

Colección Libros de Investigación CBA



# ACUAPONÍA

Herramienta de formación en tiempos de paz

Mario Andrés Colorado Gómez - Mónica Ospina Correa



Centro de Biotecnología Agropecuaria  
Regional Cundinamarca

**SENNOVA**

Sistema de Investigación,  
Desarrollo Tecnológico e Innovación



SERVICIO NACIONAL  
DE APRENDIZAJE



## “La Acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz”

---



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



**Centro de Biotecnología Agropecuaria**  
Regional Cundinamarca

**SENNOVA**  
Sistema de Investigación,  
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Colorado Gómez, Mario Andrés

La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz / Mario Andrés Colorado Gómez, Mónica Ospina Correa. -- [Mosquera], Cundinamarca : SENA. Centro de Biotecnología Agropecuaria, 2019.

1 recurso en línea (66 páginas) : PDF. -- (Colección libros de investigación CBA)

Bibliografía: páginas 65-66.

Contenido: Sistema social acuapónico -- Biotecnología agropecuaria CBA -- Descripción de las especies a cultivar -- Tilapia roja -- La lechuga -- Producción de Biofloc -- Construcción modelo social acuapónico.

ISBN 978-958-15-0474-9

1. Acuicultura--Investigaciones 2. Cultivos hidropónicos--Investigaciones I. Ospina Correa, Mónica II. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 639.8

# **“La Acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz”**

---

**Mario Andrés Colorado Gómez<sup>1,3</sup>**  
**Mónica Ospina Correa<sup>2,3</sup>**

---

1. Biólogo Marino de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. MBA de la University of Phoenix, Arizona, USA.

2. Bióloga y M.Sc. en Ciencias Agrarias con énfasis en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia.

3. Instructores SENNOVA, Centro de Biotecnología Agropecuaria CBA, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Mosquera, Cundinamarca. Grupo de Investigación CIBA-CBA.



Carlos Mario Estrada Molina  
**Director General del Sena**

Farid Figueroa Uribe  
**Director de Formación Profesional**

Gustavo Adolfo Araque Ferraro  
**Director Regional Cundinamarca**

Edgard Sierra Cardozo  
**Subdirector Centro de Biotecnología Agropecuaria**

Emilio Eliécer Navia Zúñiga  
**Coordinador Nacional de SENNOVA**

Sandra Ximena Toro Meléndez  
**Líder SENNOVA Centro de Biotecnología Agropecuaria**

---

**“La Acuaponía como herramienta de formación  
en tiempos de paz ”**

© **Mario Andrés Colorado Gómez**  
**Mónica Ospina Correa**  
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA  
2019

ISBN: 978-958-15-0474-9

---

**Diseño, diagramación e impresión**  
Partner Mercadeo y Medios Gráficos S.A.S.  
*partnermmgraficos@gmail.com*

---

Impreso en Colombia / Printed in Colombia

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen especialmente al Subdirector del Centro de Biotecnología Agropecuaria, doctor Edgard Sierra Cardozo, por todas las facilidades, estímulos y diligencia que ha tenido con el equipo SENNOVA para hacer realidad la consolidación de este proyecto. A la líder SENNOVA del Centro de Biotecnología Agropecuaria, Sandra Ximena Toro Meléndez, por ser nuestra coequipera en este proyecto. A los instructores Óscar Eduardo Villamizar Alcalá, Nubia Judith Matta López y Fernando Augusto Bermúdez Salazar por su colaboración en varias fases de la implementación del sistema social acuapónico. A los aprendices Cristian Alfonso Ávila Romero, Deyvid Felipe Moreno Lara y Leicer Joel Rivera Díaz por hacer parte importante del equipo técnico y operario para el mantenimiento del sistema. Y finalmente al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), por propiciar los espacios para que se desarrollen este tipo de proyectos, que fortalecen las competencias en investigación y las condiciones de pertinencia y calidad de la *Formación Profesional Integral*.



# Contenido

<b>Prólogo</b> .....	9
<b>Introducción</b> .....	11
Sistema Social Acuapónico .....	11
Sistema estándar de Acuaponía .....	11
Sistema Social Acuapónico propuesto en el Centro de Biotecnología Agropecuaria CBA .....	12
Manejo del sistema productivo .....	13
Descripción de las especies a cultivar	
Tilapia roja ( <i>Oreochromis sp.</i> ) .....	14
Características taxonómicas .....	15
Diferenciación de sexos .....	15
Hábitos reproductivos .....	15
Transporte de alevinos .....	16
Producción de Tilapia .....	17
Cultivo superintensivo .....	17
La lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) .....	18
Características taxonómicas .....	18
Producción de lechuga .....	18
Producción de Biofloc .....	21
Condiciones y parámetros de cultivo de Tilapia .....	22
Parámetros fisicoquímicos.....	22
Tilapia roja ( <i>Oreochromis sp.</i> ) .....	29
Factores que afectan a los peces en el cultivo .....	30



Consideraciones previas a un tratamiento .....	31
Importancia del buen manejo de los productos pesqueros .....	40
Fases de deterioro del pescado .....	41
Métodos y técnicas de preservación de los pescados .....	42
Evaluación de la calidad y frescura del pescado .....	44
Producto .....	45
Características del producto objetivo .....	45
Construcción Modelo Social Acuapónico .....	46
Materiales .....	46
Insumos .....	47
Funcionamiento .....	47
Emprendimiento .....	55
Solución ambiental .....	57
Acuaponía dentro del contexto aeroespacial .....	61
Oportunidades .....	62

## **Bibliografía**

# PRÓLOGO

Tecnologías amigables con el medio ambiente y que, a su vez, combinan estrategias que buscan romper la brecha con la pobreza y mitigar la escasez de alimentos, describen de forma concisa, el resultado del trabajo científico de la presente publicación.

Esta es una apuesta por demostrar como la acuaponía es hoy un sistema innovador sostenible que integra de forma eficiente y cíclica, dos cadenas de producción; el de la tilapia roja y el de hortalizas como la lechuga.

El epicentro del trabajo y foco de los ensayos tuvo lugar en laboratorios ubicados en la zona rural de Mosquera, departamento de Cundinamarca en Colombia. Allí, bajo condiciones controladas se dió vida al proyecto que terminó por ser una alternativa de producción limpia. El público objetivo al que finalmente le transmitieron estos conocimientos (fruto de años de esfuerzo en investigación), son estudiantes de zonas vulnerables del país que buscan hacerle frente a situaciones adversas de falta empleo, por lo que la acuaponía, en este caso, les significó una excelente ruta a seguir.

La acuaponía como sistema de producción sostenible se remonta a la civilización azteca, quienes implementaron avanzadas “islas agrícolas” conocidas como “chinampas”. De forma paralela en el sureste asiático, China y Tailandia sistematizaban la producción de alimentos en la que engordaban peces en zanjas inundadas del cultivo de arroz. Hoy, en territorio americano, el

tema es liderado por Canadá, Nicaragua y Estados Unidos; mientras que, en Colombia, investigadores de los departamentos de Cundinamarca y Córdoba realizan los primeros esfuerzos por su implementación de forma eficiente y acorde a las necesidades económicas de las regiones.

De acuerdo con la más reciente encuesta del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE 2018, el 27% del total de la población en Colombia se encuentra en condición de pobreza monetaria. Gran parte de la inequidad social que presentan estas cifras, está dada por familias que en zonas rurales permanecen en un déficit constante de seguridad alimentaria. Premisa que sustenta la investigación desarrollada entorno a la acuaponía, como alternativa de desarrollo.

Los autores de esta obra son Mónica Ospina Correa y Mario Andrés Colorado Gómez;. Mónica es Bióloga de la Universidad Nacional de Colombia, quien ostenta estudios sobre dinámica y sistemas de producción apícola; mientras que Mario es egresado de la facultad de Biología Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y cuenta con Maestría en administración de empresas de la Universidad de Phoenix, US. Ambos comparten una visión en común: la democratización de la tecnología acuapónica; un aporte en la reducción de la pobreza y un derrotero en la búsqueda de la seguridad alimentaria.

**Jean Amaya Medina**

*Periodista Sector Agropecuario*

Bogotá, Colombia

# INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos integrado por la acuicultura, en este caso el cultivo de peces y de plantas (Somerville *et al.*, 2014). Es importante porque establece varias dimensiones dentro de un mismo sistema, es decir, tiene en cuenta la relación entre los diferentes componentes de un ecosistema natural, a saber, agua, aire, luz, bacterias, microalgas, peces, plantas y seres humanos. Esto permite establecer diferentes visiones sobre el funcionamiento del sistema, comparable con los procesos que se desarrollan en la naturaleza, tales como los ciclos del agua, del nitrógeno, el carbono, entre otros.

En cuanto a las ciencias exactas, el sistema acuapónico proporciona un espacio para que el aprendiz pueda desarrollar un aprendizaje práctico y la constatación de las diferentes leyes de la física, funciones químicas, patrones matemáticos e interacciones ecológicas, que permiten llegar al diseño de diferentes formas de cultivo acuapónico.

## **Sistema social acuapónico**

La acuaponía se puede implementar en diferentes diseños y escalas que van desde acuarios pequeños hasta sistemas RAS de alta tecnología y grandes volúmenes de producción. La disponibilidad de recursos así como el nivel de formación de las personas, empresas o comunidades que se preparan para incursionar en la acuaponía condicionarán el tipo de sistema a implementar.

## **Sistema estándar de acuaponía**

Un sistema estándar acuapónico establece una secuencia de elementos que llevan al funcionamiento en sincronía. Estos elementos son: dispositivos interconectados de tal forma que el agua, rica en nutrientes, pasa del tanque de peces al clarificador donde se elimina la mayor parte de partículas disueltas de distintos tamaños, tanto grandes como pequeñas (Lennard, 2004). Después de circular por el clarificador el flujo sigue al biofiltro; en

este, se genera un sustrato de manera exponencial por medio de estructuras cilíndricas con tabiques que generan mayor área de fijación, con lo cual se fomenta el alojamiento de gran cantidad de bacterias que convierten el amonio en nitrito, y otras que convierten el nitrito en nitrato (Walsh, 1998; Rakocy, 2007). Posterior a los procesos de nitrificación el agua circula a las zonas de crecimiento que pueden tener grava de capa delgada, camas flotantes o tubería. El agua puede ser enviada directamente de regreso al tanque de peces, o pasar primero por un sifón o sumidero, que colecta el agua proveniente de todos los sistemas de cultivo de plantas, para luego ser llevada nuevamente al tanque de peces y reiniciar el ciclo (Rakocy, 2007).

### **Sistema social acuapónico propuesto en el Centro de Biotecnología Agropecuaria CBA**

El sistema social acuapónico para la evaluación de la adaptación y el rendimiento de las plantas y peces implementado en el Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, en Mosquera Cundinamarca, consta de un módulo acuapónico de polivinil cloruro (PVC) que funciona con la técnica de película de nutrientes (NFT por sus siglas en inglés). El módulo acuapónico se compone de las siguientes partes: un tanque de cultivo en lona con capacidad de 9000 litros; una bomba de recirculación interna del tanque y una bomba sumergible que hace circular el agua a través de los tubos.



**Figura 1.** Sistema NFT para el crecimiento de plantas en sistema acuapónico del Centro de Biotecnología Agropecuaria (SENA), Regional Cundinamarca 2018.

En el sistema experimental NFT, se utilizaron 12 tubos de PVC rígido de 3 metros de largo y 2 pulgadas de diámetro. En cada circuito de tubos se

perforaron 10 orificios de 6 cm. de diámetro a una distancia de 30 cm. entre orificios. En la Figura 1, se muestra la estructura de un módulo acuapónico.

### **Manejo del sistema productivo**

La implementación de un cultivo intensivo de peces tiene como factor principal el suministro de energía, para que el sistema de aireación sea constante para el sistema, teniendo en cuenta su calidad y la cantidad a utilizar. En cuanto a su calidad, es necesario que la energía sea estable. En cuanto a la cantidad de energía debe ser directamente proporcional a la cantidad de equipos instalados y el número de caballos de fuerza de los mismos. Lo anterior permitirá que aunque los peces estén muy aglomerados puedan tener suficiente oxígeno para sus procesos metabólicos.

Precisamente debido a las densidades tan grandes que se pueden manejar, es muy importante en este tipo de cultivos el cuidado y manejo técnico que se les dé a los estanques, donde debe haber un monitoreo del suministro del flujo de aire (si se corta el flujo de aire, aunque sea por un lapso corto de tiempo, puede colapsar toda la población). De igual manera la aglomeración de peces incrementa la susceptibilidad a enfermedades, por lo que periódicamente se ha de inspeccionar el estado sanitario del pez.

Otro factor importante en este tipo de cultivo es la alimentación, la cual debe ser bien dosificada y que contenga los elementos nutritivos que necesita el pez para su desarrollo. En lapsos de tiempo no superiores a los 25 días se deben realizar muestreos de control, en que se evalúa el estado sanitario de la población y, de acuerdo a su crecimiento, se debe adecuar la ración de alimentos.

En este sistema se trabaja con una serie de tanques circulares, cuyo aporte novedoso lo constituye la adecuación de piscinas -comercialmente utilizadas en la recreación de los niños. La forma circular del tanque permite la circulación uniforme y constante del agua, evitando lo que sucede en estanques con formas más poligonales que generan el alojamiento de partículas y se fomentan zonas donde la oxigenación es menor.

Algunas características importantes del diseño técnico de los estanques son:

- Diámetro = 3 metros
- Altura = 0,70 metros en las paredes
- Capacidad (volumen) = 9 metros cúbicos



**Figura 2.** Tanque de cultivo utilizado en el sistema acuapónico del CBA.

En el dimensionamiento de una instalación acuícola se debe determinar el número de estanques necesarios para cada una de las fases, y también el posterior cálculo del ingreso de aire; por tanto se requiere del previo establecimiento del plan de producción de la misma. En primer lugar habrá que decidir la producción final deseada, tanto en número de kilogramos, así como en el tamaño de los peces a producir, y después será necesario determinar el número de lotes en los cuales se va a dividir la producción, como también el momento de inicio de cada uno de dichos lotes.

La determinación del volumen de producción puede realizarse en función de diferentes objetivos, fundamentalmente: suministro de energía, caudal de agua o superficie de terreno disponible, capacidad de carga admisible y posibilidades de venta rentable. Así pues se analiza cada una de las fases en el proceso de producción, y se determinan los requerimientos en cuanto a infraestructura y equipos necesarios para la obtención de los resultados deseados.

### **Descripción de las especies a cultivar**

**Tilapia roja (*Oreochromis sp.*):**

#### **Características taxonómicas**

Con su cuerpo de color anaranjado, tiene aleta dorsal con 16 espinas duras y 12 a 13 suaves, una aleta anal con tres espinas duras y 10 suaves; más

29 a 31 escamas a lo largo de la línea lateral; cinco escamas arriba y 12 hacia abajo de la línea lateral.

### **Diferenciación de sexos**

En muchas de las especies de tilapia que se cultivan, ambos sexos pueden ser diferenciados a simple vista, debido al desarrollo de la papila genital, cuando logra los 50 a 70 gramos. En el caso del macho, la papila genital posee solamente un orificio. La hembra presenta dos orificios, la papila es más pequeña generalmente. La selección de machos y hembras se debe realizar con personas que tengan experiencia en *sexar tilapia*.

### **Hábitos reproductivos**

Los eventos característicos del comportamiento reproductivo (apareamiento) de la tilapia en cautividad son:

- Después de tres a cuatro días de sembrados los reproductores se acostumbran a sus alrededores. En el fondo del estanque el macho delimita y defiende su territorio. Limpiando un área circular de 20 a 30 centímetros de diámetro y cinco a ocho centímetros de profundidad, ahí forma su nido.
- Durante el cortejo el macho da pequeños golpes con su cola -en el abdomen de la hembra-, para inducir que la hembra expulse los huevos -la hembra deposita sus huevos en el nido para que inmediatamente sean fertilizados por el macho.
- La hembra recoge los huevos fertilizados con su boca y se aleja del nido. El macho continúa cuidando el nido y atrayendo otras hembras con que aparearse. Antes de la eclosión los huevos son incubados de tres a cinco días dentro de la boca de la hembra. Las larvas jóvenes (con saco vitelino) permanecen con su madre por un período adicional de cinco a siete días.
- Importante tener en cuenta que las hembras no se alimentan durante los períodos de incubación y cuidado de las larvas. Después de dejar a su progenitora los peces forman grupos o cardúmenes que pueden ser fácilmente vistos de 10 a 15 días, en las orillas del estanque, después de la siembra de los reproductores.



## Transporte de alevinos

De preferencia esta actividad tiene que realizarse en horas frescas o tempranas, para evitar que la temperatura oscile grandemente. Para solicitar alevinos se hace con un mínimo de tres días, previo a la entrega. Los alevinos se recolectan y se colocan en tanques de lavado, con frecuentes recambios de agua.

La aplicación de desinfectantes como yodo, BKC, formalina o cloro, evita las infecciones causadas por parásitos y/o bacterias. Se debe equilibrar la temperatura del agua con un poco de hielo, entre los 22 y 24°C antes del empaque y traslado.

El conteo de los alevinos se realiza en un litro de agua por muestras, pesando un kilogramo de alevinos para obtener la cantidad promedio de entrega. Los alevinos se trasladan generalmente en bolsas plásticas, en las cuales se debe suministrar el 25% de agua y 50% de oxígeno, y el otro 25% para amarre con banda de caucho.



**Figura 3.** Disposición de los peces para el transporte y siembra.

Como se colocan 12 litros de agua en las bolsas plásticas (60 cm. x 90 cm. x 0.8 mm.), éstas pueden soportar hasta 800 gramos de biomasa de alevinos. Por ejemplo de alevinos de 1 gramo, se pueden trasladar 800

peces por bolsa. En cambio de alevinos de 2 gramos se trasladan hasta 400 peces por bolsa.

## **Producción de Tilapia**

### **Cultivo Superintensivo**

En este sistema se usan tanques circulares de geomembrana, concreto o fibra de vidrio de 9m<sup>3</sup>. La recirculación de agua es continua. Las densidades de siembra de peces son de 30 a 150 peces / m<sup>3</sup>. Para el desarrollo de la piscicultura superintensiva se requiere bien sea un recambio de agua del 700% o la implementación de biofloc.

La conversión alimenticia es de 1.6 a 2.0 y debe tener aireación de 1 HP/1000 kilos de biomasa. En este caso, se implementa el cultivo con biofloc, para lo cual se debe preparar el tanque de la siguiente forma:

- a. El tanque se debe revisar para que quede instalado de tal forma que la estructura esté bien anclada y la geomembrana se encuentre estirada, para evitar obstáculos en el flujo de agua.
- b. Se debe lavar la geomembrana utilizando para tal fin escobas y así evitar que éstas presenten algún tipo de estructura punzante (ej. puntillas o madera).
- c. El llenado se debe efectuar teniendo en cuenta la observación de la ausencia de sedimentos en el agua.
- d. Una vez se encuentre lleno el tanque, aplicar hipoclorito de calcio en polvo a una razón de 10 ppm (gramos/metro cúbico).
- e. El tanque se deja con aireación por 48 horas.
- f. Luego de las 48 horas de desinfección, se procede a fertilizar el tanque con 15 gramos por metro cúbico de torta de soya.
- g. Luego de 3 días de haber fertilizado con torta de soya, se aplica al estanque 5 gramos de urea por metro cúbico y 2 gramos de diamino fosfato al agua y 10 gramos de melaza por metro cúbico.
- h. El tiempo total de fertilización debe ser de máximo 8 días desde la aplicación de la torta de soya, ya que más tiempo aumenta el riesgo de la presencia de larvas de libélula (odonata) en el cultivo, las cuales son grandes depredadoras de los alevinos de peces.

## La lechuga (*Lactuca sativa*)

### Características taxonómicas

La lechuga es una especie de planta herbácea propia de las regiones semitempladas del norte, que se cultiva con fines de alimentación. Existen muchas variedades y debido a que se cultiva principalmente en invernaderos, se puede consumir durante todo el año.

Desde el punto de vista taxonómico, es una especie que pertenece a la familia de las asteráceas. Tiene raíz pivotante y ramificada de unos 25 cm.; su crecimiento se desarrolla en roseta, ya que las hojas se disponen alrededor de un tallo central, corto y cilíndrico que gradualmente se va alargando para producir las inflorescencias, formadas por capítulos, propios de la familia, de color amarillo y muy parecidos a los del diente de león y reunidos en corimbos. Según las variedades, los bordes de las hojas pueden ser lisos, ondulados o aserrados.

### Producción de lechuga

Para sistemas acuapónicos se prefiere en términos generales el uso de plantas verdes como hortalizas o hierbas; la razón principal es que se prefiere usar plantas cuya parte comercial no sea el fruto sino las hojas y que sean de ciclo corto. Esto es particularmente indicado para explotaciones comerciales, ya que debido a las características de los sistemas acuapónicos no se puede aplicar ni insecticidas ni fungicidas químicos, ya que podrían estresar y posiblemente causar el deceso de los peces. Esto no quiere decir que no se puedan obtener plantas de fruto como por ejemplo el tomate y el pimentón, pero estas especies requieren más tiempo y más cuidados.

Hasta el momento las plantas que más se aconsejan para la acuaponía son las aromáticas tales como albahaca, menta y orégano, y hortalizas como la lechuga y la acelga. La lechuga (*Lactuca sativa*) es una de las plantas que más se han utilizado en sistemas acuapónicos, con bastante éxito si se mantienen adecuadamente los niveles de luz, pH, potasio y hierro requeridos por estas plantas (Rakocy, 2007)

Es una hortaliza de ciclo corto (entre 25 y 45 días). Desde el punto de vista nutricional es importante debido a su aporte de Vitamina A, calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio, minerales y otros en menor proporción (Lee y Escobar 2000). Se utilizan semillas de lechuga

certificadas, las cuales se siembran en semilleros con sustrato turba. Durante los primeros días de la producción, las semillas se desarrollan mejor en condiciones de iluminación constante con una temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono e irrigación controlados (Lee y Escobar 2000).



**Figura 4.** Semilleros de siembra de semillas de plantas para Sistema Acuapónico del CBA.



**Figura 5.** Plantación en espuma de plantas para Sistema Acuapónico del CBA.



**Figura 6.** Forma de plantar las plantas en Sistema Acuapónico del CBA.

En el momento en que la mayoría de lechugas sembradas en semilleros (figura 4) alcanzan los 10 cm. de longitud son trasplantadas al sistema acuapónico, la raíz se limpia con un flujo suave de agua limpia; posteriormente se introduce en la esponja de 2 cm. de espesor y con un área de 5cm. x 5 cm., con un corte longitudinal hasta el centro, en el cual se deposita la plántula teniendo en cuenta que la mitad del tallo y la mitad de la raíz se alojen en la espuma (figura 5) y finalmente, se ubica la planta en el sistema acuapónico (figura 6).

El cultivo de la lechuga posee características que facilitan su cultivo bajo los sistemas acuapónicos, (figura 7) ya que es una planta que tiene un ciclo de producción relativamente corto, utiliza cantidades de nitrato considerables ya que su interés comercial está enfocado en la producción de follaje, y es una planta que se habitúa muy bien bajo las condiciones ambientales presentes en la sabana de Bogotá.

En Colombia para el año 2006, los departamentos con mayor área cosechada medida en toneladas y producción medida por hectáreas, en materia de cultivo de lechuga fueron: Cundinamarca con 602 toneladas en 7.886 hectáreas y un rendimiento de 13.1 (ton/has); Antioquia con 111 toneladas en 3.170 hectáreas y un rendimiento de 28.6 (ton/has); Valle

del Cauca con 88 toneladas y 1.278 hectáreas con un rendimiento de 14.5 (ton/has); Norte de Santander 12 toneladas en 160 hectáreas con un rendimiento de 13.3 (ton/has); y finalmente Boyacá con 12 toneladas en 33 hectáreas con un rendimiento de 2.8 (ton/has); para un total de 825 toneladas cosechadas en 12.527 hectáreas, para un rendimiento de 15.2 (ton/has) (agronet.gov.co).



**Figura 7.** Cultivo de diferentes variedades de lechuga en el sistema acuapónico del CBA.

Por las características anteriormente mencionadas, y por la ubicación del Centro de Formación en la Sabana de Bogotá, y debido a que este es un cultivo corto de fácil implementación en asocio con peces en sistemas acuapónicos, se trabajó inicialmente con esta especie vegetal para este piloto.

### **Producción de Biofloc**

La generación de la población de bacterias nitrosomonas y nitrobacter requiere del mantenimiento de los siguientes parámetros dentro del cultivo:

- a. Proporción C: N de 16-20:1 en el agua de cultivo.
- b. Rango de pH: 7 a 8.
- c. Concentración de oxígeno superior a los 3 gramos/litro.

- d. Aireación suficiente para mantener los sólidos en suspensión.
- e. Cero recambio de agua.
- f. Temperatura de cultivo inferior a los 30 °C.

## **Condiciones y parámetros de cultivo de tilapia**

### **Hábitat**

Son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Debido a su naturaleza híbrida se adapta con gran facilidad a ambientes lénticos (aguas poco estancadas), estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados.

### **Parámetros fisicoquímicos**

#### **Oxígeno**

Dentro de los parámetros físico-químicos el oxígeno es el más importante en el cultivo de especies acuáticas. El grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH.

#### **Factores que reducen la concentración de oxígeno en la columna de agua**

- Descomposición de la materia orgánica.
- Alimento no consumido.
- Heces.
- Animales muertos.
- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).
- Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que forman la cadena de productividad primaria y secundaria).
- Desgasificación: salida del oxígeno del agua hacia la atmósfera.
- Nubosidad: en días opacos las algas no producen suficiente oxígeno.

- Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces, etc.
- Densidad de siembra.

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg/l), pero esto provoca efecto de estrés, siendo la principal causa de origen de infecciones patológicas. Para mantener un cultivo exitoso de tilapia, los valores de oxígeno disuelto deberían estar por encima de los 4mg/L, el cual debería ser medido en la estructura de salida del estanque (desagüe). Valores menores al indicado reducen el crecimiento e incrementan la mortalidad; y para mejor comprensión la siguiente es la relación del efecto de las diferentes concentraciones del elemento sobre el pez.

**Tabla 1.** Efecto de los rangos de concentración de oxígeno en la columna de agua en el cultivo de peces

Oxígeno (ppm)	Efectos
0 - 0.3	Los peces pequeños sobreviven en cortos períodos.
0.3 - 2.0	Letal a exposiciones prolongadas.
3.0 - 4.0	Los peces sobreviven pero crecen lentamente.
> 4.5	Rango deseable para el crecimiento del pez.

### Consecuencias de las exposiciones prolongadas a valores bajos de oxígeno disuelto

- Disminuye la tasa de crecimiento del animal.
- Aumenta la conversión alimenticia (relación alimento consumido/aumento de peso).
- Se produce inapetencia y letargia.
- Causa enfermedad a nivel de branquias.
- Produce inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades.
- Disminuye la capacidad reproductiva.

### Ventajas de una buena aireación

- Permite incrementar las densidades de siembra hasta un 30% y manejar densidades más altas por unidad de área, como en el caso del cultivo



en jaulas. Se obtienen buenos rendimientos (crecimiento, conversión alimenticia, incremento de peso y menor mortalidad)

- Compensa los consumos de oxígeno demandados en la degradación de la materia orgánica, manteniendo niveles más constantes dentro del cuerpo de agua.
- Elimina los gases tóxicos.

### **Temperatura**

Los peces son animales poiquiloterms (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura).

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C, aunque ésta puede continuar con una variación de hasta 5°C por debajo de este rango óptimo. Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y, por ende, mayor consumo de oxígeno.

### **Dureza del agua**

Es la medida de la concentración de los iones de calcio y magnesio expresados en ppm. (mg/l) de su equivalente a carbonato de calcio.

Existen aguas blandas (< 100 ppm.) y aguas duras (> 100 ppm.).

Rangos óptimos: entre 50-350 ppm de CaCO.

Por estar relacionada directamente con la dureza, el agua para el cultivo debe tener una alcalinidad entre 100 ppm. a 200 ppm.

Durezas por debajo de 20 ppm. ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad [se controlan adicionando carbonato de calcio (CaCO), o cloruro de calcio (CaCl)].

Durezas por encima de 350 ppm. se controlan con el empleo de zeolita en forma de arcilla en polvo, adicionada al sistema de filtración.

### **pH**

Es la concentración de iones de hidrógeno en el agua.

El rango óptimo está entre 6.5 a 9.0.

Valores por encima o por debajo causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardan el crecimiento y retrasan la reproducción.

Valores de pH cercanos a 5 producen mortalidad en un período de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias; además causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus de la piel.

Cuando se presentan niveles de pH ácidos, el ion  $Fe^{++}$  se vuelve soluble afectando las células de los arcos branquiales y, por ende, disminuyendo los procesos de respiración, que causa la muerte por anoxia (asfixia por falta de oxígeno).

El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de  $CO_2$ , por la densidad del fitoplancton y la alcalinidad total y la dureza del agua. El pH para tilapia debe ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una segregación adecuada del mucus en la piel.

### **Amonio**

Es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amonio no ionizado (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico.

La reacción que ocurre es la siguiente:

<b><math>NH_3 + H_2O</math></b>	<b><math>NH_4OH</math></b>	<b><math>NH_4 + OH</math></b>
Forma no ionizada	Su velocidad de conjugación	Forma ionizada.
Forma tóxica	con el agua depende del pH.	Forma no tóxica.

Producto de excreción de los peces.

Degradación de la materia orgánica.

La toxicidad del amonio en forma no ionizada ( $NH_3$ ) aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es bajo, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio no causa mortalidades.

Los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 ppm. a 0.1 ppm. (valores

cercanos a 2 ppm. son críticos). El amonio es tóxico, y se hace más tóxico cuando el pH y la temperatura del agua están elevados; los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentran en el rango de 0.6 a 2.0 ppm.

La concentración alta de amonio en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, y afecta el balance de sales produciendo lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a las enfermedades, así como reducción del crecimiento y sobrevivencia, exoftalmia (ojos brotados) y ascitis (acumulación de líquidos en el abdomen).

El nivel de amonio se puede controlar con algunas medidas de manejo como:

Adición de fertilizantes inorgánicos, fosfatados (SPT (25 kg/ha) o al 20% (45 kg/ha), durante 5 días continuos, para el favorecimiento del crecimiento de las poblaciones microalgales, las cuales consumen el amonio.

Implementar aireación y resuspensión del material particulado y propiciar de este modo las condiciones del medio de cultivo aeróbico para el crecimiento de las bacterias nitrificantes (nitrosomonas), las cuales utilizan el amonio como alimento y lo convierten en nitritos. Estos nitritos producidos por las nitrosomonas a su vez son transformados a nitratos por las bacterias (nitrobacter). El compuesto final nitrato no es perjudicial para los peces.

### **Nitritos**

Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoniaco a nitratos. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua. Como se mencionó anteriormente, los nitritos son alimento para las bacterias nitrobacter, las cuales transforman este metabolito en nitratos no perjudiciales para los peces.

### **Alcalinidad**

Es la concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua. Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. La alcalinidad afecta la toxicidad del sulfato de cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces).

## **Dióxido de carbono**

Es un producto de la actividad biológica y metabólica, su concentración depende de la fotosíntesis. Debe mantenerse en un nivel inferior a 20 ppm., porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia.

## **Gases tóxicos**

Son compuestos químicos producidos en los estanques por la degradación de materia orgánica. A continuación se mencionan los más comúnmente hallados y cuyas concentraciones deben estar por debajo de los valores siguientes:

- Sulfuro de hidrógeno < 10 ppm.
- Ácido cianhídrico < 10 ppm.
- Gas metano < 25 ppm.

Estos gases incrementan su concentración con la edad de los estanques y con la acumulación de materia orgánica en el fondo, produciendo mortalidades masivas y crónicas. Se pueden controlar mediante la aireación y resuspensión del material particulado.

## **Fosfatos**

Son productos resultantes de la actividad biológica de los peces y de la sobrealimentación con alimentos balanceados. La concentración alta causa aumento en la población de fitoplancton; y ésta a su vez provoca bajas de oxígeno por la noche. Su valor debe fluctuar entre 0.6 y 1.5 ppm. como  $P_o$ , su toxicidad aumenta a valores de pH ácido.

## **Cloruros y fosfatos**

Al igual que los fosfatos se derivan de la actividad metabólica de los peces y del aporte de aguas subterráneas, utilizadas en las granjas piscícolas. El límite superior para cada uno de estos compuestos son 10 ppm. y 18 ppm. respectivamente.

## **Manejo del cultivo**

Se siembran alevines de tilapia de cinco gramos de peso inicial en cada tanque circular. Se realizan muestreos de control cada tres semanas para evaluar el estado sanitario del pez y adecuar la tasa de alimentación; también se lleva un control de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, oxígeno, pH).

La alimentación se realiza durante todo el día desde las 7 a.m. hasta las 5 p.m. cada dos horas. Después del cuarto mes los peces llegan al peso comercial de 350 gramos. En cuanto a la producción en cada estanque circular de 22 metros cúbicos de capacidad, se pueden producir 1010 kilogramos de carne de tilapia en un periodo de 4 meses, y en cada tanque de 51 metros cúbicos 2273 kilogramos.

El operador del cultivo deberá observar las siguientes actividades de manejo:

- Mantener un *stock* actualizado de los insumos acuícolas del *sistema productivo* de los siguientes elementos: alimento, melaza, torta de soja, cloro en polvo.
- Asentar en el “Registro de Actividades e Insumos de Módulo de Producción Acuícola” todos los insumos que incorpora en su sistema productivo.
- Durante el receso entre ciclos de cultivo se llevan a cabo actividades relacionadas al mantenimiento de los tanques, así como la reparación de las lonas y renovación de estructuras vencidas; dichas actividades deberán ser registradas en el “Registro de Actividades e Insumos del Módulo de Producción”.
- El operador deberá tomar las recomendaciones indicadas en el Manual de BPA para el cuidado y almacenamiento de material acuícola en invierno.
- El operador debe entregar cada dos meses a gerencia un “Informe Bimestral” que resuma las actividades realizadas y asentadas en:
  - “Registro de Manejo del Acuícola”
  - “Registro de Actividades e Insumos del módulo”
  - “Remitos de Cosecha”

### **Sanidad: riesgos y enfermedades**

Dentro de la tecnología de cultivo la sanidad acuícola ocupa un lugar de interés, debido a la necesidad que existe de poner en práctica los procedimientos para prevenir y controlar las enfermedades que potencialmente limitan la producción. Es bien sabido que las enfermedades son causa de pérdidas económicas importantes y son responsables de mortalidades masivas en las fases de cría y alevinos en los peces, y pueden causar pérdidas importantes en la producción de las plantas.

## Tilapia roja (*Oreochromis sp.*)

Los peces no mueren en todos los casos por causa de agentes patógenos, también pueden verse afectados por factores físicos, químicos, biológicos o de manejo. Con el fin de evitar la mortalidad o el desarrollo de enfermedades que puedan alcanzar la proporción de epidemia es necesario brindar un medio adecuado, con el objeto de prevenirlas antes de tener que aplicar tratamientos correctivos. En algunas ocasiones los peces pueden presentar comportamientos que pueden alertarnos sobre algún factor que está causando tensión o sobre el desarrollo de una infección.

Entre otros, dentro de estos signos anormales se cuentan los siguientes:

- Letargia y pérdida del apetito.
- Pérdida del equilibrio, nado en espiral o vertical.
- Agrupamiento en la superficie y respiración agitada.
- Producción excesiva de mucus, lo que da al pez una apariencia opaca.
- Coloración anormal.
- Erosión en la piel o en las aletas.
- Branquias inflamadas, erosionadas o pálidas.
- Abdomen inflamado, algunas veces lleno de fluido o sangre, ano hinchado y enrojecido.
- Exoftalmia (ojos brotados).

Los alevines y larvas de tilapia son severamente atacados por parásitos que provocan mortalidades de hasta el 50%. Los alevines de tilapia son afectados por parásitos ciliados como Epistilo, Chilodonella, Costia, Coccidiosis, tremátodos monogeneos y digeneos, además de larvas de moluscos y bivalvos. Los parásitos en las larvas pueden ser controlados en gran medida con la utilización de baños de formalina a concentración de 12.0 ppm. (la formalina utilizada es al 70%).

En peces juveniles y adultos el efecto de los parásitos es menor; sin embargo, las tilapias pueden verse afectadas principalmente por bacterias oportunistas, las cuales se aprovechan de la mala condición del pez y condiciones adversas en el sistema de producción. Específicamente, agua de mala calidad donde están incluidos niveles bajos de oxígeno disuelto,

baja tasa de recambio, temperatura baja, etc., y uso de dietas deficientes. Las bacterias oportunistas del género *Streptococcus* pueden provocar altas mortalidades (10-15%) en éstas condiciones. No existe tratamiento químico preventivo que demuestre alta eficiencia para contrarrestar este problema; no obstante, la mejor forma de prevención es garantizar un ambiente adecuado y buena alimentación.

En la práctica la influencia de cierto efecto estresante acumulativo, el cual por ejemplo puede consistir en exposición prolongada por varios días a nivel bajo de oxígeno disuelto, que determina que el animal esté más propenso a ser colonizado por las bacterias arriba mencionadas. Quizás esto mismo pudiera suceder con muchos otros parámetros físico-químicos y de operación.

## **Factores que afectan a los peces en el cultivo**

### **Factores Físicos**

- Temperatura: Las variaciones altas condicionan al animal, haciéndolo más susceptible a las enfermedades.
- Luz excesiva: En sistemas intensivos con poca profundidad los rayos solares pueden ocasionar quemaduras en el dorso del animal.

### **Factores Químicos**

- Gases disueltos: el exceso de nitrógeno puede producir la enfermedad conocida como *burbuja de gas*.
- Contaminación con pesticidas, residuos de metales pesados, desperdicios agrícolas e industriales.
- Desperdicios metabólicos como el amonio y nitritos son altamente tóxicos.
- Partículas en suspensión causan daños mecánicos sobre las branquias y tapizan las paredes de los huevos, con lo cual impiden el intercambio gaseoso y se convierten en sustrato para el desarrollo de hongos.

### **Factores Biológicos**

- Nutrición
- Microorganismos: bacterias, virus y parásitos.

- Algas: algunas producen toxinas.
- Animales acuáticos: los moluscos como los caracoles son focos de infección y actúan como huéspedes intermediarios en el ciclo biológico de muchos parásitos.

## **Manejo**

Densidad: a medida que se intensifican los cultivos se incrementa la susceptibilidad de los peces al ataque de los distintos agentes patógenos.

Precauciones sanitarias: se deben realizar tratamientos preventivos previos al despacho y recepción de la semilla, así como medidas de cuarentena en reproductores.

Sistemas de filtración: evitar que entren organismos ajenos como caracoles, peces o huevos, que son transmisores de enfermedades.

## **Consideraciones previas a un tratamiento**

Antes de iniciar cualquier tratamiento es necesario hacer el análisis para determinar las posibles causas que estén originando la enfermedad, con el fin de decidir cuál será el tratamiento o para aplicar los correctivos necesarios. Para ello se requiere conocer varios aspectos:

La calidad y cantidad de agua que se va a usar en el tratamiento, así factores como pH, dureza y temperatura pueden incrementar la toxicidad de algunos químicos o disminuir su efectividad terapéutica.

La especie, el estado y edad del pez de diferentes especies y edades reaccionan en forma diferente a la misma droga.

La sustancia química a utilizar.

Debería ser conocida la concentración porcentaje de ingrediente activo, tolerancia, dosis, tiempo de permanencia como residuo y forma de empleo, así como su interacción con factores tales como temperatura, pH, dureza y alcalinidad.

El diagnóstico de la enfermedad o la identificación del patógeno que está afectando la población.

El tratamiento que se acoja dependerá del número de peces, edad y tipo de explotación.



## Patógenos comunes

**Bacterias:** Las más comunes que pudieran presentarse durante el cultivo son las de los géneros *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Vibrio*, *Flexibacter*, *Cytophaga*, *Mycobacterium*, *Nocardia*: estas bacterias producen enfermedades como septicemias hemorrágicas bacterianas, enfermedad bacteriana del riñón, vibriosis, la enfermedad del pedúnculo caudal, y enfermedad bacteriana de las branquias.

**Hongos:** Los más importantes están representados por los géneros *Saprolegnias*, *Ichthyophonus*, *Branchiomyces* y *Dermocystidium*: estos organismos son los responsables de enfermedades fúngicas de la piel, branquias, hígado, corazón y otros órganos que se infectan a través de la corriente sanguínea. Los hongos pueden causar la muerte por anoxia de

**Ectoparásitos:** Dentro de los ectoparásitos más comunes tenemos los Ciliofora, como *Ichthyophthirius*, *Chilodonella*, *Trichodina*, *Trichophyra* y *Apiosoma*.

Los monogeneos como *Gyrodactilus* y *Dactylogirus*, los cuales provocan úlceras y lesiones, destruyendo tanto aletas como branquias; principalmente en los alevines y en menor grado en los adultos, debido a su actividad de nutrición y por la acción de los ganchos y del órgano de fijación.

Los copépodos, géneros como *Lernaea* y *Argulus*, se encuentran entre los copépodos ectoparásitos más peligrosos. Ellos, a través de un órgano de fijación producen heridas que afectan fácilmente adelgazando y tornando anémicos a los animales, lo que finalmente les produce la muerte.

## Métodos de tratamiento

**Externos:** Cuando se realiza en forma de baño.

Puede ser de varias formas:

**Inmersión:** Altas concentraciones del producto terapéutico en el agua y tiempos cortos de exposición del pez a este producto.

**Adición del químico a la entrada del agua** (es necesario conocer el flujo de entrada para evaluar la concentración).

Baño corto: Se adiciona una solución patrón al estanque por períodos cortos y se distribuye de manera homogénea.

Baño largo: Similar al anterior pero en exposiciones prolongadas.

Internos: Incorporados al alimento.

Inyección: para reproductores de alto valor comercial y genético (intraperitoneal o intramuscular).

Tratamiento biológico: está destinado para acabar con organismos hospederos como el caracol, aves o crustáceos. Puede ser manual, con sistemas de filtros en la entrada del agua o con mallas por encima de los estanques.

Incluido dentro del alimento: Debe adicionarse en el momento de la mezcla del alimento para que se incorpore dentro del *pellet* de manera homogénea.

Aspersión del alimento: el medicamento es rociado sobre el alimento por medio de un vehículo como el alcohol o aceite de pescado, pero su eficiencia depende de la solubilidad del producto en el agua.

## **Alimentación**

El éxito de la actividad piscícola depende de la eficiencia en el cultivo, principalmente del manejo del alimento y técnicas de alimentación, considerando la calidad y cantidad del alimento suministrado. La tilapia es omnívora y su requerimiento y tipo de alimento varían con la edad del pez. Durante la fase juvenil pueden alimentarse tanto de fitoplancton, zooplancton así como pequeños crustáceos.

## **Aspectos importantes sobre el alimento**

El alimento representa entre el 50% y el 60% de los costos de producción. Un alimento mal manejado se convierte en el fertilizante más caro. Un programa inadecuado de alimentación disminuye la rentabilidad del negocio. Una producción intensiva depende directamente del alimento.

El manejo de las cantidades y los tipos de alimento a suministrar deben ser controlados y evaluados periódicamente para evitar los costos excesivos. El sabor del animal depende de la alimentación suministrada. La subalimentación hace que el animal busque alimento del fondo y su carne adquiera un sabor desagradable.

## Forma de alimentar

Alimentación periférica: Se realiza por todas las orillas del tanque y se recomienda para peces mayores a 100 gramos, dado que por encima de este peso se acentúan los instintos territoriales de estos animales, en varios sitios del tanque.

## Hora de alimentación

Debido a que los niveles de secreciones digestivas y la acidez aumentan con el incremento de la temperatura en el tracto digestivo, los picos máximos de asimilación se obtienen cuando la temperatura ambiental alcanza los valores máximos.

En cultivos extensivos a semi-intensivos no es recomendable agregar una cantidad de alimento cuyo tiempo de consumo y flotabilidad supere los 15 minutos, ya que esta misma abundancia tiende a que el animal coma en exceso y no asimile adecuadamente el alimento. En sistema intensivo el alimento debe permanecer menos de 1 a 1.5 minutos.

La transición de la dieta de los juveniles a la del adulto puede darse gradual o abrupta. La dieta natural de las tilapias adultas es omnívora. A continuación se presenta como referencia el tamaño de alimento balanceado que debe ser suministrado según el estadio del pez.

**Tabla 2.** Tamaño (en milímetros) del alimento balanceado a suministrarse de acuerdo al estadio del pez (en gramos).

Estadio del Pez (gramos)	Tamaño del pellet recomendado (mm.)
<b>Alevines</b>	<b>Polvo</b>
De 0.50 gr. a 5.0 gr.	Quebrantado ( 0.50 a 1.0 mm.)
De 5.0 gr. a 15.0 gr.	1 X 1
De 15.0 gr. a 30.0 gr.	1 ½ X 1 ½
De 30.0 gr. a 80.0 gr.	2 X 2
De 80.0 gr. a 200 gr.	3 X 3
De 200 gr. a 500 gr.	4 X 4
De 500 gr. ó más	5 X 5.

## Aspectos nutricionales de los alimentos

Para la alimentación de los peces en su diferente estadio se debe tener en cuenta el nivel de proteína con el que se obtiene el máximo crecimiento. Así mismo, a medida que avanza el cultivo, este nivel de proteínas que produce máximo crecimiento disminuye con el incremento del peso del pez. También se debe considerar que en la elaboración de alimentos balanceados para el cultivo intensivo de tilapia, el suplemento de proteína puede llegar a representar más del 50% del costo total del alimento. Por otro lado, también se debe tener en cuenta que el nivel de proteína en la dieta, la cual produce máximo crecimiento, se ve influenciada por múltiples factores como son:

- a. El contenido de energía en la dieta.
- b. El estado fisiológico del pez (edad, peso y madurez).
- c. Factores ambientales (temperatura del agua, salinidad y oxígeno disuelto).
- d. La calidad de la proteína (nivel y disponibilidad de aminoácidos esenciales).
- e. Tasa de alimentación.

Los requerimientos de proteína para tilapia según su peso son los siguientes:

Rango de peso (gramos)	Nivel óptimo de proteína (%)
0.5 a 10	40 - 35 %
10 a 30	30 - 35 %
30 a 250	30 - 35 %
250 a talla de mercado	25 - 30 %

## Requerimientos alimentarios de la Tilapia roja

La cantidad y número de raciones de alimento están supeditadas al desarrollo de cada una de las poblaciones de peces de cultivo. Sin embargo, la siguiente tabla expone la proyección de alimento para cada uno de los volúmenes de cultivo. (Tabla 3).

Tabla 3. Tabla de alimentación para el cultivo en 9 metros cúbicos.

Peso estimado (gr)	Días de cultivo	Porcentaje alimento	Población	Biomasa	Alimento diario (Kilogramos)	Raciones (Veces diarias)	Dosis (gramos)	Alimento semanal (Kg)	Bultos	Alimento acumulado (Kg)	FCA
2	7	12,00%	100	0	0,02	12,00	2	0,17	0,00	0,17	0,84
4	14	10,00%	99	0	0,04	12,00	3	0,28	0,01	0,45	1,12
6	21	7,00%	98	1	0,04	12,00	3	0,29	0,01	0,73	1,25
8	28	6,50%	96	1	0,05	8,00	6	0,35	0,01	1,08	1,41
10	35	6,00%	94	1	0,06	8,00	7	0,39	0,01	1,48	1,57
15	42	6,50%	94	1	0,09	8,00	11	0,64	0,02	2,12	1,50
20	49	5,00%	93	2	0,09	8,00	12	0,65	0,02	2,77	1,49
25	56	4,50%	90	2	0,10	8,00	13	0,71	0,02	3,48	1,55
30	63	4,00%	90	3	0,11	8,00	14	0,76	0,02	4,23	1,57
38	70	3,80%	90	3	0,13	6,00	22	0,91	0,02	5,14	1,50
46	77	3,60%	90	4	0,15	6,00	25	1,04	0,03	6,19	1,49
60	84	3,40%	90	5	0,18	6,00	31	1,29	0,03	7,47	1,38
80	91	3,20%	90	7	0,23	6,00	38	1,61	0,04	9,09	1,26
100	98	3,00%	90	9	0,27	6,00	45	1,89	0,05	10,98	1,22
150	105	2,80%	90	14	0,38	4,00	95	2,65	0,07	13,62	1,01
170	112	2,50%	90	15	0,38	4,00	96	2,68	0,07	16,30	1,07
200	119	2,00%	90	18	0,36	4,00	90	2,52	0,06	18,82	1,05
250	126	1,70%	90	23	0,38	4,00	96	2,68	0,07	21,50	0,96
300	133	1,65%	90	27	0,45	4,00	111	3,12	0,08	24,62	0,91
320	140	1,60%	90	29	0,46	3,00	154	3,23	0,08	27,84	0,97
340	147	1,55%	90	31	0,47	3,00	158	3,32	0,08	31,16	1,02
365	154	1,50%	90	33	0,49	3,00	164	3,45	0,09	34,61	1,05
380	161	1,50%	90	34	0,51	3,00	171	3,59	0,09	38,20	1,12
405	168	1,50%	90	36	0,55	3,00	182	3,83	0,10	42,03	1,15
435	175	1,50%	90	39	0,59	3,00	196	4,11	0,10	46,14	1,18
465	182	1,50%	90	42	0,63	3,00	209	4,39	0,11	50,53	1,21
500	189	1,50%	90	45	0,68	3,00	225	4,73	0,12	55,26	1,23

El buen aprovechamiento del alimento dentro de una estación piscícola depende de varios aspectos:

- Líneas parentales utilizadas: buena calidad de semilla.
- Calidad del agua: la apetencia del pez es directamente proporcional a la calidad del agua.
- Palatabilidad del alimento: aceptación del alimento por parte del pez.
- Presentación del alimento: peletizado o extruido, alimento flotante o de hundimiento lento.
- Técnica de alimentación: manejo y forma de alimentar.
- Control de la temperatura: manejo de la temperatura dentro del cuerpo de agua.

### **Almacenamiento del alimento**

Muchos de los problemas con el alimento se presentan por un mal sistema de almacenamiento. Los requerimientos básicos para un buen bodegaje de alimentos concentrados son:

Protección de las altas temperaturas y de la humedad: una bodega seca, libre de humedad, evita la oxidación de grasas y la proliferación de hongos y bacterias.

Debe contar con pisos y paredes impermeables, con suficiente espacio para una ventilación óptima y buena iluminación, sin permitir la entrada directa de los rayos del sol.

Protección contra insectos y roedores: los programas de fumigación y trampas para roedores evitan la contaminación del alimento.

Rotación de inventarios: almacenaje por períodos cortos evita la pérdida de nutrientes.

Entre las consecuencias más importantes de un almacenamiento inadecuado están la proliferación de hongos, que se presentan con humedades superiores al 70% y máxima a temperatura entre los 35°C y los 40°C.

Los sacos de alimento deben almacenarse sobre estibas de madera o plástico, pero nunca en contacto directo con el piso. Entre estibas debe

haber una distancia de por lo menos 50 cm. La zona de almacenamiento debe mantenerse completamente limpia.

### **Riesgo por contaminación por hongos**

- Micotoxinas: dentro de este grupo, las aflatoxinas se cuentan como las más importantes y tóxicas. Provocan mortalidades en concentraciones altas y daños en el hígado.
- Reducción del valor nutricional del alimento (pérdida de lípidos y proteínas).
- Deterioro de la apariencia física (grumos y bloques de concentrado).
- Cambios en el color, consistencia y condiciones normales del alimento.
- Disminución de la palatabilidad y rechazo por parte del animal.

En cuanto a las plagas como insectos (gorgojos) y roedores (ratas), también afectan el alimento, provocando daños como:

- Consumo directo del alimento.
- Contaminación por excrementos y orina, olores indeseables (feromonas) y la proliferación de bacterias patógenas.
- Indirectamente pueden ocasionar calor adicional e incremento en la humedad. Se deben hacer programas semestrales de fumigación para plagas.
- Prohibición: No se podrá alimentar con alimentos que presenten humedad y formaciones de microorganismos y olor putrefacto, si se detectara la omisión de esta prohibición dará origen a la suspensión automática del Operador del módulo de producción.

### **Cosecha y transporte del producto**

#### ***Seguridad, riesgos y control de los alimentos***

Si bien los alimentos proporcionan las sustancias indispensables para la vida, en algunas ocasiones su consumo puede causar enfermedades, ya sea por infecciones, intoxicaciones o infestaciones parasitarias.

Cualquier alimento puede ser vehículo de enfermedad, más aún, algunos pueden ser tóxicos por su naturaleza. Los alimentos de alto contenido

proteico, como pollo, leche, pescado y otros, son excelentes medios para el desarrollo de microorganismos que causan enfermedades; constituyéndose en alimentos potencialmente peligrosos.

### **Alimento seguro**

Es aquel que no causa problema alguno a la persona que lo consuma, especialmente cuando el alimento es preparado, almacenado y/o de acuerdo al uso que se le pretenda dar.

El alimento es considerado inseguro si contiene los siguientes peligros:

- Microbiológico: Bacteria o algún fondo natural de toxinas que se dan en el ambiente acuático y que podría causar una intoxicación o envenenamiento.
- Físico: (por ejemplo, vidrio), que pueda causar un daño.
- Químico: (ejemplo: pesticidas, antibióticos, desinfectantes), que podrían causar alguna enfermedad.

### **Factores de peligro**

Puede provenir de algún producto acuático, para el caso de la acuicultura, en cualquier momento de producción, procesamiento y comercialización.

Los ejemplos de esto son:

- Inapropiado uso de medicamentos veterinarios o químicos.
- Polución o crecimiento en el medio acuático de bacterias patógenas o virus.
- Uso de alimentos que contienen antibióticos, químicos o bacterias patógenas.
- Contaminación durante mala manipulación del personal.
- Por abuso de temperaturas en la etapa de post-cosecha.
- En términos generales las enfermedades transmitidas por el pescado y mariscos están relacionadas con:
  - Intoxicaciones provenientes de pescados que han producido histamina.
  - Envenenamiento con pescados tóxicos (Ciguatera, una forma de contaminación por marea roja).



- Infecciones provocadas por bacterias y virus.
- Infestaciones producidas por parásitos.
- Envenenamiento de origen químico (metales pesados, pesticidas).

### **Importancia del buen manejo de los productos pesqueros**

Por la naturaleza de los productos pesqueros es indispensable darle un buen manejo al pescado y mariscos, como garantía para obtener un alimento seguro, que también goce de buena apariencia comercial y calidad nutricional. Se ha de mantener la cadena de frío, es decir, les damos tratamiento adecuado a los productos pesqueros, usando las cantidades de hielo apropiadas y no permitiendo que los productos sufran altibajos en su temperatura, y de tal manera con toda seguridad les vamos a alargar su vida útil. En ese sentido, haremos que los procesos de deterioro o descomposición se desaceleren o se vuelvan más lentos. Hablar de buena apariencia comercial implica que el producto tenga un alto grado de frescura. Respecto a la calidad nutricional, se debe tener en cuenta que los pescados y mariscos mantengan sus propiedades nutricionales, las cuales son muy generosas.

### **Contaminación y deterioro de los alimentos acuícolas: causas físicas, químicas y microbiológicas**

Factores de deterioro

Aun cuando la carne del pez es totalmente estéril, no es lo mismo para algunas partes de su cuerpo, como la piel, agallas y vísceras, que es donde se sitúan bacterias. Después de su muerte, estas bacterias, unidas a las enzimas -que se encuentran en el músculo, carne, aparato digestivo y los intestinos-, inician una descomposición, contribuyendo el oxígeno cuando se introduce en los pigmentos de la piel, carne y grasas.

Estas actividades generan los diferentes tipos de descomposición:

Oxidación de las grasas por oxígeno.

El oxígeno atmosférico es capaz de actuar sobre los tejidos musculares provocando cambios indeseables en el color y sabor del pescado. Al oxidarse la grasa del pescado se torna rancia y provoca una coloración en la carne que es amarillenta.

## **Descomposición química por las enzimas**

Cuando los peces se encuentran vivos las enzimas ayudan a convertir el alimento en energía. Cuando el pez muere, o sea una vez pescado, las enzimas siguen actuando sobre los tejidos musculares, ayudando a las bacterias a penetrar en dicho tejido muscular, comenzando a descomponerse.

## **Descomposición biológica o microbiana**

Es provocada por las bacterias que son microorganismos que se encuentran en todos lados. La mayoría de las bacterias son bastante inofensivas, pero existen otras que son peligrosas y perjudiciales. Estas son capaces de alterar los alimentos, producir enfermedades derivadas de intoxicaciones alimentarias y causar un daño físico, que causa descomposición o deterioro del pescado o alimento marino. Las alteraciones físicas se originan principalmente por ruptura de células y alteración de las estructuras internas del alimento, de manera que se permite la entrada de microorganismos que producen deterioro.

También la contaminación física consiste en la incorporación de cuerpos extraños al alimento, que son mezclados accidentalmente durante la manipulación, almacenamiento, exhibición o preparación.

Un ejemplo es cuando las cenizas de su cigarro, o bien su cigarro caen sobre el pescado o marisco, contaminándolo.

Cambios post-mortem en el pescado influyen en la descomposición o deterioro (rigor mortis).

## **Fases de deterioro del pescado**

Una vez que muere el pez, en su organismo se inicia una serie de cambios, que, *grosso modo*, se caracterizan de la siguiente manera:

### ***Pre-rigor***

El pescado es blando y flexible, la textura firme y elástica y el músculo se encuentra relajado

### ***Rigor mortis***

El tejido muscular se contrae y se torna duro y rígido. Todo el cuerpo se vuelve inflexible.

### ***Post rigor***

El tejido muscular retorna a su estado relajado y en esta fase la descomposición ocurre más rápidamente.

Después de esta última fase del deterioro, inmediatamente se pasa a la fase de deterioro o descomposición del pescado y/o marisco.

Mientras el pescado se encuentra en cualquiera de las tres primeras fases: pre-rigor, rigor mortis y post-rigor, se trata de pescado fresco y por tanto puede ser consumido.

Sin embargo, entrada a la tercera fase, el producto ya no está apto para el consumo humano. El secreto es lograr que entre una y otra fase ocurra un tiempo mayor entre sí. Lo anterior se logra sólo al realizar buenas prácticas de manejo al producto y haciendo uso del frío o del hielo.

### **Métodos y técnicas de preservación de los pescados**

Básicamente, la conservación de los alimentos consiste en la aplicación de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que, realizados en forma adecuada, permiten prolongar la vida útil del alimento. La conservación permite mantener los alimentos bajo condiciones apropiadas de manejo y almacenamiento, por un determinado período de tiempo, sin que sufran alteraciones.

La conservación se puede obtener mediante uno o varios métodos. Luego es asegurada por el uso de un empaque apropiado. Los métodos de conservación de alimentos más utilizados en procesos agroindustriales se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Empleo de altas temperaturas
- Empleo de bajas temperaturas
- Secado o deshidratación
- Adición de azúcar
- Adición de sal
- Ahumado
- Aditivos
- Fermentación

En la actualidad existen modernos métodos de preservación del pescado, pero el más cómodo, económico y más utilizado es el hielo.

## **El hielo**

Es un medio portable de preservación o refrigeración, que puede ser fácilmente transportado y usado hasta el lugar en que se requiere y en la cantidad necesaria. En el mercado existen varios tipos de hielo (escama o escarcha, picado, en marqueta o bloque, etc.).

El de mayor uso y más eficiente es el de escama o escarcha, porque tiene mayor capacidad de contacto, es decir, mayor facilidad para cubrir más superficie, convirtiéndose en el más apropiado para un enfriamiento rápido. El intercambio de calor se realiza rápido y por ende, hay un enfriamiento más eficaz.

## **Ventajas del uso del hielo**

1. El hielo posee una gran capacidad de enfriamiento.
2. No contamina, ya que es inocuo, siempre y cuando sea producido bajo esas condiciones.
3. El hielo es relativamente barato.
4. Al entrar en contacto directo con el pescado, el hielo lo enfría rápidamente.
5. Se transporta con facilidad, convirtiéndose en un método de enfriamiento portátil.
6. El agua derretida del hielo mantiene el pescado húmedo, lavado y de apariencia atractiva.

El uso del hielo es muy importante en las buenas prácticas de manipulación porque asegura y mantiene la calidad.

La relación adecuada de hielo, equivalente al manejo del pescado es 1-1.

Es decir que para enfriar un kilo de pescado se requiere un kilogramo de hielo. La temperatura óptima de mantenimiento de la frescura y calidad del producto es no mayor a los 4 °C. Los pescados enteros deben estar rodeados y cubiertos de hielo, para mantenerse a temperaturas adecuadas (entre 0 y 4 grados centígrados).

Si vamos a colocar el pescado entero en caja, entonces se debe estibar de la siguiente manera:

Colocar una capa de hielo de 5 cms. de espesor en la parte inferior de la caja, seguido de una capa de pescado. A continuación se agrega otra capa de hielo, que se entremezcla con el pescado y lo cubra con 5 cms. de espesor.

El acondicionamiento del pescado post-captura o post-cosecha se debe hacer de la siguiente forma:

1. Lavado (eliminar suciedades y fango).
2. Separación de agallas.
3. Cuidadosa evisceración.
4. Lavado en agua limpia para eliminar sangre, mucosidad, etc.
5. Almacenamiento o estibado adecuado.
6. Mantener la altura de estibas. En esta altura, alternado con hielo, el pescado no debe exceder los 45 centímetros en total.

### **Evaluación de la calidad y frescura del pescado**

La calidad del pescado es sinónimo de su apariencia y frescura. Se refiere al grado de deterioro que éste sufre desde el momento de su captura. Sin embargo la calidad del pescado no es ajena al concepto genérico de CALIDAD concebida como el “conjunto de características que tiene un producto, que de una u otra manera, tienen influencia en el grado de aceptación por el consumidor”.

Existe una diversidad de métodos empleados para la medición de la calidad del pescado fresco y, entre ellos, los basados en mediciones:

- Físicas
- Químicas
- Bacteriológicas
- Sensoriales

### **Análisis sensoriales**

Los análisis sensoriales son los practicados por la industria y comercio, aunque también se emplean los de investigación, porque pasan a

considerarse como métodos científicos que producen resultados confiables y valederos.

En la medida en que sean aplicados bajo criterios formales y con personal entrenado, estos métodos evalúan la apariencia, textura, olor y sabor de una muestra, en este caso el pescado.

## **Producto**

Se entiende por producto fresco aquel que es apto para el consumo humano y no ha sido sometido desde el momento de su captura hasta el de su venta a algún procesamiento. No se considera procesamiento al desangrado, descabezado, eviscerado, ni la adición preventiva de hielo o el enfriamiento por otro método.

## **Características del producto objetivo**

Los pescados frescos deben presentar las siguientes características:

- a. Rigor Mortis: Cuerpo arqueado y rígido
- b. Escamas: Bien unidas entre sí y fuertemente adheridas a la piel, deben conservar su lucidez y brillo metálico y no deben ser viscosas
- c. Piel: húmeda, tersa, bien adherida a los tejidos subyacentes, sin arrugas ni laceraciones. Debe conservar los colores y tejidos propios de cada especie, exceptuando las especies que se decoloran
- d. Mucosidad: en las especies que la posean debe ser acuosa y transparente
- e. Ojos: deben ocupar toda la cavidad orbitaria, ser transparentes, brillantes y salientes. El iris no debe estar manchado de rojo (sufusión)
- f. Opérculo: rígido, ofreciendo resistencia a su apertura, cara interna nacarada, vasos sanguíneos llenos y firmes que no deben romperse a la presión digital
- g. Branquias: coloreadas con coloración que va desde el rosado al rojo intenso, y húmedas y brillantes, con olor *sui géneris* y suave que recuerda el olor a mar
- h. Abdomen: terso, inmaculado, sin diferencia externa con la línea ventral. Al corte, los tejidos deben ofrecer resistencia. El poro anal cerrado. Las vísceras de colores vivos y bien diferenciados. Las paredes interiores

brillantes, vasos sanguíneos llenos y que resistan a la presión digital, olor *sui géneris* y suave

- i. Músculos: elasticidad marcada firmemente y adheridos a los huesos y que no se desprendan de ellos al ejercer presión con los dedos; color natural *sui géneris*, al primer corte, color propio con superficie de corte brillante

Los músculos presionados fuertemente apenas deben trasudar líquido. Los vasos sanguíneos deben hallarse intactos. Al frotar los músculos triturados sobre la mano, no se percibirán olores anormales

### **Eviscerado y sangrado**

Cuando se realice el eviscerado deberá iniciarse tan pronto como las capturas lleguen al punto de manipulación. Será completo y una vez realizado se procederá al lavado del pescado con agua potable. Cuando el eviscerado no pueda practicarse inmediatamente, se llevará a cabo el lavado del pescado tan pronto llegue al punto de manipulación, con agua potable. El sangrado, cuando sea necesario, se realizará inmediatamente después de la captura.

De acuerdo al mercado de destino (mercado local, nacional o internacional) se realizará el eviscerado o no de los peces.

Recomendación: En la construcción de los equipos de procesamiento se realice con acero inoxidable apto para alimentos.

### **Construcción Modelo Social Acuapónico**

#### **Materiales**

1. Piscina de 9 metros de diámetro por 1 metro de altura
2. Bomba de recirculación de agua de ½ HP
3. Mangueras de 1” para acople de bomba de recirculación
4. Bomba sumergible de 1/8 HP para bombeo constante de agua desde el tanque de producción acuícola al sistema tipo hidropónico
5. Manguera de ½” para conexión bomba sumergible a sistema de tubería tipo hidroponía
6. Tanque de 200 litros plástico para preparación e inoculación de nutrientes para las plantas

7. Láminas de espuma de 1" de grosor
8. Largueros de madera o metal de 2,4 m x 2" x 2"
9. Tornillos galvanizados con rosca de 3"
10. Plástico tipo invernadero
11. Polisombra
12. Grapas
13. Semilleros

### **Insumos**

1. Peces 100
2. Alimento balanceado
3. Melaza
4. Semillas
5. Sustrato para semilleros

### **Funcionamiento**

#### **Principios**

##### ***Ciclo del agua***

El sistema acuapónico social busca emular e intensificar los procesos que se originan en la naturaleza, tal como el ciclo del agua, de donde en gran parte viene su nombre. Es así como el estanque de cultivo de peces se establece como el gran reservorio. El sistema de bombeo hacia el sistema de cultivo de plantas hace que llegue el agua hacia las raíces y se efectúa como la condensación, precipitación y escorrentía que sucede en la naturaleza. Después la descarga de agua desde los diferentes cultivos de plantas hacia el tanque, se dispone como la infiltración y descarga de agua subterránea hacia los lagos, ríos o el propio océano.

##### ***Ciclo de Nitrógeno***

El nitrógeno es un elemento químico que existe en la naturaleza en forma orgánica e inorgánica, y se encuentra mayoritariamente disponible en la



atmósfera, principalmente en su forma diatómica ( $N_2$ ), representando cerca del 78% (v/v) de la atmósfera terrestre. El nitrógeno forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y de las proteínas, moléculas esenciales para el desarrollo de la vida. No obstante, su aprovechamiento por parte de la gran mayoría de los seres vivos depende de su disponibilidad en la naturaleza en formas asimilables, principalmente nitrógeno orgánico, amoníaco y nitrato. Las transformaciones de los compuestos nitrogenados en la biosfera dependen de las interrelaciones entre los componentes bióticos (microorganismos, plantas, animales y seres humanos) y abióticos (temperatura, pH, precipitación, características del suelo, y luz solar, entre otros), que integran cada uno de los ecosistemas involucrados, y posibilitan que estas transformaciones puedan ocurrir a través de varios mecanismos. En el sistema acuapónico el principal *input* o entrada al sistema de Nitrógeno, se establece por la adición de alimento concentrado para los peces. Estos alimentos tienen un contenido de proteína que generalmente va desde el 45% en las fases iniciales de cultivo, hasta el 24% en la última etapa de la fase de engorde hasta cosecha. Los peces consumen entre el 90% al 95% del alimento agregado durante el ciclo de producción. Posterior al proceso metabólico de los peces, el nitrógeno es excretado en su mayoría como amonio. En consecuencia tanto el alimento no consumido por los peces y el nitrógeno excretado quedan disponibles en el agua como sustrato para la nitrificación por parte de las bacterias nitrificantes. Se efectúa la formación de nitritos a partir de amonio (nitrificación –primera etapa) realizada por bacterias oxidantes de amonio, que poseen amonio-mono-oxigenasa (AMO) e hidroxilamina-óxido-reductasa (HAO: hidroxilamina oxidoreductasa). Este proceso lo realizan bacterias de la Clase betaproteobacterias como lo son *Nitrosomonas* spp y *Nitrospira* spp. También bacterias de la Clase gammaproteobacterias como *Nitrosococcus* spp que realizan esta etapa.

Ahora bien, los nitritos generados en la etapa inicial son transformados a nitratos (nitrificación - segunda etapa), realizada por bacterias oxidantes de nitritos, que poseen nitrito-óxido-reductasa (NXR); estas bacterias pertenecen a diferentes clases, a saber, *Nitrobacter* spp de la Clase alfa proteobacterias; de la Clase delta proteobacterias, bacterias del género *Nitrospira*, y finalmente de la Clase gamma proteobacterias, la especie *Nitrococcus* spp.

Los nitratos generados en el proceso de nitrificación son conducidos en el agua que es bombeada desde el tanque de cultivo hasta el lugar de

cultivo de las plantas. Las raíces de las plantas cultivadas están en gran parte sumergidas en el agua, por tanto pueden asimilar estos compuestos nitrogenados tal y como lo realizan en cultivos convencionales que utilizan como sustrato la tierra.

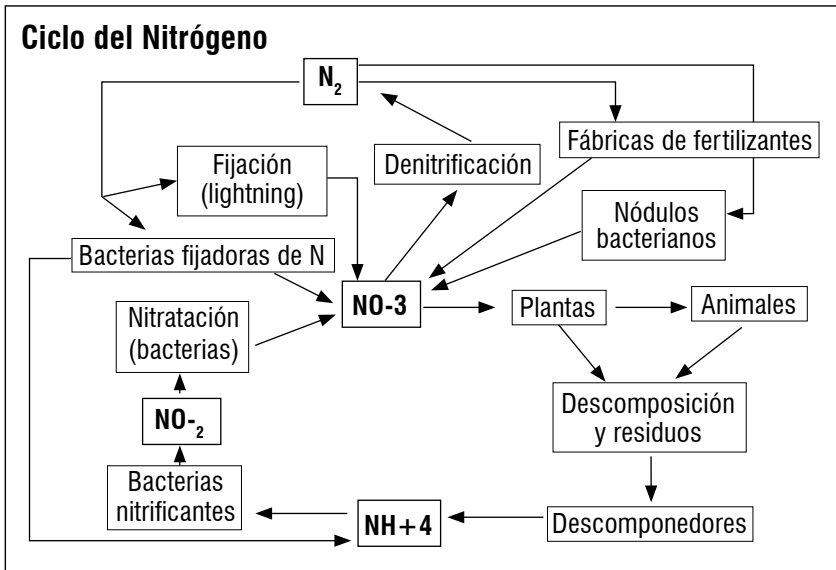


Figura 8. Ciclo del Nitrógeno.

## Ciclo de Carbono

En el ciclo del carbono dentro de su complejidad se establecen dos ciclos más pequeños interconectados, uno que comprende el intercambio rápido de carbono entre los organismos vivos, y otro que se encarga del ciclo del carbono a través de los procesos geológicos a largo plazo. Para este caso, principalmente se trae a contexto el intercambio propio entre organismos. En primer lugar, la captura de  $CO_2$  atmosférico y disuelto en las fuentes de agua se realiza mediante la fotosíntesis que llevan a cabo las plantas terrestres, las bacterias y las algas, en cuyo proceso convierten el dióxido de carbono o el bicarbonato en moléculas orgánicas. Las moléculas orgánicas producidas por los organismos fotosintetizadores pasan a través de las cadenas alimenticias, y la respiración celular convierte nuevamente el carbono orgánico en dióxido de carbono gaseoso.

Los autótrofos captan el dióxido de carbono del aire o los iones de bicarbonato del agua y lo usan para producir compuestos orgánicos

como la glucosa. Los heterótrofos, como las bacterias y los peces, que se alimentan de materia orgánica, consumen las moléculas orgánicas y así el carbono orgánico pasa a través de las cadenas y redes tróficas.

Teniendo en cuenta lo anterior el uso y cultivo de los biofloc microbianos a partir de una alta relación de C:N en el agua, ha sido empleado para acuicultura como un sistema alternativo superintensivo de producción. La relación carbono – nitrógeno principalmente se mantiene teniendo en cuenta el *input* de nitrógeno que proviene del alimento no consumido, y de la excreción propia de la especie de cultivo y el carbono mediante la adición de una fuente externa de carbohidratos, con poco o nulo recambio de agua y una alta oxigenación.

El fundamento del sistema acuapónico implementado en el CBA (SENA) es la transformación de la materia orgánica nitrogenada, presente en el tanque de cultivo de peces, en nitratos capaces de ser asimilados por las raíces de la planta. Las transformaciones del nitrógeno en las aguas a partir de los procesos de nitrificación y desnitrificación vía nitrato, se exponen en la Figura 8. En esta figura se puede observar que el proceso de nitrificación tiene lugar en dos etapas en las que el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato, y que en el proceso de desnitrificación el nitrato es reducido a compuestos nitrogenados gaseosos.

El proceso de nitrificación es generalmente realizado por bacterias quimiolitotóxicas que emplean el carbono inorgánico como fuente de carbono para la síntesis celular, y el nitrógeno inorgánico para obtener energía. Los microorganismos involucrados en este proceso se dividen en dos grupos bien diferenciados, las bacterias amonioxidantes (AOB) que se encargan de la conversión del nitrógeno amoniacal a nitrito, formando hidroxilamina como producto intermediario, y las bacterias nitritoxidantes (NOB) que se encargan de la transformación del nitrito a nitrato (Racocy, 2004).

Las bacterias nitrificantes se establecen en un cultivo acuapónico aproximadamente en un mes, por tanto debe monitorearse el sistema con frecuencia para verificar la generación del *biofloc*. Es importante señalar que mientras no se estabilice, entonces la producción de nitrato es baja y puede generarse intoxicación de los peces por el aumento en la concentración de amonio y de nitrito, además de generar estrés en las plantas (Racocy, 2004).

## Elementos de Formación

La Acuaponía es un sistema práctico que puede ser utilizado como estrategia metodológica. El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) fundamenta su estrategia pedagógica con la *formación por proyectos*, establecida desde las orientaciones de la UNESCO, y se fundamenta en cuatro pilares: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos, aprender a ser (UNESCO, 2007).

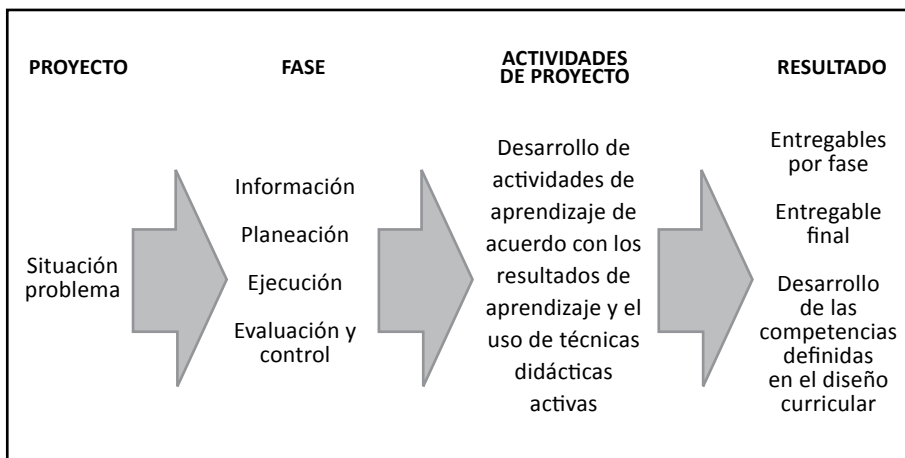
La *formación por proyectos* fue definida institucionalmente como: “Una estrategia metodológica nuclear o aglutinadora de un nuevo modelo formativo, que busca dar una respuesta acertada a las nuevas demandas que emergen de los cambios socioeconómicos provocados por la globalización” (Carrera, 2007). Es, en otras palabras, una estrategia que permite el aprendizaje significativo, cuya conceptualización se enmarca en el contexto productivo, reconociendo que las competencias solo son medibles en la acción, desde una perspectiva técnica, ética y social.

En consecuencia se entiende como proyecto formativo la actividad de aprendizaje en un contexto productivo que permite integrar las competencias laborales, a través del desarrollo de unas actividades que obedecen fundamentalmente a la secuencia desarrollada en el mercado laboral, las cuales comúnmente se identifican con el ciclo PHVA (Planear, hacer, verificar y actuar), en donde cada una de las fases constituye una estructura didáctica que orienta la secuencia de trabajo, desde una perspectiva coherente con los procesos productivos enmarcados en la formación en la acción (figura 9).



**Figura 9.** Aprendices SENA en proceso de formación Sistema acuapónicoCBA.

De esta forma, el proyecto acuapónico permite desarrollar competencias en el aprendiz, entendiéndose éste como proceso didáctico, que va más allá del resultado mismo, dejando la valoración como objetivo final, valorando el proceso de aprendizaje y las competencias adquiridas y visibilizadas a través del desempeño, aprendiendo por descubrimiento en el hacer, incluyendo los errores como fuentes de aprendizaje (figura 10).



**Figura 10.** Ciclo PHVA de la Acuaponía, se establecería atado al proyecto de formación que redundará en un emprendimiento comunitario.

## Sociedad

EL tejido social en una comunidad es muy importante, ya que desde allí se van generando cadenas de valor. La Acuaponía vista desde la producción de diferentes variedades de peces y plantas, permite el establecimiento de focos de oferta de alimentos variados que, en principio, pueden generar el trueque dentro de las mismas comunidades. Por otra parte, ya escalando la producción a un nivel mayor, se pueden establecer alianzas inter-unidades productivas dentro de una región, con el fin de ofertar determinados alimentos en volúmenes mayores que posibiliten el abastecimiento de mercados mayores, tales como por ejemplo ciudades intermedias o las mismas ciudades principales en los departamentos.

Ahora bien, los sistemas de cultivo intensivos requieren del suministro de insumos, a saber, semillas de buena calidad, alevinos, alimento concentrado, fuentes de carbono como la melaza y suplementos nitrogenados como la urea o fertilizantes para determinados ciclos de las plantas. En ese orden

de ideas, el tejido social y el encadenamiento alrededor de la producción permite el flujo de riqueza en diferentes ámbitos de la sociedad.

## **Cultura**

Colombia es un país con diversidad cultural rica y compleja que se expresa en una gran pluralidad de identidades y de expresiones culturales de los pueblos y comunidades que la conforman. Ahora bien, la diversidad cultural es una característica esencial de la humanidad, patrimonio común que debe valorarse y preservarse en provecho de todos, pues crea un mundo rico y variado, que acrecienta la gama de posibilidades y nutre las capacidades y los valores humanos (Unesco, 2005); por tanto esta diversidad puede constituirse en principal motor del desarrollo sostenible de las comunidades, los pueblos y las naciones.

En Colombia, dicha diversidad está dada por la existencia de afrocolombianos, raizales, palenqueros, comunidad Rom o gitanos, pueblos indígenas, comunidades campesinas, mestizos, y comunidades originadas en migraciones externas, que enriquecen todas el mosaico cultural del país, en el cual se establecen regiones con características muy particulares, desde el ámbito geográfico, climático y de disponibilidad de recursos; propiciando así diversidad de características de las personas que residen en cada lugar. En consecuencia, la implementación de nuevas tecnologías y estrategias para la producción de alimentos, genera en la comunidad grandes expectativas pero a la vez incertidumbre. Por tanto el establecimiento de programas o proyectos acuapónicos requiere la selección de los métodos que vayan de la mano con las características culturales de la población beneficiada.

## **Apropiación**

La Acuaponía como parte de la solución a la inseguridad alimentaria se posiciona dentro de la transferencia tecnológica a minorías étnicas y población vulnerable, que generalmente se ubican en regiones del país carentes del beneficio de los diferentes servicios estatales y acceso a gran parte de los alimentos ofertados en mercados de las grandes ciudades. Así pues, constituye parte de los principios constitucionales que establece como uno de los fundamentos de la Nación su diversidad cultural y, así mismo, de acuerdo a la gran diversidad cultural existente en el país, dentro de las obligaciones del Estado está el reconocer, proteger y fomentar la cultura en todas sus manifestaciones, siendo parte fundamental de la garantía constitucional a la libertad de conciencia y de expresión. Todo ello

está igualmente soportado internacionalmente por la Convención sobre la Protección y Promoción de la Diversidad de las Expresiones Culturales de la Unesco, del año 2005, donde se señala que “la diversidad cultural constituye un patrimonio común de la humanidad que debe valorarse y preservarse en provecho de todos” y que, por tanto, su objetivo central es “proteger y promover la diversidad de las expresiones culturales”.

En consecuencia, sobre estos argumentos, la política de diversidad en Colombia valora y propende por el reconocimiento de los distintos grupos poblacionales y por el fortalecimiento de su capacidad de apropiación de nuevas tecnologías, gestión cultural y salvaguarda de la diversidad de sus expresiones culturales.

## PRIORIDADES

La política pública de diversidad cultural hace un especial énfasis en grupos poblacionales específicos: las comunidades pertenecientes a los pueblos indígenas, las poblaciones afrocolombianas, palanqueras y raizales, el pueblo gitano o comunidad Rom, y los grupos en situación de vulnerabilidad socialmente diferenciados, especialmente las mujeres cabezas de hogar, los jóvenes y la primera infancia. La brecha tecnológica en el país y la diferencia tecnológica entre las capitales con respecto a la provincia, acentuada en aquellos departamentos con mayores índices de pobreza, determinan el establecimiento de metodologías particulares en cada sitio, que se deben fundamentar en estrategias pertinentes en niveles de alfabetización, de formación y escolarización. Por tanto es muy importante hacer hincapié en la generación de capacidades de producción y desarrollo científico-tecnológico como el modo más seguro hacia la autosostenibilidad y el progreso. Se considera la organización social, amplificadora e innovadora, en la que cada actor puede dar lugar a nuevo conocimiento que se renueve y difunda, de tal manera que contribuya a la adaptación de los individuos al nuevo entorno, cambiante e inestable, y les permita tener una visión de futuro.

En consecuencia, la Acuaponía busca la apropiación social del conocimiento donde las comunidades científicas proyectan estrategias encaminadas a socializar o “popularizar” los conocimientos obtenidos de sus investigaciones en Acuaponía, para que los diferentes actores de la sociedad puedan comprenderlos y asimilarlos (Chica *et al*, 2012).

Finalmente, la apropiación social del conocimiento de la Acuaponía implica

la participación social igualitaria, más y mejores canales de comunicación que permitan entablar una conversación concertada, para que la ciencia y la tecnología desarrolladas en estos sistemas de cultivo se asocien a todos los actores de la sociedad (Lozano, 2008).

## 1. EMPRENDIMIENTO

La Acuaponía dentro de su contexto integrador de varias ciencias permite la generación de mentalidad emprendedora dentro de los beneficiarios, debido principalmente a la practicidad de su implementación, ya que la comparación o analogía con los diferentes eventos de ciclos en la naturaleza como lo son los ciclos de lluvias, sequías de temperaturas y reciclaje de nutrientes, aboga a la mentalidad de organización, acopio, establecimiento de patrones, manejo eficiente de recursos, optimización de espacio y generación de riqueza, base para el emprendimiento.

La Acuaponía se establece como agente de emprendimiento social en programas de proyección social, donde al interior de los mismos se usen conceptos administrativos y empresariales. Adicional a los esfuerzos realizados por las grandes empresas que atienden a sus comunidades en las zonas de intervención, de acuerdo con Fournier (2001), se puede designar como emprendimiento social cualquier acción, iniciativa o movimiento dentro de la esfera socioeconómica, de origen privado y orientado a favor del interés general y del bien común, o que beneficie a una franja significativa de la comunidad. Para dicho fin se requiere participar en un desarrollo sostenible y generar valor no solamente económico sino también social y humano. Por medio de las prácticas de Acuaponía como emprendimiento social, se brindan herramientas innovadoras en materia de desarrollo empresarial y humano, análisis de mercados, acompañamiento de proyectos y participación en el progreso de las regiones y del país mismo.

Sánchez (2008), afirma que los emprendedores se pueden clasificar en dos categorías, a saber, emprendedores económicos y emprendedores sociales. Los primeros están totalmente orientados hacia el mercado comercial, mientras que los segundos se adhieren a conceptos ligados a la búsqueda del bien común. En el sistema de Acuaponía se pueden establecer desarrollos de emprendimiento que, como fin principal, generen productos de importancia para la exportación y generación de altos rendimientos. Así mismo, se pueden desarrollar emprendimientos que tengan como fin



la seguridad alimentaria y la mitigación de hambrunas y malnutrición, la igualdad de géneros, la reducción de la mortalidad infantil, la lucha contra las enfermedades, la sustentabilidad del ambiente, la mejora en la calidad de vida, entre otros. Otro elemento distintivo es la carencia de afán lucrativo como fin principal de sus esfuerzos.

### **Cadena de Valor**

La interacción entre los diferentes componentes de un sistema acuapónico reflejan el modelo de asociatividad que las comunidades entenderán como parte del tejido que se establece, de mutuo beneficio, y que permite la conexión entre los diferentes actores dentro de las cadenas de valor tanto acuícolas como agrícolas.

Según el World Economic Forum (2015), la agricultura es un sector de alta importancia y se estima que la demanda mundial de alimentos crecerá considerablemente en el futuro, en un 70% entre los años 2014 y 2050. Ello contrasta con la producción agrícola de Colombia que mantiene un estancamiento en la última década (FAOSTAT, 2017), lo cual se debe en parte a la baja productividad, ya que junto con el sector de servicios inmobiliarios constituyen los sectores de menor crecimiento, por debajo del 20% de nivel de productividad relativa de Colombia (FAOSTAT, 2017).

Adicionalmente, la agricultura en Colombia se concentra en ocho productos (70% de la producción (FAOSTAT, 2017) a saber, Flores, Plátano y banano, café, azúcar, arroz, papa, maíz, palma aceitera. Los productos con el crecimiento de valor de producción más alto en la última década, son aquellos que, en parte, pueden ser generados en cultivos acuapónicos, como lo son las fresas, tomates, sandía (9,6%, 5,7%, 3,9% respectivamente) (FAOSTAT, 2017). Los análisis según los datos referenciados en la (FAOSTAT, 2017), establecen que las exportaciones agropecuarias se concentran en el café, banano y las flores, con más del 70%.

Por otra parte, entre los costos más altos asociados a la producción agrícola están, en su orden, la mano de obra, fertilizantes y transporte, los cuales han tenido un crecimiento constante (Ministerio de Trabajo, Cci, Ministerio de Transporte). Una alternativa para potenciar los cultivos no tradicionales y diversificar la producción agrícola en el país, es la Acuaponía, estrategia que puede establecer el aumento de los rendimientos, reducir los costos de mano de obra, el consumo racional de materias primas y nutrientes, facilitar el transporte consolidado, permitir la viabilidad de unidades familiares en

minifundios o pequeñas áreas, generar una alternativa para las zonas que continúan en conflicto por la erradicación de cultivos ilícitos y, finalmente, posibilitar la transferencia tecnológica a comunidades vulnerables.

## **2. SOLUCIÓN AMBIENTAL**

La Acuaponía se cualifica además con su estructura de reciclaje de nutrientes, del recurso agua y el bajo consumo energético en comparación con otros sistemas de producción, así como la no intervención del suelo, la generación de oxígeno, la producción limpia y la posibilidad del uso de energías alternativas.

### **Impactos ambientales de la agricultura moderna**

Gracias a la agricultura la humanidad ha podido desarrollarse; sin embargo, el crecimiento poblacional en las últimas décadas ha generado un aumento desmedido de la demanda de alimentos. La demanda de alimentos exige el aumento cada vez mayor de producción y oferta de los mismos. Por tanto ha sido necesario el aumento de hectáreas de cultivo a nivel mundial, lo que acarrea un impacto ambiental fuerte; ya que hay que talar bosques para tener suelo apto para el cultivo, hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos, y otras medidas de impacto ambiental: de modo que la agricultura moderna ha multiplicado los impactos negativos sobre el ambiente, tales también como la destrucción y salinización del suelo, la contaminación por plaguicidas y fertilizantes, la deforestación o la pérdida de biodiversidad genética.

Los principales impactos negativos son:

#### ***a) Erosión del suelo***

La FAO (1996) ha determinado que, en todo el mundo, entre cinco y siete millones de hectáreas de tierra cultivable cada año son destruidas o se pierden al ser arrastradas por las aguas o los vientos. Ello se debe en gran parte al mal uso de la tierra, la tala de bosques, los cultivos en laderas muy pronunciadas, la escasa utilización de técnicas de conservación del suelo y de fertilizantes orgánicos, lo que en consecuencia promueve la erosión.

#### ***b) Salinización y anegamiento de suelos muy irrigados***

La FAO (2014) estableció que casi la mitad de las tierras de regadío del mundo han bajado su productividad debido principalmente a la salinización,

y alrededor de 1,5 millones de hectáreas se pierden cada año. Los suelos irrigados no tienen un drenaje suficientemente apropiado, se encharcan con el agua y cuando el agua se evapora las sales que contiene el suelo son arrastradas a la superficie.

### ***c) Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas***

El ideal para reducir la contaminación ambiental sería en lo posible evitar el uso principalmente de pesticidas. Sin embargo, en la producción agrícola convencional estos son utilizados constantemente. Los fertilizantes y pesticidas deben ser usados en las cantidades adecuadas para que no causen problemas: su excesivo uso provoca contaminación de las aguas cuando estos productos son arrastrados por la lluvia. En consecuencia, el exceso de estos productos provoca eutrofización de las aguas, mortandad en los peces y otros seres vivos y daños en la salud humana. Aún mayor complejidad tiene la contaminación de las aguas subterráneas con este tipo de productos, ya que se van concentrando. Los acuíferos de las zonas agrícolas pueden concentrar, entre otros, nitratos hasta un nivel peligroso para la salud humana.

Las principales fuentes de contaminación antropogénica de las aguas por compuestos nitrogenados, en su mayor parte provienen de actividades de tipo urbano, agrícola e industrial. El uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados sobre terrenos de cultivo se ha constituido en una de las fuentes más importantes de aporte de nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ), ya que tan sólo un 10-15% de la cantidad de fertilizante aplicada al suelo es empleada por las plantas e incorporado a la cadena alimentaria, el excedente circula hacia las corrientes de agua superficial y subterránea, siendo los fenómenos de escorrentía y percolación los responsables de su movimiento a través del suelo (Gijzen y Mulder, 2001).

### ***d) Agotamiento de acuíferos***

Los acuíferos han tardado en formarse decenas de años y, cuando se extrae agua en mayor cantidad que la introducida, se van vaciando estas reservas de agua. En consecuencia las fuentes se secan, desaparecen humedales tradicionales y, en el caso que se encuentren cerca del mar, el agua salada va penetrando en la bolsa de agua, propiciando la salinización, hasta hacerla inútil para sus usos agrícolas o para el consumo humano.

### ***e) Pérdida de diversidad genética***

El cruzar variedades con otras variedades para obtener combinaciones genéticas para obtener ventajas, era una práctica realizada por cultivadores de diferentes zonas del planeta. Actualmente, cuando una variedad es muy ventajosa, la adoptan los grandes cultivadores de todo el mundo, con el objetivo de competir económicamente en el mercado mundial. El resultado es que muchas variedades tradicionales dejan de cultivarse, y se pierden si no son recogidas en bancos de semillas o en instituciones especiales. Adicionalmente, en el monocultivo, se cultiva con una sola variedad de planta en grandes extensiones de terreno, lo cual supone un empobrecimiento radical del ecosistema, con la consiguiente pérdida de hábitats y de especies y, en algunos casos, la destrucción de bosques, pantanos, etc., de modo que para dedicar esos terrenos a la agricultura se provoca la desaparición de un gran número de ecosistemas.

### ***f) Deforestación***

Según la FAO (2014), en promedio 14 millones de hectáreas de bosques tropicales se pierden cada año. Dentro de esta deforestación se calcula que la quema de bosques para dedicarlos a la agricultura es la acción que tiene mayor responsabilidad (80% al 85%) en esta destrucción.

Sin embargo, la agricultura tecnificada busca altos rendimientos optimizando la producción por hectárea cultivada, y reduciendo el acceso a nuevas tierras en cultivo. En contraste, en Colombia con el tema de los cultivos ilícitos, las prácticas son la deforestación de bosques que están en ecosistemas sensibles. Igualmente, en la agricultura de subsistencia de muchas poblaciones pobres del país con las actividades no tecnificadas, se queman los bosques y la superficie así conseguida, gracias al abono de las cenizas, les permite obtener unas pocas cosechas, hasta que el terreno se empobrece tanto en nutrientes que se hace improductivo, y deben acudir a otro lugar para quemar de nuevo otra porción de selva y repetir el proceso.

### ***g) Consumo de combustibles fósiles y liberación de gases de efecto invernadero***

Los consumos de energía en la agricultura convencional cada vez son más altos para producir los alimentos. Por tanto, principalmente se eleva el consumo de petróleo y otros combustibles y se promueve la emisión a la atmósfera de gran cantidad de CO<sub>2</sub>, con el consiguiente efecto invernadero.

En ese mismo orden de ideas la quema de bosques y de pastizales es responsable principal del aumento de CO<sub>2</sub> y de óxidos de nitrógeno en la atmósfera (*World Bank*, 2008).

En contraste, con la Acuaponía se reducen o se evitan los principales impactos negativos de la agricultura convencional.

- a) Erosión del suelo: en el sistema acuapónico no se interviene el suelo o no se usa el suelo como sustrato, por tanto se conserva. Ahora bien, la Acuaponía se puede implementar en suelos no arables ni cultivables, lo cual evita la intervención de suelos ecológicamente importantes.
- b) Salinización y anegamiento de suelos muy irrigados: en los sistemas acuapónicos el no uso del suelo como sustrato, evita el anegamiento y la salinización de los mismos, ya que no se vierte ni agua ni fertilizantes a los suelos.
- c) Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas: el sistema acuapónico se fundamenta en el reciclaje de nutrientes dado por la acción de las bacterias nitrificantes, microalgas y otros microorganismos, que permiten la transformación de las excretas de los peces y el alimento no consumido por estos en metabolitos aprovechables por las plantas. De esta manera, se reduce o no se utilizan fertilizantes convencionales. Por otra parte, dentro de los sistemas acuapónicos se cultivan plantas que generan *Alelopatías*, con lo cual se reduce la aparición de plagas y, adicionalmente, se utilizan *plaguicidas orgánicos*.
- d) Agotamiento de acuíferos: La acuaponía con la recirculación de agua reduce el desperdicio del recurso, adicionalmente, los recambios de agua de los estanques se sincronizan para realizar el tratamiento de agua con el fin de reutilizarla. Por tanto se reduce la presión de consumo sobre acuíferos
- e) Pérdida de diversidad genética: La Acuaponía permite el cultivo constante y a diferentes épocas de cultivo con respecto al cultivo tradicional, que depende en mayor grado de los factores ambientales. Los cultivos bajo condiciones de invernaderos o de casa mallas, independizan los cultivos de los ecosistemas aledaños: de esta forma se puede reducir la incidencia de las labores culturales sobre los ecosistemas aledaños, interfiriendo así en menor grado las especies de insectos y microorganismos del entorno.

- f) Deforestación: Es importante resaltar que en los sistemas acuapónicos se produce alrededor de siete veces más producto que en la agricultura convencional: por tanto se pueden reducir las hectáreas intervenidas. Por otra parte, con el sistema acuapónico se pueden utilizar suelos desérticos, arenosos o ya intervenidos por el ser humano, en los cuales es difícil o imposible desarrollar actividades agropecuarias; además no será necesario deforestar ni utilizar los suelos ecológicamente importantes.
- g) Consumo de combustibles fósiles y liberación de gases invernadero: La Acuaponía dentro de su innovación tecnológica en sus diferentes componentes, equipos y materiales, permite la utilización de sistemas de bajo consumo de energía en comparación con los modelos convencionales de aireación, bombeo y remoción. Esta innovación dada dentro de los sistemas intensivos de producción de camarones y peces a nivel mundial, ha fomentado la competencia entre las diferentes marcas de comercializadores de equipos y productos en la acuicultura y acuariofilia. Así pues, la proyección de los sistemas acuapónicos conlleva la utilización de energías alternativas como lo son las disponibles desde el punto de vista fotovoltaico y de aerogeneración. En consecuencia, los sistemas acuapónicos tecnificados reducirán la huella de carbono en los productos generados y, con ello, la reducción de los gases invernadero.

### 3. ACUAPONÍA DENTRO DEL CONTEXTO AEROESPACIAL

El establecimiento de los cultivos acuapónicos totalmente auto-sostenibles de cara a la posibilidad de ser una alternativa de producción de oxígeno y de alimentos para los viajeros. En este sentido la NASA (2018) realizó un *desafío de diseño de ingeniería* donde solicitó a estudiantes que pensarán en la posibilidad de cultivar plantas en la Luna, y luego diseñaron, construyeron y probaron cámaras de crecimiento de plantas lunares. En este proceso concluyeron que en futuras misiones de larga duración en la Luna, las plantas recién cultivadas podrían utilizarse para complementar las comidas.

Así pues, la Acuaponía puede ser una herramienta de terraformación en la colonización de Marte, ya que en ese planeta se han encontrado zonas donde el agua está en estado de congelamiento. Sin embargo, dentro de las variables a experimentar para el desarrollo de sistemas acuapónicos en la Luna u otros planetas, o en los vehículos de transporte, están entre otras

la variación gravitatoria y la adaptación de las plantas al crecimiento, con la incidencia de la luz del Sol para ese planeta, o bien la adaptación de las plantas al crecimiento bajo condiciones de luz artificial.

#### 4. OPORTUNIDADES

El desarrollo de sistemas acuapónicos reclama un mayor número de personas competentes que trabajen en equipo, pero con autonomía y responsabilidad, capaces de desempeñarse en espacios polivalentes y multifuncionales donde se debe evidenciar la integración de lo técnico y lo humano; desde la formación, la estrategia de este tipo de proyectos es una herramienta muy valiosa y reconocida ampliamente a nivel internacional (Ramírez *et al.* 2008).

Un desarrollo reciente y muy interesante en lo referente al impacto social de la acuaponía es el concepto de la “**aldea acuapónica**”, definido como un sistema acuapónico utilizado para proveer nutrición (peces y vegetales) a una comunidad, que vive en los alrededores del sitio donde se ubica el sistema (Pade, 2005). Esta propuesta puede ser muy eficaz y oportuna en el contexto que vive hoy el país, ya que a partir de los acuerdos de paz, el Estado, a través de los entes territoriales y las instituciones estatales, debe ofrecer opciones de producción sostenible para las comunidades reincorporadas y las que habitan en zonas antes llamadas de conflicto o con influencia del mismo.

Una unidad acuapónica podría producir peces y vegetales frescos y de buena calidad, con posibilidad de producción continua, generando cosechas semanales, e inclusive producir flores (Wilson, 2005). La producción puede escalarse de tal manera que permita producir productos para la venta y para el autoabastecimiento de los habitantes de cada localidad, garantizando su “seguridad y soberanía alimentaria”.

En los países en vías de desarrollo una preocupación que puede presentarse como un impedimento para establecer sistemas acuapónicos, es el costo de la infraestructura y los problemas de suministro de energía eléctrica en muchas regiones; este caso particular en Colombia puede presentarse en varias áreas de la amazonía y la orinoquía, o incluso en regiones muy apartadas de los centros urbanos en la zona andina. Una propuesta en ese sentido es la que se ha llamado “**acuaponía en el patio de atrás**”, o “**acuaponía de barril**”: que es un sistema que utiliza 3 tanques de plástico de 55 galones, un área de crecimiento de plantas de 10.8 m<sup>2</sup>, sifones,

tubería de PVC y una bomba de bajo consumo (Hugley, 2005; Nelson, 2003).

Por otra parte, debido a que la acuaponía constituye una práctica amigable con el ambiente, ya que permite el reciclaje de desechos generados por los peces que se constituyen en nutrientes para las plantas, utilizando una cantidad comparativamente pequeña de agua, y produciendo muy pocos desechos, en su mayoría de tipo biológico (Rahman, 2005; Wilson, 2006), se constituye en una alternativa para ser utilizada por las comunidades asentadas en regiones con muy baja disponibilidad del recurso agua, por las condiciones geográficas del terreno.

Adicionalmente, debido a la imposibilidad de utilizar fungicidas o insecticidas por el efecto nefasto que tendrían sobre los peces, la acuaponía exige un manejo de producción limpia e incluso orgánica si se utilizan elementos de esa naturaleza para alimentar a los peces, debido a que son muy sensibles a dichas sustancias y, por esta razón, se comportan como eficientes indicadores biológicos. Esto garantiza a las comunidades alimentación sana porque los productos son de muy buena calidad, lo que tiene efectos positivos en su calidad de vida (Ramírez *et al.* 2008).



**Figura 11.** Tilapia producida en el sistema acuapónico del CBA.

Existen varios ejemplos que indican cómo la acuaponía bien manejada, puede generar un impacto importante en la calidad de vida de los individuos y las



comunidades. Los conceptos de la *acuaponía urbana*, de la *acuaponía del patio de atrás* y de las *aldeas acuapónicas* son particularmente ilustrativos. En el caso de la acuaponía urbana, los estudios hechos en Canadá indican que el sistema de techos verdes podría tener impacto benéfico en las ciudades en términos de reducción de los costos de la energía, reducción de los niveles de dióxido de carbono y óxido nitroso (Wilson, 2006).

En ese mismo sentido un proyecto piloto en la Universidad Central de Queensland en Australia, plantea utilizar la acuaponía de tejados, para la reducción de dióxido de carbono y metano, reducción de la temperatura en la ciudad llevando a una disminución del consumo de energía en refrigeración, reducción de los costos del transporte de comida, reducción de la epidemia de la obesidad, reducción de la dependencia de la pesca de especies de peces del medio natural, creación de nuevas oportunidades de negocios (Wilson, 2006).

Otro campo de oportunidades que se abre camino con este tema es la utilización de otro tipo de organismos vivos, que nos ofrecen otro tipo de posibilidades en asocio con los sistemas acuapónicos; este es el caso de las lentejas de agua y de lechugas de agua por ejemplo, para generar parte del alimento de peces, disminuyendo así la cantidad de concentrado para alimentar los animales, reduciendo costos de producción y aumentando su valor nutritivo (Range y Range, 2005). Se ha propuesto también la implementación de lombricultivos asociados para alimentar los peces con lombrices de tierra, aumentando la oferta proteica natural ofrecida como alimento a estos organismos; y la utilización de algunas plantas que se pueden cultivar en condiciones limpias, tales como lentejas de agua, bore, árbol del pan, chachafruto y similares, que pueden ser consumidos por peces omnívoros como la tilapia, las carpas, y probablemente la cachama blanca (Acero, 2002; Acero, 2005; Gómez y Acero, 2002; Range y Range, 2006).

## Bibliografía

- Acero, L.E. 2002. Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú *Erythrina edulis* Triana ex Micheli.
- Acero, L.E. 2005. Guía para el cultivo y aprovechamiento del árbol del pan *Artocarpus altilis* (Park.) Fosberg. Convenio Andrés Bello, Serie Ciencia y Tecnología. Bogotá, Colombia.
- Gómez, M.E. & Acero, L.E. 2002. Guía para el cultivo y aprovechamiento del Bore *Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott. Convenio Andrés Bello. Serie Ciencia y Tecnología. Bogotá, Colombia.
- Hugley, T. 2005. Aquaponics for developing countries. *Aquaponics Journal*. No. 38:16-18.
- Metcalf y Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª Edición. McGraw-Hill, New York, USA.
- Nelson, R.L. 2003. Build a backyard float system. *Aquaponics Journal*. No. 33:24-30.
- Ortiz, C.D. 2003. Guía para alimentación animal y elaboración de concentrados. Convenio Andrés Bello, Serie Ciencia y Tecnología. Bogotá, Colombia.
- Pade, J.S. 2005. Village acuaponics. *Aquaponics Journal*. No. 37:44-45.
- Rahman MF. 2005. As I see it. Futuristic environment-friendly technologies for growing plants. *Aquaponics Journal*. No. 39:44-45.
- Lozano, Mónica. 2005. Programas y experiencias en popularización de la ciencia y la tecnología. Panorámica desde los países del Convenio Andrés Bello. Bogotá: Convenio Andrés Bello. 267p.

- Lozano, Mónica. 2008. El nuevo contrato social sobre la ciencia: Retos para la comunicación de la ciencia en América Latina. *Razón y Palabra* [En línea]. Noviembre – diciembre 2008, vol. 13, no. 65. [Fecha de consulta: 04 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n65/actual/mlozano.html>
- NASA. 2018. <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/9-12/features/aquaponics.html>
- Sanz-Merino, N. 2008. La apropiación política de la ciencia: Origen y evolución de una nueva tecnocracia. *Revista CTS*, 4 (10): 85-123.
- Importancia del emprendimiento social en Colombia.
- Mónica Fernanda Chica<sup>1</sup>
- World Bank. 2008. Informe sobre el Desarrollo Mundial 2008 del Banco Mundial, titulado Agricultura para el Desarrollo.
- Apropiación social del conocimiento: Una nueva dimensión de los archivos *Rev. Interam. Bibliot. Medellín (Colombia)* Vol. 35 n° 1 2012 pp. 55-62 ISSN 0120-0976
- Range, P & Range, B. 2006. Homemade and alternative fish feed. *Aquaponics Journal*. No. 40:18-20.
- Wilson, G. 2005. An aquaponic investment in every small town? *Aquaponics Journal*. No. 38:4243.
- Wilson, G. 2006. Aquaponics miserly water use. *Aquaponics Journal*. No. 40:14-17.



## Centro de Biotecnología Agropecuaria - Mosquera

Regional Cundinamarca

Dirección: Km 7 Vía Bogotá - Mosquera

Teléfono: 57 (1) 546 23 23 Ext. 17863

Página web: <http://www.sena.edu.co>

<http://senabiotecnología.blogspot.com.co/>

Email: [revistacasiembra@sena.edu.co](mailto:revistacasiembra@sena.edu.co)

ISBN: 978-958-15-0474-9

