



CARTILLA EDUCATIVA

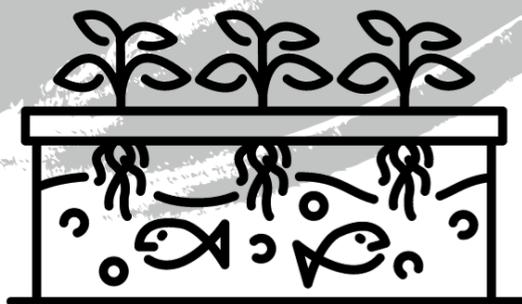
PRODUCCIÓN DE PECES Y HORTALIZAS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, BAJO UN MODELO FAMILIAR





CARTILLA EDUCATIVA

PRODUCCIÓN DE PECES Y HORTALIZAS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, BAJO UN MODELO FAMILIAR



Proyecto de investigación

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA Y SOSTENIBLE DE PECES Y HORTALIZAS COMO ESTRATEGIA PARA PROMOVER EL EMPRENDIMIENTO Y LA COMPETITIVIDAD EN LAS COMUNIDADES PISCÍCOLAS DE LAS PROVINCIAS DE LENGUPA Y RICAURTE, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

Convocatoria:

865-2019 PARA EL CIERRE DE BRECHAS SECTOR AGROPECUARIO BOYACÁ



Juan D Castellanos
Fundación Universitaria

Realización:

Grupo de Investigación en Ciencia, Innovación y Tecnología (**CIyT**)
GRUPO DE INVESTIGACIÓN CICLO VITAL, FAMILIA Y DESARROLLO HUMANO
Investigadores en Reproducción Animal y Biotecnología, **IRABI**
INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL Y TECNOLOGÍAS AGROALIMENTARIAS, **INPANTA**
Grupo de Eco toxicología, Evolución, Medio ambiente y Conservación, **E=MC²**

Entidades Financiadoras:

Gobernación de Boyacá
Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación

Autores:

Edna Rocció Riaño
Edwin Gómez Ramírez
Ana Constanza Torres Mesa
Ludy Paola Villamil Moreno

Primera Edición: 2023
ISBN: 978-958-8966-57-1

Colaboradores:

Luis Alexander Páez
Adriana Isabel Muelas Campo
William Fernando Bernal Suárez
Elizabeth Rodríguez Caicedo

Impresión:

Búhos Editores Ltda.
Tunja - Boyacá - Colombia

Cítese como:

Riaño et al (2023). Cartilla educativa: producción de peces y hortalizas en un sistema acuapónico, bajo un modelo familiar. Fundación Universitaria Juan de Castellanos- Ministerio de Ciencia, tecnología e Innovación, Colombia.

Todos los derechos reservados. Esta cartilla puede ser reproducida y divulgada de manera libre únicamente para fines educativos o no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría.





CONTENIDO

Módulo: Acuaponía..... 11

Capítulo 1.

¿Qué es la acuaponía? y ¿como está conformado un sistema acuapónico?..... 15

Unidad de peces..... 18

Unidad de Remoción de sólidos..... 21

Unidad de Mineralización..... 24

Unidad de Biofiltración..... 25

Unidad hidropónica..... 32

Capítulo 2.

Manejo de calidad de agua en acuaponía.....37

Temperatura..... 39

Oxígeno disuelto..... 40

Ciclo biológico: Nitrógeno amoniacal total (NAT), Nitrito y Nitrato..... 42

pH..... 45

Dureza de carbonatos (KH)..... 47

Parámetros nutricionales..... 49

Módulo: Plantas 51

Capítulo 3.

Las plantas en acuaponía53

La importancia de las plantas en la acuaponía..... 56





<i>Plantas de follaje</i>	58
<i>Plantas de fruto</i>	59

Capítulo 4.

Manejo del componente hidropónico en acuaponía	61
<i>Siembra de las plantas</i>	63
<i>Manejo, seguimiento y cuidado del cultivo hidropónico</i>	66

Capítulo 5.

Nutrición vegetal	67
<i>Requerimientos nutricionales en plantas</i>	70
<i>Deficiencias y manejo nutricional de plantas en acuaponía</i>	71

Capítulo 6.

Control biológico.....	77
<i>Identificación y manejo de plagas y enfermedades</i>	80





Presentación

Las exigencias del mercado en relación a la cantidad y calidad de alimentos, el cambio climático, y el crecimiento poblacional, demandan soluciones que permitan dar soberanía y seguridad alimentaria en poco espacio, tiempo y recursos de manera limpia y sostenible.

Esta cartilla busca enseñar de manera didáctica y práctica tanto a productores como interesados sobre la “Producción de peces y hortalizas en sistemas acuapónicos como modelo familiar”; para construir paso a paso un sistema acuapónico, y aprovechar de manera eficiente los desechos tradicionalmente generados por los peces; haciendo de éstos fuente de nutrientes para plantas como la lechuga, cilantro, albahaca, tomate, entre otras.

Adicionalmente, el establecimiento de un sistema acuapónico, independientemente de su tamaño o escala de producción ofrece enormes beneficios a quien le produce, en virtud a la generación de productos limpios y de alta calidad con un uso eficiente de los recursos (agua, espacio y suelo) y cuidado del ambiente (cero efluentes y cero uso de plaguicidas).

La cartilla se encuentra dividida en dos módulos, seis capítulos y trata de resolver interrogantes como: ¿Qué es la acuaponía?, ¿qué consideraciones debo tener para construir un sistema acuapónico?; ¿Cuántos peces y hortalizas debo sembrar para mantener un equilibrio y un buen crecimiento de los organismos? y ¿Qué manejo debo realizar en relación a los principales parámetros fisicoquímicos en el agua y manejo nutricional para el crecimiento óptimo de la tilapia y de diversas hortalizas? ¿Qué debo identificar en una planta en un sistema acuapónico? ¿Qué manejo debo dar al componente hidropónico?





¿Qué requerimientos o deficiencias debo revisar en mis plantas en un sistema acuapónico? ¿Cómo puedo identificar y manejar plagas y enfermedades en cultivo?

Esta propuesta nace dentro del marco del proyecto 80740-775-2020 ejecutado por la Fundación Universitaria Juan de Castellanos en alianza con la Universidad Militar Nueva Granada, bajo la convocatoria: 865-2019 cierre de brechas en el sector agropecuario, Boyacá-Colombia.



PROYECTO

IMPLEMENTACIÓN DE
SISTEMAS ACUAPÓNICOS

PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA Y SOSTENIBLE DE
peces y hortalizas



ESTRATEGIA PARA
**PROMOVER EL EMPRENDIMIENTO
Y LA COMPETITIVIDAD**

EN LAS COMUNIDADES

Piscícolas

DE LAS PROVINCIAS DE LENGUPÁ Y RICAURTE,
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



Juan D Castellanos
Fundación Universitaria



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA



El conocimiento
es de todos

Minciencias



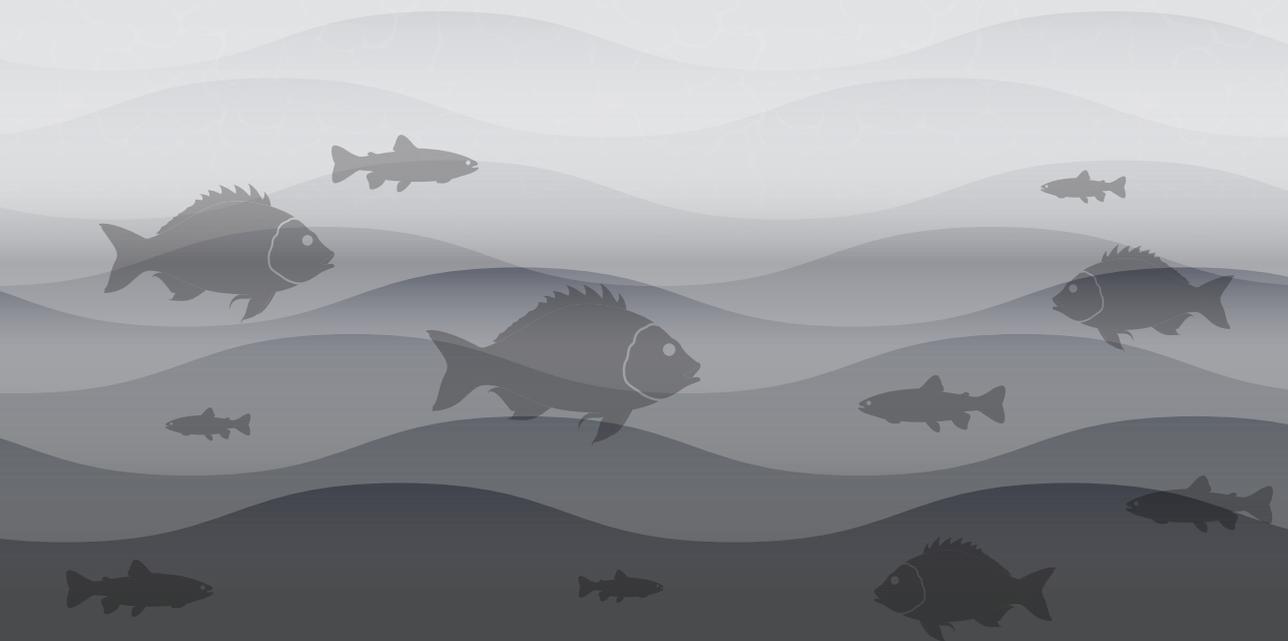
Boyacá



Sistema General de Regadíos



MÓDULO ACUAPONÍA



Antes de empezar a hablar de

ACUAPONÍA

te enseñaremos que es lo que sucede tradicionalmente en acuicultura

Del alimento que consumo solo aprovecho para mi crecimiento el...

30%

lo desecho en forma de heces, orina o a través de otras moléculas que libero por mis branquias

COOPS!

70%

Una parte de esos desechos los liberó por mis branquias como Nitrógeno amoniacal total

NH_3^+

NH_4^+

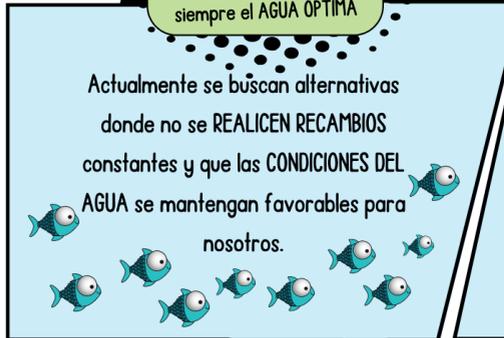
NH_3^+

NH_4^+

NAT

El NAT es una molécula muy tóxica para nosotros, si no se controla puede afectar el CRECIMIENTO y producirnos ENFERMEDAD y altas MORTALIDADES.

PLOP





CAPÍTULO 1.

¿Qué es la acuaponía? y
¿Cómo está conformado un sistema acuapónico?



LA ACUAPONÍA es un sistema que integra el cultivo de organismos acuáticos, principalmente peces, el cultivo de diversas variedades de hortalizas o vegetales y la actividad de microorganismos como bacterias y hongos. Esta interacción o asociación, genera dentro del sistema un beneficio mutuo entre las diferentes especies, mejorando su crecimiento y desarrollo. En biología esta relación mutua se le conoce como **“simbiosis”**, que en griego significa “medio de subsistencia”.

Entonces, ¿Cómo es un sistema acuapónico?

En general un sistema acuapónico está compuesto principalmente por 6 componentes y/o unidades (Figura 1.):

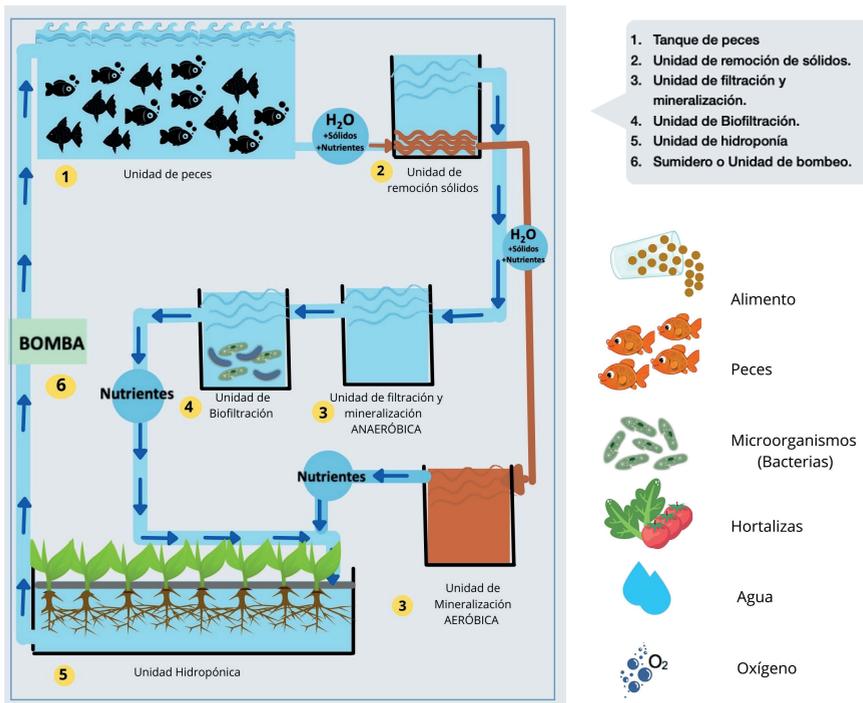


Figura 1. Componentes de un sistema acuapónico





Cada unidad cumple una función importante que será descrita más adelante. Sin embargo, es importante mencionar que en estos sistemas NO se hacen recambios de agua, es decir, siempre se está reutilizando el agua en el mismo sistema haciendo sólo reposición del 1 al 2% que se pierde por **evaporación**.

Hay varias posibilidades para adecuar la recirculación del sistema acuapónico, siempre y cuando se mantenga el principio de generar la remoción de sólidos, mineralizar y transformar el NAT generado por los peces, por medio de la biofiltración o nitrificación.

Las dos posibilidades para recircular el agua son: **1.** Mantener siempre recirculando en el mismo sistema, donde el agua de la unidad hidropónica retorna al tanque de peces, es lo que denominamos **“recirculación cerrada”**; y **2.** Mantener una recirculación desacoplada, es decir en el mismo sistema se manejan dos flujos, donde el agua que proviene del

tanque de peces pasa por las unidades de remoción y biofiltración y allí se divide el flujo: una parte del flujo retorna al tanque de peces y otra parte se dirige a un sumidero independiente que estará alimentando a la unidad hidropónica. En otras palabras, el agua de la unidad hidropónica no retorna al tanque de peces si no al mineralizador o sumidero.

Esta última posibilidad puede ser más viable para los cultivos de mayor exigencia nutricional como el tomate y el pimentón, ya que se puede manipular algunos parámetros como el pH y la nutrición, sin generar problema en los peces.

A continuación, describiremos cada uno de los componentes del sistema:

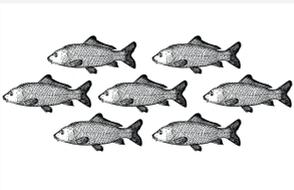
Unidad de peces

Los peces son organismos que requieren diferentes condiciones para su desarrollo y crecimiento. Por ello es importante que el productor conozca los hábitos alimenticios, requerimientos nutricionales y requerimientos en condiciones de calidad de agua (oxígeno disuelto,



temperatura, pH, concentración de sólidos suspendidos, entre otros parámetros) de la especie a cultivar, con la finalidad de simular sus condiciones óptimas y poder generar el buen desarrollo y rendimiento productivo.

En acuaponía los **tanques circulares** han sido eficientes en el sentido que permiten lograr mantener las condiciones de calidad de agua que requiere la especie de una manera homogénea en toda la unidad productiva; así como lograr una recirculación radial que permite la extracción de los desechos sólidos generados por los peces (heces y alimento no consumido).



El número de peces que se decide sembrar por tanque o sistema dependerá de la biología de la especie y la máxima talla o peso que se quiera mantener para su cosecha (Timmons & Ebeling, 2007).

En acuaponía la biomasa de peces se representa en Kg/m³. Para generar una producción pequeña con fines de autoconsumo se recomienda sembrar una biomasa de 15 a 20Kg /



¿Cómo calcular el número de peces que puedo sembrar en mi sistema?

Este cálculo se realiza por medio de una regla de tres simple y dependerá de la talla a cosechar y de la densidad de siembra que se manejará en el cultivo. Por ejemplo, si un productor desea cultivar tilapia a una biomasa o densidad de siembra de 15 Kg/m³ y cosecharla a 500 gramos.

¿Cuántos peces puede sembrar en el sistema?

$$15 \text{ Kg de peces} \times \frac{1 \text{ Pez}}{0,5 \text{ Kg}} = 30 \text{ peces}$$

Además de saber cuántos peces podemos sembrar por tanque del sistema, también es importante conocer qué tipo y cuánta cantidad de alimento se les debe dar a los organismos.



Ya hemos mencionado que, dentro de la biología de la especie, es importante conocer sus hábitos alimenticios; si es una especie Omnívora, Herbívora o Carnívora, con la finalidad de suministrar la dieta adecuada para la especie, y así calcular la ración diaria de alimento, que estará en función de la temperatura, la biomasa de peces presente en el tanque y la tasa de alimentación.

En acuaponía esta ración de alimento es la principal fuente de alimentación para la especie de pez cultivada, como también es el principal recurso que genera los residuos que podrán ser aprovechados para degradar, mineralizar y liberar los nutrientes para las plantas.

Tasa de alimentación

La tasa de alimentación de consumo en peces oscila entre el 1 al 10% de su peso corporal. Esta relación puede fluctuar dependiendo de la calidad del alimento, temperatura del agua y actividad metabólica de la especie.



Peso promedio del pez (g)	Etapas	% Tasa de alimentación en base a la biomasa
5-10	Precría	10
10-25	Cría	5-8
25-50	Preengorde	5-6
50-100	Preengorde	4-5
100-150	Engorde	3-4
>150	Engorde	2-3
>400	Engorde hasta cosecha	1-1,5

La ración de alimento diario se calcula a partir de la biomasa y el % de la tasa de alimentación, con la siguiente formula:

$$\text{Ración de alimento diario} = \text{Biomasa (Kg)} * \text{Tasa de alimentación (\%)}$$

POR EJEMPLO, a los 35 días del productor haber realizado la siembra de 30 alevinos de tilapia en un tanque de 1000 L (1 m³) los peces pesaron en promedio 13 gramos. ¿Cuál es la ración de alimento diario que se les debe dar, alimentados a una tasa del 5%?

$$\text{Racion de alimento diario} = (13 \text{ g} \times 40 \text{ peces}) \times \left(\frac{5}{100} \right) = 26 \text{ g alimento/día}$$

Unidad de remoción de sólidos

Cada vez que los peces consumen alimento, sólo del 20 al 30% lo metabolizan e incorporan como tejido y músculo; mientras que del 70 al 80% son generados como desechos. En acuaponía se generan 3 tipos de desechos, que se clasifican según su tamaño de partícula, los cuales se encuentra en mayor proporción los desechos sólidos sedimentables, seguido de los desechos sólidos suspendidos y los desechos disueltos (Timmons & Ebeling, 2007).



Los sólidos sedimentables y suspendidos son las partículas que se componen principalmente de heces y otra parte de alimento no consumido y algunos desechos generados por muerte celular de los microorganismos o residuos de algas; y los sólidos disueltos incluyen las sales, los minerales y cualquier compuesto orgánico e inorgánico que se diluyen en el agua y son menores a una micra; así como toda excreción generada por el pez a nivel branquial y durante el proceso de osmorregulación.

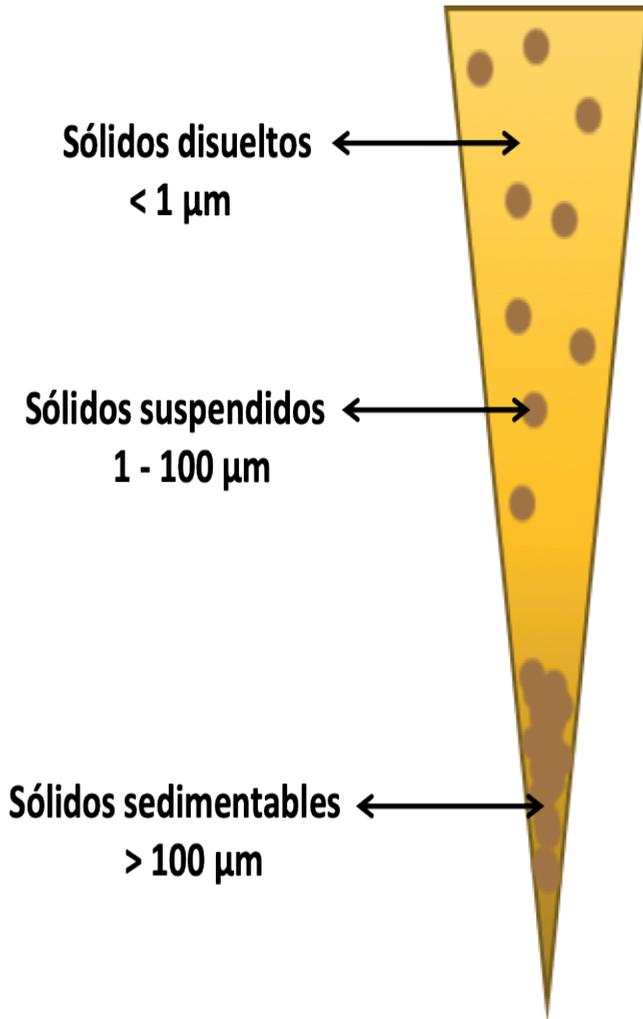


Figura 2. Disposición de los sólidos (sedimentables, suspendidos y disueltos) en la columna de agua según el tamaño de la partícula



Para remover los sólidos sedimentables y suspendidos se implementan diferentes unidades de remoción, que incluye los sedimentadores de remolino o de flujo radial y mecanismos de filtración, como se ilustra a continuación (Fig. 2; Fig. 3):



Figura 3. Tipos de sedimentadores: Compacto, flujo radial, de remolino, de filtración mecánica por espuma

¿Cómo conocer el tamaño o volumen requerido de la unidad de remoción en nuestro sistema acuapónico?

Su cálculo va relacionado con la máxima densidad de siembra en Kg/m³ de peces que el productor manejará en el sistema, bajo la premisa de que entre mayor sea el número de peces mayor será la generación de desechos. Sin embargo, una relación sencilla que se maneja para sistemas pequeños de autoconsumo donde la máxima densidad recomendada es 15 a 20 Kg/m³ es que la unidad de remoción debe ser el 15% del volumen total del tanque de los peces.

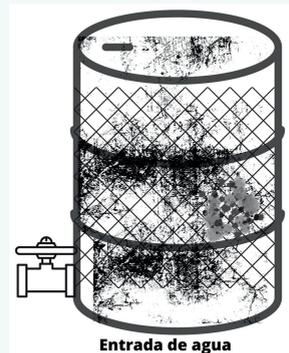
Por ejemplo, si mi tanque es de 1 m³ (1000 L de agua) se requiere una unidad de remoción que equivale al 15% de los 1000L del tanque, es decir:

$$\text{Volumén del tanque de remoción} = 1000 \times \frac{15}{100} = 150 \text{ Litros}$$

Unidad de mineralización

La mineralización es el proceso por el cual la materia orgánica de los sólidos es degradada a través de la actividad microbiana liberando nutrientes o minerales en formas inorgánicas solubles que pueden estar disponibles para las plantas (Rodríguez, 2020). En acuaponía esta mineralización puede desarrollarse de manera anaeróbica y aeróbica.

La mineralización anaeróbica se realiza en un componente o unidad (tanque plástico), el cual contiene una malla polisombra del 50 o 65%. Esta malla permite la captura de los **sólidos suspendidos** y el crecimiento de las **bacterias heterótrofas**, las cuales en ausencia de oxígeno ayudan a descomponer los residuos o la materia orgánica.





Por otro lado, la mineralización aeróbica se realiza principalmente con los sólidos sedimentables que se precipitan en la unidad de remoción de sólidos. Estos sólidos se deben extraer periódicamente y ser almacenados en otro componente independiente al sistema acuapónico, donde otras bacterias heterótrofas y con presencia de oxígeno degradan los sólidos y liberan otros nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas.

En sistemas de pequeña escala o de autoconsumo no es indispensable tener este componente, PERO LOS SÓLIDOS que extraes se pueden incorporar como abono en el jardín o en otros cultivos de suelo.

Unidad de biofiltración

En los peces uno de los principales catabolitos generados durante el metabolismo de la proteína contenida en el alimento es el nitrógeno amoniacal total (NAT) o amonio total ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), el cual es eliminado principalmente a nivel branquial. Este compuesto en su forma no ionizada (NH_3) es altamente tóxico para los peces y por lo tanto tiene que ser controlado o eliminado en el sistema mediante la actividad de bacterias nitrificantes.

La unidad de biofiltración es la encargada de alojar dos grupos de bacterias nitrificantes. Estas bacterias para conseguir la energía necesaria para sus funciones metabólicas realizan la oxidación del NAT a nitrito (NO_2^-); y la oxidación de este nitrito a nitrato (NO_3^-). Este proceso ocurre de la siguiente forma (Fig. 5):



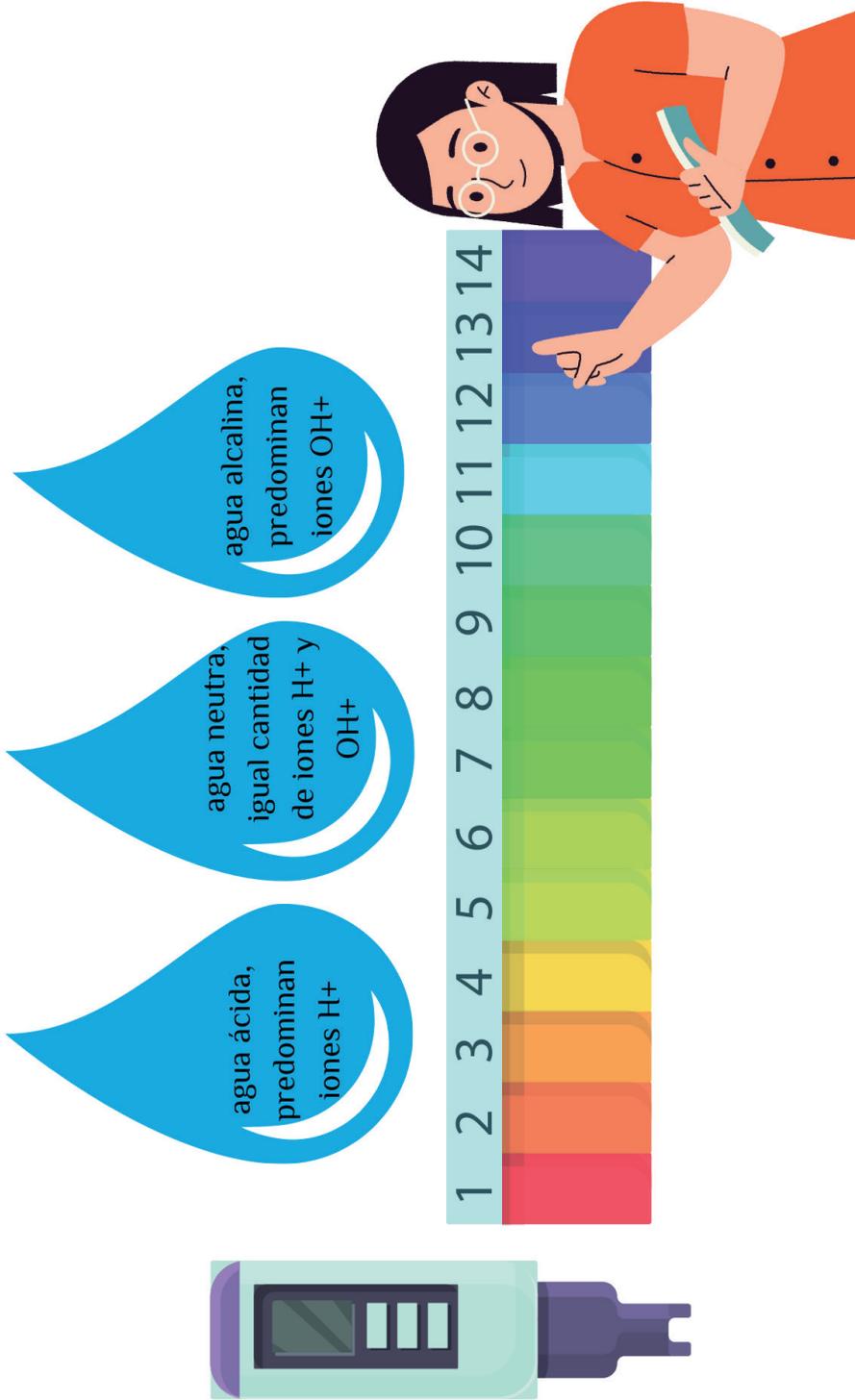


Figura 4. Expresión del pH del agua en relación a la cantidad de iones H^+ y OH^-

Cómo vemos en el diagrama, las bacterias nitrificantes requieren fuente de carbono (por ejemplo, carbonato HCO_3^-) y oxígeno para poder realizar el proceso de nitrificación. Estos **microorganismos autótrofos**, a diferencia de los heterótrofos son de crecimiento muy lento; se multiplican cada 15 a 20 horas. Además, no son móviles, por lo que requieren de una superficie para crecer y formar sus colonias.

Todas estas condiciones especiales son las que debemos mantener dentro del biofiltro. Por lo tanto, debe estar diseñado para tener un sustrato que proporcione una gran área superficial específica y el agua permanecer oxigenada.

¿Cuáles son los sustratos o medios para el biofiltro usados comúnmente?

Los más usados y fácil de conseguir en acuaponía son: tapas de botella, grava, escoria de carbón, trozos de tubo corrugado y biobolas de plástico.

Se puede implementar diferentes tipos de medio de biofiltración, pero ¿Cómo calcular el volumen o la cantidad de sustrato que se debe implementar en el sistema productivo? Esto dependerá de los siguientes factores:

- ➔ Estimar la tasa de excreción de amonio total por parte de los peces.
- ➔ Conocer el área superficial del medio en m^2/m^3
- ➔ Mantener concentraciones de oxígeno disuelto $> 3 \text{ mg/L}$
- ➔ No acumular materia orgánica o sólidos en este componente, ya que la presencia de sólidos incrementa el crecimiento de bacterias heterótrofas y el consumo de oxígeno será mayor por parte de estos microorganismos, afectando el proceso de nitrificación.



El volumen del medio se calcula a partir de dos fórmulas sencillas:

$$A_{\text{medio}} = \frac{\text{Producción de amonio total}}{\text{Tasa de remoción del amonio total por las bacterias}}$$

$$V_{\text{medio}} = \frac{A_{\text{media}}}{\text{Área superficial específica del medio}}$$

Como se ilustra en las fórmulas, para poder conocer el área y volumen del medio o sustrato debemos conocer la producción de amonio total, la tasa de remoción del amonio por las bacterias y el área superficial específica del medio. Vamos a explicar cada uno de ellos:

Producción de amonio total o NAT

En sistemas de autoconsumo o unifamiliar la estimación de la **producción del amonio total** se puede calcular a partir del % de proteína cruda del alimento y la ración final de alimento diario que se les dará a los peces durante el ciclo del cultivo, utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{\text{NAT}} = \%PC * 0.092 (\text{Constante}_{\text{NAT}}) * R_{\text{alimento}}$$

¿Por qué la constante es 0.092?

Por **cada Kg** de alimento con **100% de proteína cruda**, se encuentra qué:

16% de esa proteína está en forma de **Nitrógeno**

80% de ese **N** es asimilado

80% del **N** asimilado es excretado.



La tasa de remoción o conversión de NAT

La tasa de remoción o conversión del NAT a nitrito y nitrato por parte de las bacterias está fuertemente influenciado por las condiciones de temperatura, pH y oxígeno disuelto en el agua.

Un estudio realizado por Timmons & Ebeling (2007) reporta un rango de conversión de NAT basado en el área superficial del medio, el volumen del medio y la temperatura del agua. Así como también reporta un estudio estequiométrico del consumo de oxígeno - carbonatos y la producción de Dióxido de carbono y Nitrato por cada gramo de $\text{NH}_4\text{-N}$ consumido. A continuación, te enseñamos las tasas de remoción que se tienen en cuenta para calcular el volumen del sustrato o medio requerido para el sistema acuapónico:

Tabla 1. Tasa de Remoción de NAT y proporción de bacterias autotofas.

Tasa de Remoción de NAT		
Remoción o Conversión de NAT basado en	Remoción de NAT en 15 a 20 °C	Remoción de NAT en 25 a 30 °C
Área superficial del medio 200 a 300 m ² /m ³	0,2 a 1,0 g/m ² por día	1,0 a 2,0 g/m ² por día
Volumen del medio (> 500 m ² /m ³)	0,6 a 0,7 Kg/m ³ por día	1,0 a 1,5 Kg/m ³ por día
Estudio Estequimetrico de las bacterias autotofas		
Consumo de Oxígeno	4,18 g O ₂ / g N - NH ₄ ⁺	
Consumo de alcalinidad	7,05 g Alc/g N - NH ₄ ⁺	
Producción de Dióxido de carbono CO ₂	5,85 g CO ₂ / N- NH ₄ ⁺	
Producción de Nitrato NO ₃	0,976 g NO ₃ / N- NH ₄ ⁺	



Área superficial específica

El área superficial específica es la relación del área expuesta en un volumen dado del medio, la cual se representa como m^2/m^3 . Por lo tanto, las partículas del medio más pequeñas y porosas representan una mayor área superficial disponible para la colonización de las bacterias. Es decir, entre mayor área expuesta mayor población de bacterias nitrificantes. A continuación, describimos el área de los sustratos más comúnmente usados en acuaponía.

<p>50 – 100 m^2/m^3</p> 	<p>300 – 400 m^2/m^3</p> 	<p>250 – 300 m^2/m^3</p> 
<p>300 – 400 m^2/m^3</p> 		<p>600 – 1200 m^2/m^3</p> 

VAMOS A VER UN EJEMPLO

Asumiendo que en un sistema productivo acuapónico con tilapia se alimenta con concentrado comercial que tiene un contenido de proteína cruda del 35 %, y durante el ciclo productivo se alcanza alimentar con una ración diaria final de 760 g

¿Cuál es la producción total de NAT y el volumen requerido para la biofiltración?

Para responder a esta pregunta debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones:



Tabla 2. Tasa de remoción del NAT en grava.

Selección del tipo de medio	Área superficial del medio	T°C mínima del agua	Tasa de remoción o conversión del NAT
Grava	350 m ² /m ³	20°C	0,45 g/m ²

¿Cuál es la producción total de NAT?

$$P_{\text{NAT}} = \%PC * \text{Constante}_{\text{NAT}} * R_{\text{alimento}}$$

$$= (0,35 \times 0,092) \text{ Kg NAT / Kg alimento} \times 0,7 \text{ Kg alimento / día}$$

$$= 0,024 \text{ Kg NAT / día}$$

Lo anterior en gramos (g) equivale a (0,024 Kg NAT/día x 1000 g/kg)
= 24 g NAT/día

$$A_{\text{medio}} = \frac{\text{Producción de amonio total}}{\text{Tasa de remoción del amonio total por las bacterias}}$$

¿Cuál es el volumen requerido para la biofiltración?

$$V_{\text{medio}} = \frac{A_{\text{media}}}{\text{Área superficial específica del medio}}$$

$$A_{\text{medio}} = 24 \text{ g NAT/día} / 0,45 \text{ g NAT/m}^2$$

$$= 53 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{medio}} = 53 \text{ m}^2 / 350 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$= 0,152 \text{ m}^3$$

En el sistema acuapónico se requiere un volumen de **152 L de grava** para transformar el amonio total que excretarán los peces.

Lo anterior en Litros (L) equivale a (0,152 m³ x 1000 L/m³) = 152 L



Unidad hidropónica

En acuaponía se puede implementar diferentes tipos de unidades hidropónicas. Esto dependerá principalmente de la especie a cultivar, del objetivo de la producción y del espacio disponible.

Tabla 3. Unidades hidropónicas y sus características.

Tipo de técnica Hidropónica	Características
<p>Unidades con sustrato</p> 	<p>La técnica de sustrato se puede implementar en sistemas de autoconsumo, como se muestra en la imagen. El sustrato cumple la función de remover sólidos, mineralizar, nitrificar y generar soporte en la planta.</p> <p>También se puede implementar en sistemas de mayor producción, utilizando diferentes tipos de sustratos, como: grava, tezontle, escoria de carbón y arlita.</p>
<p>Unidades NFT (Nutrient Film Technique)</p> 	<p>Es la técnica de flujo laminar, que se basa en conducir el agua del sistema en tubería de 3 y/o 4 pulgadas, manteniendo una altura o lámina de la solución acuapónica, para así favorecer la aireación de la solución y las raíces, como el aporte de nutrientes y agua a las plantas cultivadas.</p> <p>Esta técnica se puede implementar de manera horizontal o piramidal.</p>
<p>Unidades de cama flotante-DWC (Deep water crop)</p> 	<p>Es una técnica de cultivo en agua, donde las plantas crecen y desarrollan su parte aérea flotando en una placa de icopor o en láminas de jumbolon; y sus raíces se encuentran siempre dentro de la solución acuapónica.</p> <p>La profundidad de la cama de planta debe ser de 40cm y la columna del agua de 30cm.</p>



¿Cuántas plantas puedo sembrar en un sistema acuapónico?

Las plantas requieren de unos macroelementos (Carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, Calcio, Magnesio, Azufre y Potasio) y microelementos (Hierro, manganeso, cobre, boro, zinc y molibdeno) para cumplir con sus funciones fisiológicas y por ende poder tener un buen desarrollo y crecimiento. Ya hemos hablado que la principal fuente de nutrientes en acuaponía, proviene de los procesos bioquímicos y microbiológicos que ocurre dentro del sistema a partir del alimento suministrado para los peces. Sin embargo, se reporta que los niveles de nutrientes en el agua y disponibles de las plantas está relacionado con el tipo y calidad de alimento que ingresa al sistema; así mismo, el área destinada para producir hortalizas en m^2 se calcula en función de la biomasa y de la máxima cantidad de alimento comercial suministrado a los peces por ciclo productivo.

La densidad de siembra de hortalizas depende principalmente de la especie, variedad a cultivar y las exigencias nutricionales requerida por la planta. En acuaponía se ha trabajado desde variedades de hortalizas de hoja con una densidad de siembra de 25 plantas/ m^2 y hortaliza de fruto, principalmente tomate, con una densidad de 2 a 4 plantas/ m^2 .

Para realizar este cálculo se toma la relación de Rakocy de 60 g de alimento por m^2 de área de siembra para hortalizas de hoja y 100 g de alimento por m^2 de área de siembra para hortalizas de fruto al manejar sistemas acuapónicos en cama flotante. Por otro lado, se toma la relación de 35 g de alimento por m^2 de área de siembra para hortalizas de hoja y 60 g de alimento por m^2 de área de siembra para hortalizas de fruto al manejar sistemas acuapónicos en técnicas de NFT o sustrato.

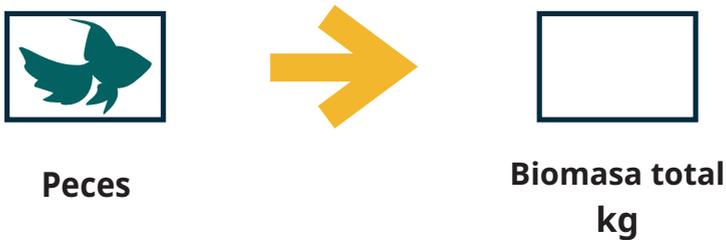
¿Cómo diseñar un sistema acuapónico unifamiliar para autoconsumo?

Juan desea realizar un diseño acuapónico que produzca alimento para su familia de una manera sana, limpia y sostenible. Él tiene en su finca un tanque circular de 1000 L y unos bidones de 200 L que no usa y los cuales podrían ser implementados para acuaponía. Vamos a ayudarlo a diseñar su sistema acuapónico.



Juan vive en una zona cálida donde la temperatura ambiental máxima es de 26°C y mínima de 20°C. Por lo que se le recomienda sembrar Tilapia. En su tanque de 1000L (1 m³)

¿Cuántos peces puede sembrar Juan, si los quiere cosechar a partir de los 500 gramos y manejar una biomasa en su tanque de 20 Kg/m³?



Juan ya conoce el número de peces que puede sembrar en su tanque, pero para poder mantener el buen desarrollo, crecimiento y salud de los peces él debe estimar los niveles de NAT que el pez excretará para poder estimar el volumen de biofiltración que requiere y así ayudar a establecer los microorganismos que controlarán los niveles tóxicos que pueden afectar los peces. Vamos ayudarle a completar las siguientes tablas:

Tabla 4. Producción total de NAT frente a la tasa de alimentación.

Tasa de alimentación máxima (%)	Ración de alimento diario (g/día)	% de proteína cruda del alimento	Producción total de NAT



Tabla 5. Tasa remoción NAT según el medio.

Selección del tipo de medio	Área superficial del medio	T°C mínima del agua	Tasa de remoción o conversión del NAT	Volumen del biofiltro requerido

Ración de alimento diario (g/día) =

$$\begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Biomasa total (Kg)} \end{array} \times \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Tasa de alimentación} \end{array} = \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Alimento/día} \end{array}$$

Producción total de NAT (g/día) =

$$\begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Biomasa total (Kg)} \end{array} \times \begin{array}{c} \boxed{0,092} \\ \text{Constante} \end{array} \times \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Ración máxima de alimento/día} \end{array} = \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Producción total de NAT (g/día)} \end{array}$$

$$\boxed{}$$

Área del medio (m²)

$$\frac{\text{Producción total de NAT g/día}}{\begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Producción NAT por m}^2 \end{array}} = \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Área del medio (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$\boxed{}$$

$$\boxed{}$$

Volumen del medio (m³) =

$$\frac{\text{Área del medio (m}^2\text{)}}{\begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Profundidad (m)} \end{array}} = \begin{array}{c} \boxed{} \\ \text{Volumen del medio (m}^3\text{)} \end{array}$$

$$\boxed{}$$

Área superficial del medio m²/m³





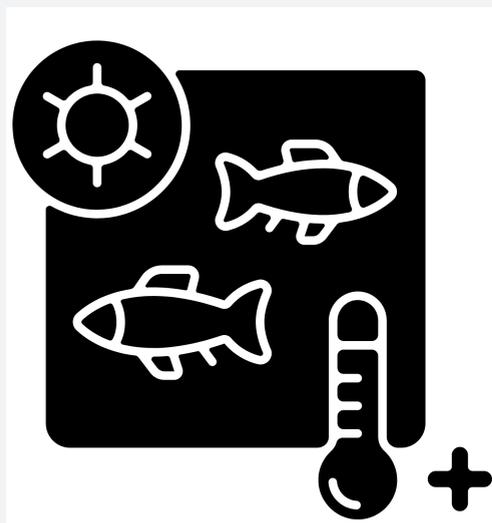
CAPÍTULO 2.

Manejo de calidad
de agua en acuaponía



El manejo de calidad de agua en sistemas acuapónicos es uno de los aspectos más importantes para mantener las condiciones adecuadas y óptimas para el buen desarrollo y crecimiento de las especies cultivadas. Los principales parámetros que se deben controlar son: temperatura, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal total (NAT), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃), pH, dureza de carbonatos (KH) y parámetros nutricionales. A continuación, se explicarán cada uno de ellos:

Temperatura



El manejo de la temperatura del agua en el sistema acuapónico dependerá principalmente de la especie de pez a cultivar, ya que los peces son organismos poiquilotermos, es decir que no tienen la capacidad de regular su temperatura corporal, por lo tanto si la especie presenta un cambio brusco de temperatura o se encuentra en temperaturas muy bajas o muy altas a las condiciones normales pueden desencadenar un estrés crónico afectando el desarrollo y/o causando enfermedad en el organismo.

En términos generales, podemos encontrar especies de peces con fines de consumo que habitan en aguas cálidas y en aguas frías. La especie a cultivar dependerá de la temperatura promedio presente en el lugar donde se desarrollará el cultivo. En la siguiente tabla te enseñamos las principales especies cultivadas en acuicultura con fines comerciales en Colombia (Tabla 6.).



Tabla 6. Principales especies cultivadas en acuaponía.

Especie (Nombre común)	Nombre científico	Temperatura (Rango de tolerancia)	Temperatura óptima
Tilapia	<i>Oreochromis sp.</i>	22 a 30 °C	26 a 28 °C
Cachama	<i>Piaractus brachypomus</i>	22 a 29 °C	24 a 29 °C
Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	22 a 28 °C	25 a 28 °C
Yamú	<i>Brycon siebenthalae</i>	24 a 31°C	25 a 30°C
Bagre	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	24 a 29 °C	27 a 28 °C
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	15 a 28 °C	20 a 26 °C
Trucha arcoíris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	9 a 20 °C	9 a 14 °C

* Las principales especies que se han implementado o estudiado hasta el momento en acuaponía es la tilapia, cachama, carpa común y trucha.

Oxígeno disuelto

Es uno de los parámetros más importantes en acuaponía y el principal factor que limita la producción, ya que los peces, las bacterias nitrificantes, las bacterias autótrofas y heterótrofas aeróbicas y las plantas requieren oxígeno para llevar a cabo todos sus procesos metabólicos y fisiológicos. Es por ello que la eficiencia y el buen rendimiento de las especies cultivadas estará en función a los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Estos niveles dependen de los siguientes factores:

- 1. Presión parcial del oxígeno**, es decir, a mayor altura sobre el nivel del mar hay una disminución de la presión barométrica o la presión parcial de los gases, generando una menor disponibilidad de oxígeno en el agua.
- 2. Temperatura y concentración de sales:** A mayor temperatura y salinidad menor es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.



- 3. Crecimiento de algas:** El proceso fotosintético que realiza las algas causa altas variaciones en las concentraciones de Oxígeno. La fotosíntesis es un proceso que ocurre en presencia de energía solar, durante el día las algas realizan la captura de dióxido de carbono y agua generando carbohidratos como la glucosa y Oxígeno. Sin embargo, en la noche este proceso ya no ocurre y las algas pasan a consumir oxígeno. Por lo tanto, entre más algas haya en el sistema más Oxígeno se generará en el día y más consumirán durante la noche, causando una disminución hasta tal punto de que los peces no puedan capturar lo suficiente para sobrevivir.
- 4. Área de superficie del tanque:** Entre mayor área de superficie mayor capacidad de transferencia de oxígeno o incremento de oxígeno disuelto en el agua del sistema.
- 5. Área de superficie de la burbuja y tiempo de contacto:** Entre menor tamaño de burbuja mayor será el aire que se puede transferir al agua y menor será la velocidad de recorrido, favoreciendo el incremento del oxígeno disuelto en el agua. Burbujas de 3 mm son ideales para acuaponía.

Entonces **¿En cuánto debe mantener el oxígeno en el sistema?** En la figura te explicaremos por medio de una ilustración. Sólo recuerda que para controlar este parámetro es importante hacer mediciones periódicas por medio de un oxímetro, el cual arrojará una lectura en concentraciones de mg/L o % de saturación (Figura 6.).

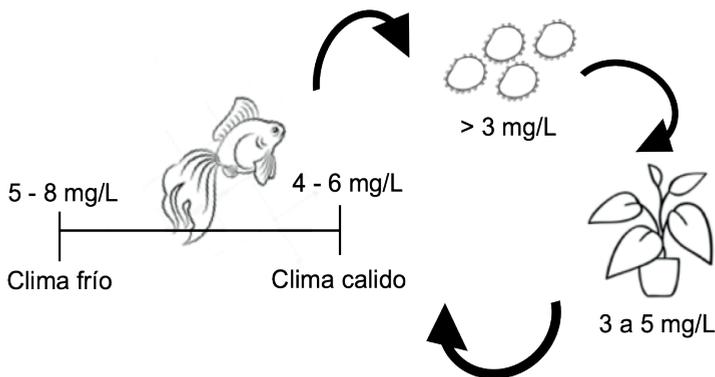


Figura 6. Relación oxígeno disuelto, pez/planta.



Ciclo biológico en acuaponía

En acuaponía, el ciclo biológico del nitrógeno es un proceso que consiste en la transformación de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$) a nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), el cual es generado por la actividad de bacterias autótrofas nitrificantes. Es importante entender, que sin la presencia de estas bacterias puede incrementar los compuestos tóxicos afectando la salud de los peces.

Nitrógeno amoniacal total, nitrito y nitrato

El nitrógeno amoniacal total, denominado así por las dos formas químicas de amonio que pueden estar presentes en el agua: amonio no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+), se derivan principalmente de dos fuentes: del metabolismo de la proteína consumida del alimento por parte de los peces y de la descomposición de la materia orgánica acumulada en el sistema. En otras palabras, el nitrógeno que ingresa al sistema proviene del contenido de proteína cruda presente en el alimento. Una parte de esta proteína los peces lo asimilan para el crecimiento, y otra parte lo liberan como residuos. Estos residuos son liberados en su mayor parte, a nivel branquial en la forma NH_3 , seguido de la orina. Además de estos residuos generados, las heces, el alimento no consumido, y material vegetal se acumulan en el sistema como residuos sólidos los cuales también incrementan el NAT por la actividad de las bacterias heterótrofas.

Los niveles de NAT presentes en el sistema pueden ser oxidados o convertidos a nitrito (NO_2^-) por acción de bacterias del género *Nitrosomonas*, entre otras, y posteriormente los NO_2^- son vertidos a su vez en nitrato (NO_3^-) por un grupo de bacterias, por ejemplo, del género *Nitrobacter*.

Para que ocurra este proceso eficientemente las bacterias requieren de tres condiciones: 1. Presencia de oxígeno disuelto en el agua; 2. Un sustrato en la cual se puedan adherir para poder desarrollar las colonias bacterianas y 3. Niveles de pH en el agua (6.0 - 9.0).

Inhibir el crecimiento o eliminar las bacterias nitrificantes del sistema acuapónico nos puede generar problemas de sanidad en la especie



cultivada, debido a que el NAT y NO_2^- son los principales compuestos tóxicos. Mientras que, el NO_3^- es la principal fuente de N para las plantas. Es importante aclarar que las plantas también asimilan el NH_4^+ pero en una baja proporción. Se reportan que la proporción ideal es 25:75 de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$

Como lo hemos comentado, el NAT es la suma del amonio ionizado y no ionizado. La forma más tóxica para los peces, debido a su fácil difusión branquial, es la forma no ionizada (NH_3). Altas concentraciones de esta molécula y de manera constante puede generar los siguientes problemas: daños en el tejido branquial; daños en el sistema nervioso y por ende pérdida de equilibrio sumado al comportamiento letárgico y de jadeo en la superficie del agua. La toxicidad de este compuesto depende del pH y la temperatura, el cual está explicado en la sección del pH.

En cuanto al NO_2^- es una molécula muy tóxica hasta en bajas concentraciones (0,25 mg/L), en el cual puede resultar como un incremento en el estrés y por ende aparición de enfermedad y por consiguiente la muerte de los individuos. El principal problema causado por altos niveles de esta molécula es la afectación del transporte de oxígeno por la hemoglobina de la sangre, desarrollando una enfermedad conocida como "sangre color café".

Por tal razón es importante saber la tolerancia máxima y los niveles adecuados de NAT y NO_2^- qué se deben manejar en el sistema. A continuación, te enseñamos los niveles que se deben manejar para tilapia, cachama y trucha. (Tabla 7.)

Tabla 7. Niveles de tolerancia de NAT y NO_2^- en piscicultura.

Especie de pez a cultivar	NAT (mg/L)	NH_3 (mg/L)	NO_2^- (mg/L)
Tilapia	2,7	0,5	5
Cachama	2,0	0,08	0,28
Trucha	0,5	0,02	0,2

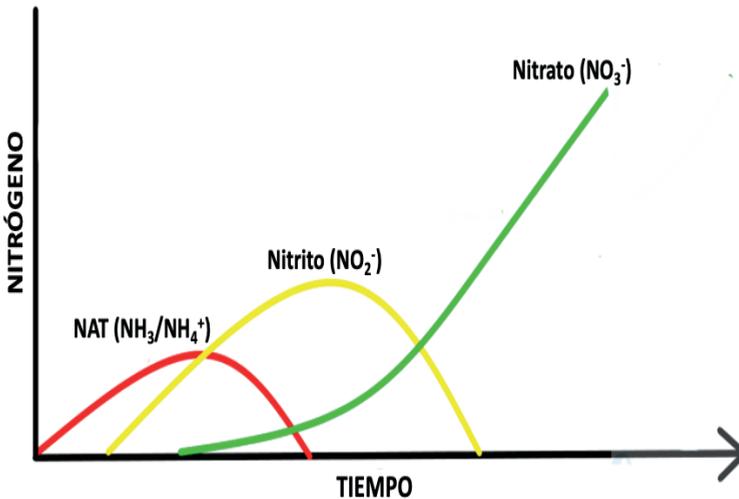


¿Cómo medimos de manera sencilla el nivel de los compuestos nitrogenados en el agua del sistema?

La manera más sencilla es realizarlo a través de un kit colorimétrico. Un ejemplo comercial es la marca API. El control o seguimiento de estos parámetros te permitirá controlar la calidad del agua y saber en qué momento el sistema se encuentra maduro; cuándo tienes que tomar medidas de control o prevención y cuándo es el momento adecuado para sembrar las plantas.

Proceso de maduración en sistemas acuapónicos

El ciclo de maduración es un proceso lento que puede durar de 4 a 6 semanas y la proliferación o establecimiento de las bacterias dependerá de las condiciones establecidas en el sistema de cultivo.

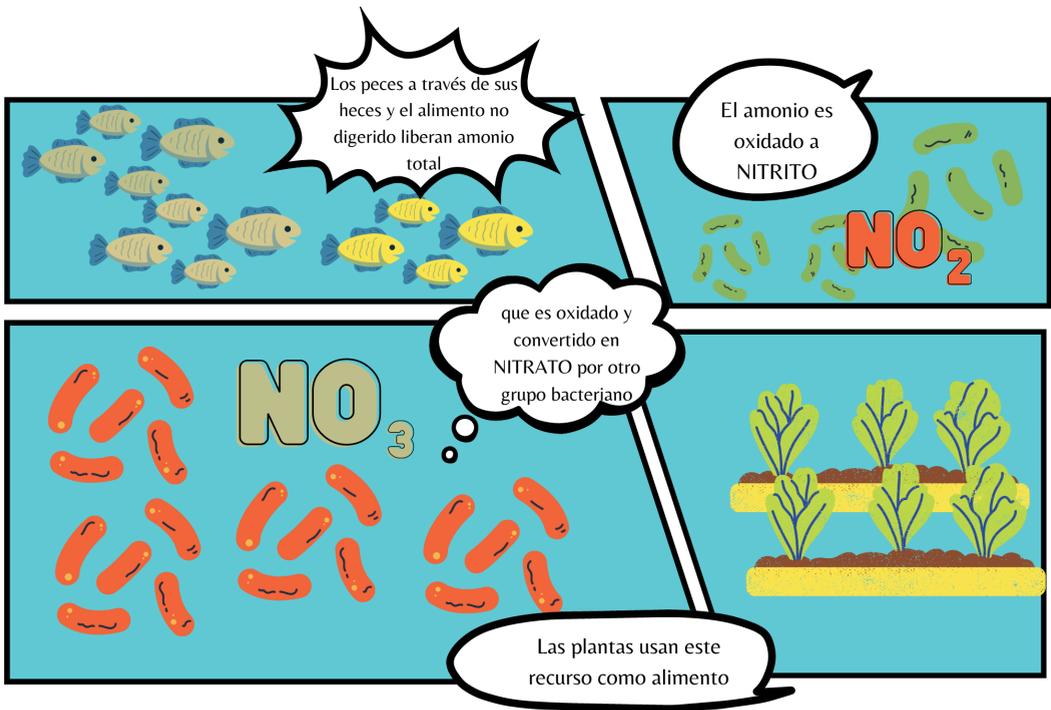


Se dice que el sistema está maduro cuando la población de bacterias ha crecido de tal forma que convierten casi instantáneamente las concentraciones de NAT y NO_2^- presentes en el agua. Por lo tanto, el comportamiento de estos compuestos se reflejará como se ilustra en la figura. El momento adecuado para sembrar las plantas y hortalizas es a partir de 60 ppm o mg/L de NO_3^- para sistemas de autoconsumo y > 80 ppm de NO_3^- para sistemas con enfoque comercial.



pH

El pH es un índice de la concentración de los iones de hidrógeno (H) en el agua. Se define como $-\log(H)$, lo que indica que entre mayor sea la concentración de los iones de hidrógeno en el agua (H^+), menor será el valor del pH y viceversa. Este parámetro es uno de los más importantes que influye en la actividad biológica de los organismos y microorganismos presentes en el sistema; en las propiedades físico-químicas del agua; así como en la disponibilidad y asimilación de nutrientes para las plantas.



Generalmente en los peces de consumo es apropiado mantener rangos de 6,5 a 8,5; un pH inferior a 4,5 o igual o superior a 11,0 puede causar un estrés crónico a la especie. En cuanto a los microorganismos Autótrofos y heterótrofos el pH es un factor determinante en las diferentes actividades metabólicas, entre ellas en las actividades de mineralización y solubilización. Para el caso de las bacterias nitrificantes (autótrofas) se reporta que hay una mayor eficiencia en pH altos de 8,0 a 8,5; sin embargo, se puede mantener como mínimo un pH



de 6,0. Con respecto a esto, en acuaponía se maneja un pH de 6,5 a 7,0, aceptable para todos los organismos involucrados en el sistema.

Por otra parte, el pH afecta o cambia la composición y presencia química del nitrógeno amoniacal total (NAT) en el agua. Si el pH se encuentra de manera ácida ($< 7,0$) predomina la forma ionizada (NH_4); y si es alcalino ($> 7,0$) predomina la forma no ionizada (NH_3), que como lo mencionamos anteriormente es la forma tóxica para los peces. Esta composición química del NAT también es afectada por la temperatura. Por lo tanto, no es suficiente conocer cuánto NAT existe en el agua, sino también conocer el pH y la temperatura, para así calcular los niveles de NH_3 presentes en el sistema y por ende analizar el nivel de toxicidad al que están expuestos los peces. A continuación, ilustramos un ejemplo (Tabla 8):

Tabla 8. Relación Temperatura, pH, NAT.

Temp (°C) — pH	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
6,0	0,040	0,043	0,046	0,049	0,053	0,057	0,061	0,065	0,070	0,075	0,080
6,5	0,125	0,135	0,145	0,156	0,167	0,180	0,193	0,207	0,221	0,237	0,254
7	0,396	0,425	0,457	0,491	0,527	0,566	0,607	0,651	0,697	0,747	0,799
7,5	1,24	1,33	1,43	1,54	1,65	1,77	1,89	2,03	2,17	2,32	2,48
8	3,82	4,10	4,39	4,70	5,03	5,38	5,75	6,15	6,56	7,0	7,46
8,5	11,2	11,9	12,7	13,5	14,4	15,3	16,2	17,2	18,2	19,2	20,3

En un sistema acuapónico Juan realizó las mediciones de calidad en horas de la mañana, el cual encontró que al realizar la medición del pH arrojó una concentración de 7,5, con temperatura de 28 °C y 2,0 mg/L de NAT. Usando la tabla y mirando cada una de las mediciones nos arroja un valor de 2,17, lo cual significa que 2,17% del NAT está en forma no ionizado (NH_3).

Por lo tanto, para saber cuántos ppm representan el 2,17% realizamos la siguiente operación: $2,0 \text{ ppm} \times 0,0217 = 0,0434 \text{ ppm}$ de NH_3 . Estas concentraciones pueden generar estrés para las especies más susceptibles como la trucha.

Dureza de carbonatos (KH)

El KH es un valor de la cantidad de carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-) de calcio y magnesio disueltos en el agua. Los carbonatos están relacionados con el pH, ya que químicamente tienden a reaccionar con el CO_2 presente en el agua permitiendo incrementar el pH y generar una capacidad buffer en el agua.

Además, es importante, porque proporciona la principal fuente de carbono para las bacterias autótrofas de la unidad de biofiltración. Esta fuente de carbono es importante para incrementar la biomasa o población microbiana.

En acuaponía se puede manejar concentraciones de bicarbonatos mayores a 60 ppm o mg/L. Para conocer cuánto bicarbonato se encuentra en el agua del sistema se implementa kits colorimétricos que determinan la concentración de KH según el número de gotas que se adicionan del reactivo. Esta adición de gotas se realiza hasta observar un cambio de coloración de la solución, generalmente

de azul a amarillo. El número de gotas corresponde a los grados alemanes, siendo expresado una gota del reactivo como un grado alemán, y un grado alemán equivale a 17.8 ppm o mg/L.

¿Qué es Capacidad buffer?

Buffer es la resistencia del agua a cambiar de pH

Hay diferentes fuentes de carbonatos que se pueden implementar en acuaponía, pero cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas. Se encuentran (Ver tabla 9):



Tabla 9. Fuente de Carbonatos utilizados en acuaponía.

Fuente de Carbonato	Fórmula Química	Observaciones
Bicarbonato de Sodio	NaHCO_3 . Peso molecular: 84.01 g/mol	<p>Solubilidad en agua (g/100 mL de agua) $20^\circ\text{C} = 9.6$</p> <p>Compuesto altamente soluble en agua. Recomendado para adicionar en sistemas de autoconsumo. En sistemas comerciales se recomienda, según la cantidad, adicionar de manera ocasional.</p> <p>Altas concentraciones de este compuesto pueden incrementar los niveles de Na, ocasionando problemas en la asimilación de K, Ca y Mg por parte de la planta.</p> <p>La dosis a adicionar dependerá del pH objetivo, la concentración de KH y la concentración de CO_2. Para aprender cómo calcularlo se recomienda leer Loyless and Malone, 1997.</p>
Bicarbonato de potasio	KHCO_3 Peso molecular: 100.115 g/mol Potasio: 38%	<p>Solubilidad en agua (g/100 mL de agua) $20^\circ\text{C} = 33.3$</p> <p>Recomendado para la acuaponía, altamente soluble en el agua. Se recomienda conocer la ficha técnica del producto, ya que algunos contienen trazas de hierro y mercurio.</p>
Carbonato de Calcio CAL agrícola	CaCO_3 Peso molecular: 100.08 g/mol Óxido de calcio: 40%	<p>Solubilidad en agua (g/100 mL de agua) $25^\circ\text{C} = 0.0013$</p> <p>Su solubilidad es muy baja en el agua. Se reporta que 2Kg/1000L de agua incrementa 1 unidad de pH.</p>
Carbonato de magnesio	MgCO_3 Peso molecular: 100.115 g/mol Óxido de magnesio: 40 - 45%	<p>Solubilidad en agua (g/100 mL de agua) $20^\circ\text{C} = 0.01$</p> <p>Presenta muy baja solubilidad en el agua.</p>

Parámetros nutricionales en acuaponía

Todos los organismos, sea animal o vegetal tienen diferentes requerimientos nutricionales. Para los peces ya se comercializa concentrado balanceado, principalmente para la tilapia y la trucha, la cual contienen los nutrientes, proteína y aminoácidos que requieren para el buen desarrollo en las diferentes etapas de crecimiento.

Por lo tanto, en acuaponía los peces reciben la nutrición, principalmente de este alimento balanceado; y las hortalizas lo reciben principalmente de lo que se genera durante la descomposición y mineralización de los residuos generados en el sistema, donde su composición está directamente relacionada con el tipo de alimento que ingresa al sistema.

Los nutrientes que se han encontrado en concentraciones deficientes en el sistema son principalmente: potasio (K^+), calcio (Ca_2^+), magnesio (Mg_2^+) e hierro (Fe_2^+). Por lo tanto, debido a los diferentes requerimientos nutricionales de las hortalizas en acuaponía se puede realizar complementos nutricionales para suplir los nutrientes faltantes, con el aporte de algunas sales o fertilizantes sintéticos o soluciones provenientes de los lixiviados generados durante el compostaje o la lombricomposta. Te enseñaremos algunas alternativas implementadas como complementos nutricionales (Ver tabla 10).

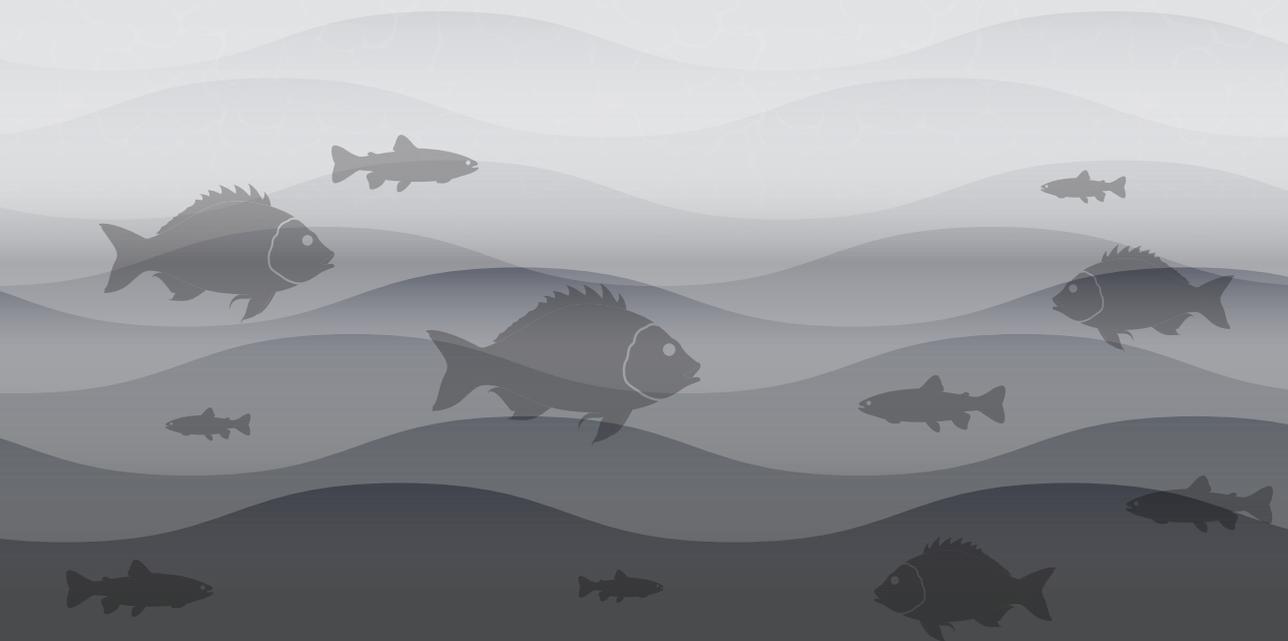
Tabla 10. Nutrientes minerales utilizados en acuaponía.

Nutrientes	Complemento Nutricional	Modo de uso	Cálculo
HIERRO (Fe^{2+})	Quelato de hierro FeDTPA	Medir concentración de hierro a partir del kit colorimétrico. Revisar cuanto % de Fe trae el quelato Adicionar para aportar 2 mg/L al sistema	<p>Por ejemplo. Al realizar medición arrojo <1.0 ppm y el quelato de hierro trae 11.3% de hierro $11,3 = 0,11$</p> <p>Entonces: $2 \text{ mg/L} \times 0,11 = 18,18 \text{ mg/L}$ El volumen total del sistema es de 4000L. Entonces: $18,18 \text{ mg/L} \times 4000L = 72,720 \text{ mg/L}$ 1 gramo equivale a 1000 mg.</p> <p>Entonces: $72,720 \text{ mg/L} / 1000 \text{ mg} = 73 \text{ g} / \text{sist}$</p>



Nutrientes	Complemento Nutricional	Modo de uso	Cálculo
<p>POTASIO (K⁺)</p>	<p>Nitrato de potasio (KNO₃⁻) Sulfato de potasio (KSO₄⁻)</p>	<p>Realizar medición con kit colorimétrico</p> <p>Revisar la composición química del fertilizante a utilizar.</p> <p>Recomendable mantener concentraciones superiores a 50 mg/L</p>	<p>Por ejemplo.</p> <p>Nitrato de potasio contiene 13% N y 46% de Potasio.</p> <p>Para aportar 50 mg/L de K o 50 gramos por cada 1000 L de agua del sistema se realiza el siguiente cálculo:</p> <p>100 g Fertilizante contiene 46 g de potasio. Entonces para aportar 50 gramos se realiza una regla de tres simple:</p> $50 \text{ gr} \times 100 \text{ gr} / 46 \text{ gr} = 108 \text{ gr por cada } 1000 \text{ L de agua.}$ <p>Si la unidad hidropónica del sistema contiene 3000 L de agua sería</p> $108 \text{ gr} \times 3000 \text{ L} = 324 \text{ gramos de fertilizante.}$
<p>CALCIO (Ca²⁺)</p>	<p>Nitrato de calcio (CaNO₃)₂</p>	<p>Realizar medición con kit colorimétrico</p> <p>Revisar la composición química del fertilizante a utilizar.</p> <p>Recomendable mantener concentraciones superiores a 40 mg/L</p>	<p>Por ejemplo.</p> <p>Nitrato de potasio contiene 15% N y 26% de Calcio.</p> <p>Para aportar 40 mg/L de K o 40 gramos por cada 1000 L de agua del sistema se realiza el siguiente cálculo:</p> <p>100 g Fertilizante contiene 26 g de Calcio. Entonces para aportar 40 gramos se realiza una regla de tres simple:</p> $40 \text{ gr} \times 100 \text{ gr} / 26 \text{ gr} = 153 \text{ gr por cada } 1000 \text{ L de agua.}$ <p>Si la unidad hidropónica del sistema contiene 3000 L de agua sería</p> $153 \text{ gr} \times 3000 \text{ L} = 461 \text{ gramos de fertilizante.}$

MÓDULO PLANTAS





CAPÍTULO 3.

Las plantas en acuaponía





LAS PLANTAS



Las plantas son seres vivos que se distribuyen en la mayoría de los ecosistemas presentes en el planeta



Su coloración verde proviene de la clorofila, involucrada en la fotosíntesis.

Cumplen con importantes funciones en los ecosistemas: Proveen alimento, producen oxígeno y ayudan en la formación de suelo.



Son un recurso importante para el ser humano: Son fuente de combustible, alimento y materias primas de varios productos indispensables.

Las plantas para crecer y cumplir con sus funciones, requieren nutrientes de tipo mineral



La nutrición vegetal, se divide en 2 grupos: los macronutrientes que se necesitan en mayor cantidad que los micronutrientes.

El bienestar de las plantas dependen del manejo adecuado de los nutrientes en el ambiente.

La importancia de las plantas en la acuaponía

En la acuaponía la interacción de peces, bacterias y plantas es el fundamento de esta técnica de producción, debido a que se genera un ciclo continuo de nutrientes, que proviene del alimento, el cual es utilizado por los peces para su crecimiento y desarrollo, para luego excretar los excesos o residuos que no son asimilados por el organismo, como calcio, potasio, compuestos fosforados y nitrogenados, entre otros.

Entre los compuestos nitrogenados encontramos la urea y el amonio total, siendo este último muy tóxico para los peces y las plantas, razón por la cual las bacterias nitrificantes son necesarias dentro del sistema, puesto que estos seres vivos se encargan de transformar el amonio total, en nitrito y por último en nitrato.

Estos nutrientes generados por los peces y algunos transformados por las bacterias nitrificantes son tomados por las plantas para su crecimiento, lo que conlleva a la filtración del agua, permitiendo que este recurso retorne a los peces, generando un manejo más adecuado del agua.

Las plantas en acuaponía pueden cumplir con diversas funciones: participar en el ciclo de nutrientes minerales, filtración del agua, generación de alimento para el ser humano o para los peces, la generación de un sistema de producción con mayor biodiversidad, un entorno de bienestar, entre otros. Logrando que las plantas desempeñen un papel importante en el manejo de esta técnica de cultivo.

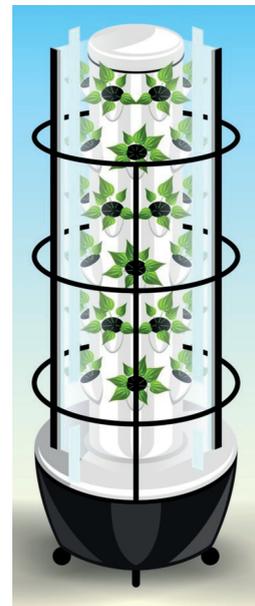


Figura 7. Sistema hidropónico tipo NFT.

El cultivo de plantas en acuaponía se basa en la técnica hidropónica la cual es trabajada globalmente y a pequeña, mediana y gran escala, donde se ha podido obtener la producción de diferentes tipos de hortalizas, sin embargo, el crecimiento y desarrollo de algunas plantas depende del diseño del sistema:



COMPONENTE HIDROPÓNICO



SISTEMA HIDROPÓNICO EN CAMA FLOTANTE

Es un sistema donde las plantas están suspendidas sobre un material laminar flotante como el poliestireno expandido u otro, que se ubica sobre la solución suspendida (Somerville et al., 2014).

SISTEMA HIDROPÓNICO NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE)

es un montaje donde las raíces de las plantas tienen contacto con una fina capa de solución nutritiva (Somerville et al., 2014).



SISTEMA DE GRANULADO

En este diseño se utiliza un sustrato granulado, como grava que le da un mayor soporte y agarre a las raíces de las plantas (Somerville et al., 2014).



Plantas de follaje

Las plantas de follaje hacen referencia a aquellas hortalizas de las cuales se consumen las partes vegetativas, principalmente hojas. Entre estas podemos encontrar las lechugas, la espinaca, la acelga, las plantas aromáticas, entre otras.

En la acuaponía este tipo de plantas son las más utilizadas debido a su fácil manejo, en general se

caracterizan por tener un ciclo de cultivo corto y más importante sus requerimientos nutricionales son en su mayoría suplidos por los desechos de los peces, lo cual disminuye el uso de fertilizantes para su mantenimiento, si se mantiene un balance entre el alimento suministrado a los peces sus desechos y los requerimientos nutricionales de las plantas.

Densidad de siembra	12 - 100 plantas/m ²	Alimento por cada 25 plantas	30 - 40g de alimento para peces
---------------------	---------------------------------	------------------------------	---------------------------------



Figura 8. Plantas de follaje en acuaponía.



Plantas de fruto

Las plantas de fruto no se utilizan tan a menudo puesto que se debe realizar una mayor aplicación de agroquímicos sobre todo en las etapas de floración y fructificación, donde incrementan los requerimientos en nutrientes

como hierro, calcio y potasio, que no son generados en cantidades suficientes para las plantas, debido a que el alimento de los peces contiene bajos niveles de estos minerales.

Densidad de siembra	6 - 12 plantas/m ²	Alimento por cada 25 plantas	60 - 80g de alimento para peces
---------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------------

A pesar de esto, diferentes investigaciones han demostrado que los sistemas acuapónicos presentan un mayor rendimiento agronómico en comparación con un sistema tradicional o convencional en suelo. Por ejemplo, Gómez (2022) estudió la producción de fresa en cama contenida con sustrato contra un sistema acuapónico obteniendo que el número de frutos por planta puede ser el doble en comparación al sistema convencional.



Figura 9. Plantas de fruto en acuaponía



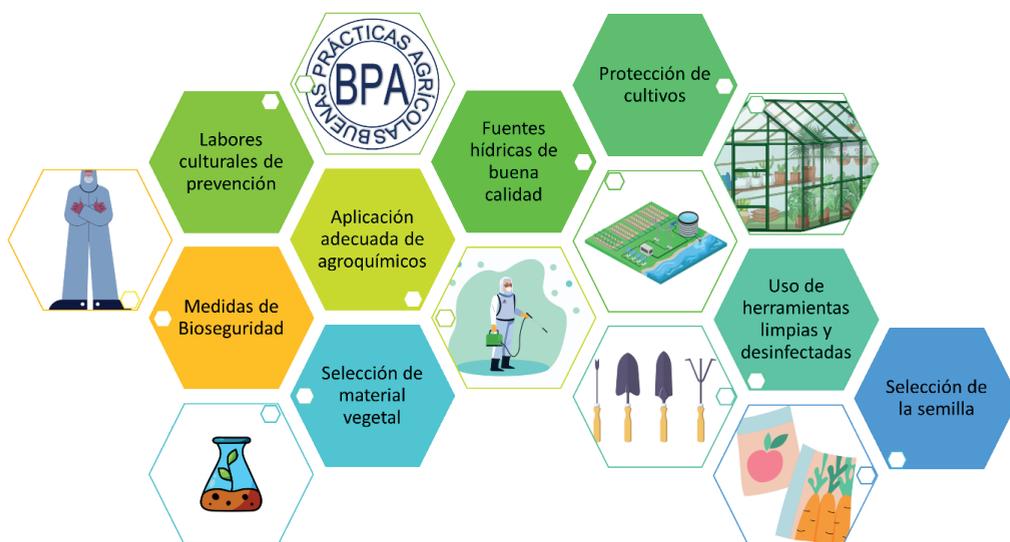


CAPÍTULO 4.

Manejo del componente
hidropónico en acuaponía



El cultivo de plantas en acuaponía es una técnica para el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo, sin embargo, es importante hacer uso de las buenas prácticas agrícolas que hacen referencia a un programa organizado de actividades para la producción de hortalizas que beneficie a los productores y consumidores a nivel social y económico.



Siembra de las plantas

Para la siembra de las plantas, el primer criterio para tener en cuenta es la selección de la semilla, puesto que es una parte importante para lograr mejores rendimientos, para lo cual la variedad debe adaptarse a la zona, ser resistente a las principales enfermedades y con rendimiento alto para esa zona. (Figura 10.)



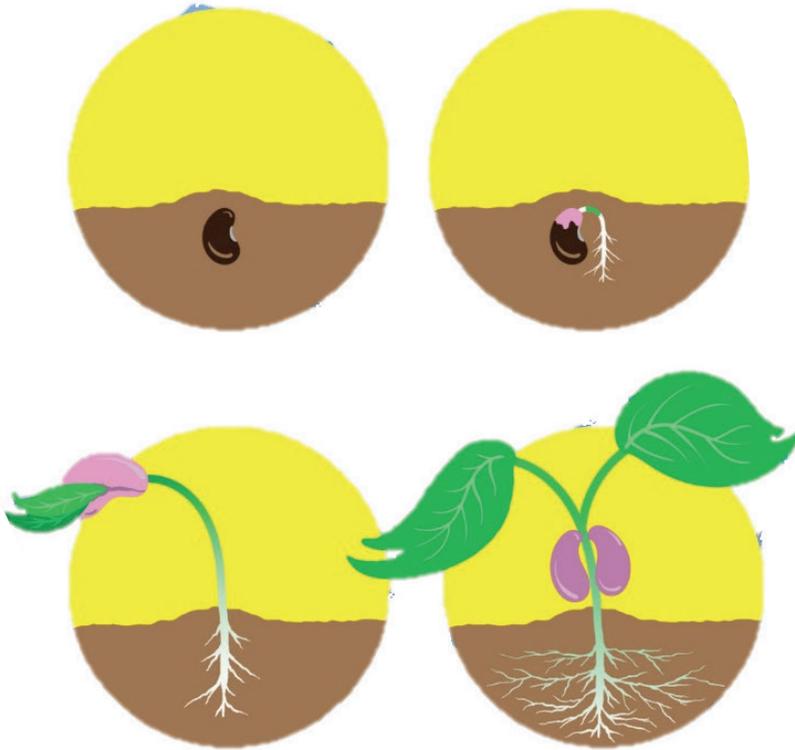


Figura 10. Etapas de crecimiento vegetal

Para la siembra de las plantas en acuaponía, hay que tener en cuenta las condiciones fisicoquímicas del agua: amonio total < 2 mg/L, nitrito, < 1 mg/L, nitrato > 20 mg/L y pH entre 6.0 a 7.0, sin embargo, este tema se hablará con mayor detalle en el próximo capítulo.

Para sembrar hortalizas en acuaponía se utiliza en método de siembra por trasplante, donde se requieren semilleros como medio de reproducción de las semillas.

Para la siembra por trasplante, se usan los semilleros como medio de reproducción de las semillas con condiciones adecuadas para garantizar la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plantitas. Debe procurarse un cuidado inicial especial para que no existan problemas en el desarrollo.



SIEMBRA POR TRASPLANTE



PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

Ejemplo: Utilizar 6 partes de compost o fibra de coco, 4 partes de humus de origen vegetal, 1 parte de arena de río y una parte de vermiculita (Si es posible). Mezclar todos los componentes hasta obtener un sustrato uniforme, sin grumos. Luego humedecer hasta capacidad de campo.

LLENADO DEL SEMILLERO

El semillero debe lavarse y desinfectarse adecuadamente para evitar la contaminación de las plantas por plagas y enfermedades. Luego debe colocarse el sustrato verificando que cada espacio del semillero contenga sustrato, presionando suavemente con las llenas de los dedos

SIEMBRA DE SEMILLAS



Con un palillo, pinzas u otro instrumento de punta delgada hacer orificios en el centro de cada espacio con una profundidad aproximada de 0.50 cm. A continuación, colocar 2 semillas en cada orificio y cubrir con una delgada capa de sustrato.

Realizar un riego suave con aspersor. Cubrir el semillero con una cúpula o papel periódico para mantener la temperatura.

CUIDADO Y SEGUIMIENTO DE LAS SEMILLAS

Durante los primeros días regar dos veces al día, para mantener la humedad del sustrato.

Cuando las semillas han germinado es adecuado quitar la cúpula o papel periódico para que las plantitas se desarrollen de manera adecuada, sin embargo, hay que tener cuidado con el exceso de sol, frío o lluvia. Se debe mantener un riego suave constante.



PREPARACIÓN PARA EL TRASPLANTE

Cuando las plantitas tengan 4 o más hojas, se puede proceder al trasplante, sin embargo se debe hacer un acondicionamiento de los organismos por un periodo de 5 días al incrementar lentamente la exposición al sol, evitando daños por radiación solar.

SIEMBRA EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO

El día anterior al trasplante se debe alistar el componente hidropónico, tener los puntos de siembra y soporte de las plantitas listas.

El día de siembra se debe tener un recipiente con agua para lavar las raíces y eliminar el exceso de sustrato, y otro con una solución de bioestimulante (Este es opcional) para pasar las raíces de las plantitas. Luego colocar un organismo por cada soporte y colocar en los puntos de siembra verificando que la raíz toque el agua.



Manejo, seguimiento y cuidado del cultivo hidropónico

En el momento que se tienen las plantas en el sistema acuapónico es importante realizar un seguimiento de estos individuos, revisando la presencia de plagas, partes vegetales muertas o que disminuyan el rendimiento de producción y síntomas o signos de deficiencias nutricionales. Estas labores culturales son importantes porque de ellas depende el estado de las plantas, la calidad y cantidad de producto que se producirá (Zorro et al., 2012).

LABORALES CULTURALES EN LA AGRICULTURA

ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Se debe utilizar:

- Guantes
 - Ropa de trabajo: Overol o bata.
 - Botas
- Aplicación de agroquímicos:
- Mascarillas
 - Gafas de protección



OBSERVACIÓN

Se debe llevar un registro de plagas y signos de enfermedad o deficiencias nutricionales



PODA

Tipos de poda por objetivo:

- Poda de formación.
- Poda de producción y fructificación.



PODA

Tipos de poda por órgano:

- Poda de hojas
- Poda de aclareo de flores y frutos.
- Poda de yemas y brotes
- Poda de tallos



AGROQUÍMICO

Son fertilizantes o productos orgánicos para el control de plagas y enfermedades

Tener en cuenta que no afecte a los peces



COSECHA

Se deben utilizar herramientas limpias, además se debe desinfectar al pasar de una planta a otra



POSCOSECHA

Actividades:

- Limpieza
- Selección
- Empaque
- Transformación (Si es necesario)





CAPÍTULO 5.

Nutrición vegetal



En el componente hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por los desechos de los peces con relación al alimento suministrado. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán en el rendimiento del cultivo, por lo que un manejo adecuado puede duplicar su producción en comparación con los cultivos en suelo.

En el cultivo hidropónico, el agua es un factor importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a que están compuestas en un 60 a 90% de este recurso. Dentro de las plantas cumple con una gran variedad de funciones de sostén, permite el crecimiento de las células, facilita el enfriamiento de las hojas, es el vehículo para el traslado de nutrientes y de productos provenientes de la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2010).

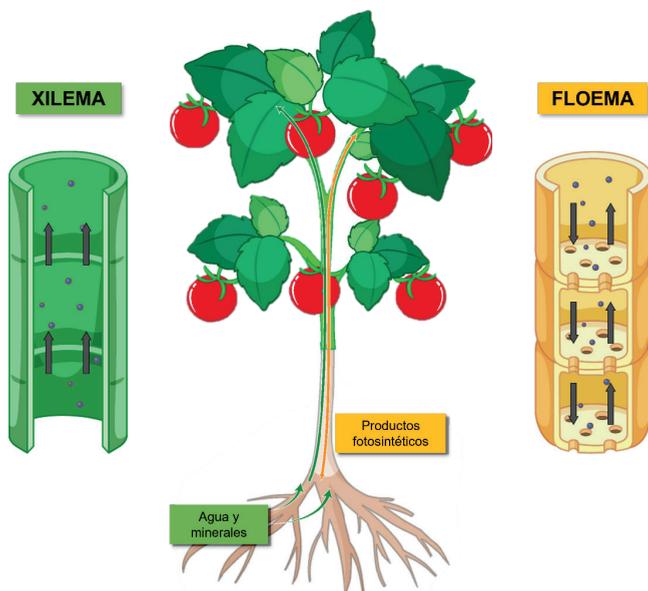


Figura 11. Transporte de agua y nutrientes en la planta



Dentro de la planta hay conductos: el xilema que permite el flujo del agua y minerales tomados del suelo y el floema donde se transportan los productos generados de la fotosíntesis al resto de la planta. Por lo tanto, el agua tiene la posibilidad de moverse desde las raíces hasta las hojas, lo que permite que los nutrientes lleguen a toda la planta, la cantidad de agua que absorber depende de la estructura de las raíces, el sustrato y el clima. En hidroponía y acuaponía, algunas de estas variables se modifican, principalmente en lo que se refiere a la absorción, dado que el agua está siempre disponible en estos sistemas (Beltrano & Giménez, 2015).

Requerimientos nutricionales en plantas

Los nutrientes esenciales son requeridos por los vegetales en cantidades variables, ya que algunos de ellos forman las estructuras cuantitativamente más importantes o activas en el metabolismo, y por lo tanto son requeridos en cantidades relativamente elevadas. Estos se denominan elementos mayores o macronutrientes; otro grupo de nutrientes esenciales se necesitan en cantidades más reducidas y son denominados elementos menores o micronutrientes.

Entre los macronutrientes, hay seis nutrientes que las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes. Estos nutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Mientras que los micronutrientes, se necesitan en pequeñas cantidades, entre ellos se encuentra el hierro, manganeso, molibdeno y zinc (Aguirre-Galindo, 2021).

Los nutrientes están dotados de movimiento en el entorno de la raíz favoreciendo su absorción. Una de las claves para el éxito del cultivo es la composición de la solución nutritiva, ya que la misma deberá contener todos los elementos mencionados en forma adecuada y en las cantidades apropiadas para que cumplan de manera correcta el rol que desempeñan en el metabolismo vegetal. Estos elementos minerales están disponibles de manera continua debido al alimento suministrado a los peces y los desechos generados, controlando el pH de la solución nutritiva (Saltón Verde, 2013; Taiz & Zeiger, 2010).

Deficiencias y manejo nutricional en plantas en acuaponía

Deficiencia de nitrógeno

Signos

Se presenta en las hojas más viejas

Se presenta un amarillamiento en la hoja que va desde los bordes al centro, de esta estructura

Las hojas nuevas son más pequeñas

Nivel avanzado de la deficiencia: Presenta pérdida de hojas, de las más viejas a las nuevas

Causas y soluciones

La densidad de peces es muy baja, no hay un balance adecuado entre ellos y las plantas

Otra causa es el pH, el cual debe estar entre 6 a 7

Adicionar productos nitrogenados: Nitrato de potasio, Nitrato de calcio, entre otros

Revisar que los productos no sean tóxicos para los peces



Deficiencia de fósforo

Signos

Se presenta en hojas viejas

Cambia su coloración, en su primera etapa entre azul y morado en el envés

En etapas más avanzadas se presentan manchas cafés

Por último, las hojas empiezan a caer y se observa una planta débil



Causas y soluciones

La densidad de peces es muy baja, no hay un balance adecuado entre ellos y las plantas

Otra causa en el pH, el cual debe estar entre 6 a 7

Adicionar fertilizantes orgánicos, como el humus

Revisar que no sean nocivos para los peces

(Saltón Verde, 2013)

Deficiencia de potasio

Signos

Los signos se presentan inicialmente en hojas viejas

Las hojas se ponen pálidas

Los bordes de las hojas se tornan de color óxido y se queman

Florecimiento retardado y disminuido.
Incremento de nuevos tallos

Causas y soluciones

Es una deficiencia común en la acuaponía

Otra causa es el pH, el cual debe estar entre 6 a 6.5

Adicionar fertilizantes cada 2 semanas: Nitrato de potasio o hidróxido de potasio

Mantener un equilibrio entre los niveles de calcio y potasio porque pueden bloquear la absorción



Deficiencias de calcio

Signos

Los signos se presentan en hojas viejas

Las hojas se empiezan a encorvar y a rizarse

El desarrollo de las flores es lento

Retraso en el crecimiento de la planta



Causas y soluciones

Es una deficiencia común en la acuaponía

Otra causa en el pH, el cual debe estar entre 6 a 6.5

Realizar aplicaciones de fertilizantes foliares, con una solución con un pH cercano a 7.0

Aplicaciones en el agua de nitrato de calcio o hidróxido de calcio. Mantener equilibrio con el potasio

Deficiencia de Hierro

Signos

Los signos se presentan en hojas jóvenes

Se presenta amarillamiento del centro de las hojas a los bordes

A niveles más avanzados presentan amarillamiento y quemadura de las hojas viejas

Las hojas presentan muerte de regiones de las hojas y caída.
Retraso del crecimiento

Causas y soluciones

Es una deficiencia común en la acuaponía

El hierro se adiciona en forma de quelato, preferible DTPA, prohibido el EDTA

Se debe mantener un pH entre 6 y 6.5

Se puede hacer aplicación en el agua a en las hojas.



Deficiencia de Micronutrientes

Signos

Los signos se presentan en todo tipo de hojas

Se presenta amarillamiento y necrosis en el bordes de las hojas

Debilitamiento de la planta, disminución del crecimiento.

Las hojas presentan muerte de regiones de las hojas y caída.

Retraso del crecimiento

Causas y soluciones

No es una deficiencia común en plantas de follaje, pero puede ocurrir en plantas de fruto

Son deficiencias en: boro, cobalto, cobre, manganeso, molibdeno y/o zinc.

Se debe mantener un pH entre 6 y 6.5

Se puede hacer aplicación de fertilizantes orgánicos en el agua o en las hojas.



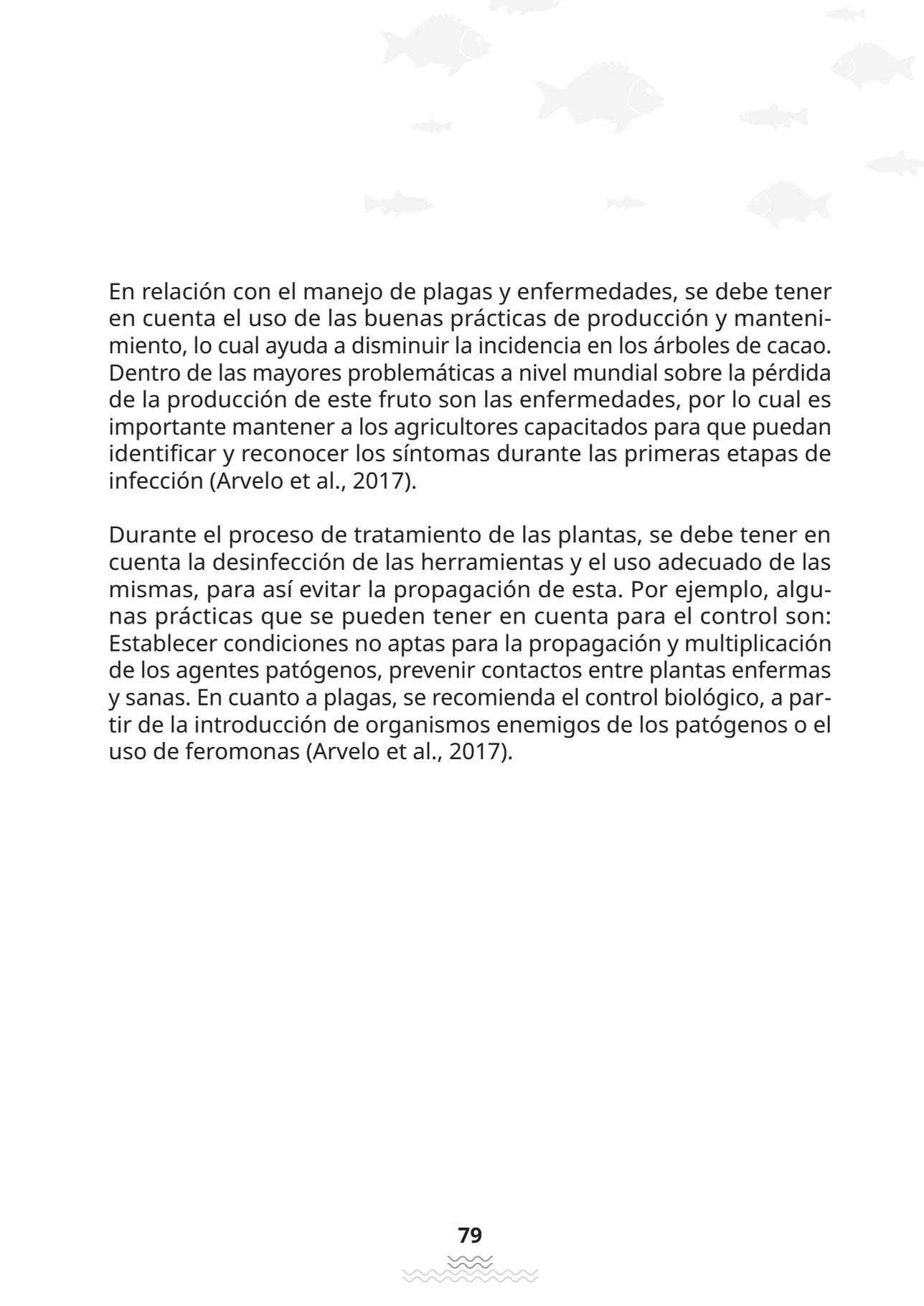
(Saltón Verde, 2013; Aguirre-Galindo, 2021)



CAPÍTULO 6.

Control biológico





En relación con el manejo de plagas y enfermedades, se debe tener en cuenta el uso de las buenas prácticas de producción y mantenimiento, lo cual ayuda a disminuir la incidencia en los árboles de cacao. Dentro de las mayores problemáticas a nivel mundial sobre la pérdida de la producción de este fruto son las enfermedades, por lo cual es importante mantener a los agricultores capacitados para que puedan identificar y reconocer los síntomas durante las primeras etapas de infección (Arvelo et al., 2017).

Durante el proceso de tratamiento de las plantas, se debe tener en cuenta la desinfección de las herramientas y el uso adecuado de las mismas, para así evitar la propagación de esta. Por ejemplo, algunas prácticas que se pueden tener en cuenta para el control son: Establecer condiciones no aptas para la propagación y multiplicación de los agentes patógenos, prevenir contactos entre plantas enfermas y sanas. En cuanto a plagas, se recomienda el control biológico, a partir de la introducción de organismos enemigos de los patógenos o el uso de feromonas (Arvelo et al., 2017).



Fichas para entender el control de plagas

Plagas: Trips

Características

Nombre científico:
Selenothrips rubrocinctus

Mecanismo de ataque:
Atacan a las plantas porque las pinchan para alimentarse

Afectan a las células dejando espacios llenos de aire que toman colores grises o bronceos.

Pueden transmitir virus.

Pueden atacar las flores o las hojas

Soluciones

Se recomienda hacer una adecuada regularización de la sombra.

Cosechar periódicamente, así como controles preventivos, manejo cultural

Utilizar láminas de papel aluminio, para prevenir.
Utilizar trampas cromáticas: Azul.

Control biológico:

- Acaros predadores.
- Chinches anticóridas
- Insecticidas orgánicos



(Arvelo et al., 2017; Ramírez et al., 2020)

Plagas: Mosca blanca

Características

Nombre científico:
Bemisia tabaci

Mecanismo de ataque:
Atacan a las plantas por un método de succión de savia.

Afectan a las plantas por marchitamiento, retraso en el crecimiento, o incluso la muerte

Segregan melaza que en grandes cantidades pueden favorecer el crecimiento de hongos y enfermedades.

Soluciones

Se recomienda hacer una adecuada regularización de la sombra.

Cosechar periódicamente, así como controles preventivos, manejo cultural

Utilizar trampas cromáticas: Amarillas.

Control biológico:

- Uso de parasitoides.
- Uso de depredadores
- Uso de entomopatógenos
- Insecticidas orgánicos



(Arvelo et al., 2017; Ramírez et al., 2020)

Plagas: Minadores de hojas

Características

Son las larvas de algunos

dípteros:

Nombre científico:

Lyriomyza bryoniae, *L. trifolii*
y *L. huidobrensis*.

Mecanismo de ataque: Las hembras adultas con su ovipositor hacen agujeros en la hoja para dejar sus huevos.

Las larvas excavan túneles en las hojas lo que supone una reducción en la fotosíntesis.

Las larvas pueden provocar marchitamiento o la caída prematura de las hojas.

Soluciones

Se recomienda hacer una adecuada regularización de la sombra.

Cosechar periódicamente, así como controles preventivos, manejo cultural

Eliminar hojas que presenten túneles dentro de las hojas

Control biológico:

- Uso de parasitoides.
- Uso de depredadores
- Uso de entomopatógenos
- Insecticidas orgánicos



(Arvelo et al., 2017; Ramírez et al., 2020)

Referencias bibliográficas

- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, Tanya, & Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao. Buenas prácticas para América Latina* (1a. ed.). IICA.
- Aguirre-Galindo, J. P. (2021). *Evaluación del crecimiento de fresa (Fragaria x ananassa) en un sistema acuapónico a pequeña escala con trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) y un sistema de cama contenida*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R. 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7, 4199-4224 p
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G. 2019. *Aquaponics food production systems. Combined aquaculture and hydroponics production technologies for the future*. Springer.
- Masabni J., Todd, S. 2020. What is aquaponics?. Texas S&M Agrilife extension. Nelson and Pade. *Aquaponic food production. Raising fish and plants for food and profit*. Montello, WI 53949, USA.
- Rakocy, J., Losordo, T., Masser, M. 2006. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Southern Regional Aquaculture Center. No.454.1-16.
- Rodríguez, F. 2020. *Sustancias húmicas: Origen, caracterización y uso en la agricultura*. Intagri. Institución para la innovación tecnológica en la agricultura.

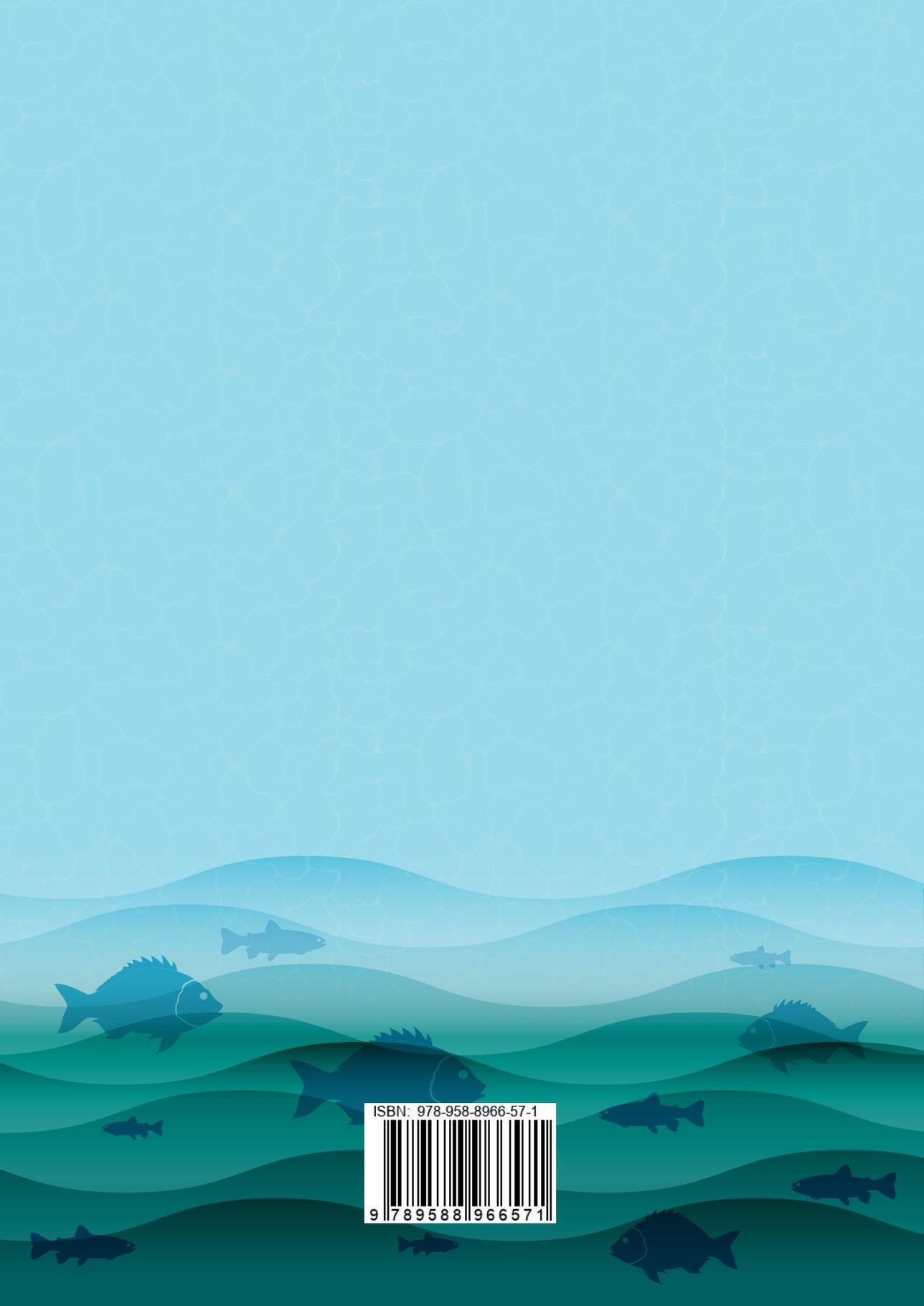


Saltón Verde. (2013). *Saltón Verde | Tu grow shop de confianza al mejor precio*. <https://saltonverde.com/>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates. <https://books.google.com.co/books?id=I3WCSwAACAAJ>

Timmons and Ebeling. 2007. *Recirculating Aquaculture*. 2da Edition.

Zorro, G. A. C., Ramírez, H. P., Pulido, S. P., & de Enciso, C. G. (2012). *Manual para el cultivo de hortalizas*. Produmedios. <https://books.google.com.co/books?id=4GHXjwEACAAJ>



ISBN: 978-958-8966-57-1



9 789588 966571