



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MICROSISTEMA DE CULTIVO
ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO**

**OSCAR IVAN RODRIGUEZ GUTIERREZ
COD. 161002530**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MICROSISTEMA DE CULTIVO
ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO**

**OSCAR IVAN RODRIGUEZ GUTIERREZ
COD. 161002530**

Trabajo de grado en modalidad EPPS presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Electrónico

Director:
Ing. Luis Alfredo Rodríguez Umaña

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2016**

Agradecimientos

A mis Padres y mis hermanos por su inagotable amor, por enseñarme el aprecio por el conocimiento y el aprendizaje y apoyarme en este camino.

Resumen

Los cultivos acuapónicos son sistemas de producción sustentables, conformados por un cultivo hidropónico y un cultivo de peces, en el cual, los peces vierten sus desechos en el agua, éstos se convierten en materia orgánica en descomposición contaminando el agua. Esta agua con desechos es tratada con sistemas de separación de partículas, posteriormente se lleva al cultivo hidropónico, allí las plantas utilizan el material orgánico como abono limpiando el agua y al mismo tiempo oxigenándola durante el día para así hacerla recircular evitando el recambio de esta por largos periodos de tiempo, durante la noche las plantas realizan el proceso inverso convirtiendo el O₂ en CO₂ e inyectándolo al agua; Para garantizar los niveles de O₂ se activan sistemas de recirculación de agua (SRA) durante toda la noche.

El problema para estos cultivos radica en que sus sistemas de recirculación de agua (SRA) funcionan a velocidad constante y de manera temporizada sin importar su cantidad de materia orgánica, la turbulencia provocada por la recirculación divide la materia orgánica en diminutas partículas, permitiendo su paso por el filtro, tapando las raíces de las plantas e impidiendo el normal desarrollo de la mineralización y oxigenación del agua, afectando la vida de los peces y producción del cultivo, esto debido a que es un área nueva en Colombia y con escasa tecnificación.

En este proyecto se automatizarán los procesos de recirculación y filtrado del agua en un prototipo de cultivo acuapónicos a escala de laboratorio. En la etapa de análisis y posterior diseño, se investigará todo lo concerniente al funcionamiento de un cultivo acuapónico, sistemas de filtrado y recirculación de agua (SRA), sus principios de funcionamiento y nuevas tecnologías, en la etapa de implementación de dicho prototipo, se construirá a escala de laboratorio para usarlo en el proyecto como recurso propio.

Palabras clave: *Prototipo, automatización, SRA, cultivo acuapónico, filtrado de agua*

Abstract

The aquaponic cultures are sustainable production systems, formed by a hydroponic culture and a fish culture, in which the fish pour their wastes into the water, these become decomposing organic matter contaminating the water. This waste water is treated with particle separation systems, later it is taken to the hydroponic culture, there the plants use the organic material as fertilizer cleaning the water and at the same time oxygenating it during the day in order to make it recycle avoiding the replacement of this by Long periods of time, during the night the plants perform the reverse process converting the O₂ into CO₂ and injecting it into the water; To ensure O₂ levels, water recirculation systems (SRAs) are activated all night long.

The problem for these crops is that their water recirculation systems (SRA) operate at a constant speed and in a timed manner regardless of their amount of organic matter, the turbulence caused by the recirculation divides the organic matter into tiny particles, allowing their passage By the filter, covering the roots of the plants and preventing the normal development of the mineralization and oxygenation of the water, affecting the life of the fish and production of the crop, due to the fact that it is a new area in Colombia and with little technification.

In this project will be automated the processes of recirculation and water filtration in a aquaponic culture prototype at laboratory scale. At the stage of analysis and subsequent design, will be investigated everything concerning the operation of aquaponic culture, water filtration and recirculation systems (SRA), its operating principles and new technologies, in the implementation stage of this prototype, Will build on a laboratory scale for use in the project as a resource.

Key words: Prototype, automation, SRA, aquaponic culture, water filtration

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	3
Nota de Aceptación	4
Resumen	5
Abstract	6
Capítulo 1	10
1. Resumen de las Actividades Desarrollada	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. Marco Referencial	13
4. Desarrollo de la Metodología	15
4.1 Fase de inicio	15
4.2 Fase de diseño	16
4.3 Fase de construcción	16
4.4 Fase de pruebas y puesta a punto	16
4.5 Fase de transición y reporte de resultados	17
5. Resultados Obtenidos	18
5.1 Partes del Prototipo	18
5.1.1 Estructura del Cultivo	18
5.1.2 Sección de Camas Flotantes	20
5.1.3 Estanque de Peces	20
5.2 Etapas de Instrumentación y Control del Prototipo	21
5.2.1 Tarjeta de Lectura de Sensores	21
5.2.2 Tarjeta de Expansión y Alimentación de Voltaje	21
5.2.3 Tarjeta de Transmisión y Recepción de Datos	24
5.3 Sensores Utilizados	24
5.3.1 Sensor de pH	24
5.3.2 Sensor de Caudal	25
5.3.3 Sensor de Temperatura	25
5.3.4 Sensor de Amonio y Nitrato Combinados	27
5.4 Conexión del Hardware	27
5.5 Sistemas SCADA	28

5.5.1 Componente de Software	28
5.5.2 Diagrama de Flujo para Código Implementado para Lectura de Sensores	28
5.6 Niveles de Amonio	29
5.7 Niveles de pH	29
5.8 Temperatura.....	29
5.9 Filtrado de la materia orgánica	29
5.10 Socialización del proyecto	30
6. Grafica de Resultados Obtenidos	31
7. Conclusiones	32
8. Recomendaciones	33
Referencias Bibliográficas	34
Capítulo 2.....	36
Artículo Científico “Sistema de Recirculación de Agua Automatizado para la Preservación de la Calidad de Agua de Cultivos Acuapónicos como Alternativa de Producción Sustentable”	37
Capítulo 3.....	44
Cartilla “ACUAPONIA, CULTIVO SOSTENIBLE”, introducción y generalidades de cultivos acuapónicos y sistemas de recirculación acuícola	45

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura del prototipo con sus partes implementadas	18
Figura 2. Estructura del sifón tipo campana y disposición en la cama de gravilla.....	19
Figura 3. Disposición de las camas flotantes en la estructura del cultivo acuapónico	20
Figura 4. Disposición del tanque de los peces en el prototipo	20
Figura 5. Tarjeta arduino 1 utilizada para conectar los sensores	21
Figura 6. Tarjeta de interfaz implementada para conexión de sensores	21
Figura 7. Esquema eléctrico para conexión de todos los sensores utilizados	22
Figura 8. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista lateral	22
Figura 9. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista posterior	23
Figura 10. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista superior	23
Figura 11. Tarjeta raspberry pi 2 utilizada para la comunicación y transmisión de los datos	24
Figura 12. Equipo elegido para medir el pH en el estanque de los peces.	24
Figura 13. Sensor de efecto hall elegido para medir el caudal de bombeo desde el estanque los peces	25
Figura 14. Sensor de temperatura	25
Figura 15. Sensor de temperatura DS18B20 y sensor de efecto Hall (ubicación en el prototipo)	26
Figura 16. Electrodo medidor de pH y equipo para medición de pH (ubicación en el prototipo)	26
Figura 17. Disposición de la cámara para toma de imágenes del disco indicador sumergido en el estanque	27
Figura 18. Diagrama de bloques de la conexión del hardware.	28
Figura 19. Diagrama de Flujo para lectura de sensores.	28
Figura 20. Diagrama comparativo Gramos de materia orgánica vs velocidad de bombo	30
Figura 21. Socialización del proyecto con la delegada del ministerio de las TICs para el nodo Orinoquia	31
Figura 22. Curvas de respuestas para cambios de caudal Vs Amonio, pH y temperatura.	31

CAPITULO 1

1. Resumen de las actividades desarrolladas

Las actividades desarrolladas durante el proyecto fueron las siguientes:

La actividad principal se centro en el diseño e implementación de las tarjetas para la toma de datos de los diferentes sensores que fueron contemplados para el proyecto, esto debido a que el sensor de amonio y nitrato fue implementado por medio de un sistema de tratamiento digital de imágenes, para con esto conseguir un sistema más económico pero no menos confiable, este sensor fue implementado con la tarjeta Raspberry pi 2, una cámara web y el lenguaje de programación Phyton. Para la captura de las otras variables como los son la temperatura, el caudal y el pH, se utilizó la tarjeta Arduino 1, con la culminación del trabajo realizado se dio vía libre a la etapa de comunicación y monitoreo de las variables, este trabajo se realizo en conjunto con dos estudiantes EPI involucrados en el proyecto de investigación denominado “Diseño e implementación de un prototipo automatizado para los sistemas de recirculación y filtrado de agua mediante la técnica de detección de nitrato y amonio combinados”, dirigido por el ingeniero Luis Alfredo Rodríguez, el proyecto culmina con la capacitación a estudiantes del colegio Francisco Arango sobre sistemas de recirculación de agua utilizando las herramientas de las tarjetas Arduino para leer la temperatura y caudal en el cultivo, además de la forma de producir comida orgánica con acuaponia.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de microsistema de cultivo acuapónico automatizado para los sistemas de recirculación y filtrado de agua que permita de manera efectiva la detección de amonio y nitrato combinados presentes en la materia orgánica de un cultivo acuapónico, y su incidencia en los procesos de mineralización y oxigenación del agua, para preservar las condiciones de vida de peces y plantas de dicho cultivo

2.2. Objetivos específicos

- Construir un prototipo de microsistema de cultivo acuapónico automatizado a escala de laboratorio que permita evaluar los resultados de la técnica de detección de amonio y nitrato combinado.
- Automatizar de manera adecuada los procesos de recirculación y filtrado para la confiabilidad del proceso y preservar las condiciones de vida de peces y plantas.
- Desarrollar un microsistema automatizado de monitoreo confiable.
- Establecer las variables del sistema y su influencia en el desarrollo del ciclo del nitrógeno.

3. Marco referencial

Un aspecto de importancia en esta investigación, son los desarrollos de automatización para la acuaponía a nivel mundial, en la investigación realizada por La Universidad Militar Nueva Granada titulada “La Acuaponía: Una Alternativa Orientada Al Desarrollo Sostenible”, da cuenta de las bondades de este tipo de cultivos implementados en países como Canadá, Islas Vírgenes y Australia, realizados con las herramientas tecnológicas para garantizar su éxito, entre las principales ventajas están: la conservación por medio de la constante reutilización del agua, fertilización orgánica de plantas con emulsión natural de peces, la eliminación de desechos sólidos producto de intensa acuicultura, la reducción de tierra de cultivo necesaria para la producción de cosechas, la reducción en general de la huella causada al medio ambiente por la producción de cosechas, posibilidad de implementarlos en sitios cercanos a su sitio de consumo, reduciendo los costos de transporte de los alimentos y la reducción de patógenos que frecuentemente plagan los sistemas de producción en la acuicultura. **(Militar Nueva Granada, Vol I 2008)**

La recirculación de los sistemas de acuicultura (SRA) está siendo utilizada actualmente y funciona como sistemas al aire libre o en interiores. Debido al modo de producción intensiva de peces en muchos de estos sistemas, el tratamiento de residuos dentro del bucle de recirculación, así como en los efluentes de estos sistemas es de principal preocupación. **(rijin, 2013)**. Una debilidad en las técnicas utilizadas para la activación de los aireadores del sistema de recirculación de agua(SRA), es que se fundamenta en temporizaciones durante la noche, y no cuenta con la automatización que conlleva a la aplicación de instrumentación con la cual medir diversos parámetros en la materia orgánica y tampoco sistemas de monitoreo, como si lo plantea la presente propuesta de investigación.

En Europa sobresale Holanda, donde ha sido bastante abordado este tema, una de las empresas Holandesas es Priva quienes en participación con otras instituciones, verificó la factibilidad de utilizar el agua procedente de los peces para incorporar a los sistemas de riego en un invernadero de producción de Tomate hidropónico **(Gilbert, 2010)**. Sin embargo la instrumentación empleada en estos dispositivos no permite realizar mediciones de diversos parámetros como se pretende en esta propuesta de investigación.

En Latinoamérica, se destaca la Universidad Autónoma de Guadalajara en México, pionera en sistemas de recirculación cerrada en pro de la emisión cero de efluentes en este tipo de cultivos, priorizando su constante inyección de oxígeno al cultivo, es de anotar que si se exagera en ello, esto conlleva a deficiencias del proceso de mineralización por saturación de oxígeno, representado en un desbalance en el pH

del agua, el hecho de utilizar los aireadores permanentemente también incrementa los costos por el consumo excesivo de energía. **(Timmons M.B., 2012)**. Un hecho que sobresale en la presente propuesta de investigación, es que además de ser un prototipo que mitigará la contaminación por efluentes, se utilizará una técnica fundamentada en la detección del amonio y el nitrato combinados presentes en la materia orgánica y no en el pH. Tradicionalmente se utiliza la detección de los cambios de pH, los cuales representan incrementos o descensos del nitrato y el amonio, en tanto que la técnica propuesta busca anticiparse a los excesos de estos dos componentes, activando los sistemas de aireación con velocidad controlada para inyectar oxígeno, sin generar saturación, ni turbulencias que desfragmenten los sólidos de la materia orgánica y tapen las raíces de las plantas causando zonas anaeróbicas.

En Colombia, la implementación de la acuaponía no ha logrado desarrollos importantes, debido a que hasta ahora se están implementando las políticas que la promueven, como por ejemplo el proyecto desarrollado en el Jardín Botánico José Celestino Mutis de la ciudad de Bogotá el Proyecto de Agricultura Urbana: “Sostenibilidad Ambiental Sin Indiferencia para Bogotá del Centro de Investigación y Desarrollo Científico”, el cual buscaba fomentar la producción de especies alimenticias, medicinales, agroindustriales y de jardinería de tipo orgánico, promoviendo el mejoramiento del hábitat y siendo desarrollado por los habitantes urbanos y suburbanos especialmente de estratos bajos que por lo general muestran dificultad para adquirir los alimentos debido a sus altos costos. **(BARRIGA.M, 2010)**. A nivel departamental, el plan de desarrollo de la Gobernación del Meta, promueve dentro de sus planes “Fomentar la productividad alimentaria con el fin de aumentar los ingresos y mejorar la calidad de vida de las y los pequeños productores, combatir el desabastecimiento y encarecimiento de los alimentos para la población”. **(Plan de desarrollo departamento del Meta, 2012-2015)**.

En Colombia, la automatización en el área agrícola, se ha dedicado a las tareas de riego, control de temperatura y humedad, recolección de las cosechas, clasificación y selección de los productos, en materia de acuaponía, son pocos los avances para garantizar las condiciones del cultivo. **(R Romero, 2012)**. Por este motivo la presente investigación, busca poder hacer un aporte para cerrar la brecha que en materia de automatización existe en un cultivo acuapónico, para preservar las condiciones ideales en las cuales se pueda desarrollar la producción del mismo, con la característica de hacerlo asequible económicamente a los pequeños campesinos interesados en la producción de alimentos orgánicos y sustentables, en el marco de una economía solidaria.

4. Desarrollo de la metodología componente proyección social

La metodología utilizada es del tipo exploratorio, enfocada a evaluar la técnica de detección de variables y su incidencia en los procesos de oxigenación y mineralización del cultivo acuapónico, se plantea un proceso secuencial desarrollado en 3 fases de 5 en total, las dos primeras fases ya fueron desarrolladas por el director del proyecto, las cuales se acoplan estratégicamente para el cumplimiento progresivo de cada objetivo específico, culminando con un análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados de la aplicación de este método.

En la ejecución del marco del proyecto de proyección social: “clubes de tecnología unillanos” los jóvenes participantes en la primera etapa del proceso de selección para la realización de este proyecto fueron 52, elegidos entre los grados 10 y 11 de la Institución Educativa Francisco Arango Sede Siete de Agosto. Seleccionando estudiantes de grado 10° con un total de 6 y grado 11° con un total de 5, dando como resultado una población de 10 hombres y 1 mujer

Se aplicó una prueba de Pensamiento Lógica Matemática dado que permite evaluar la capacidad para discernir los esquemas numéricos o lógicos; la habilidad para manejar cadenas de razonamientos relacionado con lenguaje de computación (Chacón M. 2007)

Como aspecto importante se indica que el presente proyecto se rigió bajo principios éticos del ejercicio de la profesión, comprendiendo que las ideas propuestas, las acciones realizadas y las decisiones tomadas, tendrán consecuencias directas e indirectas en la sociedad, contribuyendo a que se propicie un balance adecuado entre el desarrollo de la profesión, el desarrollo tecnológico y la calidad de vida, basados en la **Ley 842 de 2003**, *por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones.*

4.1. Fase de inicio

Durante esta fase se desarrollaron las siguientes actividades: Recopilación de información relevante y pertinente de los SRA, investigación sobre los mecanismos de monitoreo, control y automatización, así como los sensores existentes en el mercado aplicable a los propósitos del proyecto, consulta de normatividad vigente en materia de protección del medio ambiente a fin con los SRA, apoyados por las fuentes de consulta de la Universidad de los Llanos, consulta a proveedores del hardware de adquisición de datos que permita un mejor procesamiento de información en el sistema.

4.2. Fase de Diseño

Esta fase se implementó con los siguientes componentes: Diseño estructural y operativo del prototipo de cultivo acuapónico a escala de laboratorio, el diseño del sistema de recirculación de agua junto con la arquitectura del filtro a utilizar, diseño de los automatismos y etapa de control de los procesos de recirculación y filtrado, las actividades se dedicaron a los siguientes aspectos: definición de las características y dimensiones del prototipo de cultivo acuapónico, estudio de las opciones en materia de lenguajes de programación tendientes a definir la interfaz para monitorear las variables del cultivo, identificación de las bombas de agua existentes en el mercado para determinar de manera detallada y argumentada su sistema de inmersión junto con sus condiciones nominales de funcionamiento, configuración de las etapas de control requeridas y definición de sus características, desarrollo del programa con el cual se automatizó el SRA y filtrado de los sólidos de la materia orgánica.

4.3. Fase de Construcción

En esta fase se integraron las estructuras y los sistemas diseñados, que se probaron permanentemente y de manera simultánea a través de las siguientes actividades: construcción del prototipo según las características establecidas en el diseño, instalación y montaje de la instrumentación según sus especificaciones, implementación de las tarjetas de adquisición de datos al PC, montaje del sistema de automatización y control, implementación del sistema de monitoreo versátil para el usuario, implementación de una etapa de cultivo en el prototipo de cultivo acuapónico a escala de laboratorio, para generar la materia orgánica con sólidos.

4.4. Fase de Pruebas y Puesta a Punto

En esta fase se realizaron las pruebas de rigor y se optimizó el funcionamiento del prototipo, las tareas realizadas fueron: Pruebas del sistema de instrumentación, verificando su correcto funcionamiento, ejecución del proceso visto a través del sistema de monitoreo, para verificar su desempeño y el correcto enlace con las tarjeta de adquisición de datos, determinación del porcentaje de sólidos de materia orgánica extraído en etapa de filtrado con el SRA accionado con temporización, registro de datos, medición de los mismos parámetros de la actividad anterior, utilizando la detección de la cantidad de amonio y nitrato combinados para activar el SRA, durante esta etapa se capacitó a un grupo de estudiantes de la institución educativa Francisco Arango de la ciudad de Villavicencio, en temas de aplicaciones con tarjeta electrónica Arduino, se inició con las características y el lenguaje de programación, para continuar con una serie de ejercicios sobre lectura y escritura de los puertos de manera serial y envío de datos concatenados, para

terminar se desarrolló una aplicación que permitió medir temperatura y caudal en el cultivo acuapónico.

4.5. Fase de transición y reporte de resultados

Se detallan a continuación las actividades y resultados propios de esta fase: prueba del prototipo, se impartió la fase final de capacitación al grupo de estudiantes de la institución educativa Francisco Arango de la ciudad de Villavicencio, a través de un curso sobre sistemas de recirculación de agua y cultivos acuapónicos aplicando el desarrollo construido con ellos en la fase anterior.

5. Resultados Obtenidos

5.1. Partes del Prototipo

La arquitectura del prototipo implementado está conformada por una estructura física utilizada para albergar el cultivo de peces y las plantas, el componente hardware está constituido por tres tarjetas electrónicas, dedicadas a la lectura y procesamiento de los sensores de temperatura, caudal amonio y pH y una tarjeta para la transmisión de los datos a la nube donde se almacenarán y podrán ser monitoreados de manera permanente desde la web.

5.1.1 Estructura del Cultivo

En la Figura 1 se muestra el prototipo de cultivo acuapónico implementado para el proyecto, está conformado por una estructura física que contiene tanto el estanque de los peces como las camas de siembra, el método de siembra utilizado para las plantas es del tipo camas flotantes.

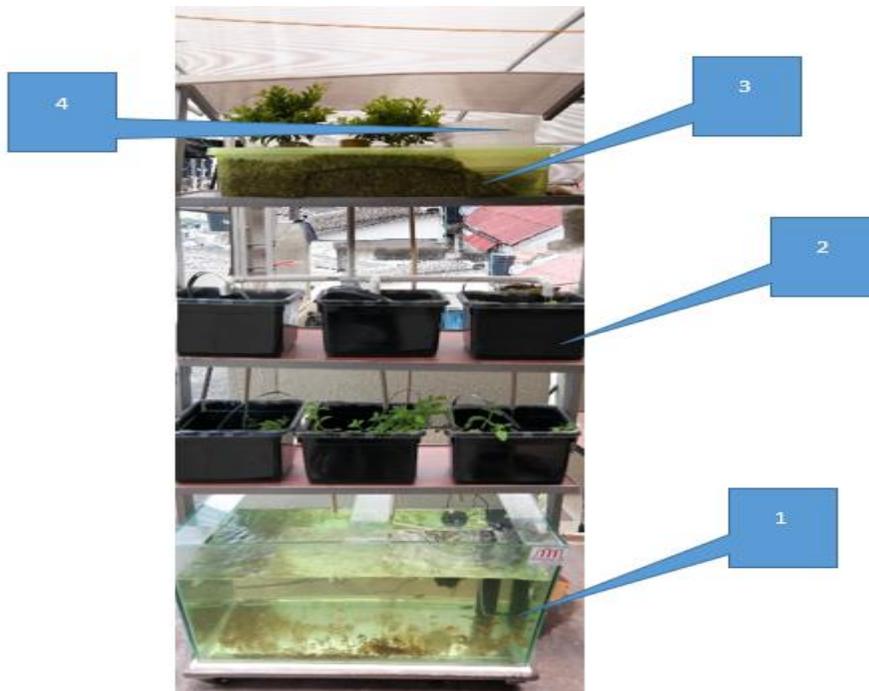


Figura 1. Estructura del prototipo con sus partes implementadas: Tanque de peces(1) , sistema de raíces flotantes (2), cama de grava (3) y biofiltro de bacterias nitrificantes (4).

La sección superior de la estructura contiene la cama de gravilla Figura 1(4) y el biofiltro para los sólidos Figura 1(3), en esta sección se trasplantan las plantas con estado germinación más avanzado, allí quedan almacenados los sólidos y las bacterias nitrificantes del cultivo. Esta sección también suministra el agua a las secciones inferiores a través de las descargas de un sifón tipo campana dispuesto para tal fin. Su estructura se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Estructura del sifón tipo campana y disposición en la cama de gravilla.: partes del sifón campana (1) , forma de instalar el sifón campana (2), conexión del desagüe del sifon campana a la sección 2 (3).

El funcionamiento del sifón campana obedece al principio del tubo de Venturi, en él se crea un vacío una vez el nivel del agua del tanque alcanza su altura máxima, en dicho instante empieza a vaciarse a la sección inferior en tres caudales iguales a través del desagüe dispuesto para ello Figura 2(3), una vez desaguado el sifón se sella y empieza a llenarse el tanque nuevamente, continua realizando este ciclo, su velocidad dependerá del caudal fijado para la bomba de suministro desde el estanque de peces a la cama de grava.

5.1.2. Sección de Camas Flotantes

Contiene las plantas en etapa menos avanzada de germinación Figura 1(2), con el fin de tener unas raíces más fuertes cada día. Tomarán los nutrientes del agua proveniente de la sección superior suministrada por las descargas permanentes del sifón tipo campana, en la Figura 3 podemos observar a detalle su disposición en la estructura. Las camas se inundaran y se vaciarán a medida que el agua llegue de una sección superior y se desague por una sección inferior respectivamente.



Figura 3. Disposición de las camas flotantes en la estructura del cultivo acuapónico.
Fuente: Autor del proyecto

5.1.3 Estanque de Peces

Ubicado en la última sección descendente, construido en vidrio, de dimensiones 1 metro X 0.7 metro X 1 metro, es el hábitat de la especie de pez a cultivar, allí comen y defecan, estos residuos forman la materia orgánica del cultivo, la cual será transformada en alimento para las plantas, previo a un proceso de nitrificación.



Figura 4. Disposición del tanque de los peces en el prototipo.

Fuente: Autor del proyecto

5.2. Etapas de Instrumentación y Control del Prototipo

Componente hardware conformado por: tarjeta de adquisición de datos, tarjeta de acople de conexiones y la tarjeta de transmisión de la información hacia y desde la nube.

5.2.1. Tarjeta de Lectura de Sensores

Se selecciona para esta función una tarjeta Arduino 1, por su versatilidad y sencillez de programación y los recursos como puerto análogo conexión USB. La Figura 5 muestra en físico la tarjeta utilizada.



Figura 5. Tarjeta utilizada para conectar los sensores.

5.2.2. Tarjeta de Expansión y Alimentación de Voltaje

Se requiere construir una tarjeta que haga las veces de interfaz entre el Arduino y la Raspberry pi 2, en la Figura 6 se muestran las terminales asignadas a cada puerto y el esquemático pcb de la tarjeta.

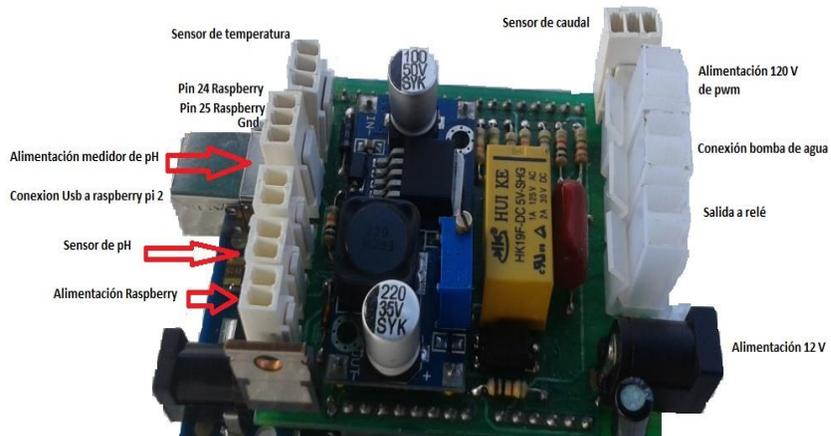


Figura 6. Tarjeta de interfaz implementada para conexión de sensores a) construcción física de la tarjeta. Fuente el autor.

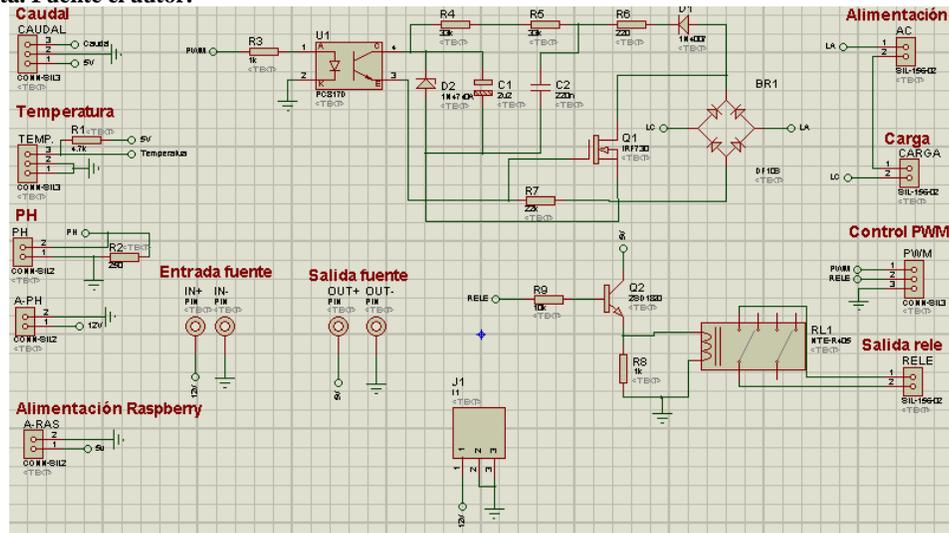


Figura 7. Esquema eléctrico para conexión de todos los sensores utilizados. Fuente el autor.

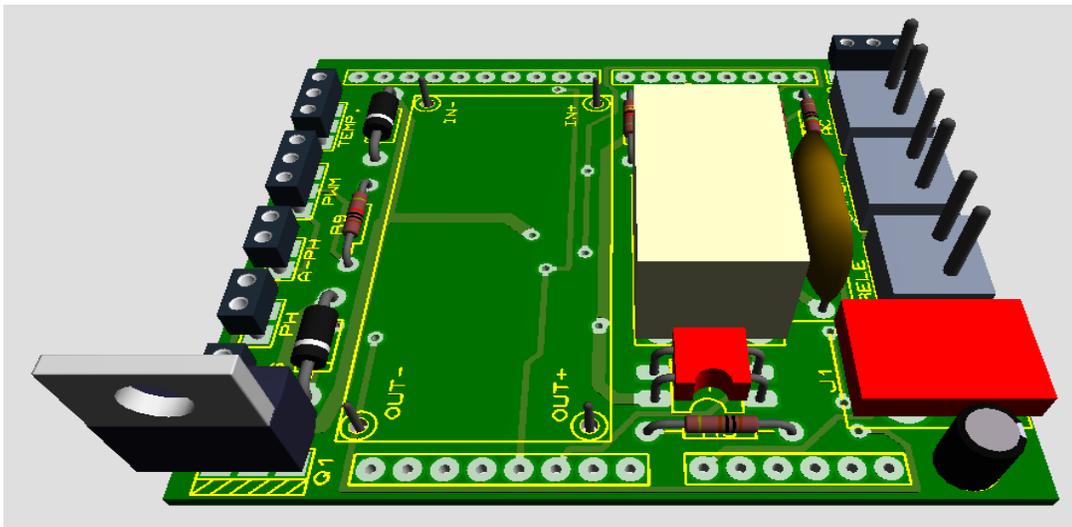


Figura 8. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista lateral. Fuente el autor.

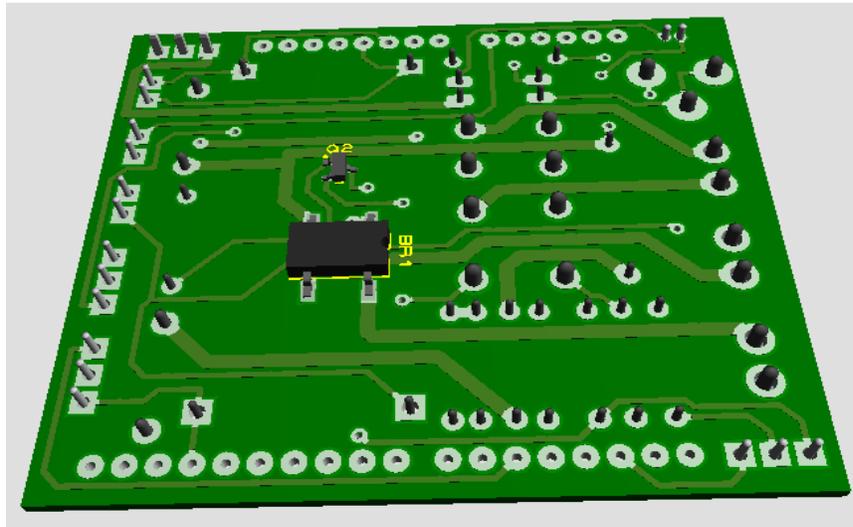


Figura 9. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista posterior
Fuente el autor.

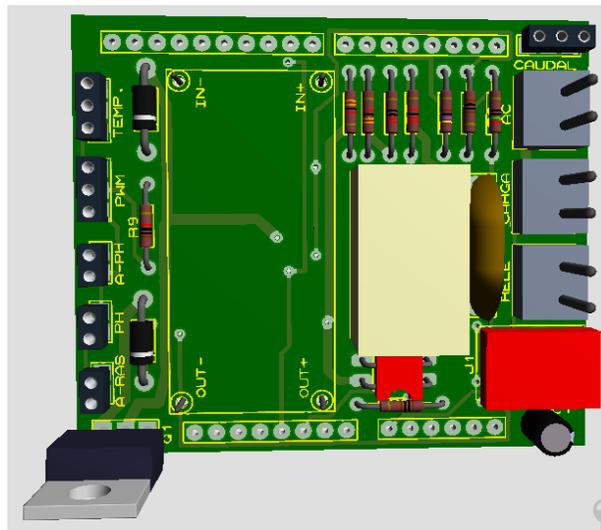


Figura 10. Tarjeta diseñada a dos capas para impresión en PCB vista superior
Fuente el autor.

5.2.3. Tarjeta de Transmisión y Recepción de Datos

Para realizar esta función se eligió la tarjeta Raspberry pi 2, debido a que cuenta con la posibilidad de realizar el tratamiento digital de imágenes con lenguaje Python y fácil conexión web a través de sockets, se encarga de recibir y enviar datos al arduino a través de la conexión de su bus serial universal, con un protocolo muy sencillo de implementar pero a su vez muy efectivo. En la Figura 11 podemos ver la tarjeta utilizada.



Figura 11. Tarjeta raspberry pi 2 utilizada para la comunicación y transmisión de los datos.
Fuente el autor.

5.3. Sensores Utilizados

Las variables a medir son pH, caudal, temperatura, Amonio y Nitrato combinados, para ello se seleccionaron los siguientes sensores

5.3.1. Sensor de pH

Se eligió el equipo debido a que se puede usar permanentemente sumergido con poco mantenimiento y además tiene una salida normalizada de 4 mA a 20 mA. En la Figura 12 podemos ver el equipo seleccionado.



Figura 12. Equipo elegido para medir el pH en el estanque de los peces.
Fuente el autor.

5.3.2. Sensor de Caudal

Es un sensor de efecto hall, genera pulsos al paso de agua a través de él, lo usamos conectándolo directamente a la entrada del Arduino sin requerimiento de acople de su señal. En la Figura 13 podemos ver el equipo seleccionado.



Figura 13. Sensor de efecto hall elegido para medir el caudal de bombeo desde el estanque los peces a la cama de gravilla.
Fuente el autor

5.3.3 Sensor de Temperatura

El sensor elegido es el DS18B20, ofrece una salida análoga y fácil de acondicionar a la entrada del arduino. La Figura 14 muestra el sensor seleccionado



Figura 14. Sensor de temperatura DS18B20 elegido para medir la temperatura del estanque de los peces.

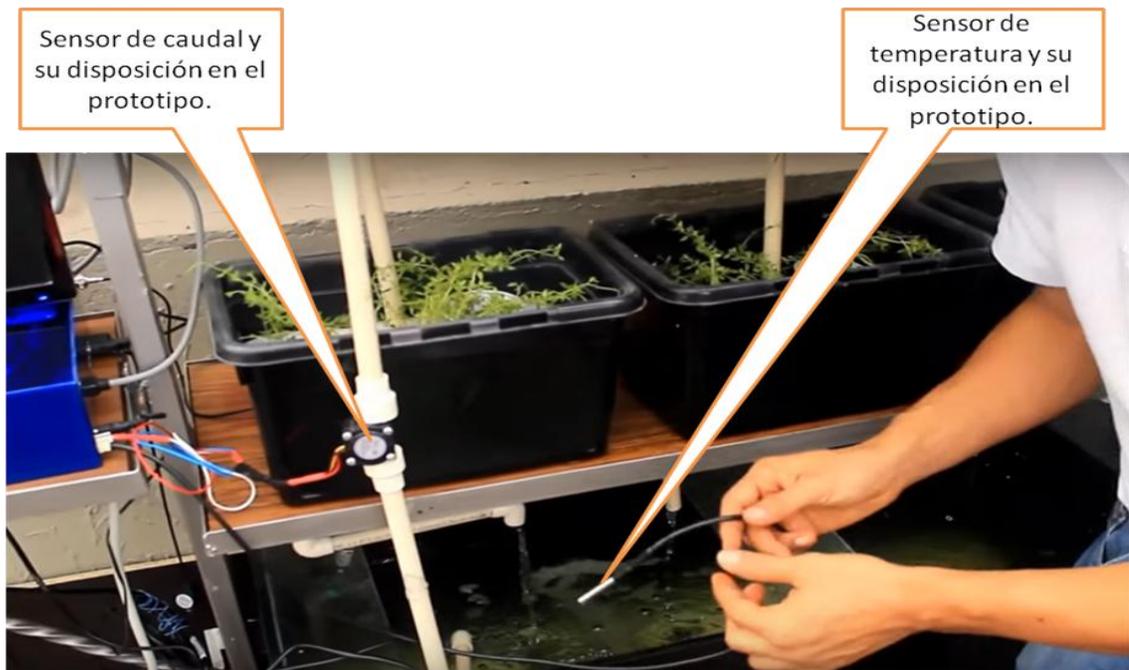


Figura 15. Sensor de temperatura DS18B20 y sensor de efecto Hall (ubicación en el prototipo)

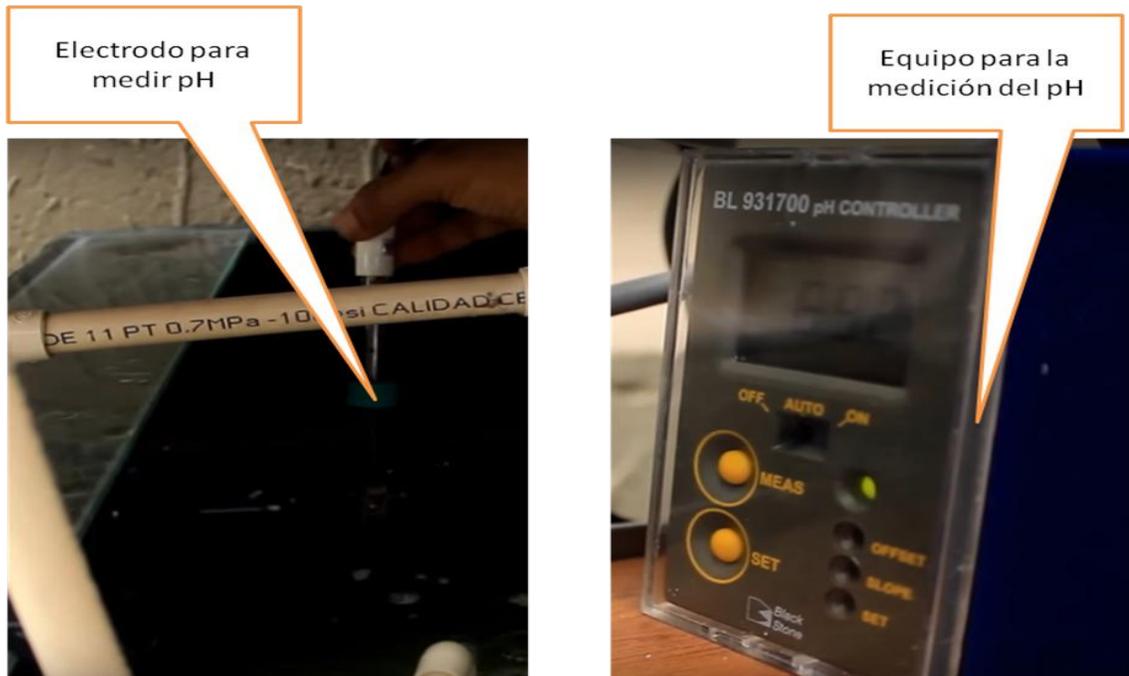


Figura 16. Electrodo medidor de pH y equipo para medición de pH (ubicación en el prototipo)

5.3.4 Sensor de Amonio y Nitrato Combinados

En el mercado se encuentran sensores muy costosos para medir esta variable, se decide hacer uso del tratamiento digital de imágenes usando los recursos disponibles de la Raspberry pi 2, así se conectó una cámara web a uno de sus puertos y se tomó la fotografía a un disco indicador sumergido dentro del estanque, se digitalizó dicha imagen y mediante un algoritmo se identifica las partes por millón de amonio y nitrato presentes en el estanque de los peces. En la Figura 17 podemos ver el montaje de la cámara frente al disco.



Figura 17. Disposición de la cámara para toma de imágenes del disco indicador sumergido en el estanque de peces. Fuente el autor.

5.4. Conexión del Hardware

En la Figura 18 podemos ver como se conectan entre si las tarjetas, los sensores de caudal, temperatura y pH van conectados a la tarjeta de expansión y potencia que se encuentra empotrada sobre el Arduino, esta entrega la información de los 3 sensores a través del puerto usb a la Raspberry, la Raspberry la recibe junto con la imagen de la cámara, procesa el color de la imagen e identifica el nivel de Amonio y Nitrato, concatena la información en un vector y lo entrega a la base de datos del servido dispuesto para tal fin en la web, desde allí la información es tomada por el aplicativo para su monitoreo en el computador donde se gráfica y se pueden descargar los registros históricos de las variables, con el fin de observar el comportamiento de las variables frente a los cambios de caudal ordenados a través de un web socket a la bomba del estanque de los peces.

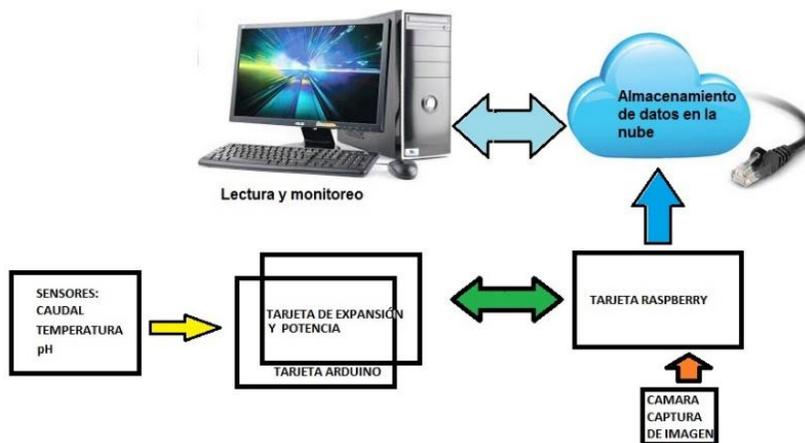


Figura 18. Diagrama de bloques de la conexión del hardware.
Fuente: El autor.

5.5. Sistema SCADA

5.5.1. Componente de Software

Está conformado por el aplicativo para la lectura de los 3 sensores conectados al Arduino y su transmisión vía USB a la Raspberry, el aplicativo para la lectura y digitalización de la imagen de la cámara con la Raspberry, concatenación de la información y envío a la base de datos del servidor, Aplicativo local para graficar los datos transmitidos al servidor y control de la velocidad de la bomba de agua.

5.5.2. Diagrama de Flujo para Código Implementado para Lectura de Sensores

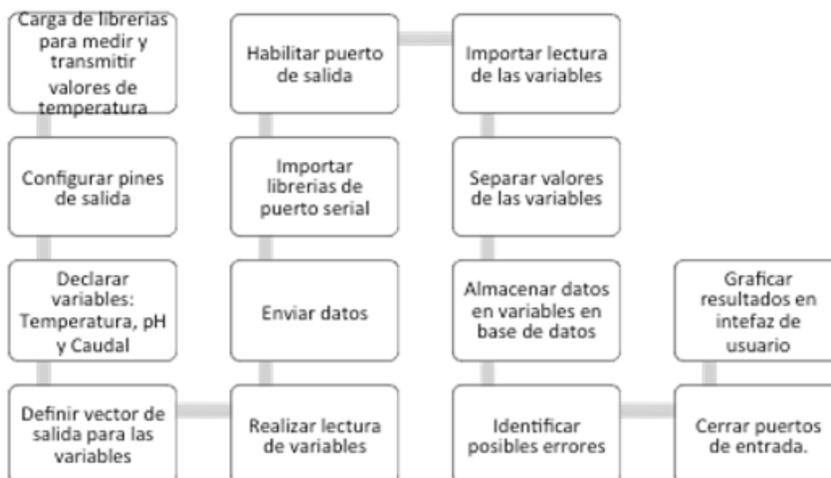


Figura 19. Diagrama de Flujo para lectura de sensores.

5.6. Niveles de Amonio

Frente a los incrementos del caudal, el amonio disminuyó sus valores: siempre se mantuvo en valores promedio de seguridad para las tilapias rojas (0,18 ppm). Las variaciones del amonio sufrieron cambios sustanciales cuando la bomba de agua funcionó al 100%, los sólidos del biofiltro se dividen y no se logra condensar con facilidad, debido a fenómenos de turbulencia en el estanque de peces (Teichert y Oddington, 2010).

5.7. Niveles de pH

En cuanto al comportamiento, el pH no presentó incrementos significativos cuando se elevó el caudal. Aunque los procesos biológicos desarrollados por las tilapias y las plantas en el biofiltro alteran el pH en el agua, la continua recirculación diaria del agua contribuye a mantener los niveles homogéneos (Ridha, 2001).

Los recambios de agua del cultivo inferiores al 10% del volumen del tanque garantizan un equilibrio entre la carga orgánica y los niveles de amonio (Tanveer et al., 2015).

5.8. Temperatura

Su promedio en el estanque fue de 25 °C; la refrigeración del medio por convección permite mantener valores seguros para la tilapia roja (Oca y Masaló, 2013); los valores máximos se presentaron al mediodía y los mínimos, en la madrugada.

5.9. Filtrado de la materia orgánica

La remoción de sólidos realizada por el biofiltro tuvo diferencias significativas entre las diferentes velocidades de la bomba de agua; los valores obtenidos se pueden observar en la siguiente grafica

La velocidad más efectiva para la retención del material particulado de la materia orgánica fue la de 25%. La influencia de los fenómenos de turbulencia y el tamaño del material particulado son determinantes para generar un efecto de desfragmentación en múltiples y pequeñas partículas, las cuales taponan las raíces de las plantas y, en consecuencia, estas generan una pobre nutrición y se debilitan

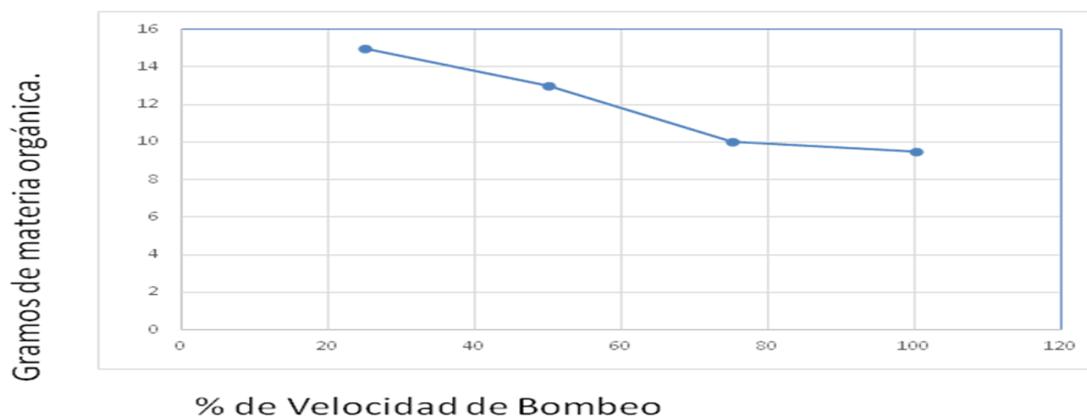


Figura 20. Diagrama comparativo Gramos de materia orgánica vs velocidad de bombo

5.10 Socialización del proyecto

De los resultados arrojados por las anteriores tablas, podemos obtener como conclusión la evidencia de la falta de desarrollo de capacidades en Pensamiento Lógico Matemático.

El bajo rendimiento evidenciado en las pruebas aplicadas a los estudiantes de dicha institución de los grados decimo y un decimo, nos permite deducir el desaprovechamiento de los incentivos de las TICs y los Centros y Puntos Vive Digital.

TABLA 1. RESULTADOS PRUEBA DE PENSAMIENTO LÓGICO MATEMÁTICO

GRADO	10 . 1	10 . 2	11 . 1
NÚMERO DE ESTUDIANTES	18	21	13
RESULTADOS	1,5 ± 0,8	2,6 ± 1,6	3,6 ± 3

TABLA 2. ESTUDIANTES SELECCIONADOS SEGÚN RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PENSAMIENTO LÓGICO MATEMÁTICO

GRADO	10 . 1	10 . 2	11 . 1
NÚMERO DE ESTUDIANTES	0	6	5
RESULTADOS	NA	4,2 ± 2,4	8,3 ± 4,6

En la etapa de socialización se realizó un acercamiento con la delegada del ministerio de las TICs para el nodo Orinoquia, estableciendo un acercamiento para la implementación de dicho cultivo de sistema acuapónico en modalidad de agricultura urbana



Figura 21. Socialización del proyecto con la delegada del ministerio de las TICs para el nodo Orinoquia

6. Graficas de Resultados Obtenidos

En la figura 22 podemos observar el comportamiento de las variables y su relación

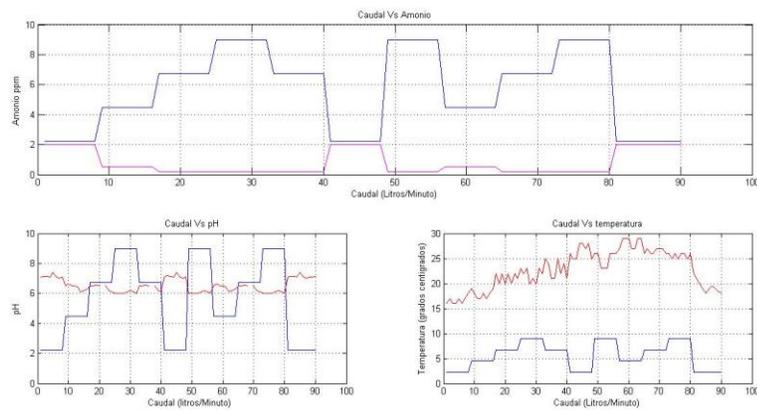


Figura 22. Curvas de respuestas para cambios de caudal Vs Amonio, pH y temperatura.
Fuente: El autor

7. Conclusiones

Los resultados de las pruebas de operación del prototipo de cultivo acuapónico registraron cuál es la velocidad de la bomba más efectiva para retener el material particulado de la materia orgánica en el biofiltro.

En términos de efectividad del método de detección del amonio y nitrato combinados, junto con la variación de la velocidad de la bomba del SAR, se observa que para una misma cantidad de alimento suministrado y diferentes velocidades de bombeo, existe un caudal que optimiza la función del biofiltro.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la técnica de detección de nitrato y amonio combinados es funcional y se puede acompañar con procesos técnicamente viables —como el control de velocidad de bombeo y nivel del agua, para obtener mejores resultados de productividad en un cultivo acuapónico.

A través de este proyecto se ha desarrollado un prototipo útil para el estudio del comportamiento de los cultivos acuapónicos, en el cual se puede experimentar con diversas especies de peces y plantas, en búsqueda de la mejor relación de las variables para el SAR.

8. Recomendaciones

El desarrollo de la acuaponía en Colombia es muy reciente, su desarrollo involucrando a la comunidad a través de la divulgación de sus potenciales capacidades para generar alimentación a bajo costo, sin tierra y espacios urbanos, plantea una también una gran oportunidad para impactar socialmente a regiones sin agua y muy áridas de nuestro país.

A través de proyectos comunitarios se puede intervenir socialmente con el desarrollo de este tipo de cultivos, los colegios pueden utilizar este tipo de prototipos para educar a sus estudiantes en el área de biología y matemáticas como lo han realizado en Canadá y Holanda

Con respecto al trabajo desarrollado con la población seleccionada se puede evidenciar en los estudiantes de décimo y undécimo grado, la necesidad de instaurar programas y planes académicos que permitan desarrollar de mejor forma las capacidades en el PLM, dada la importancia de dichas destrezas en la vida cotidiana, en el futuro de las tecnológicas y en los escenarios laborales.

Referencias Bibliográficas

Ailion, M. X. (2010). Diseño de un sistema scada de control automático de temperatura y humedad para los lechos de producción de humus de lombriz en la empresa bioagrotecsa cía.ltda. Ambato, Ecuador.

Ambiente, M. d. (1993). Manejo de recursos renovables. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

BARRIGA.M. (2010). Agricultura Urbana en Bogotá. Bogotá, Colombia.

Brinker A, R. R. (2005). Factors determining the size of suspended solids in flow-through fish farm. *Aqua cultura l Engineering*, 33: 1-19.

Brister, D. (2010). Organic aquaculture : moving toward national standards. *World Acuaqulture*, 32: 51-52.

FAO. (2014). The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges. Roma, Italia.

Gilbert, B. (2010). Acuicultura 1. Barcelona, España: Ediciones Omega, SA.

Granollers, P. P. (2010). Diseño y Automatizacion Industrial. Cataluña, España.

Hopkins J, H. R. (1993). Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets os intensive shrimp ponds. *World acuaquilt* , 304-320.

Instruments, N. (15 de Marzo de 2012). Dispositivos inteligentes. Obtenido de <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5935>

L.M.P. Valente, F. L.-B. (2011). Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilisation or flesh fatty acids composition of market-sized Senegalese sole. *Aquaculture*, 318 (1-2) , 128-137. Militar Nueva Granada. (Vol I 2008). Acuaponia una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista de la facultad de ciencias básicas*, 32-51.

ONU. (23 de Noviembre de 2014). Declaración universal de los derechos del agua. New York, Estados Unidos.

Plan de desarrollo departamento del Meta. (2012-2015). Estrategias y programas para el fomento de la producción alimentaria de economía campesina, competitiva,

sostenible, con ecosello y que facilite la realización de negocios verdes y el acceso a mercados especializados con enfoque de género e inclusión. Villavicencio, Meta, Colombia.

R Romero, J. M. (2012). Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. *Agricultural Water Management*, 59-66.

R.V. Tyson, D. T. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponics. *Hort Technol*, 6-13.

Rakocy J, B. D. (2003). Initial economic analysis of aquaponic systems . *European Aquaculture Society*, 33: 58-64.

rijin, J. v. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*.

Seok K, L. S. (1995). Water quality in annually drained and indrained channel catfish ponds over a three year period. *Progr Fish Culturist*, 52-58.

Teichert- Coddington D, R. D. (2010). Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering*, 19: 147-161.

Timmons M.B., E. J. (2012). *Sistemas de Recirculación para la Acuicultura*. Santiago Chile: Fundación Chile

CAPITULO 2

Sistema de Recirculación de Agua Automatizado para la Preservación de la Calidad de Agua de Cultivos Acuapónicos como Alternativa de Producción Sustentable.

Automated recirculation system for preserving water quality of water in a prototype aquaponic farming as an alternative sustainable production.

Luis Alfredo Rodríguez Umaña ¹

1 Docente de planta Universidad de los Llanos, Facultad de ciencias básicas e ingeniería

Ingeniero electrónico, Especialista en automática e informática industrial

Celular 3103132265 [.lrodriguez@umillanos.edu.co](mailto:lrodriguez@umillanos.edu.co).

Oscar Iván Rodríguez Gutierrez ²

2 Estudiante X semestre Ingeniería Electrónica, Facultad de ciencias básicas e ingeniería

Celular 3165301537

RESUMEN

Los cultivos acuapónicos son sistemas de producción sustentables, conformados por un cultivo hidropónico y un cultivo de peces, los peces vierten sus desechos en el agua, éstos se convierten en materia orgánica con amonio y nitrato, mortales para los peces. Los desechos son tratados con sistemas de separación de partículas y posteriormente se lleva al cultivo hidropónico, allí las plantas la utilizan como abono en un proceso de mineralización y al mismo tiempo la oxigenan durante el día para poder hacerla recircular hacia los peces evitando el recambio del agua por largos periodos de tiempo, pero durante la noche las plantas realizan el proceso inverso convirtiendo el O₂ en CO₂ e inyectándolo al agua; Para garantizar los niveles de O₂ se activan sistemas de recirculación de

agua (SRA) durante toda la noche. El problema para estos cultivos radica en que sus sistemas de recirculación de agua (SRA) funcionan a velocidad constante y de manera temporizada sin importar su cantidad de materia orgánica, la turbulencia provocada por la recirculación divide la materia orgánica en diminutas partículas, permitiendo su paso por el filtro y tapando las raíces de las plantas e impidiendo el normal desarrollo de la mineralización y oxigenación del agua.

Palabras clave: Acuaponia, cultivo automatizado, sistema de recirculación.

ABSTRACT

Aquaponic crops are sustainable production systems, comprised of hydroponics and fish farming, fish dump their waste in the water, they

become organic matter with ammonium and nitrate, deadly to fish. The waste is treated with systems particle separation and subsequently leads to hydroponics, there plants use it as fertilizer in a process of mineralization while the oxygenate during the day to make recirculated to the fish avoiding the replacement of water for long periods of time but at night plants perform the reverse converting O_2 in CO_2 and injecting water; To ensure O_2 levels water recirculation systems (SRA) are activated overnight. The problem for these crops is that their systems recirculating water (SRA) work at constant and timed so speed regardless of the quantity of organic matter, the turbulence caused by recirculation divided organic matter into tiny particles, allowing step through the filter and covering the roots of plants and preventing the normal development of mineralization and oxygenation of the water.

Keywords: Aquaponic, Automated culture, recirculation system

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un análisis de las ventajas que tienen los cultivos acuapónicos con sistemas de recirculación de agua automatizados, junto con las posibilidades de desarrollarlos de manera sustentable, para ello se tienen en cuenta las diferentes fases para su implementación, las consideraciones para preservar la calidad del agua del estanque de los peces, las ventajas de los cultivos acuapónicos frente a los

tradicionales van desde su facilidad de implementarlos sin necesidad de tener un terreno para implementarlos, las consideraciones logísticas como el poder establecerlos cerca a los compradores disminuyendo los gastos de transporte, poder cultivar a cualquier época del año sin importar las estaciones del clima, la no necesidad de insecticidas y agroquímicos para protegerlos de plagas, disminución de costos de alimentación de los peces, facilidad de cultivar diferentes variedades de especies en conjunto sin necesidad de rotar cultivos. Además de la ventaja que representa una fijación más fuerte del fósforo en las plantas de los cultivos acuapónicos (Blidariu et al., 2013)

La automatización de los sistemas de recirculación de agua es una oportunidad de tecnificación de una tarea que hasta la actualidad solo se ha realizado de manera temporizada, el funcionamiento de los sistemas de recirculación de agua, tienen gran influencia sobre la calidad de agua en el cultivo, los aspectos a tener en cuenta pasan desde controlar la temperatura, los niveles de oxígeno, el pH del agua, nivel del agua en estanque del cultivo, en general el poder monitorear de manera permanente estos aspectos de forma constante y confiable garantizarán la efectividad de estos sistemas de producción, al mantener un balance entre plantas y peces (Buzby y Lin, 2014)

La energía consumida por los sistemas de recirculación de agua, puede ser suministrada por fuentes renovables, como por ejemplo la

energía solar, eólica o una combinación de estas u otras fuentes complementarias, añadiendo así más virtudes a los sistemas de producción acuapónicos que los convierten en una alternativa sustentable desde el punto de vista ecológico y económico ya que conjuga diferentes ventajas que van desde el uso eficiente del recurso hídrico, disminución de insumos requeridos para su producción, ciclos cortos de producción y generación de alimentos con sello ecológico (Dedi et al., 2011)

En Colombia la organización de los productores de acuaponía, aún se encuentra en una fase de poca participación ya que es una técnica que se encuentra en etapa exploratoria por productores, que de manera empírica invierten sus recursos y tiempo en experimentar con diferentes configuraciones para su desarrollo, no se hacen medidas de las variables del cultivo de forma técnica y constante, lo cual permitiría tomar decisiones con bases confiables en las etapas de cultivo, en el ámbito académico se han realizado investigaciones que contemplan el estudio de la productividad al combinar determinadas especies de peces y vegetales de ciclo corto, destacando la tilapia como el pez más cultivado por su capacidad de soportar cambios bruscos de temperatura y el pH del agua.

La alternativa de tecnificar y automatizar los sistemas de producción acuapónicos se consolida como una oportunidad de desarrollo de nuevas formas para generar

alimentos libres de fungicidas, más cercanos a lo que la naturaleza tiene planeado y establecido como por ejemplo los ciclos del nitrógeno y del carbono, producir inteligentemente y además con un proceso lo más cercano a lo natural, se puede lograr con desarrollos que contemplen la interdisciplinariedad de las ciencias naturales y las herramientas tecnológicas, con el fundamento de la experiencia investigativa aunada a la de los productores tradicionales, se podría elevar a la acuaponía al nivel de las técnicas de producción industrial realizando un cálculo efectivo de la carga hidráulica y la variación del caudal del sistema de recirculación (Endut et al., 2011)

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para elaborar el presente trabajo se fundamenta en la realización progresiva de actividades proyectadas que dependen una de la otra, con una prelación determinada por su nivel de importancia, estableciendo un orden al proceso durante su desarrollo con el fin de lograr los mejores resultados, cada una de las etapas se evalúan permanentemente durante su desarrollo evolutivo, creando una dinámica adaptativa frente a los nuevos requerimientos con el ánimo de culminar cada etapa de manera exitosa.

Las actividades planificadas y desarrolladas durante la ejecución del proyecto fueron las siguientes: Dimensionamiento y construcción de la estructura del cultivo acuapónico,

determinación de las variables a tener en cuenta para garantizar la calidad de agua, toma de datos y estudio de los efectos en cambios de variable e influencia en las demás,

Para realizar la lectura y evaluar los efectos de los cambio de las diferentes variables, se realizaron mediciones periódicas a través: de un sensor de pH, un sensor de temperatura, un sensor de caudal, un sensor de Amonio que realizaron las lecturas en sitio cada 15 minutos en el estanque de los peces, se registraron los datos en la base de datos vía web socket durante las 24 horas del día para un total de 96 registros diarios.

Se procedió a graficar los resultados consignados en la base de datos, se utilizó el software Matlab para tal fin, importando los datos desde un archivo Excel, capturando los valores de las diferentes columnas de las hojas del libro donde se consignaron las variaciones de los datos.

RESULTADOS

La estructura implementada en el proyecto se muestra en Fig 1.

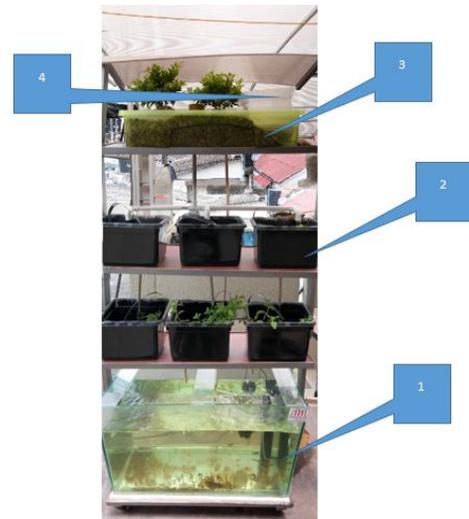


Figura 1. Estructura con partes implementadas: Tanque de peces(1),sistema de raíces flotantes (2) cama de grava (3) y biofiltro de bacterias nitrificantes (4).

Se eligió esta configuración debido a la ventaja de poder hacer recircular el agua usando una sola bomba, la cual se instaló en el estanque de peces para hacer circular el agua desde arriba hasta abajo usando el desagüe constante del sifón tipo campana ubicado en la cama de grava.



Figura 2. Estructura del sifón tipo campana y disposición en la cama de gravilla.: partes del sifón campana

(1) , forma de instalar el sifón campana (2), conexión del desagüe del sifon campana a la sección 2 (3).

En la Fig 3 se observan los sensores utilizados para la medición del pH, caudal y la temperatura del agua del estanque.



Figura 3. Sensores utilizados a) Sensor de pH. b) Sensor de caudal y c) Sensor de temperatura. Fuente: El autor

En la Fig 4 se observa el montaje del dispositivo para la lectura del Amonio a través de una cámara web



Figura 4. Disposición de la cámara para toma de imágenes

Ecuaciones

Las ecuaciones para la medición del caudal se desarrollan a continuación con los siguientes términos

- $Q(t)$ = Caudal
- $\Delta V(t)$ = Variación de la velocidad
- Δt = Variación del tiempo
- V_0 = Velocidad inicial
- K = Constante de proporcionalidad

$$Q(t) = \frac{\Delta V(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

$$V(t) = V_0 + Q\Delta t \quad (2)$$

$$K = \frac{\text{Nodepulsos}}{(\text{Volumen})(60)} \quad (3)$$

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Frecuencia}}{K} \quad (4)$$

Con el uso de las ecuaciones 1,2 y 3, se realizó la medición del caudal de la bomba de agua, la ecuación 3 permitió determinar el factor de conversión de frecuencia a caudal del sensor, con dicho factor calculado se pudo medir el caudal efectivo a través del sensor.

Tablas y figuras.

pH	NH ₄	
	16 grados	30 grados
7	100	100
7,25	96,5	94,8
7,5	93	89,6
7,75	89,5	84,4

8	86	79,2
8,25	82,5	74
8,5	79	68,8
8,75	75,5	63,6
9	72	58,4
9,25	68,5	53,2
9,5	65	48
9,75	61,5	42,8
10	58	37,6

Tabla 1. Registros de pH y NH₄ a dos temperaturas diferentes

Como se observa en la tabla 1, se presentó una relación entre los cambios del pH y el NH₄, con el incremento de la temperatura los niveles de NH₄ disminuyeron más pronto (ver figura 5)

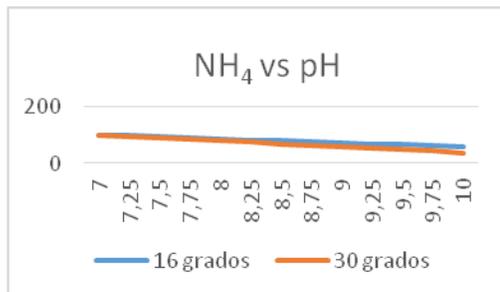


Figura 5. Comportamiento del NH₄ Vs pH a dos temperaturas distintas.

Fuente: El autor.

pH	NH3	
	16 grados	30 grados
7	1	2
7,25	5,1	7
7,5	9,6	13,1
7,75	14,6	20,3
8	20,1	28,4
8,25	26,8	36,9

8,5	34,2	46
8,75	42,4	56,1
9	51,7	67,4
9,25	62,3	79,9
9,5	74,1	89,9
9,75	88,1	96,9
10	97,1	99,9

Tabla 2. Registros de pH y NH₃ a dos temperaturas diferentes

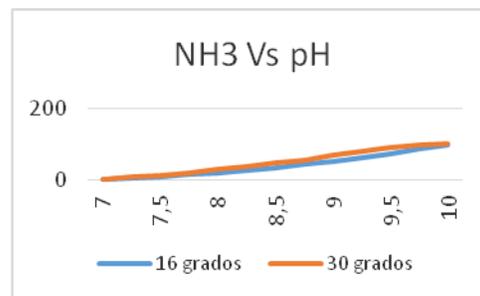


Figura 6. Comportamiento del NH₃ Vs pH a dos temperaturas distintas.

DISCUSIÓN

Las mediciones realizadas en el cultivo acuapónico nos permiten establecer una serie de afirmaciones respecto a la relación entre los niveles de pH, NH₃ y NH₄, frente a las variaciones de la temperatura en el cultivo:

A mayor pH y mayor temperatura mayores serán los niveles de Amoníaco (NH₃).

Puede pasar que tengamos niveles altos de Amonio (NH₄⁺) como no es tóxico no nos daríamos cuenta y además un PH bajo entonces al realizar un recambio grande de agua

y hacer subir el pH junto con temperaturas superiores a 29 grados, ese Amonio se transformara en Amoniac (NH₃) lo cual es muy tóxico.

Por eso es importante medir la cantidad de Amonio que tenemos en nuestro cultivo.

Las diferentes velocidades en la bomba de suministro influyen en los niveles de oxigenación del sistema, la temperatura, niveles de sedimentación. (Saaid, et al., 2013)

Los niveles de NH₄ cambian a una tasa mayor que el de pH, por tal motivo es vital detectarlo eficientemente.

De acuerdo con **Tyson- 2008** se recomienda implementar un biofiltro más denso y un sensor de nivel de oxigeno o en su defecto un sensor multiparamétrico que integre las señales al sistema de lectura y control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Blidariu, F. C., Drasovean, A., & Grozea, "Evaluation of phosphorus level in green lettuce conventional grown under natural conditions and aquaponic system.," Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca. Anim. Sci. Biotechnol., vol. 70, no. 1, pp. 128–135, 2013.
- K. M. Buzby and L. S. Lin, "Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output," Aquacultural Engineering, vol. 63, pp. 39–44, 2014.
- L. Dediu, V. Cristea, A. Docan, and I. Vasilean, "Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standard and aquaponic system," AACL Bioflux, vol. 4, no. 4, pp. 490–498, 2011.
- A. Endut, A. Jusoh, N. Ali, W. B. Wan Nik, and A. Hassan, "A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system," Bioresour. Technol., vol. 101, no. 5, pp. 1511–1517, 2010.
- M. F. Saaid, N. S. M. Fadhil, M. S. A. M. Ali, and M. Z. H. Noor, "Automated indoor Aquaponic cultivation technique," in Proceedings - 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2013, 2013, pp. 285–289.
- R. V. Tyson, E. H. Simonne, D. D. Treadwell, J. M. White, and A. Simonne, "Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters," HortScience, vol. 43, no. 3, pp. 719–724, 2008

Capítulo 3
ACUAPONIA, CULTIVO SOSTENIBLE.
Introducción y Generalidades de Cultivos Acuapónicos
y Sistemas de Recirculación Acuícola.



ACUAPONIA, CULTIVO SOSTENIBLE.
Introducción y Generalidades de Cultivos Acuapónicos y Sistemas de
Recirculación Acuícola.

OSCAR IVAN RODRIGUEZ GUTIERREZ
COD. 161002530

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2016

Contenido

Introducción	3
Capítulo 1	4
Presentación y Generalidades	
¿Qué es acuaponía?	5
Sistemas de Recirculación Acuícola (SRA)	8
Componentes de la Hidroponía	10
Capítulo 2.....	13
Peces y Plantas	
Peces	14
Plantas	19
Capítulo 3.....	21
Filtros y Aireación	
BioFiltros	22
Capítulo 4.....	26
Descripción Prototipo de Microsistema de Cultivo Acuapónico	
Referencias Bibliográficas	32

Introducción

El objetivo de esta cartilla es compartir una forma de propagar conocimientos y generalidades sobre los cultivos acuapónicos, los sistemas de recirculación acuícola y el resultado de la integración de ambas técnicas, dar una breve descripción de las ventajas que brinda la aplicación de la acuaponia como fuente sustentable de alimento mediante organismos acuícolas y cultivos vegetales a escala reducida.

Capítulo 1

Presentación y Generalidades

En la actualidad, el panorama agroalimentario, es uno de los sectores productivos con mayor crecimiento estable a nivel de Latinoamérica y a nivel Colombia. Principales países de la región, como lo son, Brasil, Ecuador y Chile, han obtenido grandes avances en producción acuícola en especies conocidas como salmón, trucha y camarones entre otros. Además de tener gran importancia como producción de alimento, la acuicultura conlleva a beneficios sociales principalmente generación de empleo entre todos sus eslabones en la cadena de producción, directa o indirectamente generando necesidad de mano de obra no necesariamente experta o especializada.

A nivel de cultivos acuícolas, podemos encontrar diversos sistemas, como es el ejemplo de sistema extensivo, semi-intensivo o intensivo:

- **Extensivo:**

Se caracteriza por un bajo nivel tecnológico e inversión, uso de grandes volúmenes de agua, baja producción por unidad de área, así como una mínima intervención humana

- **Semi-Intensivos:**

Estos sistemas funcionan con pocos recambios de agua y una densidad de organismos moderada por metro cúbico de agua, así como una media intervención humana

- **Intensivos:**

Este tipo de sistemas pueden mantener una gran capacidad de organismos en ellos, sin embargo es necesario de recambios de agua constantes, monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos (pH, CO₂, O₂, Alcalinidad, dureza, Amonio, Nitritos, Nitratos), y mucha intervención humana.

Dentro de estas unidades de cultivo existen distintos métodos para el mejoramiento de dicho cultivo acuícola, procurando bajar los costos de producción y sostenimiento, o ayudando a dar mayor provecho al recurso hídrico y espacio físico, entre esos encontramos Componentes de la Hidroponía, el sistema de recirculación de agua (SRA) y la acuaponia, los cuales tienen ciertas consideraciones:

¿Qué es la Acuaponia?

Es la integración de los sistemas de recirculación acuícola (SRA) con los sistemas hidropónicos, donde se obtienen productos acuícolas (peces, camarones, langostinos, etc.) y vegetales diversos (lechugas, chiles, tomates, etc.). El principio básico de la acuaponia radica en el aprovechamiento de la energía del sistema,

donde los desechos orgánicos producidos por el organismo acuático cultivado son metabolizados por bacterias, a través de un proceso de mineralización, en nutrientes disueltos (principalmente nitratos y fosfatos); los cuales sirven como fuente de alimento para las plantas, estas a su vez sirven como filtro de esas sustancias y retornan el agua al sistema.

¿Cómo funciona la acuaponia?

El ciclo de la acuaponia comienza con el suministro de alimento a los peces u otros organismos acuícolas, este alimento es digerido por los organismos acuícolas, posteriormente los desechos disueltos en el agua son canalizados a un biofiltro donde existen dos tipos principales de bacterias las del género *Nitrosomas* y las del género *Nitrobacter*, las primeras convierten el Nitrógeno Amónico Total (NAT= amonio y amoniac) en Nitritos, seguidamente las otras se encargan de metabolizar estos Nitritos a Nitratos, la principal fuente preferencial de nitrógeno de las plantas, este metabolito es aprovechado por los vegetales en cultivo y se retorna el agua ya limpia y reciclada a los cultivos acuícolas (Figura 2).

¿Cuál es la fórmula mágica de la acuaponia?

El principal fórmula para obtener un sistema acuaponico en optimo funcionamiento es hacer un balance de masa entre el alimento proporcionado a los peces (especie, tallas, estadio) y la cantidad de plantas a cultivar (especie, requerimientos, tiempo de cultivo, etc).

Ventajas de la acuaponia.

- El agua usada en el cultivo acuícola es recuperada por la planta en lugar de ser expulsada al ambiente (extiende el uso del agua).
- Los recambios son minimizados ya que las plantas absorben la mayor cantidad de los compuestos tóxicos para los peces.
- Al alimentar a los organismos diariamente se provee de nutrientes estables a la planta, eliminando el reajuste de nutrientes como se haría en un sistema hidropónico.
- Los SA requieren menos monitoreo en cuanto a calidad de agua.
- Produce alimento orgánico.
- Mayor eficiencia de producción que plantar en suelo.
- No es necesario usar fertilizante.
- Puede hacerse prácticamente en cualquier lugar.
- Se obtienen dos productos de un solo sistema; peces y vegetales/frutos.

- El agua usada en el cultivo acuícola es reciclada y recuperada por la planta en lugar de ser expulsada al ambiente (optimización del recurso hídrico).
- Los recambios y adición de agua son mínimos ya que las plantas absorben la mayor cantidad de los compuestos tóxicos para los peces.
- Al alimentar a los organismos diariamente se provee de nutrientes estables a la planta.
- Los sistemas acuapónicos requieren menos monitoreo en cuanto a calidad de agua.
- Se produce proteína animal y vegetal de manera ambientalmente amigable y orgánica.
- Mayor eficiencia de producción en relación área cultivo, altas densidades de peces y altas densidades de plantas.
- Puede hacerse prácticamente en cualquier lugar del mundo.
- Se obtienen dos productos de un solo sistema; peces/otros y vegetales/frutos.

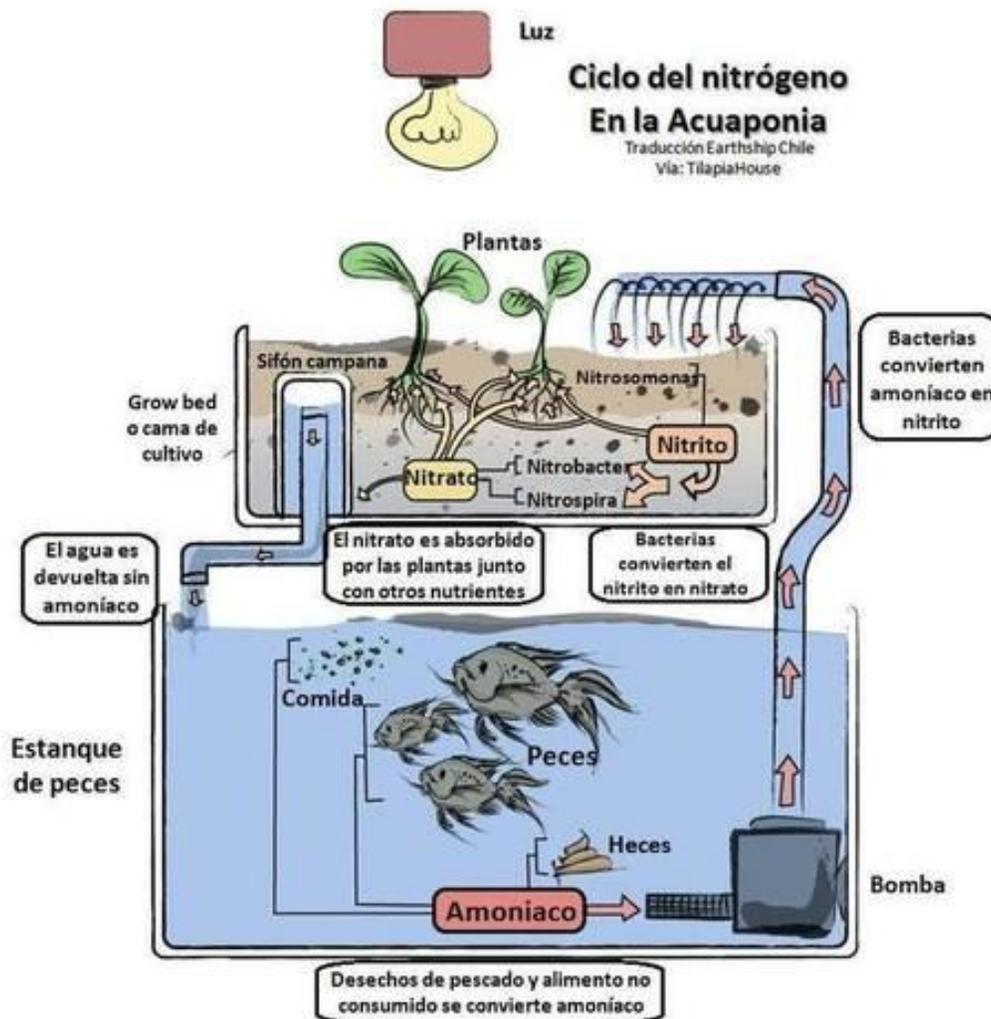


Figura 1. Sistema Acuapónico

El cultivo integrado de vegetales, no se trata de la simple unión de la acuicultura y la hidroponía, sino de la creación de un nuevo sistema de cultivo a partir de dos unidades

El principio fundamental que subyace detrás de la acuaponia, es la búsqueda de un sistema de cultivo que trabaje en ciclos a imitación de la naturaleza

También se le define como la integración de los sistemas de recirculación acuícola (SRA) con los sistemas hidropónicos, donde se obtienen organismos acuícolas (peces, camarones, langostinos, etc.) y vegetales diversos (lechugas, chiles, tomates, aromáticas, ornamentales, etc.). El principio básico de la acuaponia radica en el aprovechamiento de la energía del sistema, donde los desechos orgánicos producidos por el organismo acuático cultivado son metabolizados por bacterias, a través de un proceso de mineralización, en nutrientes disueltos (principalmente nitratos y fosfatos); los cuales sirven como fuente de alimento para las plantas

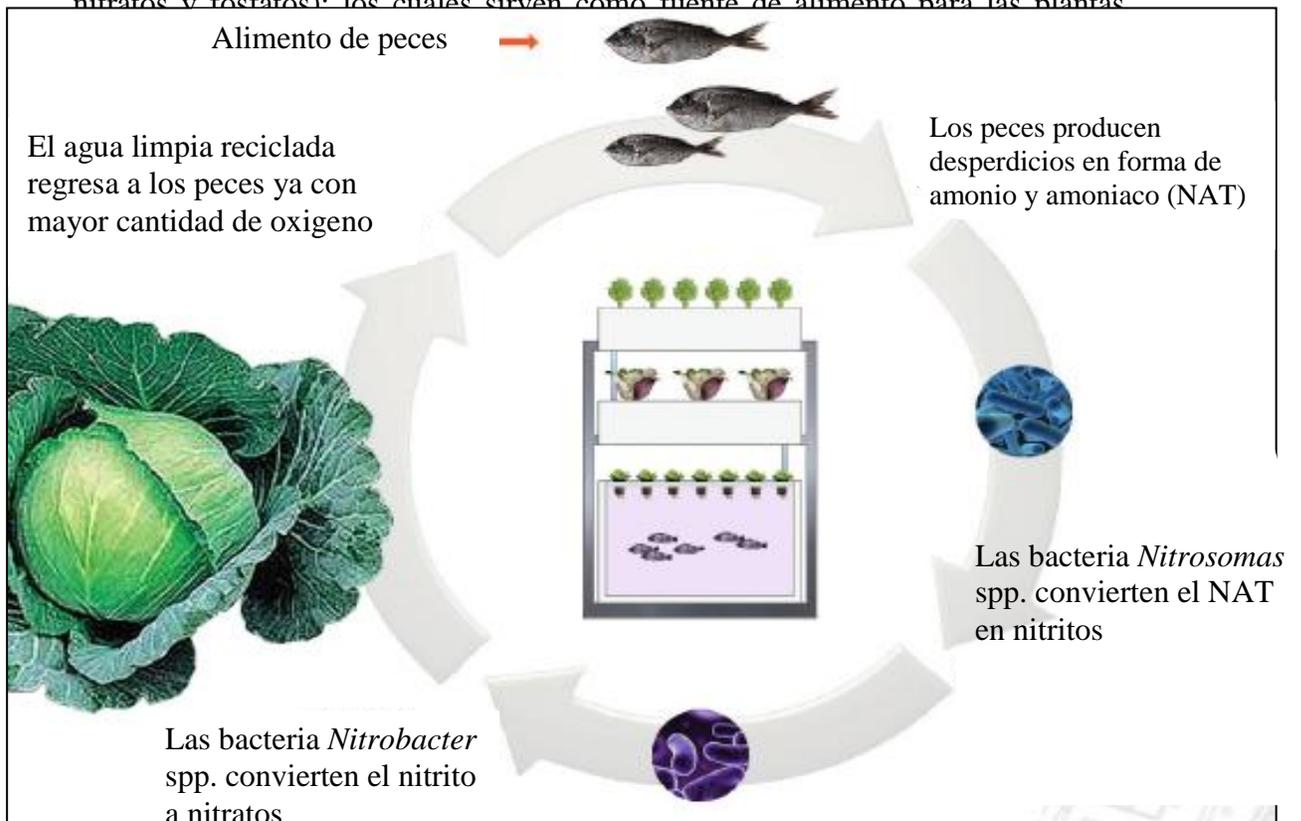


Figura 2. Esquetización de ciclo de la acuaponia, donde el inicio es aliemnto proporcionado a los peces, pasando por una metanolizacion bacteriana (bacterias del genero *Nitrosomas* y *nitrobacter* pricipalmente), donde elprodcuto final son los nitratos principal fuente nitrogenada de los vegetales, este es absorbido por lasplantas y retorna el agua al sistema limpia y reciclada.

Sistemas de Recirculación Acuícola (SRA)

Es un sistema donde el recambio de agua es menor al 10% del volumen total por día, donde por medio de operaciones unitarias básicas se lleva a cabo el reciclado y reacondicionamiento del agua, se tiene también que la reutilización del agua afecta variables fisicoquímicas (ya sea aumentando o disminuyendo su concentración) y conforme aumenta la reutilización del agua, el reacondicionamiento de la misma se vuelve más importante

Ventajas

- Uso racional y menor requerimiento en el recurso hídrico
- Importante reducción en el impacto ambiental
- Flexibilidad en cuanto a diversidad de clima
- Mantenimiento contante y enfocado a la calidad de agua
- Minimiza riesgos de enfermedades y depredación
- Producción a lo largo del año
- Habilidad para usar instalaciones existentes
- Mayor rendimiento por unidad de volumen (kg/m³ o lb/gal)

Desventajas

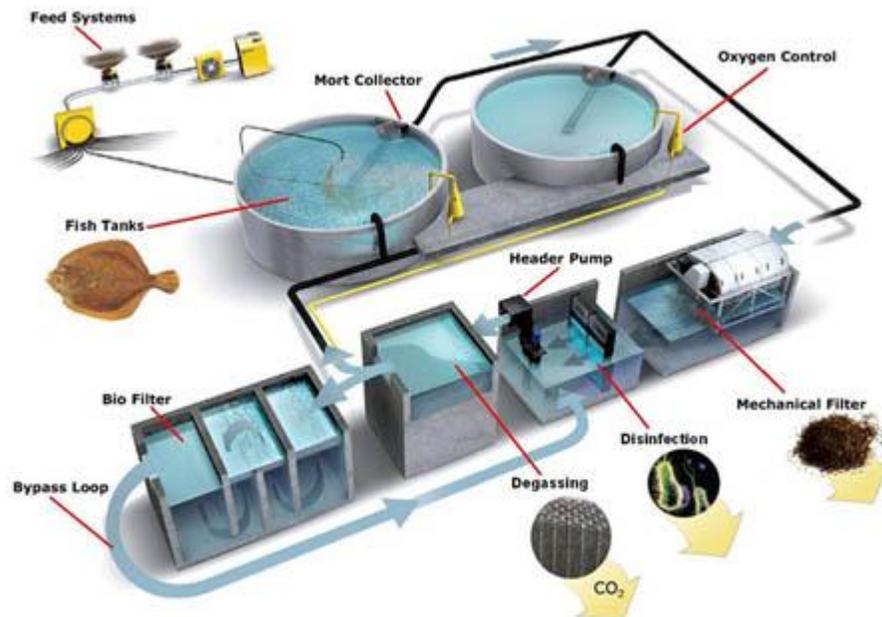
- Inversión inicial y gastos de operación
- Mayor nivel de complejidad
- Efectos crónicos sub-letales por exposición a amonio y dióxido de carbono
- Principal necesidad en la filtración del agua.

Componentes primarios

- Bombas centrifugas
- Tanques
- Filtros para sólidos
- Filtros biológicos
- Sistema de aireación/oxigenación
- Sistema de desgasificación
- Generador de emergencia

Componentes secundarios

- Luz ultravioleta
- Calentadores
- Enfriadores
- Equipo para alimentación
- Sistemas de amortiguamiento
- Sistemas de monitoreo



Componentes de un sistema de recirculación. Fuente Epic Aqua Cádiz SL

**Figura 3. Componentes de un sistema de recirculación de agua (SRA)
Componentes de la Hidroponía**

La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, hidrotón, entre muchas otras

Ventajas de la Hidroponía

- Eliminación de sales minerales
- Obtención de dos o más productos alimenticios
- Dos fuentes de ingresos
- Disminución de fertilizantes
- Optimización del recurso hídrico
- Reciclado y reacondicionado del agua
- Disminución de contaminantes

Con el paso de los años aparecen cada vez nuevos sistemas de cultivo o combinaciones de los existentes que mejoran aspectos técnicos, de control o de consumo. Esquemáticamente podemos dividir los tipos de sistemas entre los que recirculan la solución nutritiva y los que no lo hacen, así como aquellos que utilizan sustrato y los que por el contrario prescinden del sustrato. por ser estos los sistemas que de verdad reúnen las características positivas de la hidroponía y

aprovechan de la mejor forma las posibilidades de los cultivos. Muchos sistemas o cultivos es común el uso de sustratos, normalmente el sustrato tiene dos funciones básicas, proporcionar sostén a las plantas y ser un reservorio de solución nutritiva, agua y nutrientes.

Los sistemas comerciales más importantes con raíces en sólido, son variantes de los sistemas de irrigación por goteo clásicos, evolucionados o hibridados con sistemas hidropónicos sin sustrato, en los cuales se recupera la solución nutritiva.

En cuanto a los Sistemas con raíces en líquido, es aquí, desde nuestro punto de vista, donde hablamos de un sistema completamente cerrado, son sistemas donde la solución nutritiva recircula al 100%, fijaros que lo denominamos sistemas con raíces en líquido, pues son sistemas que en sus variantes admiten el uso o no de sustratos. Comercialmente se carece de sustrato por dos razones principales la primera económica, pues tanto el sustrato como su gestión de limpieza, desinfección etc. Implica costes, la segunda es que no hace falta, ni las mejoras que se puedan obtener lo justifican.

Tipos de sistemas hidropónicos

Sistemas de inundación y drenaje (Ebb and flow)

Consiste en situar las plantas en bandejas o mesas capaces de contener la solución nutritiva durante las operaciones de riego, las plantas están situadas en éstas mesas o balsas contenidas en macetas con sustrato, suelen utilizarse para éste método sustratos inertes como son la perlita, la arcilla expandida, guijarros de diferentes piedras como la pómez o la escoria volcánica, así como mezclas, también aunque menos común se usan sustratos orgánicos.

El sistema funciona de una forma muy sencilla, la solución nutritiva que se encuentra preparada en un depósito, es bombeada a la balsa donde se encuentran las plantas en sus contenedores, esta se inunda y las plantas entran en contacto con la solución nutritiva durante un espacio de tiempo suficiente para que la planta se nutra y el sustrato ejerza toda su capacidad de retención de líquidos, en otro intervalo, la solución nutritiva es drenada de nuevo al depósito principal hasta el siguiente ciclo de riego, el tiempo entre inundación y drenaje dependerá de la capacidad del sustrato de retener agua y nutrientes, normalmente se espera a que el sustrato esté seco hasta volver a regar.

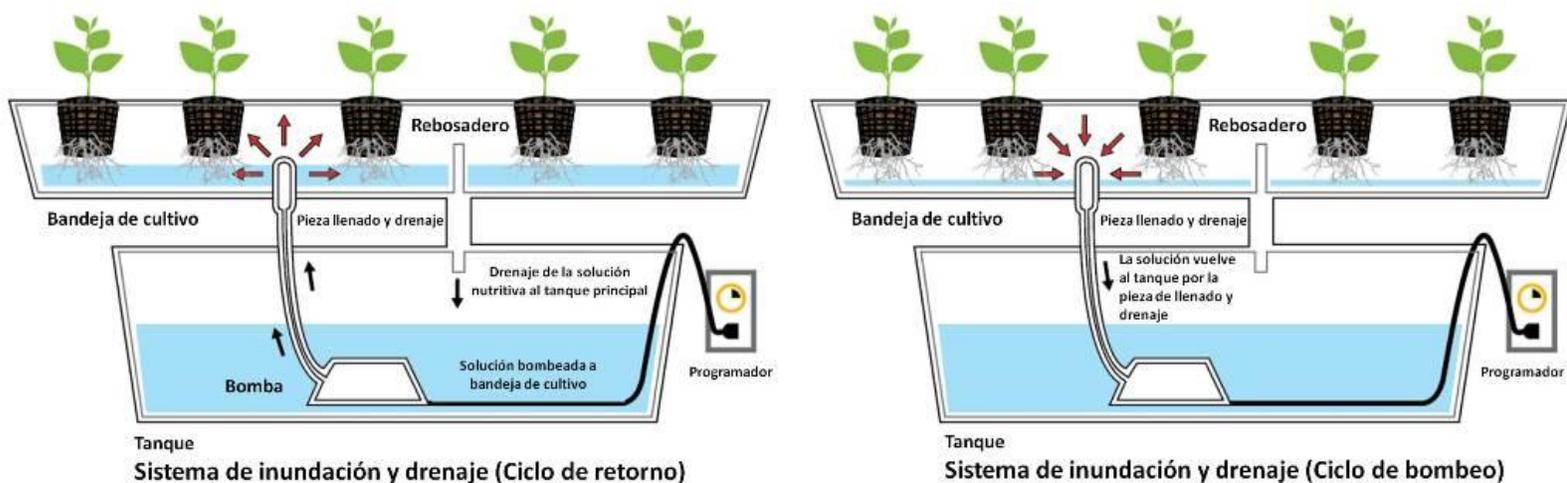


Figura 4. Ilustración de sistema hidropónico de inundación y drenaje con poco uso de sustrato.

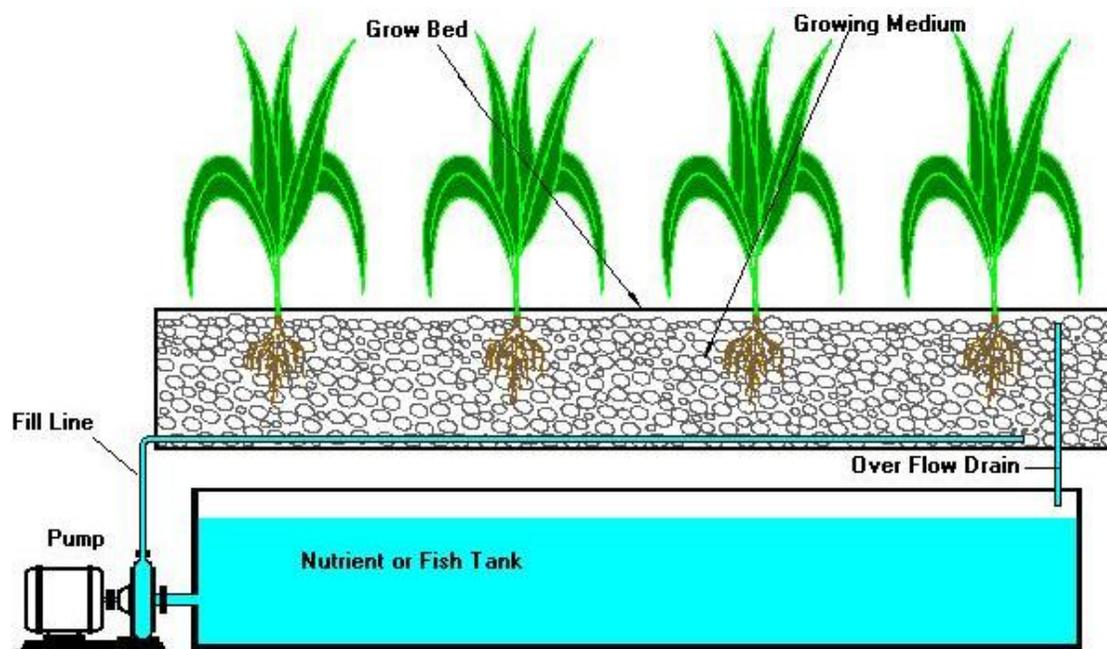


Figura 5. Ilustración de sistema hidropónico de inundación y drenaje con abundante sustrato (Camas de Medio)

Es un sistema muy sencillo y muy fácil de mantener y montar sin embargo no es muy eficiente, pues al secarse la solución nutritiva van quedando restos de nutrientes en forma de sales sobre el sustrato y periódicamente hay que lavar el sustrato con agua fresca que se desecha.

DWC (Deep Water Culture – Cultivo Inundable de Raíz Flotante)

Consisten en piscinas, que pueden estar en el suelo o elevadas con diferentes profundidades, sobre las que se sitúan planchas de poliespan. Sobre estas planchas se alojan las plantas con las raíces directamente sumergidas en la solución nutritiva contenida en las piscinas, se puede desarrollar desde en un barreño a espacios de grandes dimensiones. Es un sistema especialmente dedicado a la producción de vegetales de ciclo corto, es decir hortalizas de hoja.



Figura 6. Ilustración de cultivo de raíz flotante sin uso de sustrato.

Funciona de forma muy sencilla, pues la solución está contenida en la piscina y en los sistemas más sencillos no se bombea a un depósito general, en el sistema DWC es imprescindible oxigenar la solución nutritiva, en sistemas pequeños valdrá una pequeña bomba de acuario con un difusor. Sin embargo, en los sistemas comerciales necesitarás una bomba sopladora y tuberías perforadas que oxigenen la solución nutritiva de los tanques de forma regular. También en los sistemas comerciales, normalmente se utiliza un tanque general, que por el volumen de solución contenida en las piscinas de cultivo deberá contar con un tamaño importante, lo que implicará grandes cantidades de fertilizante y grandes volúmenes que habremos de bombear, con su consiguiente gasto energético.

Existen muchas variantes de este sistema, más o menos complejas, también existen diferentes configuraciones del sistema dependiendo de las plantas que vayamos a cultivar, el presupuesto y la tecnificación del mismo. La profundidad de los depósitos o piscinas, dependerán del cultivo, y dentro del cultivo la variedad que elijamos yendo desde los 12 cm. (mínimo para la lechuga), pasando por los 16 cm. (para el perejil) hasta los 25 cm. (acelgas). La profundidad de los depósitos y su largo nos dará el volumen de solución nutritiva que tendremos que preparar y manejar, se suele utilizar valores de EC más bajos en este sistema que en los sistemas de sustrato e incluso que en el propio NFT.

Capítulo 2

Peces y Plantas

Las especies que pueden ser cultivadas en sistemas acuapónicos, son variadas. No obstante, la combinación de ambas (peces y plantas) deberán ser seleccionadas con atención a la hora de realizar la operación. Debe considerarse que las dos especies

tengan requerimientos similares en cuanto a temperatura y pH, ya que así se lograrán los mejores resultados. Siempre habrá algún compromiso para con cualquiera de las especies, y esto se debe a que la mayoría de las plantas prefieren un pH entre 5.5 y 6.5, mientras que los peces prefieren un pH de entre 6.5-7.5 dependiendo de la especie a utilizar.

Se han realizado pruebas de cultivo con varias especies de peces en sistemas acuapónicos: Pacú; Murray Cod; Randiá; Channel catfish; Tilapia; Large mouthbass; Sunfish; Carpa koi; Carpa común y peces ornamentales (guppies, espadas, carassius, pez ángel, mollies, etc.).

Lo propio se ha hecho para plantas, habiéndose probado ya, en forma práctica todo tipo de plantas: hortalizas (lechuga, acelga, radicheta, rúcula, perejil, escarola, espinaca, etc.); vegetales varios (tomate, pimientos, melón, coliflor, brócoli, arvejas, zanahoria, cebolla, etc.); hierbas aromáticas (Menta, albahaca, cilantro, orégano, etc.); plantas acuáticas (loto, lemna, elodea, vallisneria, etc.) y ornamentales (helechos, florales, etc.).

Para la elección de los vegetales a cultivar, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor demanda nutricional necesite una planta (como por ejemplo, las plantas frutales), los sistemas deberán mantener una mayor carga de peces que generen nutrientes suficientes. También es importante para estos cultivos de gran demanda nutricional, utilizar sistemas que se encuentren maduros, esto significa, sistemas que lleven funcionando más de 6 meses, preferentemente, un año. Un sistema maduro podrá generar mejor calidad de nutrientes y de una forma más estable.

Regla general

Como regla general para la relación peces y plantas en un SRA y acuaponia se debe considerar lo siguiente, en base a un estándar para la producción de plantas por tonelada de un pez de agua dulce en este caso la tilapia

- Planta de hoja 15,000 bimensual (60m²)/ tonelada de tilapia
- Planta ornamental 13,000 cuatrimestrales (150-300m²)/ tonelada de tilapia
- Planta de fruto 10,000 anuales (200-400m²)/tonelada de tilapia

Peces

¿Cuántos peces?

Este cuestionamiento es fundamental pues la cantidad de peces está en función de la capacidad de carga del sistema que se mide en kilogramo pez por metro cubico de agua.

En las siguientes se mostrara un claro ejemplo de ello.

Tanques: Cultivo de tilapia a 30kg/m³, cultivada a hasta 500gr en un periodo de 6 meses

	4m diámetro por 1.1m altura del agua	13.82 m ³
	3m ancho por 10m largo diámetro por 1.1m altura del agua	33 m ³
	2m ancho por 6m largo, 1m radio y 1.1m altura del agua	15.71 m ³

Figura 7. Tipos de tanques y su capacidad en metros cúbicos

	13.82 m ³	414.6 kg/m ³	829 peces
	33 m ³	990 kg/m ³	1980 peces
	15.71 m ³	471.3 kg/m ³	942 peces

Figura 8. Tipos de tanques, con su capacidad en metros cúbicos y su capacidad de peces.

Ejemplo con enfoque comercial

1. Tanque de 12 metros de diámetro un metro de profundidad de agua
2. Volumen de 113 m³
3. Densidad final de cultivo 20 kg/m³
4. Total peces = 2260 kg
5. Si la premisa afirma que a por cada tonelada de peces (tilapia) puedo producir 15,000 cabezas de lechugas bimensuales.

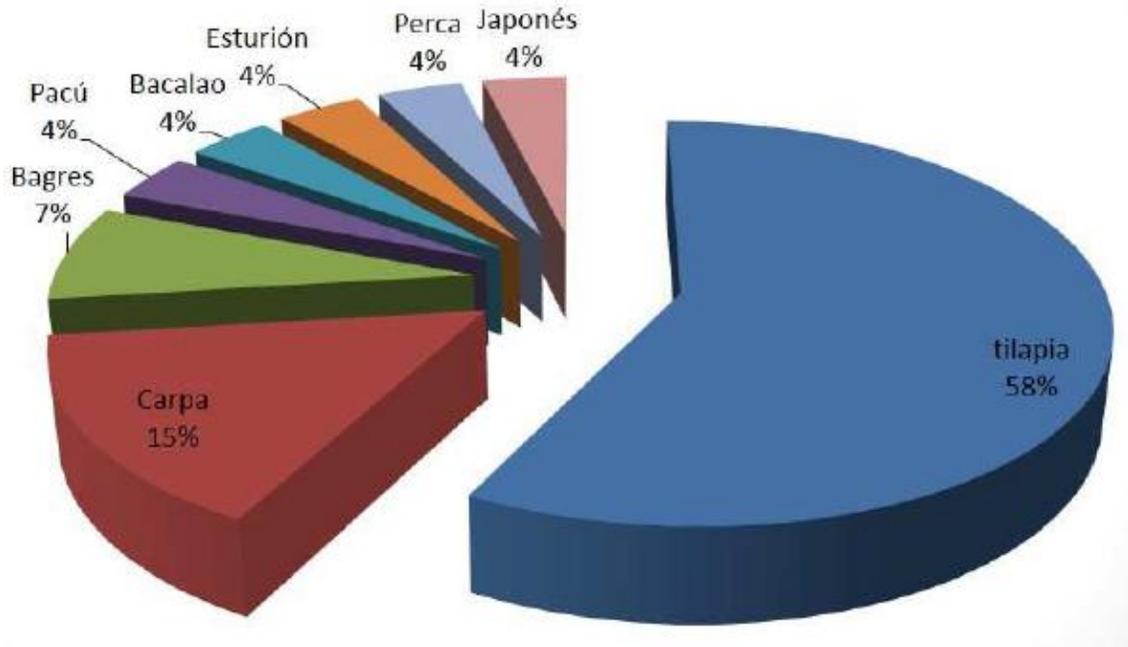


Figura 9. Grafica porcentual de distintos peces usados en los cultivos acuapónicos.

¿Qué peces se pueden usar?

Los cultivos acuapónicos tienen una gran versatilidad con respecto a de los peces que se puedan tener para obtener provecho de ello, en las siguientes ilustraciones se dará una detallada información sobre los peces predilectos para el uso en estos cultivos y también dependiendo el tipo de agua que se vaya a usar en el sistema de recirculación elegir el tipo de pez.



Tilapia



Pacú



Bacalao



Esturión

Figura 10. Imágenes de peces usados en cultivos acuapónicos.



Perca



Bagre



Pez japonés

Figura 11. Imágenes de peces usados en cultivos acuapónicos.

Como se puede observar en la Figura 11, se da una clara guía de cuales peces se puede usar dependiendo el agua (dulce, salada) y temperatura que se determine para el sistema de recirculación, dichos resultados son aplicados en la tabla de la Figura 12.

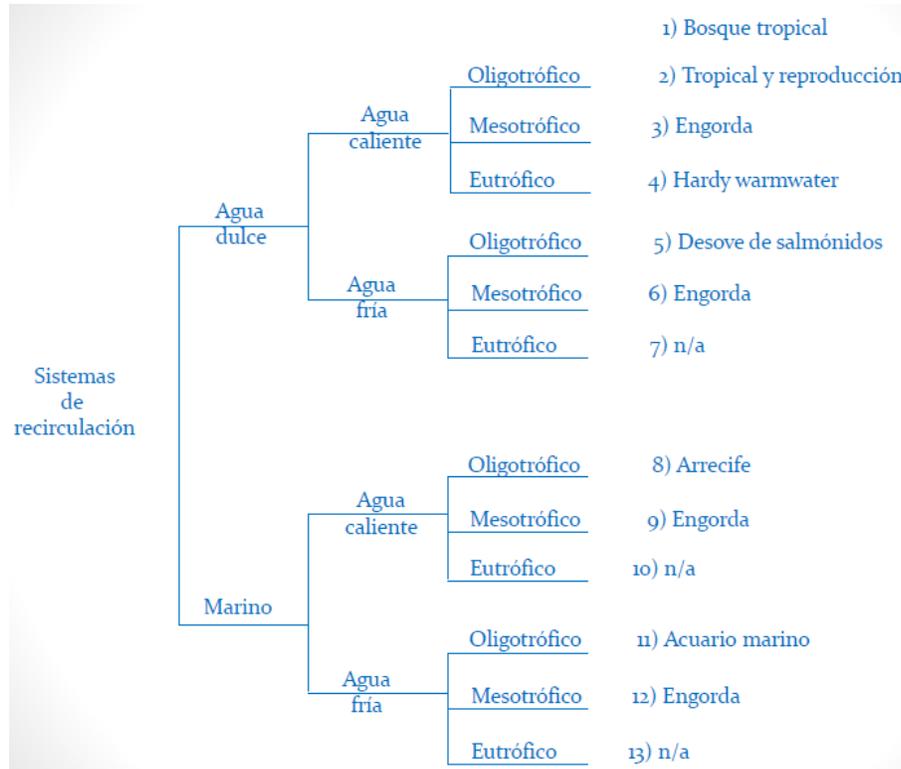


Figura 12. Diagrama de árbol para peces usados en el sistema de recirculación.

Clase	Clasificación	Aplicaciones respectivas
1	Bosque tropical	Discus
2	Tropical y reproducción	Acuarios, reproductores de corvina rallada híbrida
3	Engorda	Ornamentales tropicales, Tilapia, Bagre, Corvina rallada híbrida, Koi
4	Hardy warmwater	Carpa, Tilapia, Anguilas, Tortugas, Cocodrilos
5	Desove de salmónidos	Reproductores de trucha
6	Engorda	Trucha, Salmón
7	Marine reef	Sistemas para concha blanda, maduración de camarón, Cianidos
8	Engorda	Cianidos, lenguado
9	Acuario marino	Reproductores de salmón
10	Engorda	Salmón, langosta

Figura 13. Tabla de clasificación y aplicación de peces para el sistema de recirculación y cultivos acuapónicos.

Plantas

En los sistemas acuapónicos es común dividir a las plantas en tres tipos:

- Plantas de hoja y aromáticas
- Plantas de ornamentales
- Plantas de fruto

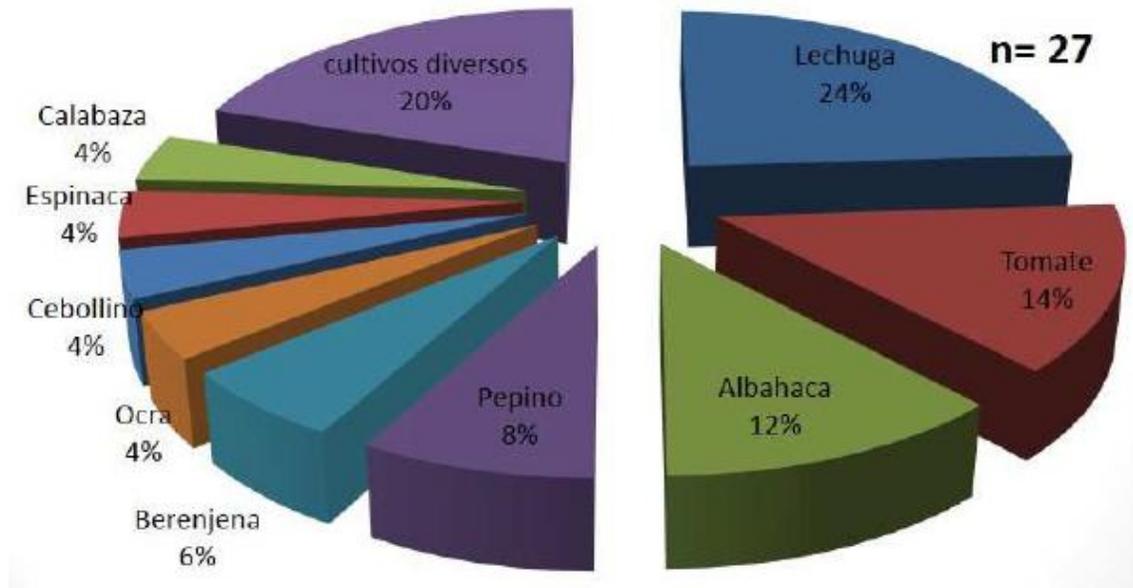


Figura 14. Grafica porcentual de las diferentes plantas de cultivo aptas para la acuaponia.

Plantas de hoja y aromáticas

Como por ejemplo hortaliza de hoja verde, perejil, albahaca y cebollino

- Plantas de ciclo corto de 2 a 4 meses donde lo que se aprovecha en la mayoría de los casos son las hojas para consumo

Plantas de ornamentales

Como por ejemplo Elodea, Cinta y Moneda

- Plantas de ciclo corto/medio de 3 a 5 meses donde lo que se aprovecha son las flores

Plantas de fruto

Como por ejemplo son los tomates, pepinos, ajís y pimentón.

- Plantas de ciclo largo de 4 a 12 meses donde lo que se aprovecha en la mayoría de los casos son los frutos para consumo
- Tres etapas: vegetativa, floración y frutos



Albahaca



Pepino



Lechuga



Tomate

Figura 15. Imágenes de especies de plantas cultivables en acuaponia.



Espinaca



Oca



Berros



Berenjena

Figura 16. Imágenes de especies de plantas cultivables en acuaponia.

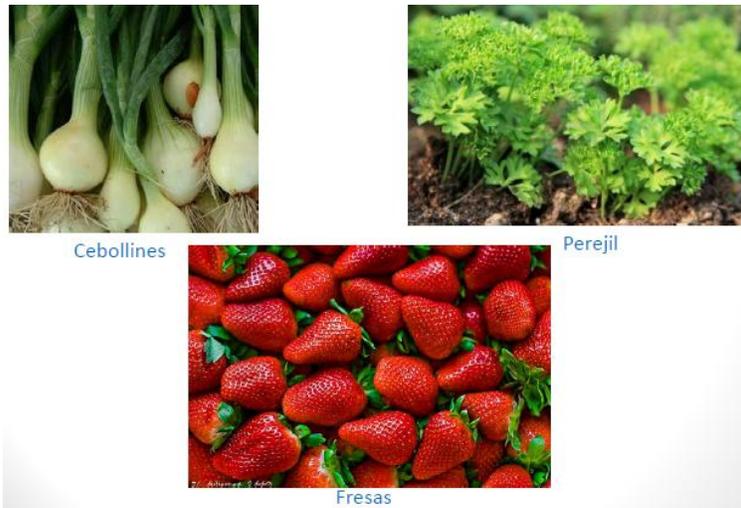


Figura 17. Imágenes de especies de plantas cultivables en acuaponia.

Capítulo 3

Filtros y Aireación

Biofiltro

El biofiltro es un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, paja, pasto, madera, turba, esponjas o bio-bolas. El efluente (que puede ser aguas servidas o residuos líquidos orgánicos), es rociado en la superficie del Biofiltro y escurre por el medio filtrante que ofrece una considerable superficie, quedando retenida la materia orgánica, la cual es consumida por la actividad microbológica, oxidándola y degradándola.

Alberga las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) que convierten el amonio (molécula presente en las excretas de los peces) en nitrito y luego este en nitrato. El amonio y el nitrito son perjudiciales para los peces y en altas concentraciones pueden producir la muerte, pero el nitrato es menos tóxico para los peces y más aprovechable para las plantas.

Es un componente opcional en aquellos sistemas acuapónicos que usan camas con sustratos sólidos, pero resulta indispensables para los sistemas de raíz flotante o los de solución nutritiva recirculante (N.F.T.).

En las camas con sustrato sólido las bacterias se adhieren al sustrato, cuanto más poroso es el sustrato mejor es la biomasa y el desempeño de las bacterias. Los sistemas de raíz flotante o de solución nutritiva recirculante no ofrecen suficiente superficie para el desarrollo de las bacterias, por lo tanto, es necesario suplir este faltante de superficie con un biofiltro.



Figura 17. Diagrama de árbol sobre biofiltros y sus diferentes tipos.

El medio o sustrato debe ser no tóxico para las bacterias y es usado para que estas se fijen y puede ser:

- Arena
- Grava
- Plástico
- Conchas
- Vidrio
- Hule espuma

Biofiltro Percolante:

Filtros percoladores consisten normalmente en un embalaje o los medios de comunicación contenida en un recipiente. El agua residual fluye hacia abajo por sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida. La superficie de los medios de comunicación o de embalaje proporciona el sustrato para el crecimiento de una biopelícula. En algunos sistemas, el aire es forzado en el filtro con un ventilador. Sin embargo, la mayoría de los filtros se basan en la convección natural y la difusión para mover el aire a través del filtro. Los filtros percoladores han sido ampliamente utilizados en acuicultura, porque son fáciles de construir y operar, son autoaireantes, muy efectivos para desgasificar dióxido de carbono. Pero hoy en día la mayoría de los

filtros usan un medio plástico, por su bajo peso, área específica y alta fracción de hueco. Estos no han sido utilizados en sistemas de agua fría de gran escala, probablemente a las bajas tasas de des nitrificación a esas temperaturas y la relativamente baja superficie específica del soporte. Los FILTROS PERCOLANTES tienen la capacidad para tratar una amplia variedad de niveles de nutrientes. Sistemas diseñados adecuadamente pueden manejar muy bien los sólidos. Una de las grandes ventajas de un filtro percolador es que el agua puede salir con más oxígeno de lo que entró. Debido a que los filtros percoladores tienen un gran - interfaz aire-agua, que también actúan como separadores para eliminar el CO₂, H₂S, N₂ u otros gases volátiles indeseables. El único inconveniente importante para filtros percoladores es el costo de la energía necesaria para bombear el agua a la parte superior del filtro

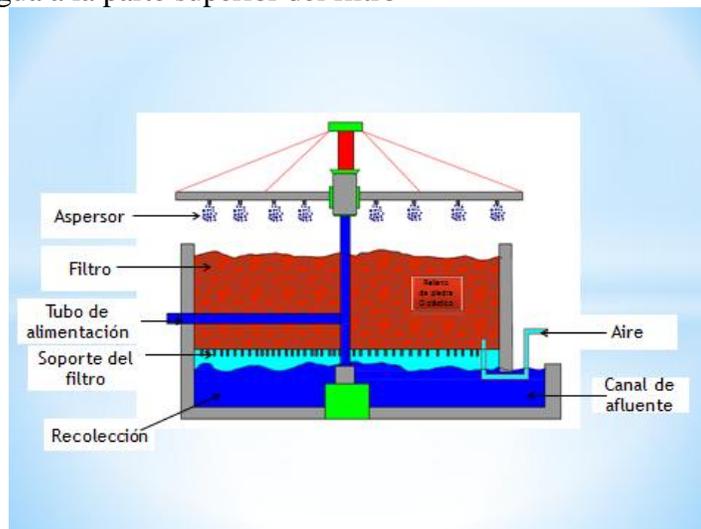


Figura 18. Ilustración de Filtro Percolador Biofiltro Sumergido:

Consiste en un lecho de medio de soporte sobre el cual se desarrollan las bacterias nitrificantes, a través de la cual pasa el agua residual. Este está ubicado fuera de los estanques y es llenado con un sustrato generalmente rocoso. Los sólidos se pueden acumular dentro del filtro sumergido, junto con la masa celular producto del crecimiento de bacterias nitrificantes y heterotróficas, este proceso puede eventualmente bloquear los espacios vacíos, y entonces, en una operación a largo plazo, debe usarse algún mecanismo para desaguar los sólidos del filtro. Tradicionalmente se usan medios de gran tamaño, como roca partida uniformemente por sobre los 5cm de diámetro o de plástico por sobre los 2.5cm de diámetro, para proveer grandes espacios vacíos para prevenir el atascamiento. El agua residual corre a través del sustrato donde las bacterias comienzan a romper y a oxidar los productos de desecho y convertirlos en simples productos inorgánicos. El flujo puede ser desde la superficie hacia abajo, desde el fondo a la superficie o también en sentido horizontal. Los inconvenientes de este tipo de filtros incluyen

problemas de bajo OD y acumulación de sólidos, por estar muy recargados de materia orgánica y de la dificultad de retro-enjuague.

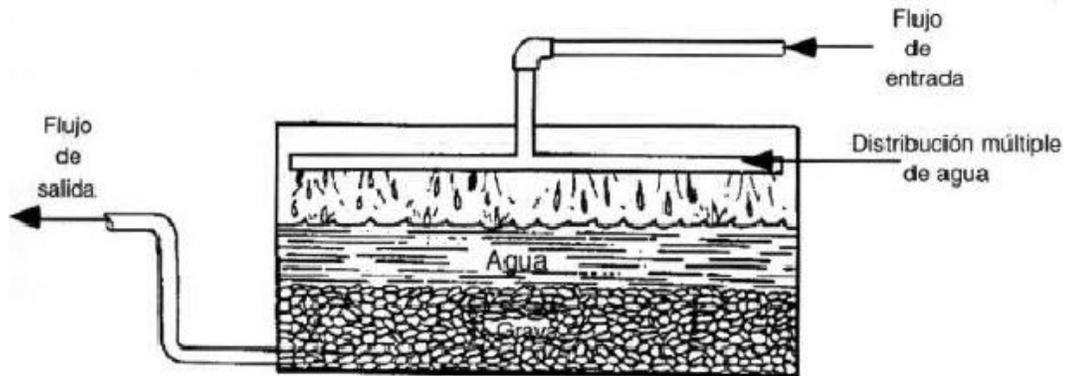


Figura 18. Esquema de un filtro sumergido

Biofiltro de Cama Fluidizada:

El agua es bombeada a través de un lecho de arena, “fluidización” los medios de la arena y el suministro de agua tienen un excelente contacto con los medios de comunicación. Biofiltros de lecho fluidizado prácticamente eliminan la necesidad de espacio vacío interno, lo que permite que puedan preparar una gran cantidad de superficie en un espacio pequeño. El filtro de lecho fluidizado asegura que el flujo de agua se expanda por la arena para que las partículas presenten una mayor superficie de contacto como sustrato de las bacterias y efectuar una filtración biológica más eficiente. Su ventaja principal es que su medio de soporte tiene una superficie específica muy alta, normalmente de arena calibrada o gránulos de plástico muy pequeños. El biofiltro de lecho fluidizado es de fácil escalamiento a tamaños mayores, y su costo por unidad de tratamiento es bajo (Summerfelt y Wade, 1998, Timmons et al., 2000). Las principales desventajas de los biofiltros de lecho fluidizado son su alto costo de bombeo de agua y el que no tienen capacidad de intercambio gaseoso como el de las torres de percolación y CBR. Otras desventajas son que pueden ser más difíciles de operar y tener serios problemas de mantenimiento, normalmente asociados a un pobre control de los sólidos suspendidos y el ensuciamiento biológico. El lecho se fluidiza cuando la velocidad del agua a través de la cama es suficiente para suspender el soporte en la corriente, produciendo la expansión de su volumen. La turbulencia resultante mejora las velocidades de transferencia de masa de oxígeno, amoníaco y nítrico hacia y desde la biopelícula adosada al soporte sólido, también remueve el exceso de biomasa sobre las partículas fluidizadas. El resultado es una alta capacidad de nitrificación, pero un alto gasto energético típico de esta tecnología.

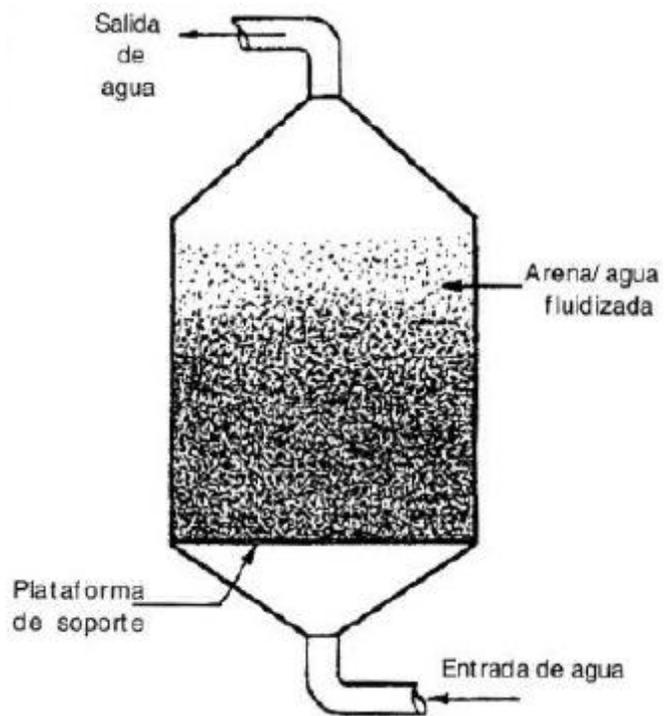


Figura 19. Esquema de un biofiltro de lecho fluidizado

Capítulo 4

Descripción Prototipo de Microsistema de Cultivo Acuapónico

Mediante la recopilación de información y aplicando la teoría sobre sistema de recirculación acuícola, hidroponía, y acuaponía, se decidió construir un prototipo de un microsistema de cultivo acuapónico automatizado tomando en cuenta

diversos factores como lo es el tipo de construcción a realizar, filtros y biofiltros, tipo de sistemas hidropónicos que en este caso es una combinación entre cama de grava o sustrato y raíz flotante o DWC.

Durante todo el desarrollo del proyecto una necesidad de este fue hacerlo de fácil construcción y mantenimiento, desarrollarlo de manera que la aplicación que iba a tener a nivel micro supliera parte de la principal necesidad de que fuese sustentable para poder aplicar el principio de “la seguridad alimentaria”, teniendo en cuenta que puede ser usada como una huerta para que requiere muy poco espacio, muy poca agua, a la cual se le puede obtener como mínimo dos productos consumibles, donde se produce lo más básico, tomate, lechuga, cebolla, hortalizas y plantas aromáticas, teniendo en cuenta los sistemas hidropónicos a usar, para la aplicación en raíces flotantes se eligió como cultivo la lechuga, apio, albahaca, menta y alcachofa, plantas que son consideradas pequeñas, lo que brinda facilidad de sostenimiento en dicho sistema hidropónico, para la sección de cama de grava, o plantas que requieran sustrato se eligió ají, tomate y pimentón pues son de fácil mantenimiento y de consumo cotidiano. En cuanto a los organismos de cultivo, se eligió para el cultivo acuícola el pez de ornamentación japonés o carpa, A continuación se hará una breve descripción de las fases y partes del prototipo.

Fase de inicio

Durante esta fase se desarrollaron las siguientes actividades: Recopilación de información relevante y pertinente de los SRA, investigación sobre los mecanismos de monitoreo, control y automatización, así como los sensores existentes en el mercado aplicable a los propósitos del proyecto, consulta de normatividad vigente en materia de protección del medio ambiente a fin con los SRA, apoyados por las fuentes de consulta de la Universidad de los Llanos, consulta a proveedores del hardware de adquisición de datos que permita un mejor procesamiento de información en el sistema.

Fase de Diseño

Esta fase se implementó con los siguientes componentes: Diseño estructural y operativo del prototipo de cultivo acuapónico a escala de laboratorio, el diseño del sistema de recirculación de agua junto con la arquitectura del filtro a utilizar, diseño de los automatismos y etapa de control de los procesos de recirculación y filtrado, las actividades se dedicaron a los siguientes aspectos: definición de las características y dimensiones del prototipo de cultivo acuapónico, estudio de las opciones en materia de lenguajes de programación tendientes a definir la interfaz para monitorear las variables del cultivo, identificación de las bombas de agua existentes en el mercado para determinar de manera detallada y argumentada su sistema de inmersión junto con sus condiciones nominales de funcionamiento, configuración de las etapas de control requeridas y definición de sus

características, desarrollo del programa con el cual se automatizó el SRA y filtrado de los sólidos de la materia orgánica.

Fase de Construcción

En esta fase se integraron las estructuras y los sistemas diseñados, que se probaron permanentemente y de manera simultánea a través de las siguientes actividades: construcción del prototipo según las características establecidas en el diseño, instalación y montaje de la instrumentación según sus especificaciones, implementación de las tarjetas de adquisición de datos al PC, montaje del sistema de automatización y control, implementación del sistema de monitoreo versátil para el usuario, implementación de una etapa de cultivo en el prototipo de cultivo acuapónico a escala de laboratorio, para generar la materia orgánica con sólidos.

Partes del Prototipo

La arquitectura del prototipo implementado está conformada por una estructura física utilizada para albergar el cultivo de peces y las plantas, el componente hardware está constituido por tres tarjetas electrónicas, dedicadas a la lectura y procesamiento de los sensores de temperatura, caudal amonio y pH y una tarjeta para la transmisión de los datos a la nube donde se almacenarán y podrán ser monitoreados de manera permanente desde la web.

Estructura del Cultivo

En la Figura 1 se muestra el prototipo de cultivo acuapónico implementado para el proyecto, está conformado por una estructura física que contiene tanto el estanque de los peces como las camas de siembra, el método de siembra utilizado para las plantas es del tipo camas flotantes.

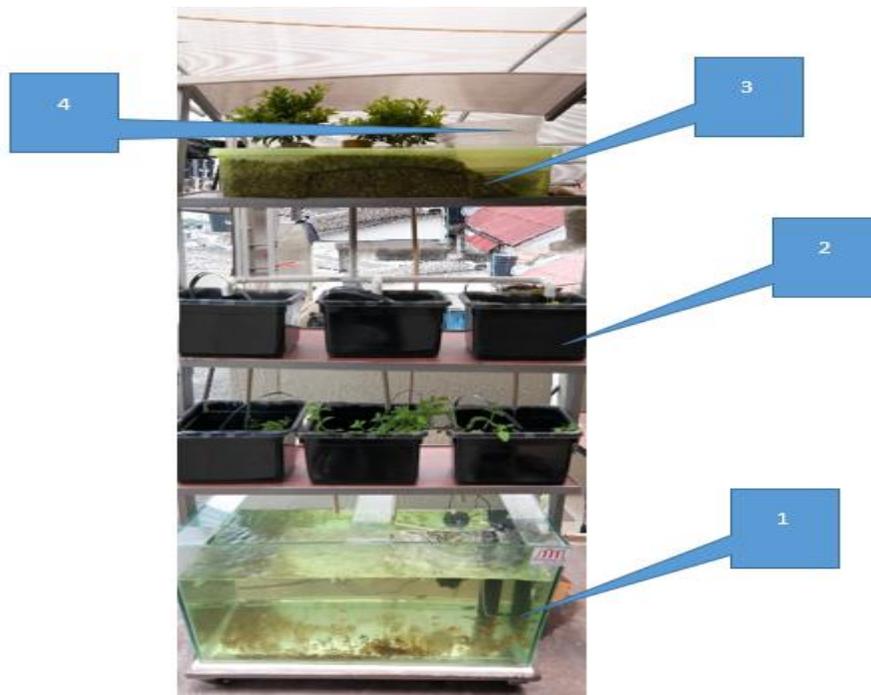


Figura 20. Estructura con partes implementadas: Tanque de peces(1) , sistema de raices flotantes (2), cama de grava (3) y biofiltro de bacterias nitrificantes (4).

Sección de Cama de Gravilla

La sección superior de la estructura contiene la cama de gravilla Figura 1(4) y el biofiltro para los sólidos Figura 1(3), en esta sección se trasplantan las plantas con estado germinación más avanzado, allí quedan almacenados los sólidos y las bacterias nitrificantes del cultivo. Esta sección también suministra el agua a las secciones inferiores a través de las descargas de un sifón tipo campana dispuesto para tal fin. Su estructura se ilustra en la Figura 2.





Figura 21. Estructura del sifón tipo campana y disposición en la cama de gravilla.: partes del sifón campana (1) , forma de instalar el sifón campana (2), conexión del desagüe del sifon campana a la sección 2 (3).

El funcionamiento del sifón campana obedece al principio del tubo de Venturi, en él se crea un vacío una vez el nivel del agua del tanque alcanza su altura máxima, en dicho instante empieza a vaciarse a la sección inferior en tres caudales iguales a través del desagüe dispuesto para ello Figura 2(3), una vez desaguado el sifón se sella y empieza a llenarse el tanque nuevamente, continua realizando este ciclo, su velocidad dependerá del caudal fijado para la bomba de suministro desde el estanque de peces a la cama de grava.

Sección de Camas Flotantes

Contiene las plantas en etapa menos avanzada de germinación Figura 1(2), con el fin de tener unas raíces más fuertes cada día. Tomarán los nutrientes del agua proveniente de la sección superior suministrada por las descargas permanentes del sifón tipo campana, en la Figura 3 podemos observar a detalle su disposición en la estructura. Las camas se inundaran y se vaciarán a medida que el agua llegue de una sección superior y se desagüe por una sección inferior respectivamente.



Figura 22. Disposición de las camas flotantes en la estructura del cultivo acuapónico.

Fuente: Autor del proyecto

Estanque de Peces

Ubicado en la última sección descendente, construido en vidrio, de dimensiones 1 metro X 0.7 metro X 1 metro, es el hábitat de la especie de pez a cultivar, allí comen y defecan, estos residuos forman la materia orgánica del cultivo, la cual será transformada en alimento para las plantas, previo a un proceso de nitrificación.



Figura 23. Disposición del tanque de los peces en el prototipo.

Fuente: Autor del proyecto



**Figura 24. Imágenes a tamaño completo del prototipo.
Fuente: Autor del proyecto**

Referencias Bibliográficas

- Ambiente, M. d. (1993). Manejo de recursos renovables. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- BARRIGA.M. (2010). Agricultura Urbana en Bogotá. Bogotá, Colombia.
- Brinker A, R. R. (2005). Factors determining the size of suspended solids in flow-through fish farm. *Aqua cultura l Engineering*, 33: 1-19.
- Brister, D. (2010). Organic aquaculture : moving toward national standards. *World Acuaqulture*, 32: 51-52.
- FAO. (2014). The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges. Roma, Italia.
- Gilbert, B. (2010). Acuicultura 1. Barcelona, España: Ediciones Omega, SA.
- Hopkins J, H. R. (1993). Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets os intensive shrimp ponds. *World acuaqult* , 304-320.
- Instruments, N. (15 de Marzo de 2012). Dispositivos inteligentes. Obtenido de <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5935>
- L.M.P. Valente, F. L.-B. (2011). Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilisation or flesh fatty acids composition of market-sized Senegalese sole. *Aquaculture*, 318 (1–2) , 128–137.
- Universidad Militar Nueva Granada. (Vol I 2008). Acuaponia una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista de la facultad de ciencias básicas*, 32-51.
- ONU. (23 de Noviembre de 2014). Declaración universal de los derechos del agua. New York, Estados Unidos.
- Plan de desarrollo departamento del Meta. (2012-2015). Estrategias y programas para el fomento de la producción alimentaria de economía campesina, competitiva, sostenible, con ecosello y que facilite la realización de negocios verdes y el acceso a mercados especializados con enfoque de género e inclusión. Villavicencio, Meta, Colombia.

R.V. Tyson, D. T. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponics. *Hort Technol*, 6-13.

Rakocy J, B. D. (2003). Initial economic analysis of aquaponic systems . *European Aquaculture Society*, 33: 58-64.

rijin, J. v. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*.

Seok K, L. S. (1995). Water quality in annually drained and indrained channel catfish ponds over a three year period. *Progr Fish Culturist*, 52-58.

Teichert- Coddington D, R. D. (2010). Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering*, 19: 147-161.

Timmons M.B., E. J. (2012). *Sistemas de Recirculación para la Acuicultura*. Santiago Chile: Fundación Chile

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

AUTORIZACIÓN

Yo **ÓSCAR IVÁN RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ** mayor de edad, vecino de Villavicencio, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1 121 886 403 de Villavicencio (Meta), actuando en nombre propio en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MICROSISTEMA DE CULTIVO ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO**, hago entrega del ejemplar y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a la **UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, con la finalidad de que se utilice y use en todas sus formas, realice la reproducción, comunicación pública, edición y distribución, en formato impreso y digital, o formato conocido o por conocer de manera total y parcial de mi trabajo de grado o tesis.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, Como autor, manifiesto que el trabajo de grado o tesis objeto de la presente autorización, es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros; por tanto, la obra es de mi exclusiva autoría y poseo la titularidad sobre la misma; en caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, como autor, asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados, para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia, se firma el presente documento en dos (2) ejemplares del mismo valor y tenor en Villavicencio - Meta, a los 21 días del mes de Noviembre de dos mil dieciséis (2016-11-21).

EL AUTOR – ESTUDIANTE

Firma

Nombre: OSCAR IVAN RODRIGUEZ GUTIERREZ

Villavicencio

C.C. No. 1 121 886 403 de (Meta)