza strip, Palestine, in: Orsini, F., Dubbeling, M., de Zeeuw, H., Gianquinto, G. (Eds.), *Rooftop Urban Agriculture*. Springer, pp. 344–354.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A., 2014. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming*, FAO. ed, FAO Fisheries and Aquaculture. Rome.
- Son, J.E., Kim, H.J., Ahn, T.I., 2020. Hydroponic systems, in: Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (Eds.), *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition*. Elsevier Inc., pp. 273–283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0>
- Specht, K., Weith, T., Swoboda, K., Siebert, R., 2016. Socially acceptable urban agriculture businesses. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0355-0>
- Spence, C., 2020. Gastrophysics: Nudging consumers toward eating more leafy (salad) greens. *Food Qual. Prefer.* 80, 103800. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103800>
- Stathopoulou, P., Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A., Angelaki, A., Kapsis, P., Vlahos, N., Mente, E., 2018. Basil and Nile tilapia Production in a Small Scale Aquaponic System. *J. Fish. Sci.* 12, 3.
- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., Jijakli, M.H., 2019. Plant Pathogens and Control Strategies in Aquaponics, in: *Aquaponics Food Production Systems*. Springer International Publishing, pp. 353–378. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_14
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., Schmidt, U., 2016. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agric. Water Manag.* 178, 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>
- Tamin, M., Harun, A., Estim, A., Saufie, S., Obong, S., 2015. Consumer acceptance towards aquaponic products. *J. Bus. Manag.* 17, 49–64. <https://doi.org/10.9790/487X-17824964>

- Tidwell, J.H., 2012. Characterization and Categories of Aquaculture Production Systems, in: Tidwell, J.H. (Ed.), *Aquaculture Production Systems*. John Wiley & Sons, Incorporated, Ames, pp. 64–78.
- Timmons, M.B. (Michael B.), Ebeling, J.M., Northeastern Regional Aquaculture Center (U.S.), 2007. *Recirculating aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures.
- Tocquin, P., Corbesier, L., Havelange, A., Pieltain, A., Kurtem, E., Bernier, G., Périlleux, C., 2003. BMC Plant Biology A novel high efficiency, low maintenance, hydroponic system for synchronous growth and flowering of *Arabidopsis thaliana*.
- Touliatos, D., Dodd, I.C., McAinsh, M., 2016. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food Energy Secur.* 5, 184–191. <https://doi.org/10.1002/fes3.83>
- Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, in: Asao, T. (Ed.), *Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, Rijeka, pp. 1–22.
- Turcios, A., Papenbrock, J., 2014. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability* 6, 836–856. <https://doi.org/10.3390/su6020836>
- Turnsek, Joly, Thorarinsdottir, Junge, 2020. Challenges of commercial aquaponics in Europe: beyond the hype. *Water* 12, 306. <https://doi.org/10.3390/w12010306>
- Tyson, R. V., Simonne, E.H., White, J.M., Lamb, E.M., 2004. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The pH Levels. *Proc. Florida State Hortic. Soc.* 117, 79–83.
- U.S. Department of Health and Human Services, U.S. Department of Agriculture, 2015. *2015-2020 Dietary guidelines for americans*. 8th Edition. Washington. <https://doi.org/10.1097/NT.0b013e31826c50af>
- UNE-En ISO 11290-1, 2017. *Microbiología de la cadena alimentaria. Método horizontal para la detección y el recuento de Listeria monocytogenes y de Listeria spp. Partes 1 y 2: Métodos de detección y recuento*. Spain.
- UNE-En ISO 16649-3, 2016. *Microbiología de la cadena alimentaria. Método horizontal para la enumeración de Escherichia coli beta-glucuronidasa positiva. Parte 3: Detección y técnica del número más probable utilizando 5-bromo-4-cloro-3-indol beta-D-glucoronato*. Spain.
- UNE-En ISO 6579-1, 2017. *Microbiología de la cadena alimentaria. Método horizontal para la detección, enumeración y serotipado de Salmonella. Parte 1: Detección de Salmonella spp.*
- United Nations, 2018. *World Urbanization Prospects The 2018 Revision*. Department of Economic and Social Affairs Population Division [WWW Document]. URL <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (accessed 7.22.20).

United States Department of Agriculture - USDA, 2019. FoodData Central [WWW Document]. 2017-2018 Food Nutr. Database Diet. Stud. URL <https://fdc.nal.usda.gov/index.html> (accessed 6.23.21).

Ureña, F., Bernabéu, R., Olmeda, M., 2007. Women, men and organic food: differences in their attitudes and willingness to pay. A Spanish case study. *Int. J. Consum. Stud.* 0, 071203213649007-??? <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00637.x>

Van Delden, S.H., Nazarideljou, M.J., Marcelis, L.F.M., 2020. Nutrient solutions for *Arabidopsis thaliana*: a study on nutrient solution composition in hydroponics systems. *Plant Methods* 16, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00606-4>

van der Ploeg, J.D., 2010. The peasantries of the twenty-first century: the commoditisation debate revisited. *J. Peasant Stud.* 37, 1–30. <https://doi.org/10.1080/03066150903498721>

Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., Joly, A., 2016. Survey of Aquaponics in Europe. *Water* 8, 468. <https://doi.org/10.3390/w8100468>

Willer, H., Schlatter, B., Schaack, D., 2020. Organic Farming and Market Development in Europe and the European Union, in: Willer, H., Schlatter, B., Trávníček Jan, Kemper, L., Lernoud, J. (Eds.), *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2020*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn, Germany, pp. 227–264.

Wilson, L.E., Duncan, N.C., Andrew Crain, D., Andrew, D., 2017. Comparison of Aquaponics and Hydroponics on Basil (*Ocimum basilicum*) Morphometrics and Essential Oil Composition. *Rural. Rev. Undergrad. Res. Agric. Life Sci.* 11.

Wortman, S.E., 2015. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 194, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.045>

Wu, F., Yang, C., Wen, H., Zhang, C., Jiang, M., Liu, W., Tian, J., Yu, L., Lu, X., 2019. Improving low-temperature stress tolerance of tilapia, *Oreochromis niloticus*: A functional analysis of *Astragalus membranaceus*. *J. World Aquac. Soc.* 50, 749–762. <https://doi.org/10.1111/jwas.12586>

Yang, T., Kim, H.-J., 2020. Effects of Hydraulic Loading Rate on Spatial and Temporal Water Quality Characteristics and Crop Growth and Yield in Aquaponic Systems. *Horticulturae* 6, 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6010009>

Yep, B., Zheng, Y., 2019. Aquaponic trends and challenges – A review. *J. Clean. Prod.* 228, 1586–1599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>

Yiridoe, E.K., Bonti-Ankomah, S., Martin, R.C., 2005. Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. *Renew. Agric. Food Syst.* 20, 193–205. <https://doi.org/10.5367/000000000101293310>

Yıldız, H.Y., Bekcan, S., 2017. Role of stocking density of tilapia (*Oreochromis aureus*) on fish growth, water quality and tomato (*Solanum lycopersicum*) plant biomass in the

aquaponic system. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 2, 2819–2824. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.6.7>

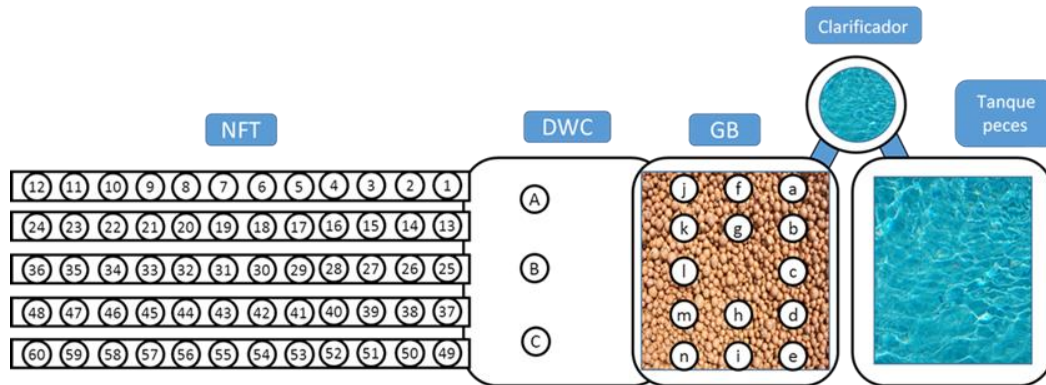
Zaini, A., Kurniawan, A., Herdhiyanto, A.D., 2018. Internet of Things for Monitoring and Controlling Nutrient Film Technique (NFT) Aquaponic. 2018 Int. Conf. Comput. Eng. Netw. Intell. Multimedia, CENIM 167–171. <https://doi.org/10.1109/CENIM.2018.8711304>

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Guimbaud, C., Wang, Q., Fang, Y., 2016a. Effect of seasonal variation on nitrogen transformations in aquaponics of northern China. *Ecol. Eng.* 94, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.063>

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., Fang, Y., 2016b. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresour. Technol.* 210, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>

9. Anexo I: Distribución y producción de plantas durante un año

Esquema de la ubicación de cada una de las plantas cultivadas



h	Lechuga	14/09/19	26/10/19	Cosecha	42					166		166
h	Patata	31/01/19	12/04/19	Fin de ciclo	71	76				1409		1409
h'	Lechuga	14/09/19	26/10/19	Cosecha	42					115		115
h'	Lechuga	07/11/19	15/12/19	Cosecha	38				214			214
h'	Lechuga	01/03/19	24/04/19	Cosecha	54					176		176
i	Pepino	24/04/18	04/06/18	Fin de ciclo	41	129	3596	5308	773			9677
i	Brócoli	14/09/18	18/12/18	Fin de ciclo	95	140				716	1166	2179
i	Lechuga	18/09/19	31/10/19	Cosecha	43					180		180
i	Calabacín	01/02/19	08/03/19	Cosecha	35	82				2432	6088	8520
j	Pimiento de cuerno de cabra	24/04/18	06/08/18	Exceso de sombra	104	197	1413	827	2072	344		4656
j	Fresa	25/10/18	23/01/19	Cosecha	90	181				47	9	56
j	Lechuga	01/03/19	24/04/19	Cosecha	54							121
j	Calabacín	01/02/19	09/03/19	Cosecha	36	82				2386	5933	8319
k	Sandia	23/05/18	05/09/18	Fin de ciclo	105	130			4895			4895
k	Lechuga	14/09/19	31/10/19	Cosecha	47					118		118
k	Lechuga	07/11/19	15/12/19	Cosecha	38					190		190
k'	Lechuga	18/09/19	31/10/19	Cosecha	43					111		111
k'	Lechuga	01/03/19	24/04/19	Cosecha	54						143	143
l	Pimiento para freír italiano	23/05/18	13/08/18	Fin de ciclo	82	159			183	36	652	871
l	Lechuga	14/09/19	31/10/19	Cosecha	47					144		144
l	Lechuga	07/11/19	15/12/19	Cosecha	38					209		209
m	Lechuga	14/09/19	31/10/19	Cosecha	47					171		171
m	Lechuga	07/11/19	15/12/19	Cosecha	38					198		198
n	Cebolla	14/05/18	12/07/18	Cosecha	59	59			59			59
n	Pimiento para freír italiano	19/07/18	19/10/18	Exceso de sombra	92	111				578	116	694

30	Lechuga	01/11/18	07/12/18	Cosecha	36	0				72		72
30	Lechuga	07/12/18	24/01/19	Cosecha	48	0				261		261
30	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					181	181
30	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0					241	241
31	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0	24					24
31	Lechuga	12/09/18	22/10/18	Cosecha	40	0				141		141
31	Lechuga	18/11/18	22/01/19	Cosecha	65	0				178		178
31	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					157	157
31	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0					285	285
32	Lechuga	30/07/18	12/09/18	Cosecha	44	0	74					74
32	Lechuga	12/09/18	25/10/18	Cosecha	43	0			109			109
32	Lechuga	18/11/18	22/01/19	Cosecha	65	0				195		195
32	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					176	176
32	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0					148	148
33	Acelga	30/07/18	11/10/18	Cosecha- Plaga	73	166			120	120	151	439
33	Lechuga	12/01/19	10/03/19	Cosecha	57	0					145	145
33	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0					261	261
34	Pepino	04/06/18	17/07/18	Cosecha	43	88		2939	3909			6848
34	Lechuga	10/09/18	25/10/18	Cosecha	45	0				188		188
34	S	31/10/18	12/02/19	Cosecha	104	175					109	223
35	Lechuga	06/08/18	12/09/18	Cosecha	37	0	66					66
35	Lechuga	12/09/18	22/10/18	Cosecha	40	0				184		184
35	Lechuga	12/11/18	22/01/19	Cosecha	71	0				369		369
35	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					183	183
35	Lechuga	13/03/19	24/04/19	Cosecha	42	0					322	322
36	Lechuga	06/08/18	03/09/18	Cosecha	28	0	26					26
36	Lechuga	08/09/18	11/10/18	Cosecha	33	0			179			179
36	Lechuga	11/10/18	15/11/18	Cosecha	35	0				252		252

40	Lechuga	08/09/18	22/10/18	Cosecha	44	0	239	239							
40	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	142	142							
40	Lechuga	07/12/18	24/01/19	Cosecha	48	0	352	352							
40	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	216	216							
40	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	346	346							
41	Acelga	13/07/18	07/09/18	10/03/19	56	240	151	109	148	91	242	42	112	42	895
41	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	81	81	491	491					
42	Lechuga	25/07/18	07/09/18	Cosecha	44	0	162	162	81	81					
42	Lechuga	08/09/18	22/10/18	Cosecha	44	0	162	162	162	162					
42	Lechuga	18/11/18	22/01/19	Cosecha	65	0	236	236	236	236					
42	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	220	220	220	220					
42	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	250	250	250	250					
43	Lechuga	29/07/18	07/09/18	Cosecha	40	0	155	155	155	155					
43	Lechuga	07/09/18	25/10/18	Cosecha	48	0	83	83	83	83					
43	Lechuga	12/11/18	22/01/19	Cosecha	71	0	415	415	415	415					
43	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	195	195	195	195					
43	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	275	275	275	275					
44	Pimiento Lanuyo	07/07/18	13/08/18	07/11/18	37	123	20	183	48	71	322	322			
44	Lechuga	12/11/18	22/01/19	Exceso sombra	71	0	310	310	310	310					
44	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	144	144	144	144					
44	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	212	212	212	212					
45	Pimiento Lanuyo	10/06/18	06/08/18	07/11/18	57	150	370	161	246	56	833	833			
45	Lechuga	12/11/18	22/01/19	Exceso sombra	71	0	390	390	390	390					
45	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	255	255	255	255					
45	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	329	329	329	329					
46	Acelga	30/07/18	14/09/18	22/01/19	46	176	179	188	61	141	91	660			
46	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Plaga	45	0	198	198	198	198					

46	Lechuga	13/03/19	24/04/19	24/04/19	Cosecha	42	0	0	338	338
47	Albahaca	07/07/18	29/08/18	22/01/19	Sustitución	53	199	123	535	535
47	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0	212	212	
47	Lechuga	13/03/19	24/04/19		Cosecha	42	0	229	229	
48	Lechuga	26/07/18	08/09/18		Cosecha	44	0	240	348	
48	Lechuga	08/09/18	22/10/18		Cosecha	44	0	148	148	
48	Lechuga	22/10/18	24/01/19		Cosecha	94	0	348	348	
48	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0	177	177	
48	Lechuga	13/03/19	24/04/19		Cosecha	42	0	191	191	
49	Pimiento para freír italiano	24/04/18	02/07/18	23/11/18	Sustitución	69	213	967	3584	
49	Lechuga	23/11/18	22/01/19		Cosecha	60	0	291	291	
49	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0	294	294	
49	Lechuga	10/03/19	24/04/19		Cosecha	45	0	363	363	
50	Lechuga	18/05/18	19/06/18		Cosecha	32	0	575	575	
50	Lechuga	19/06/18	29/07/18		Cosecha	40	0	320	320	
50	Lechuga	29/07/18	12/09/18		Cosecha	45	0	78	78	
50	Lechuga	12/09/18	06/11/18		Cosecha	55	0	142	142	
50	Lechuga	07/11/18	12/12/18		Cosecha	35	0	200	200	
50	Lechuga	12/12/18	24/01/19		Cosecha	43	0	296	296	
50	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0	356	356	
50	Lechuga	10/03/19	24/04/19		Cosecha	45	0	375	375	
51	Lechuga	02/06/18	17/07/18		Cosecha	45	0	508	508	
51	Lechuga	18/07/18	03/09/18		Cosecha	47	0	74	74	
51	Lechuga	05/09/18	17/10/18		Cosecha	42	0	202	202	
51	Lechuga	17/10/18	22/11/18		Cosecha	36	0	226	226	
51	Lechuga	23/11/18	22/01/19		Cosecha	60	0	287	287	
51	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0	298	298	

51	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	450	450	450
52	Lechuga	02/06/18	24/07/18	Cosecha	52	0	138		138
52	Lechuga	24/07/18	12/09/18	Cosecha	50	0	75		75
52	Lechuga	08/09/18	25/10/18	Cosecha	47	0	179		179
52	Lechuga	25/10/18	26/11/18	Cosecha	32	0	228		228
52	Lechuga	26/11/18	22/01/19	Cosecha	57	0	140		140
52	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	274		274
52	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	507		507
53	Lechuga	07/07/18	17/08/18	Cosecha	41	0	232		232
53	Pimiento para freir italiano	17/08/18	19/10/18	Cosecha	63	63	12		12
53	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	115		115
53	Lechuga	07/12/18	24/01/19	Cosecha	48	0	387		387
53	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	306		306
53	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	365		365
54	Lechuga	19/07/18	03/09/18	Cosecha	46	0	115		115
54	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	153		153
54	Lechuga	17/10/18	26/11/18	Cosecha	40	0	198		198
54	Lechuga	26/11/18	22/01/19	Cosecha	57	0	204		204
54	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	264		264
54	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	165		165
55	Acelga	25/07/18	14/09/18	Plaga	51	128	130	325	190
55	Acelga	30/11/18	27/01/19	Cosecha	58	100	114	195	225
55	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	262		262
56	Lechuga	06/08/18	08/09/18	Cosecha	33	0	133		133
56	Lechuga	08/09/18	29/10/18	Cosecha	51	0	239		239
56	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	317		317
56	Lechuga	11/03/19	24/04/19	Cosecha	44	0	227		227

57	Acelga	29/07/18	25/09/18	20/12/18	Plaga	58	144	10	459	253	403	279			1125					
57	Lechuga	20/12/18	24/01/19		Cosecha	35	0					279			279					
57	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0						248		248					
57	Lechuga	11/03/19	24/04/19		Cosecha	44	0							304	304					
58	Estreva	11/06/18	02/07/18	24/02/19	Sustitución- Exceso de	21	258	4	59	32			120		215					
58	Lechuga	24/02/19	16/03/19		Sombra	20	0								213					
58	Lechuga	16/03/19	24/04/19		Cosecha	39	0							354	354					
59	Lechuga	06/08/18	08/09/18		Cosecha	33	0	53						53	53					
59	Lechuga	08/09/18	17/10/18		Cosecha	39	0		186					186	186					
59	Lechuga	17/10/18	20/11/18		Cosecha	34	0							251	251					
59	Lechuga	23/11/18	22/01/19		Cosecha	60	0			251		274		274	274					
59	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0						289	289	289					
59	Lechuga	13/03/19	24/04/19		Cosecha	42	0							302	302					
60	Lechuga	14/10/18	23/11/18		Cosecha	40	0			183				183	183					
60	Lechuga	23/11/18	22/01/19		Cosecha	60	0					367		367	367					
60	Lechuga	24/01/19	10/03/19		Cosecha	45	0						347	347	347					
60	Lechuga	13/03/19	24/04/19		Cosecha	42	0							285	285					
A	Pepino	07/07/18	30/07/18	01/10/18	Fin de ciclo	23	86	280	1270	444				1994	1994					
A	Brócoli	26/10/18	26/01/19	26/01/19	Cosecha	92	92					117		117	117					
B	Melón	12/07/18	18/09/18	16/10/18	Fin de ciclo- Plaga	68	96	132	531					663	663					
B	Coliflor	26/10/18	14/01/19	14/01/19	Fin de ciclo	80	80					362		362	362					
C	Calabaza	04/07/18	31/08/18	28/10/18	Fin de ciclo	58	116	296	4330					4626	4626					
Producción total por mes								1231	7581	23896	22989	16581	16930	7525	3913	16085	2792	18490	35023	173036

B) SAM2

Ubicación	Tipo de planta	Fecha plantación	Fecha primera cosecha	Fecha última cosecha	Causa de la remoción*	Días desde la plantación hasta la primera cosecha	Días desde la plantación hasta la última cosecha	Producción mensual												Producción total por planta/ubicación			
								May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril				
a	Tomate Raf	24/04/18	02/07/18	31/08/18	Fin de ciclo	69	129	1690	4957													6647	
a	Coliflor	14/09/18	03/01/19	27/01/19	Fin de ciclo	111	135										222						222
b	Tomate Roma	24/04/18	02/07/18	31/08/18	Fin de ciclo	69	129	87	5289	2134													7510
b	Lechuga	01/03/19	24/04/19		Cosecha	54	0														123		123
c	Berenjena	24/04/18	28/06/18	04/01/19	Exceso de sombra	65	255	695	3536	1555	676	1067	898	1262	471								10160
c	Chard	20/09/18	16/11/18	13/01/19	Cosecha-sombra	57	115										194	82	30				306
c	Lechuga	01/03/19	24/04/19		Cosecha	54	0														101		101
d	Albahaca	28/04/18	13/06/18	07/12/18	Exceso de sombra	46	223	60	51	266	287	281											1047
d	Col	20/09/18	22/01/19	22/01/19	Fin de ciclo	124	124										578						578
e	Tomate Raf	24/04/18	06/07/18	01/10/18	Fin de ciclo	73	160	3803	1607	385													5795
e	Chard	20/09/18	16/11/18	17/01/19	Plaga	57	119						49										49
e	Lechuga	01/03/19	24/04/19		Cosecha	54	0														112		112
f	Pepino	24/04/18	04/06/18	17/08/18	Fin de ciclo-Plaga	41	115	5968	6743	1236													13947
f	Lechuga	14/09/19	26/10/19		Cosecha	42	0									118							118
g	Lechuga	18/09/18	01/11/18		Cosecha	44	0																107
g	Patata	31/01/19	17/04/19	17/04/19	Fin de ciclo	76	76														121		121
g'	Lechuga	18/09/18	31/10/18		Cosecha	43	0									155							155
g'	Lechuga	07/11/18	15/12/18		Cosecha	38	0															254	254
g'	Lechuga	01/03/19	24/04/19		Cosecha	54	0																131
h	Lechuga	14/09/19	26/10/19		Cosecha	42	0									183							183
h	Patata	31/01/19	12/04/19	12/04/19	Fin de ciclo	71	71																971

15	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	357	357
16	Lechuga	02/06/18	10/07/18	Cosecha	38	0	296	0	0	296	296
16	Lechuga	13/07/18	03/09/18	Cosecha	52	0	0	30	0	30	30
16	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	0	234	0	234	234
16	Lechuga	17/10/18	15/11/18	Cosecha	29	0	0	0	286	286	286
16	Lechuga	15/11/18	20/01/19	Cosecha	66	0	0	0	332	332	332
16	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	145	145	145
16	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	299	299	299
17	Lechuga	07/07/18	17/08/18	Cosecha	41	0	126	0	0	126	126
17	Lechuga	05/09/18	11/10/18	Cosecha	36	0	0	104	0	104	104
17	Lechuga	11/10/18	19/11/18	Cosecha	39	0	0	0	232	232	232
17	Lechuga	20/11/18	20/01/19	Cosecha	61	0	0	0	297	297	297
17	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	189	189	189
17	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	321	321	321
18	Chard	13/07/18	03/09/18	Cosecha- Plaga	52	122	584	376	28	988	988
18	Lechuga	12/11/18	21/01/19	Cosecha	70	0	0	0	195	195	195
18	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	264	264	264
18	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	367	367	367
19	Lechuga	29/07/18	03/09/18	Cosecha	36	0	24	0	0	24	24
19	Lechuga	07/09/18	17/10/18	Cosecha	40	0	0	154	0	154	154
19	Lechuga	17/10/18	22/11/18	Cosecha	36	0	0	0	247	247	247
19	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0	0	0	131	131	131
19	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	274	274	274
19	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	265	265	265
20	Lechuga	29/07/18	07/09/18	Cosecha	40	0	85	0	0	85	85
20	Lechuga	07/09/18	17/10/18	Cosecha	40	0	0	129	0	129	129
20	Lechuga	12/11/18	21/01/19	Cosecha	70	0	0	0	248	248	248
20	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	239	239	239

20	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	142	320	339	72	227	289	289
21	Pimiento Lamuyo	10/06/18	07/11/18	Exceso de sombra	64	150							873
21	Lechuga	12/11/18	21/01/19	Cosecha	70	0							227
21	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					170		170
21	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0						223	223
22	Lechuga	30/07/18	12/09/18	Muerte prematura	44	0		0					0
22	Lechuga	12/09/18	18/10/18	Cosecha	36	0			178				178
22	Lechuga	12/11/18	21/01/19	Cosecha	70	0				218			218
22	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					217		217
22	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0						189	189
23	Lechuga	30/07/18	08/09/18	Cosecha	40	0	185						185
23	Lechuga	08/09/18	17/10/18	Cosecha	39	0			210				210
23	Lechuga	17/10/18	22/11/18	Cosecha	36	0				185			185
23	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0					147		147
23	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0					234		234
23	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0						279	279
24	Lechuga	06/08/18	08/09/18	Cosecha	33	0	114						114
24	Lechuga	08/09/18	11/10/18	Cosecha	33	0			170				170
24	Lechuga	11/10/18	19/11/18	Cosecha	39	0				249			249
24	Lechuga	19/11/18	21/01/19	Cosecha	63	0					208		208
24	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0						156	156
24	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0						192	192
25	Lechuga	24/04/18	28/05/18	Cosecha	34	0	582						582
25	Lechuga	04/06/18	29/07/18	Cosecha	55	0		60					60
25	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0		59					59
25	Lechuga	12/09/18	17/10/18	Cosecha	35	0			96				96
25	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0					132		132

25	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	173	173	173
25	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	222	222	222
26	Lechuga	18/05/18	13/06/18	Cosecha	26	0	345	345	345
26	Lechuga	13/06/18	24/07/18	Cosecha	41	0	90	90	90
26	Chard	25/07/18	14/09/18	Plaga	51	116	51	86	216
26	Chard	18/11/18	22/01/19	Plaga	65	65	0	0	0
26	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	161	161	161
26	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	258	258	258
27	Lechuga	23/05/18	19/06/18	Cosecha	27	0	401	401	401
27	Lechuga	19/06/18	29/07/18	Cosecha	40	0	297	297	297
27	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0	87	87	87
27	Lechuga	12/09/18	22/10/18	Cosecha	40	0	163	163	163
27	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	120	120	120
27	Lechuga	10/12/18	02/01/19	Cosecha	23	0	284	284	284
27	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	149	149	149
27	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	191	191	191
28	Lechuga	02/06/18	17/07/18	Cosecha	45	0	233	233	233
28	Lechuga	18/07/18	03/09/18	Cosecha	47	0	7	7	7
28	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	165	165	165
28	Lechuga	17/10/18	22/11/18	Cosecha	36	0	159	159	159
28	Lechuga	07/11/18	07/12/18	Cosecha	30	0	77	77	77
28	Lechuga	07/12/18	02/01/19	Cosecha	26	0	262	262	262
28	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	98	98	98
28	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	123	123	123
29	Lechuga	13/07/18	03/09/18	Cosecha	52	0	24	24	24
29	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	198	198	198
29	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	130	130	130
29	Lechuga	07/12/18	02/01/19	Cosecha	26	0	284	284	284

29	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	0	202	202	202
29	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	322	322	322
30	Lechuga	19/07/18	03/09/18	Cosecha	46	0	0	19	0	0	19	19
30	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	0	144	0	0	144	144
30	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0	0	0	0	0	0	0
30	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	185	185	185	185
30	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	372	372	372
31	Lechuga	29/07/18	14/09/18	Cosecha	47	0	0	269	0	0	269	269
31	Lechuga	14/09/18	17/10/18	Cosecha	33	0	0	63	0	0	63	63
31	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0	0	0	155	155	155	155
31	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	149	149	149	149
31	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	354	354	354
32	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0	0	189	0	0	189	189
32	Lechuga	12/09/18	22/10/18	Cosecha	40	0	0	0	0	0	0	0
32	Fresa	31/10/18	05/02/19	Cosecha	97	0	0	0	53	75	128	128
33	Chard	29/07/18	16/09/18	Cosecha- Plaga	49	177	0	10	149	56	0	254
33	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	0	147	147	147
33	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	201	201	201
34	Pepino	04/06/18	17/07/18	Plaga	43	113	0	2076	2562	270	4908	4908
34	Lechuga	25/09/18	26/10/18	Cosecha	31	0	0	0	204	0	204	204
34	Lechuga	26/10/18	26/11/18	Cosecha	31	0	0	0	0	173	173	173
34	Lechuga	26/11/18	21/01/19	Cosecha	56	0	0	0	0	111	111	111
34	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	0	0	0	185	185	185
34	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	0	0	0	231	231	231
35	Lechuga	06/08/18	08/09/18	Cosecha	33	0	0	80	0	0	80	80
35	Lechuga	08/09/18	11/10/18	Cosecha	33	0	0	0	0	0	0	0
35	Lechuga	11/10/18	15/11/18	Cosecha	35	0	0	0	146	171	171	171
35	Lechuga	18/11/18	21/01/19	Cosecha	64	0	0	0	0	215	215	215

40	Lechuga	02/06/18	06/07/18	Cosecha	34	0	45	45
40	Lechuga	19/07/18	03/09/18	Cosecha	46	0	45	45
40	Lechuga	05/09/18	17/10/18	Cosecha	42	0	65	65
40	Lechuga	17/10/18	22/11/18	Cosecha	36	0	164	164
40	Lechuga	23/11/18	21/01/19	Cosecha	59	0	140	140
40	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	172	172
40	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	402	402
41	Lechuga	28/06/18	06/08/18	Cosecha	39	0	238	238
41	Lechuga	06/08/18	20/09/18	Cosecha	45	0	92	92
41	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	123	123
41	Lechuga	07/12/18	24/01/19	Cosecha	48	0	298	298
41	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	178	178
41	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0	368	368
42	Lechuga	24/07/18	12/09/18	Cosecha	50	0	85	85
42	Lechuga	15/09/18	25/10/18	Cosecha	40	0	157	157
42	Lechuga	26/10/18	26/11/18	Cosecha	31	0	198	198
42	Lechuga	26/11/18	21/01/19	Cosecha	56	0	66	66
42	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	132	132
42	Lechuga	12/03/19	24/04/19	Cosecha	43	0	384	384
43	Chard	25/07/18	04/10/18	Plaga	71	113	181	416
43	Lechuga	18/11/18	21/01/19	Cosecha	64	0	251	251
43	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	213	213
43	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0	296	296
44	Pimiento para freír italiano	07/07/18	29/08/18	Exceso de sombra	53	108	51	329
44	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0	104	104
44	Lechuga	07/12/18	15/01/19	Cosecha	39	0	210	210
44	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	214	214

50	Lechuga	24/04/18	28/05/18	Cosecha	34	0	514	514					
50	Lechuga	28/05/18	28/06/18	Cosecha	31	0	179	179					
50	Lechuga	28/06/18	25/07/18	Cosecha	27	0	119	119					
50	Lechuga	25/07/18	05/09/18	Cosecha	42	0	63	63					
50	Lechuga	07/09/18	25/10/18	Cosecha	48	0	141	141					
50	Lechuga	26/10/18	22/11/18	Cosecha	27	0	131	131					
50	Col	22/11/18	23/01/19	10/03/19	62	108	191	342	543	1076			
50	Lechuga	10/03/19	24/04/19	Cosecha	45	0	321	321					
51	Pimiento para freir italiano	23/05/18	06/07/18	07/11/18	Exceso de sombra	44	168	61	157	763	367	159	1507
51	Fresa	07/11/18	09/01/19	24/04/19	Cosecha	63	168	25	107	166	298		
52	Lechuga	19/06/18	29/07/18	Cosecha	40	0	232	232					
52	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0	141	141					
52	Lechuga	12/09/18	29/10/18	Cosecha	47	0	130	130					
52	Lechuga	30/11/18	23/01/19	Cosecha	54	0	212	212					
52	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	349	349					
52	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0	428	428					
53	Lechuga	07/07/18	17/08/18	Cosecha	41	0	86	86					
53	Pimiento para freir italiano	17/08/18	05/09/18	07/09/18	Muerte prematura	19	21	17	17				
53	Lechuga	07/09/18	22/10/18	Cosecha	45	0	186	186					
53	Lechuga	19/11/18	21/01/19	Cosecha	63	0	190	190					
53	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0	326	326					
53	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0	477	477					
54	Lechuga	25/07/18	12/09/18	Cosecha	49	0	162	162					
54	Lechuga	12/09/18	25/10/18	Cosecha	43	0	141	141					
54	Lechuga	25/10/18	26/11/18	Cosecha	32	0	140	140					
54	Lechuga	26/11/18	21/01/19	Cosecha	56	0	62	62					

54	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0				239	239
54	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0				501	501
55	Lechuga	29/07/18	12/09/18	Cosecha	45	0	166			166	166
55	Lechuga	12/09/18	23/10/18	Cosecha	41	0		156		156	156
55	Lechuga	23/10/18	07/12/18	Cosecha	45	0			207	207	207
55	Lechuga	07/12/18	24/01/19	Cosecha	48	0			222	222	222
55	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0				228	228
55	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0				311	311
56	Chard	29/07/18	25/09/18	Plaga	58	109	21	130	120		271
56	Lechuga	18/11/18	21/01/19	Cosecha	64	0			165		165
56	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0				276	276
56	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0				344	344
57	Lechuga	30/07/18	12/09/18	Cosecha	44	0	186			186	186
57	Lechuga	12/09/18	24/10/18	Cosecha	42	0		120		120	120
57	Lechuga	01/12/18	21/01/19	Cosecha	51	0			248		248
57	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0				231	231
57	Lechuga	14/03/19	24/04/19	Cosecha	41	0				299	299
58	Estevia	11/06/18	02/07/18	Exceso de sombra	21	172	7	116	45		168
58	Fresa	31/10/18	22/02/19	Muerte prematura	114	140			17	13	30
59	Lechuga	06/08/18	03/09/18	Cosecha	28	0	71			71	71
59	Lechuga	05/09/18	25/10/18	Cosecha	50	0		122		122	122
59	Lechuga	25/10/18	07/12/18	Cosecha	43	0			111	111	111
59	Fresa	31/10/18	27/02/19	Muerte prematura	119	144				11	11
60	Lechuga	10/09/18	20/10/18	Cosecha	40	0		140			140
60	Lechuga	20/10/18	28/11/18	Cosecha	39	0			195		195
60	Lechuga	28/11/18	21/01/19	Cosecha	54	0			276		276
60	Lechuga	24/01/19	10/03/19	Cosecha	45	0				197	197

10. Anexo II: Cuestionario con preguntas y respuestas - Productores

	N	%
1. ¿Cuál es su edad actual? (años)		
18 a 24	6	11,3
25 a 34	10	18,9
35 a 44	18	34,0
45 a 54	12	22,6
55 a 65	5	9,4
66 o más	2	3,8
2. ¿Con que género se identifica?		
Hombre	43	81,1
Mujer	9	17,0
Prefiero no decirlo	1	1,9
3. ¿Cuál es su nivel de formación académica?		
Básica/Obligatoria	3	5,7
Formación profesional/Carrera Técnica	14	26,4
Graduado/Diplomado/Licenciado/Ingeniero	22	41,5
Maestría/Doctorado	14	26,4
4. ¿País donde reside?		
España	22	41,5
México	11	20,8
Colombia	8	15,1
Perú	3	5,7
Bolivia	2	3,8
Guatemala	2	3,8
El Salvador	1	1,9
Honduras	1	1,9
República Dominicana	1	1,9
Ecuador	1	1,9
Paraguay	1	1,9
5. ¿Ciudad / población donde reside?		
Pregunta abierta		
Su residencia se encuentra en...		
Núcleo urbano	41	77,4
Núcleo rural	12	22,6
7. ¿Cuántos miembros tiene su unidad familiar (incluyéndose usted)?		
1-2	9	17,0
3-4	28	52,8
5 o más	14	26,4
No responde	2	3,8
8. ¿Cuál es su ocupación actualmente?		
Estudiante	6	11,3
Desempleado	3	5,7
Trabajo por cuenta propia	20	37,7
Trabajo por cuenta ajena	19	35,8
Pensionado/Jubilado	4	7,5
Labores en el hogar	1	1,9
9. ¿Cuáles son los ingresos familiares medios? (euros ó dólares/mes). Si los rangos en el país en el que reside fueran muy distintos, seleccione el nivel de renta que crea más cercano, desde (a.) muy bajo a (i.) muy alto	N	%
Hasta 499 €//\$	8	15,1
500-999 €//\$	6	11,3
1000-1499 €//\$	13	24,5
1500-1999 €//\$	5	9,4

2000-2499 €/€	8	15,1
2500-2999 €/€	5	9,4
3000-3999 €/€	2	3,8
4000-4999 €/€	0	0,0
5000 €/€ o más	5	9,4
No responde	1	1,9
10. ¿Todavía tiene en funcionamiento la instalación?		
Si	44	83,0
No	9	17,0
11. ¿Durante cuánto tiempo (en años) ha estado en funcionamiento?		
Menos de uno	26	49,1
1 – 2	17	32,1
2 – 3	3	5,7
Más de 3	5	9,4
No responde	2	3,8
12. ¿Cuál es el objetivo u objetivos de sus instalaciones? (Selección múltiple)		
Educativo (colegios, granjas escuela, etc)	28	52,8
Producción de alimentos para autoconsumo	26	49,1
Hobby	16	30,2
Pequeñas ventas	11	20,8
Regalar e intercambiar	11	20,8
Investigación/Prototipo	7	13,2
13. ¿Cuál es la motivación o motivaciones para iniciar este tipo de producciones? (Selección múltiple)		
Producción de alimentos saludables, sin restos de pesticidas (seguridad alimentaria)	38	71,7
Producción de alimentos de alta calidad	27	50,9
Preocupación por el medio ambiente	31	58,5
Autonomía (producir parte del alimento que necesito)	27	50,9
Ahorrar dinero en la compra de alimentos o tener algunos ingresos	19	35,8
Hacer una actividad física moderada que me resulta saludable	10	18,9
Aprender nuevas cosas	23	43,4
Sentirme útil	13	24,5
Compartir conocimiento con otros	18	34,0
Diversión y relajación	15	28,3
14. ¿En qué zona se encuentra la instalación?		
Parcela agrícola	12	22,6
Azotea	10	18,9
Patio	14	26,4
Jardín	5	9,4
Terraza	1	1,9
Centro educativo	2	3,8
Dentro de casa	6	11,3
Nave	2	3,8
Parque periurbano	1	1,9
15. ¿Qué superficie (en m²) tiene dedicada a la producción vegetal?		
Menos de 10	27	50,9
11-25	7	13,2
26-50	4	7,5
51-100	7	13,2
Más de 101	7	13,2
No responde	1	1,9
16. ¿Usa usted algún tipo de protección del viento, sol y lluvia para su instalación acuapónica? (Selección múltiple)		
Invernadero de plástico	18	34,0
Invernadero de malla de sombra	10	18,9
Invernadero de cristal	2	3,8
Pequeño techado sin paredes (sólo el techo)	3	5,7
Instalación dentro de una nave, garaje o de una pequeña habitación	7	13,2
Ningún tipo de producción	13	26,4
17. ¿Qué tipo de producción hortícola tiene?		
Monocultivo	10	18,9

Policultivo	43	81,1
18. ¿Qué especies vegetales produce? (Selección múltiple)		
Aromáticas (albahaca, menta, cilantro, etc)	33	62,3
Ornamentales (clavel, gerbera, etc)	8	15,1
Hortalizas de fruto (tomate, pepino, calabacín, etc)	43	81,1
Frutas vegetales (tomates, pepinos, calabacines, etc.)	35	66,0
19. ¿Cuál es la producción media de vegetales al año (kg/m²)?		
1-10	29	54,7
11-20	4	7,5
21-50	2	3,8
Más de 50	2	3,8
No responde	16	30,2
20. ¿Qué nutrientes adicionales o correctores añade a las plantas al año? (Selección múltiple)		
Mezcla comercial de nutrientes para plantas	13	24,5
Hierro	15	28,3
Potasio	14	26,4
Calcio	12	22,6
Manganeso	6	11,3
Estiércol	1	1,9
Guano	1	1,9
Lixiviado de lombriz	2	3,8
Dióxido de carbono	1	1,9
Ninguno	9	17,0
No responde	8	15,1
21. ¿Cuál es la principal plaga en sus cultivos? (Selección múltiple)		
Áfidos (pulgonos)	25	47,2
Orugas	6	11,3
Saltamontes/Langostas	4	7,5
Ácaros (araña roja...)	8	15,1
Mosca blanca	17	32,1
Trips	5	9,4
Hormigas	2	3,8
Otros	5	9,4
Ninguno	5	9,4
No responde	4	7,5
22. ¿Cómo controla la plaga? (Selección múltiple)		
Control biológico (depredadores o parasitoides)	18	37,5
Trampas (láminas adhesivas...)	11	22,9
Purín de ortiga	6	12,5
Azufre	5	10,4
Caolín	2	4,2
Productos ecológicos	5	10,4
Repelentes	1	2,1
Aceite de Neem	2	4,2
Jabón potásico	3	6,3
Tabaco	1	2,1
Chile picante	1	2,1
Ninguno	2	4,2
No responde	7	14,6
No reportaron tener plagas	5	10,4
23. ¿Cuál es la principal enfermedad en sus cultivos? (Selección múltiple)		
Hongos en parte aérea (oídio, botritis, mildiu, etc)	28	52,8
Hongos de raíz	7	13,2
Bacterias	2	3,8
Virus	1	1,9
No responde	15	28,3
24. ¿Cómo controla la enfermedad? (Selección múltiple)		
Azufre	10	26,3
Tratamiento físico del agua (lámparas UV...)	11	28,9
Agentes de Bio Control (BCA)	14	36,8

10. Anexo II

Tratamientos químicos	1	2,6
No responde	20	52,6
No reportaron tener enfermedades	15	28,3
25. ¿Qué volumen de agua (en litros) tiene sus tanques de peces?		
Menos de 500	7	13,2
500-999	9	17,0
1000-1999	12	22,6
2000-5000	10	18,9
Más de 5000	15	28,3
26. ¿Qué especies de animales cultiva? (Selección múltiple)		
Crustáceos	5	9,4
Moluscos	2	3,8
Tilapias	37	69,8
Truchas	2	3,8
Tencas	2	3,8
Carpas	5	9,4
Bagres (pez gato)	2	3,8
Gambusia	2	3,8
Anguilas	1	1,9
Cachamas	1	1,9
Chames	1	1,9
Tortugas	1	1,9
Guppy	4	7,5
Otros (Loricáridos, Tetras, Cíclidos, Ornamentales)	4	7,5
27. ¿Qué alimento suministra a los animales?		
Pienso compuesto comercial	41	77,4
Alimento elaborado en la explotación	12	22,6
28. ¿Cuál es el principal problema sanitario para sus animales? (Selección múltiple)		
Calidad de agua	7	13,2
Agresión entre animales	1	1,9
Agua saturada de amoníaco	1	1,9
Algas	2	3,8
Estrés	1	1,9
Exceso de nitratos	1	1,9
Enfermedades fúngicas	6	11,3
Espuma	1	1,9
Septicemia	1	1,9
Ninguno	13	24,5
No responde	19	35,8
No sabe	1	1,9
29. ¿Cómo controla el problema sanitario? N=20 (Selección múltiple)		
Por filtración o recambio de agua	8	40,0
Aceites esenciales	1	5,0
Antibióticos	3	15,0
Incrementando el caudal	1	5,0
Baños de sal	3	15,0
Biocompuestos	1	5,0
Incrementado el número de plantas	1	5,0
Reduciendo el número de peces	1	5,0
No sabe	1	5,0
30. ¿Cuál es el destino de sus producciones? (Selección múltiple)		
Autoconsumo	39	73,6
Venta	17	32,1
Intercambio	14	26,4
Donación	4	7,6
Conservación de especies	1	1,9
Educativo	1	1,9
Ornamental	1	1,9
31. ¿Qué sistema hidropónico usa en sus instalaciones? (Selección múltiple)		
Raíz flotante o agua profunda (DWC)	24	45,3

Técnica de la película nutritiva (NFT)	29	54,7
Cultivo en sustrato inerte (Media Bed)	21	39,6
Otros (diseño propio de jardín vertical con PVC; Riego de manta)	3	5,7
32. ¿Cuál es la conexión entre los sistemas de acuicultura e hidroponía en la explotación? (Selección múltiple)		
Acoplados (el agua recircula constantemente entre ambos subsistemas)	47	88,7
Desacoplados (el agua solo circula desde el sistema de acuicultura hasta el de hidroponía, pero no vuelve)	5	9,4
No responde	1	1,9
33. ¿De dónde proviene el agua de las instalaciones? (Selección múltiple)		
Pozo	11	20,8
Cauces aguas superficiales (ríos, arroyos, lagos, pantanos, etc)	7	13,2
Agua de la red	36	67,9
Ósmosis inversa	1	1,9
Agua de lluvia	5	9,4
34. ¿Usa energías renovables? (Selección múltiple)		
Solar	16	30,2
Viento	0	0,0
Ninguna	37	69,8
35. ¿Cuántas horas dedica a la semana a las instalaciones, aproximadamente?		
0-10	36	67,9
11-20	12	22,6
21-30	2	3,8
31-40	2	3,8
No responde	1	1,9
36. ¿Cuántas personas trabajan en la instalación?		
1	27	50,9
2	15	28,3
3	4	7,5
4	2	3,8
5 o más	2	3,8
No responde	3	5,7
37. ¿Ha recibido asesoramiento para el diseño de las instalaciones?		
Si	25	47,2
No	28	52,8
38. ¿De dónde ha obtenido la información para el diseño de las instalaciones?		
Amigos expertos en el tema	25	47,2
Páginas web	37	69,8
Libros	29	54,7
Cursos de formación	25	47,2
Formación propia	2	3,8
39. ¿Cuáles han sido los principales problemas que ha tenido con las instalaciones?		
Mantenimiento	39	73,6
Económico	5	9,4
Conocimiento	11	20,8
Construcción de las instalaciones	4	7,5
Ninguno	1	1,9
No responde	12	22,6
40. ¿Sobre qué tema necesitaría formación adicional? (Selección múltiple)		
Acuicultura (alimentación, manejo, sanidad, etc)	26	49,1
Horticultura (nutrición, manejo, sanidad, etc)	25	47,2
No responde	2	3,8
41. ¿Ha recibido algún tipo de subvención o ayuda?		
Si	9	17,0
No	44	83,0
42. ¿Sabe usted cuánto gasta en su instalación acuapónica al mes? (€)?		
1-50	20	37,7
51-100	5	9,4
101-200	1	1,9
201-500	1	1,9
501 o más	1	1,9

10. Anexo II

No responde	23	43,4
No sabe	2	3,8

11. Anexo III: Cuestionario con preguntas y respuestas - Consumidores

1. ¿Cuál es su edad actual? (años)	N	%
18 a 24	70	11,0
25 a 34	168	26,4
35 a 44	130	20,4
45 a 54	170	26,7
55 a 65	79	12,5
66 o más	19	3,0
2. ¿Con qué género se identifica más?		
Hombre	343	53,9
Mujer	280	44,1
Prefiero no decirlo	13	2,0
3. ¿Cuál es su nivel de formación académica?		
Básica/obligatoria	39	6,1
Formación Profesional / Carrera Técnica	142	22,4
Graduado/diplomado/licenciado/ingeniero	296	46,5
Maestría/Doctorado	159	25,0
4. ¿País donde reside?		
España	374	58,8
Colombia	148	23,3
Ecuador	46	7,2
México	23	3,7
Bolivia	9	1,4
Perú	8	1,3
Argentina	8	1,3
El Salvador	2	0,3
Venezuela	2	0,3
República dominicana	2	0,3
Costa Rica	2	0,3
Panamá	2	0,3
Cuba	2	0,3
Uruguay	2	0,3
Nicaragua	2	0,3
Chile	2	0,3
Guatemala	2	0,3
5. ¿Ciudad / población donde reside?		
Pregunta abierta		
6. Su residencia se encuentra en...		
Núcleo urbano	539	84,7
Núcleo rural	97	15,3
7. ¿Cuántos miembros tiene su unidad familiar (incluyéndose usted)?		
1-2	198	31,1
3-4	319	50,2
5 o más	119	18,7
8. ¿Cuál es su ocupación actualmente?		
Estudiante	90	14,2
Desempleado	50	7,9
Trabajo por cuenta propia	101	15,9
Trabajo por cuenta ajena	354	55,7
Pensionado/Jubilado	30	4,7
Labores en el hogar	11	1,6

9. ¿Cuáles son los ingresos familiares medios? (euros o dólares/mes). Si los rangos en el país en el que reside fueran muy distintos, seleccione el nivel de renta que crea más cercano, desde (a.) muy bajo a (i.) muy alto	N	%
Hasta 499 €//\$	81	12,7
500-999 €//\$	86	13,5
1000-1499 €//\$	104	16,4
1500-1999 €//\$	79	12,4
2000-2499 €//\$	81	12,7
2500-2999 €//\$	57	9,0
3000-3999 €//\$	73	11,5
4000-4999 €//\$	33	5,2
5000 €//\$ o más	25	3,9
No responde	17	2,7
10. Cuál es su nivel de preocupación por el medio ambiente?		
Muy bajo	2	0,3
Bajo	10	1,6
Medio	109	17,1
Alto	275	43,2
Muy alto	240	37,7
11. ¿Sabe usted que es la acuaponía?		
Sí	371	58,3
No	265	41,7
<p>La acuaponía es... Una técnica productiva en la que se combinan de manera sostenible la producción de animales acuáticos (peces, crustáceos, moluscos, etc) y las producciones vegetales (hortalizas y frutas) en sistemas hidropónicos.</p> <p>ACUicultura + hidroPONIA = ACUAPONIA</p> <p>La acuaponía repite a pequeña escala las interacciones entre animales y plantas, de tal manera que los desechos de unos son usados como nutrientes por otros. Asimismo, no se usan pesticidas ni antibióticos, ya que pueden tener efectos negativos sobre alguna de las tres poblaciones biológicas que interactúan: peces, plantas o microorganismos. Los productos acuapónicos son considerados sostenibles, por encajar en el modelo de economía circular, y libres de residuos químicos. Numerosos pequeños productores escogen estos sistemas productivos para satisfacer parcialmente sus necesidades de alimentos que, al ser cosechados en el momento óptimo evitando los largos transportes y periodos de conservación en cámaras, presentan óptimas características organolépticas: ¡sabores y aromas como los de antes!</p>		
12. ¿Estaría usted dispuesto a ser productor acuapónico? N=371		
Si	232	37,5
No (salta la pregunta 14)	139	62,5
13. ¿Qué tipo de productor? N=232		
Consume, intercambia o regala sus productos (pequeña escala)	159	68,5
Vende la mayoría de sus productos (gran escala o comercial)	73	31,5
14. ¿Es usted consumidor habitual de productos acuapónicos?		
Si	85	13,4
No	551	86,6
15. ¿Qué tipo de dieta usted sigue? (Selección múltiple)		
Como de todo	534	84,0
Como solo vegetales	3	0,5
Como solo vegetales y pescado	24	3,8
Como vegetales y productos lácteos	5	0,8
Como vegetales, productos lácteos y huevos	69	10,8
16. ¿Compraría usted productos acuapónicos?		
Solo pescado	22	3,5
Solo vegetales	64	10,1
Pescado y vegetales	474	74,5
No	54	8,5
No sabe	12	1,9

Indiferente	6	0,9
Depende del precio	4	0,6
17. ¿Qué motivaría su decisión sobre comprar productos acuapónicos? (Selección múltiple)		
Precio	180	28,3
Calidad y sabor de los productos	365	57,4
Preocupación por el bienestar animal	73	11,5
Preocupación por el medio ambiente	113	17,8
Preocupación por pesticidas agrícolas o residuos químicos peligrosos para la salud	328	51,6
Producto de proximidad	115	18,1
Natural y ecológico	1	0,2
Disponibilidad	2	0,3
Conocer el producto	5	0,8
Ninguna motivación	1	0,2
18. ¿Produce usted algún tipo de alimento para autoconsumo?		
Si	196	30,8
No (salta a la pregunta 21)	440	69,2
19. En caso afirmativo, ¿qué porcentaje de su dieta obtiene de sus propias producciones?		
1 - 15	138	70,4
16 – 30	24	12,3
31 – 60	3	1,5
No responde	10	5,1
No sabe	21	10,7
20. ¿Qué produce? (Selección múltiple)		
Vegetales	159	81,1
Cultivos ornamentales, productos lácteos y cereales	24	12,2
Frutas	96	49,0
Animales	37	18,9
Plantas aromáticas	10	5,1
Huevos	4	2,0
Hongos	1	0,5
Leche	2	1,0
Cereales	1	0,5
No responde	1	0,5
21. ¿Dónde suele realizar sus compras de alimentos? (Selección múltiple)		
Grandes superficie	376	59,1
Mercado de abastos	258	40,6
Pequeño comercio en mi vecindario	351	55,2
Tiendas gourmet	30	4,7
Cooperativas agrícolas y ganaderas	42	6,6
Asociación de productores y consumidores ecológicos	53	8,3
Tiendas de comercio justo	55	8,6
En un grupo o red de consumidores que compramos directamente a los productores cercanos	32	5,0
En línea	1	0,2
22. ¿Suele usted elegir productos locales al hacer sus compras?		
Si	555	87,3
No	81	12,7
23. ¿Cuánto gasta en su hogar en alimentación semanalmente (€)?		
1-100	401	63,1

101-200	149	23,4
201-300	45	7,1
301-500	26	4,1
500-1000	4	0,6
1001-1500	2	0,3
No responde	6	0,9
No sabe	3	0,5
24. ¿Le parece a usted interesante este tipo de producción?		
	N	%
En absoluto	2	0,3
Poco	7	1,1
Indiferente	54	8,5
Bastante	217	34,1
Mucho	236	56,0
25. ¿Le interesaría disponer de su propio sistema de producción para obtener parte de los alimentos que necesita?		
En absoluto	80	12,6
Poco	56	8,8
Indiferente	159	25,0
Bastante	143	22,5
Mucho	198	31,1
26. A igualdad de precio, preferiría comprar los siguientes productos (siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo)		
Aquapónicos		
1	18	2,8
2	109	17,1
3	214	33,6
4	123	19,3
5	172	27,0
Ecológicos		
1	17	2,7
2	91	14,3
3	209	32,9
4	132	20,8
5	187	29,4
Convencionales		
1	212	33,3
2	181	28,5
3	169	26,6
4	52	8,2
5	22	3,5
27. Teniendo en cuenta los procesos de la producción acuapónica. ¿Qué porcentaje de precio pagaría por un producto acuapónico?		
Nunca lo compraría	10	1,6
Lo compraría si fuera más barato	38	6,0
Lo compraría si tuviesen el mismo precio	203	31,9
Lo compraría si costase hasta un 2% más	72	11,3
Lo compraría si costase hasta un 5% más	124	19,5
Lo compraría si costase hasta un 10% más	111	17,5
Lo compraría si costase hasta un 15% más	30	4,7
Lo compraría si costase hasta un 20% más	35	5,5
Lo compraría si costase hasta un 30% más	13	2,0



**Departamento Ingeniería Aeroespacial
y Mecánica de Fluidos**

Departamento de Agronomía

Universidad de Sevilla

2021