

**Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad  
de Agricultura Orgánica, Zamorano,  
Honduras**

**Daniel Mauricio Coral Carrillo**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO  
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA

# **Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
por el título de Ingeniero en Ciencia y Producción Agropecuaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Daniel Mauricio Coral Carrillo**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2015

# **Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras**

Presentado por:

Daniel Mauricio Coral Carrillo

Aprobado:

---

Alejandra Sierra, M.Sc.  
Asesor Principal

---

John Jairo Hincapie DMV, Ph.D.  
Director  
Departamento de Ciencia y  
Producción Agropecuaria

---

Patricio Paz, Ph.D.  
Asesor

---

Raul H. Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

---

Ing. Dafne Serrano  
Asesor

## **Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras.**

**Daniel Mauricio Coral Carrillo**

**Resumen:** La acuaponía es un sistema en el cual se combina la hidroponía con la acuicultura buscando aprovechar de mejor manera los recursos. El objetivo del estudio fue diseñar un sistema acuapónico para ser implementado en el módulo de Agricultura Orgánica de Zamorano. La unidad cuenta con un estanque de 5 m × 1 m, que se recomienda sea recubierto con una geomembrana HDPE de 1.5 mm. El estanque tiene una capacidad de 20 m<sup>3</sup>, y permitirá la producción de 200 tilapias. Se diseñaron dos tipos de sistemas hidropónicos: NFT con tuberías de 3" y 4" y llenado y vaciado. Los sistemas de NFT, se diseñaron con 15 tubos de PVC de 3" y 4" con 5 m de longitud. Se calculó una lámina de agua permanente 25.6 mm para la tubería de 4" y 20.5 mm para la tubería de 3". El sistema de llenado y vaciado se diseñó con seis tanques rectangulares de 0.90 m de ancho × 1.20 m de largo × 0.30 m de altura. Cada tanque tendrá una lámina permanente de agua de 15 cm y una lámina durante el riego de 25 cm. El sistema acuapónico fue diseñado para su funcionamiento continuo durante ocho horas con un tiempo de riego recomendado para todos los sistemas de 15 min y un intervalo de aplicación de 2 h para un total de 4 riegos por día. El exceso de agua de cada sistema será recolectado en un tanque sedimentador la cual será bombeada al tanque de peces mediante una caída de 3 m que ayudará a la aireación del agua del estanque.

**Palabras clave:** Hortalizas, tilapias, recirculación.

**Abstract:** Aquaponics is a system which combines hydroponics with aquaculture in order to have better use of resources. The objective of this study was to design an aquaponic system to be implemented in the Organic Agriculture Unit of Zamorano University. The unit now has a pond of 5 m x 1 m, which should be coated with a 1.5 mm HDPE geomembrane. The pond has a capacity of 20 m<sup>3</sup> and is able to produce 200 tilapias. Two types of hydroponic systems were designed: NFT with pipes of 3" and 4" and EBB and Flow. NFT systems were designed with 15 PVC 3 "and 4" pipes with 5 m length. A permanent water film of 25.6 mm for 4 "pipe and 20.5 mm 3" pipe was calculated. The EBB and Flow system was designed with six rectangular tanks of 0.90 m wide x 1.20 m long x 0.30 m high. Each tank will have a standing water depth of 15 cm and a 25 cm during irrigation. The aquaponic system was designed for a continuous operation of 8 hours with a recommended irrigation time for all systems of 15 min and an application interval of 2 h for a total of 4 irrigations per day. The excess water from each system will be collected in a settler tank which will be pumped into the fish tank by a drop of 3 m that will help in the aeration of pond water.

**Keywords:** Tilapias, recirculation, vegetables.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	v
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>14</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>16</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Contenido proteico y ganancia de peso diario de tres subproductos agropecuarios utilizados como alimento para peces .....	6
2. Parámetros de sistemas hidropónicos NFT. ....	11
3. Parámetros del sistema de Llenado y Vaciado (Ebb and Flow) .....	12
4. Costo total para la instalación del sistema hidropónico .....	13

Figuras	Página
1. Dimensiones del estanque para la crianza de tilapia en la finca integral de la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano .....	5
2. Dimensiones y diseño del Sistema NFT .....	10
3. Sistema de llenado y vaciado (Ebb and Flow). ....	11
4. Diseño del sistema acuapónico.....	13

Anexos	Página
1. Costo para la instalación de NFT 4” y NFT 3”. ....	18
2. Costo para la instalación del sistema llenado y vaciado (Ebb and Flow). ....	19
3. Costo para la instalación del tanque sedimentador y sistema de recirculación... ..	19

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una creciente demanda de productos agropecuarios. Las producciones agropecuarias tienen una alta competencia en el mercado. Para tener precios competitivos, las producciones buscan incrementar su eficiencia en la producción y al mismo tiempo buscan optimizar el uso de los insumos y proteger los recursos naturales. El desarrollo de nuevas técnicas en la cual interactúan dos o más prácticas agropecuarias han permitido mejorar la conservación de los recursos naturales. Con estas prácticas se logra también minimizar el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas utilizados en la producción agropecuaria (Scott 2006).

Uno de los principales compromisos de la acuicultura actual es el de convertirse en una actividad realmente sustentable, lo que equivale a ser: económicamente rentable, ecológicamente amigable y socialmente responsable. La acuicultura abarca el cultivo y la producción de cualquier tipo de organismo acuático en condiciones controladas; incluyendo peces, crustáceos, moluscos y algas. En años recientes la acuicultura comercial o industrial se ha desarrollado en un área sumamente tecnificada dentro de la agricultura moderna. La acuicultura presenta al agricultor un método alternativo para producir proteína en terrenos que ordinariamente estarían fuera de producción (Meyer 2004). La acuicultura es una de las actividades de mayor crecimiento y mayor rendimiento en la producción de alimentos. Sin embargo su alta demanda de recursos y repercusiones en el medio ambiente hacen que la acuicultura no sea un negocio ambientalmente amigable (Trang y Brix 2014).

Por otro lado, la hidroponía es el cultivo de plantas en medios acuosos o con el uso de algún soporte como arena, grava, piedras sin el uso de suelo. En este sistema las plantas se alimentan mediante una solución de nutrientes y minerales que según el sistema hidropónico se les suministra por medio del riego. Por su diseño, este tipo de sistemas permite cultivar una mayor cantidad de plantas por metro cuadrado, además, mejora la eficiencia en el uso del recurso agua y la utilización de minerales para la fertilización, evitando problemas relacionados con enfermedades de raíces y ataques de plagas (Alpizar 2008).

La acuaponía es la interacción entre la acuicultura y la hidroponía dentro de un modelo de producción. Los sistemas acuapónicos buscan producir de tal manera que los recursos naturales sean optimizados. Dentro de los sistemas acuapónicos el recambio de agua en el

estanque de peces es menor que en un sistema de producción acuícola. El agua pasa por un proceso de recirculación en la cual los desechos producidos por los peces producto de su metabolismo son absorbidos por los cultivos que se encuentran en la hidroponía. Estos desechos contienen nutrientes que se encargan de suplir las necesidades de los cultivos. Esta agua es comparable con la solución nutritiva usada para la producción hortícola en la hidroponía (Shehu 2014). El cultivo se encarga de absorber los nutrientes del agua y permite el reingreso de agua limpia en el estanque. El agua que se agrega al estanque es solamente para cubrir la evaporación diaria (Caló 2011).

La acuaponía está ganando cada vez más atención como bio-sistema integrado de producción de alimentos (Diver 2006). Esta es una alternativa moderna y sustentable, para la acuicultura tradicional y la hidroponía. La implementación de sistemas acuaponícos a través del tiempo ha traído varios beneficios, con un buen diseño y funcionamiento adecuado reduce en un 90% los requerimientos de agua necesaria para un cultivo normal de peces; puede aumentar los rendimientos y bajar los costos de producción sin la necesidad de contar con grandes extensiones de tierra, además de ahorrar hasta un 45% en fertilizantes en una producción de hortalizas, ya que el agua de un sistema de producción de peces proporcionan el 80% de los 17 elementos que necesitan las plantas para su desarrollo (CICESE 2008).

Actualmente los sistemas hidropónicos más utilizados en la producción acuapónica son: el sistema NFT (fluido constante de nutriente), la cama flotante (raíz flotante) y sistemas de “llenado y vaciado” (Ebb and Flow) o sistemas hidropónicos en camas con sustrato (Mateus 2009).

El objetivo general del estudio fue diseñar un sistema acuapónico que se adapte al modelo de producción de agricultura orgánica y a las condiciones climáticas de Zamorano, Honduras y como objetivos específicos diseñar un sistema que permita la producción de peces y la recirculación de agua al sistema hidropónico y diseñar dos sistemas de producción hidropónico que se adapten al sistema de recirculación de agua.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó el sistema acuapónico para su futura implementación en el lote 4 del módulo de Agricultura Orgánica de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, ubicada a 30 km al este de Tegucigalpa, Honduras. A una altura de 800 msnm; temperatura promedio de 24 °C y una precipitación anual promedio de 1100 mm.

Para el diseño del sistema de producción de tilapia se tomaron en cuenta las dimensiones del estanque actual que se encuentra en la finca integral en el lote 4 del módulo de Agricultura Orgánica. Esta información en conjunto con las condiciones climáticas de Zamorano permitió decidir la densidad óptima de tilapias que se adapten eficientemente al sistema. Se revisó literatura para determinar opciones de alimentación a base de productos disponibles en la zona. La dieta suministrada deberá proporcionar la cantidad de nutrientes necesarios para cumplir con los requerimientos nutricionales de la tilapia. Adicionalmente se estableció los parámetros necesarios para el manejo óptimo de la tilapia, tomando en cuenta factores como: pH, concentración de amonio, oxígeno disuelto, y turbidez.

El agua del estanque se asemeja a una solución nutritiva utilizada en la hidroponía, esta solución nutritiva alimentará dos sistemas de recirculación de agua que a su vez están conectados a dos diferentes sistemas hidropónicos “llenado y vaciado” y NFT.

El sistema hidropónico NFT consiste en la recirculación de una capa continua o intermitente de agua que entra en contacto con las raíces donde se realiza la absorción de nutrientes. La lámina de agua se extiende a lo largo de canales de PVC, polietileno o poliuretano, llamados canales de cultivo. Mediante esta recirculación se mantiene en contacto el agua con las raíces de manera permanente, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes y minerales (Alvarado *et al.* 2001).

El sistema de “llenado y vaciado” (Ebb and Flow) consiste en situar las plantas en bandejas capaces de contener la solución nutritiva durante los ciclos de riego. La solución nutritiva es bombeada al recipiente donde se encuentran las plantas en sus contenedores, esta se inunda y las plantas entran en contacto con la misma. 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 (Bartokd 1989).

El flujo de salida de agua del estanque es impulsado mediante una bomba, la función de la misma es suministrar agua con los desechos de las tilapias a los dos sistemas NFT y “llenado y vaciado” respectivamente. El sistema NFT contará con tubos de PVC por donde fluirá el agua y, en el cual mediante canastillas se permitirá la interacción de la raíz con el agua.

Por su parte el sistema de “llenado y vaciado” tendrá un recipiente el cual se llenará de grava, esto servirá de soporte para las raíces de las plantas y mediante un tubo de salida que se encontrará en el nivel superior del recipiente, fluirá el exceso de agua.

Para el flujo de salida de los sistemas, el agua se suministra nuevamente al estanque de peces a través de un tubo de PVC y un tubo perforado para que permita la aireación por medio de la caída de agua.

Se contó con el flujo de agua y se estimó la cantidad de litros de agua del estanque de las tilapias que deben recircular dentro de los sistemas hidropónicos para suplir la lámina de agua requerida por las plantas. La bomba utilizada fue de potencia suficiente para repartir el flujo de agua a los dos sistemas hidropónicos, teniendo en cuenta el tipo de tuberías y el diámetro de ellas, así como los materiales adicionales que se utilizarán.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Acuicultura

**Recubrimiento del estanque.** Para el diseño del sistema acuícola, se tomó en cuenta el comportamiento de la especie que se producirá. De acuerdo a las dimensiones del estanque actual se recomienda utilizar un tanque circular de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1.5 mm de grosor ya que este alarga la vida útil ayudando a prevenir roturas, su función es ser una barrera impermeable, aislante entre diferentes medios para impedir que se presenten filtraciones. Aunque las geomembranas no son totalmente impermeables, se comporta de esta manera cuando se la compara con otros materiales. Por lo que es considerado el material más impermeable que se encuentra en la actualidad para estos propósitos (Paredes 2011). Previo a la instalación del HDPE se deberá recubrir el estanque con Geotextil NT300 para proteger el plástico de cualquier material filoso o puntiagudo. El tanque medirá 5 m de diámetro y 1 m de profundidad, con una capacidad total de 20 metros cúbicos de agua (Figura 1).

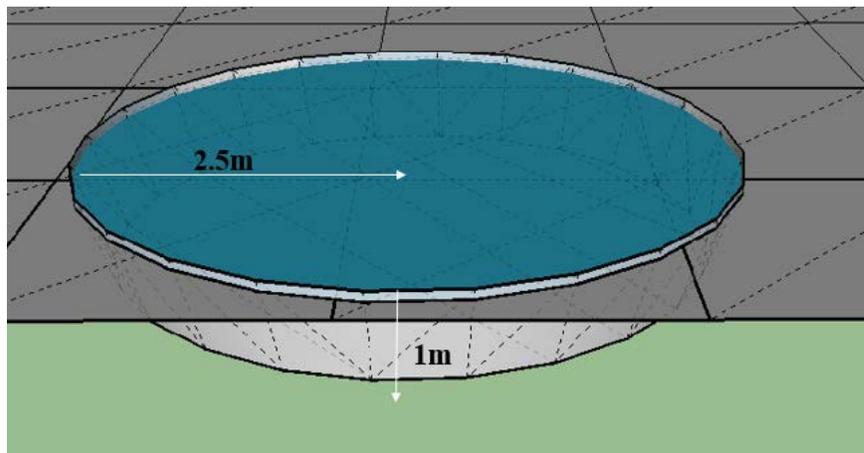


Figura 1. Dimensiones del estanque para la crianza de tilapia en la finca integral de la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras.

**Densidad de siembra.** La cantidad de agua disponible permitió considerar la densidad máxima admisible para tilapia. Las condiciones ambientales del Zamorano y el uso de especies de países tropicales como la tilapia permiten una reproducción constante durante

todo el año. En producción, bajo condiciones del Zamorano, esta especie puede alcanzar pesos de 1 a 1.5 libras en un período de 6 a 9 meses, tomando en cuenta estas consideraciones la densidad óptima va de 8 a 10 peces por metro cúbico (Meyer 2004).

**Alimentación.** En cuanto a la alimentación de esta especie, acepta fácilmente dietas comerciales en forma de harinas y pellets, además de estiércol y desechos de cosecha. Estos desechos de cosecha pueden incluir diversos alimentos, tales como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, semillas oleaginosas y cereales. Todos ellos empleados en forma suplementaria (Saavedra 2006). Sin embargo la base de la alimentación de la tilapia la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua como fitoplancton y zooplancton, estas se reproducen mediante fotosíntesis y cuyo contenido proteico es de 35 - 40% (peso seco) aproximadamente (Kubitza 2009).

Según un estudio realizado por Lagos Macias (2000) donde se comparó la sobrevivencia y crecimiento de tilapia bajo la alimentación de dos fuentes de nutrientes, un alimento peletizado y gallinaza, se demostró que la ganancia de peso en 160 días de cultivo con concentrado fue de 138.9 – 141.2 g mientras tanto las tilapias manejadas a base de gallinaza alcanzaron pesos promedios de 130.7 – 153.1 g. Dicho estudio también estimó que la mortalidad alcanzó un porcentaje promedio menor al 5%, en ambos tratamientos, este es un rango permitido en producciones intensivas de tilapia.

Para la producción de tilapia normalmente se utiliza un alimento con un contenido de proteína entre 24 a 32%, brindándole el 2 % de su peso corporal en alimento. Se han evaluado otros tipos alimentos alternativos como gallinaza, cerdaza, harina de lombriz; los cuales están disponibles en Zamorano y presentan un alto contenido de proteína (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido proteico de tres subproductos agropecuarios utilizados como alimento para peces y ganancia de peso diario.

Alimento	Contenido de Proteína (%)	Ganancia de peso g/día	Fuente
Gallinaza	15.20 - 36.80	0.95	CATIE 1976, Lagos 2000
Cerdaza	15.80 - 26.92	1.35	UNA 2011, Suazo 2002
Harina de Lombriz	65.00 - 75.00	sd	Ferruzzi 1988

sd = sin datos

**Parámetros óptimos de producción de tilapia.** Para el desarrollo óptimo de la tilapia se requiere que en el sitio de cultivo se mantengan los requerimientos ambientales en los siguientes parámetros:

**Temperatura:** Los rangos óptimos de temperatura oscilan entre 20-30° C. A temperaturas menores de 15° C el crecimiento se reduce considerablemente, por su lado a temperaturas

mayores a 32°C el consumo de alimento disminuye y retarda el crecimiento (Saavedra 2006).

**Oxígeno Disuelto (OD):** El rango óptimo deseable para el crecimiento de la tilapia es dos – tres mg/L. La tilapia soporta bajas concentraciones de OD, aproximadamente de 1 mg/L, aunque puede resistir valores menores por periodos cortos. A menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce o se detiene y por consiguiente el crecimiento de los peces también se detiene. El fitoplancton es, probablemente, el mayor instrumento que influencia las características de la calidad del agua en los estanques. La fotosíntesis que realiza, produce como resultado oxígeno, que resulta ser crítico para la vida de los animales que viven en el estanque. Pero, durante la noche, el fitoplancton (constituido por las algas) también respira y ejerce una gran influencia sobre los niveles mínimos de oxígeno del sistema (Kubitza 2009).

**pH:** El rango de pH adecuado para la tilapia es de 7-9. El pH en el agua depende principalmente de la cantidad de carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente. Un alto contenido de CO<sub>2</sub> puede causar valores de pH ácidos, afectando el crecimiento de los peces ya que disminuye el consumo de alimento. La presencia en altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos puede producir condiciones alcalinas en el agua (Tsang y Quintanilla 2008).

**Turbidez:** Se deben mantener por lo menos 30 centímetros de turbidez, medidos con el Disco Secchi. Esta medida de turbidez permite calcular la zona fótica en donde ocurre la fotosíntesis para la producción de OD (Meyer 2004).

**Amoníaco:** El amonio es el principal desecho producido por los peces, este es el subproducto de la digestión de proteínas por la síntesis de los amino ácidos. Se estima que 2.2 libras de amoníaco son producidos por cada 100 libras de alimento suministrado (Rakocy *et al.* 2006). Cabe señalar que el primer paso de la nitrificación produce ácido, lo que resulta en una disminución en el pH. Debido a que la nitrificación se inhibirá con pH bajo, se debe contar con una base para tamponar el ácido producido durante la nitrificación. La instalación de biofiltros es recomendada para el tratamiento de estos desechos nitrogenados cuando se producen en grandes cantidades y sobrepasan la capacidad de absorción de las plantas, generando toxicidad por acumulación.

Por medio de bacterias en el biofiltro, este amoníaco es catalizado a nitritos y los nitritos en nitratos, este proceso se llama nitrificación (Merino y Sal 2007). Ambos, amoníaco y nitrato son tóxicos para los peces (Egna y Boyd 1997). El amonio en el agua se presenta de dos formas: forma ionizada (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y la forma des-ionizada (NH<sub>3</sub>). La parte des-ionizada (amoníaco) es extremadamente toxica para los peces. La cantidad de amoníaco en el agua depende del pH y de la temperatura del agua, este debe ser monitoreado a diario y mantenerse a 0.06 mg/L (Rakocy *et al.* 2006). Si el amoníaco alcanza niveles tóxicos, los

peces son incapaces de extraer la energía requerida para su alimentación y si alcanza una cantidad lo suficientemente alta, los peces serán más lentos, letárgicos por lo que posteriormente mueren. La acumulación de amonio se maneja reduciendo el alimento a los peces ya que la proteína que contiene y el excremento de los peces es el principal factor de acumulación, otro factor importante para el control de los niveles de amonio es la oxigenación ya que esta ayuda a que los peces estén menos estresados y disminuye la cantidad de amonio (Allsopp *et al.* 2008)

Según un estudio realizado por Flores (2002), el desecho de las tilapias aumenta según su peso, pero a su vez la relación de amonio disminuye. Se estima que cada tilapia desecha 36.2 mg de amonio según los estándares de alimentación anteriormente establecidos, es decir 250 mg de amonio por kilogramo de tilapia en 24 horas.

**Sistema de recirculación de agua.** Los sistemas de recirculación acuícola son un conjunto de procesos y componentes que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos, donde el agua es continuamente limpiada y reutilizada. Los sistemas de recirculación son sistemas cerrados cuya ventaja principal es el uso racional del agua ya que el volumen de recambio disminuye. Este tipo de sistemas permite el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos tales como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, potencial de hidrogeno (pH), alcalinidad y metabolitos, como el nitrógeno amoniacal, los nitritos y los nitratos (Libey 1993). El sistema de recirculación inicia en el tanque de peces donde el agua es bombeada de la parte inferior del tanque con una bomba sumergible (DANNER MFG modelo 24) de 1400 GPH. Esta es capaz de generar 14 PSI de presión, suficiente para un caudal de 45 L/min.

Por ser sumergible y para evitar que la bomba succione sedimento o tilapias, esta contará con una válvula de pie, con un tamiz de 1 mm de diámetro y se colocará a un nivel de 0.50 metros sobre el suelo. Para evitar el golpe de ariete la bomba cuenta con una válvula anti retorno (válvula check) o unidireccional a la salida de la misma. Este sistema también cuenta con un filtro de anillos de 1 ½” con un grado de filtración de 130 micras, con esto aseguramos un flujo constante y evitamos taponamiento en la entrada de los sistemas hidropónicos.

El sistema se diseñó para poder transportar un caudal de 35 L/min sin perder más de 0.2 PSI de presión por cada 30 metros. Para evitar un exceso de presión, este sistema contará con una válvula de alivio, esta válvula se calibrará para no exceder los 14 PSI. El exceso de caudal retornará al tanque donde se encuentran las tilapias para ayudar con la oxigenación.

**Hidroponía.** Se diseñó dos tipos de sistemas hidropónicos: NFT y llenado y vaciado. Estos sistemas son los más utilizados comercialmente, tanto por su practicidad como por su versatilidad al permitir adaptar varias especies de cultivos. Alvarado *et al.* (2001) señala que el sistema hidropónico NFT es uno de los más utilizados nivel mundial por su

relativamente fácil implementación y la buena adaptación del cultivo a este sistema. Por su parte Mateus (2009) considera al sistema hidropónico de llenado y vaciado como el más versátil, ya que debido a su profundidad, permite el desarrollo de cultivos con sistemas radiculares más grandes.

**Sistema NFT.** En el sistema hidropónico NFT la planta se cultiva mediante la interacción de la raíz directamente con el agua, donde la solución nutritiva circula continuamente o en intervalos a través de una serie de tuberías usadas como canales de cultivo, donde se desarrollan las plantas.

Se diseñaron dos sistemas NFT con diferentes diámetros de tubería, 3" y 4". Esto permitirá sembrar diferentes tipos de cultivos según su sistema radicular. Cultivos con bajos requerimientos nutricionales son adecuados para su fácil adaptación a estos sistemas, entre ellos: lechuga, albahaca y pepino.

Para determinar el número de tubos, se tomó en cuenta el caudal de la bomba y los requerimientos del sistema hidropónico. Para ambos sistemas, se requiere que fluya un caudal de 2 a 3 L/min durante 15 minutos. Por lo tanto, se recomienda para cada sistema un total de 15 tubos de 5 metros de largo, divididos en 5 mesas de 3 tubos cada una, con un distanciamiento entre planta y tubería de 0.25 metros, y 0.5 m entre mesa (Figura 2), esto permitirá un mejor manejo de los cultivos.

La estructura de soporte (mesas) deberá ser capaz de sostener el peso de los tubos, por lo tanto se sugiere fabricarlas con tubo estructural de hierro de 1" el cuál debe fundirse con concreto. Las mesas deberán tener altura de 1.20 m, un ancho de 0.8 m y un longitud de 5 m. Para poder soportar el peso del sistema hidropónico, se deben colocar soportes cada 1.25 metros a lo ancho de la estructura.

La tubería de conducción de la bomba hacía los sistemas hidropónicos está diseñado con tubería PVC de 1 ½" con un SDR de 26. En la entrada de cada tubo de PVC del sistema hidropónico se deberá colocar una boquilla de 1.92 mm de diámetro que asegure un caudal de 2.33 L/min.

El sistema NFT diseñado con tuberías de 4" contará con canastillas de 3" diámetro × 2.5" de altura. El tiempo que toma el agua en circulación desde la bomba hasta llegar al sistema es de un minuto. El tiempo de llenado de cada tubería es de cuatro minutos, con un volumen total de 656 L por ciclo de riego. Por su parte, el sistema de tres pulgadas contará con canastillas de 2" diámetro × 2" de altura. El tiempo que toma el agua en circulación desde la bomba hasta llegar al sistema es de 1.5 min. El tiempo de llenado de cada tubería es de dos minutos, con un volumen total de 587 L por ciclo de riego (Cuadro 2). Para ambos sistemas se calculó una película o lamina permanente de dos a cinco mm de agua por encima de la base de la canastilla, lo cual representa 25.6 mm para la tubería de 4" y 20.5 mm para la tubería de 3". El tiempo de riego recomendado es de 15 min con un intervalo de

aplicación de dos h para un total de cuatro riegos por día. El flujo continuo de solución nutritiva permite que las raíces tengan una buena oxigenación y un adecuado suministro de nutrientes.

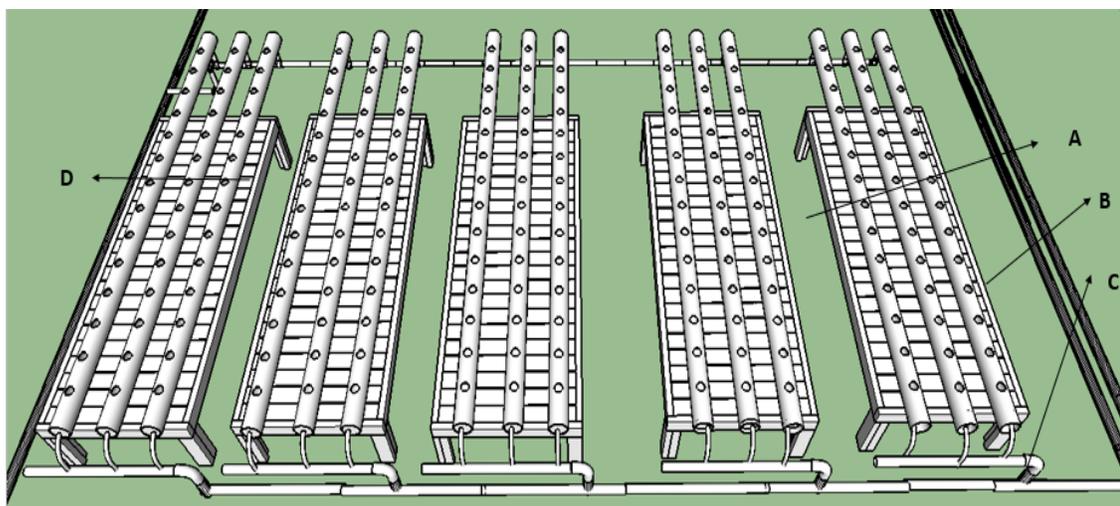


Figura 2. Dimensiones y diseño del Sistema NFT

A= Espacio entre mesas (0.5 m), B= Tubería y espacio entre tubo (0.25 m), C= Tubería de entrada de agua (1 ½” con un SDR de 26), D= Ancho de la mesa (0.8 m).

El exceso de agua saldrá mediante tuberías de PVC de ½” SDR26 y estas conectadas al sistema de recolección. El sistema de drenaje deberá ser completamente sellado para evitar la entrada de luz y la formación de microalgas en el sistema.

Cuadro 2. Parámetros de sistemas hidropónicos NFT.

Parámetro	NFT 4"	NFT 3"
Tamaño de canasta	3 " diámetro × 2.5" alto	2" diámetro × 2" alto
Cultivos	Albahaca, Lechuga	Lechuga
Caudal	2.3 L/min	2.3 L/min
Volumen total	656 L/turno	587 L/turno
Altura de lámina de agua	25.6 mm	20.5 mm
Tiempo de llenado	4 min	2 min
Turno de riego	15 min	15 min
Intervalo de aplicación	2 horas	2 horas
Distancia entre plantas	25 cm	25 cm
Distancia entre tuberías	25 cm	25 cm

## Sistema llenado y vaciado

El Sistema de llenado y vaciado (Ebb and Flow) es el más versátil ya que permite usar mayor variedad de medios de crecimiento tales como grava, carbón, roca volcánica y arena. Los sustratos utilizados sirven de anclaje para las plantas de cultivo, permitiendo un mayor desarrollo radicular dependiendo del tipo de cultivo a utilizar. Este sistema se diseñó con seis tanques rectangulares de 0.90 m de ancho  $\times$  1.20 m de largo  $\times$  0.30 m de altura, dando un volumen total de 0.32 m<sup>3</sup> por tanque (Figura 3).

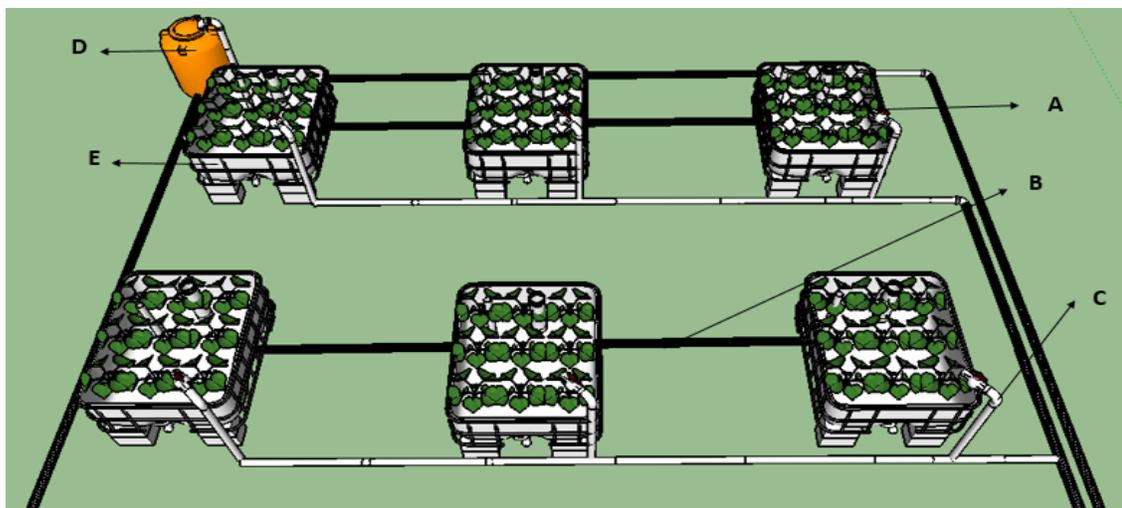


Figura 3. Dimensiones y diseño sistema llenado y vaciado (Ebb and Flow).

A= Cultivo, B= Drenaje del sistema, C= Tubería de entrada de agua, D= Tanque sedimentador, E= Recipiente con sustrato (0.9  $\times$  1.2  $\times$  0.3 m)

Cada tanque de llenado y vaciado estará sobre una mesa estructural para así asegurar el drenaje hacia el tanque sedimentador. Cabe recalcar que esta estructura tendrá que soportar el peso del agua así como el peso de los sustratos, por lo tanto esta estructura se diseñó con tubo estructural de 1 ½". La estructura de soporte deberá tener altura de 1.20 m con una base de lámina de hierro de 1/8" apoyada en un marco hecho con tubo estructural de 1 ½" con dimensiones de 1.2 m  $\times$  1.2 m.

Para el riego se sugiere llenar tres tanques a la vez. El agua ingresará a cada recipiente por un conector inicial de 16 mm. Cada tanque tendrá una lámina permanente de agua de 15 cm esto permitirá la utilización del sistema con cultivos con mayor desarrollo radicular. Durante el riego la lámina de agua alcanzará los 0.25 m. El caudal calculado de 2.3 L/min nos permitirá llenar cada recipiente en un tiempo de 7.5 min. El periodo de riego será de 15 min, este tiempo permitirá la oxigenación de las raíces para evitar la pudrición. Durante el riego el exceso de agua saldrá por una tubería lateral colocada a 0.25 m. Para mantener la lámina de agua permanente se colocará otra tubería lateral con válvula a 0.15 m la cual se

abrirá únicamente al finalizar los ciclos de riego. Los ciclos de riego se repetirán en intervalos de dos horas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros del sistema de Llenado y Vaciado (Ebb and Flow).

<b>Parámetro</b>	<b>Valores</b>
Cultivos	Varios
Altura lámina de agua durante el riego	0.25 m
Altura lámina de agua permanente	0.15 m
Altura llenado sustrato	0.30 m
Tiempo llenado	7.5 min
Turno de riego	15 min
Intervalo de aplicación	2 horas
Volumen total durante el riego	0.27 m <sup>3</sup>
Volumen total lámina permanente	0.16 m <sup>3</sup>

### **Tanque sedimentador**

Para que el agua de drenaje llegue al tanque sedimentador se diseñó un sistema de recolección con tubería de 1" SDR 26. Todo este sistema estará conectado con los dos tipos sistemas hidropónicos para poder coleccionar el excedente de agua. El tanque sedimentador tendrá un volumen de 2,500 L. Este es necesario para que por medio de gravedad sedimentar cierta cantidad de solidos suspendidos provenientes del tanque de peces y de los diferentes sistemas hidropónicos. Este tanque contará con una bomba que tiene las mismas características de la bomba que alimenta los sistemas hidropónicos. El agua recolectada será nuevamente bombeada hacia el tanque de las tilapias mediante un sistema de tuberías PVC de 1.5" SDR26.

### **Funcionamiento general del sistema**

El sistema acuapónico fue diseñado para su funcionamiento continuo durante ocho horas, permitiendo 4 ciclos de riego para cada sistema hidropónico. El sistema contará con una válvula de alivio que se abrirá automáticamente para no superar la presión de 14 PSI. El riego iniciará en el sistema NFT de 4" una vez finalizada el turno de riego, mediante una válvula automática, se da paso al llenado del sistema hidropónico NFT con tubería de 3" y así sucesivamente hasta regar los cuatros sistemas. El exceso de agua de todos los sistemas es canalizado hacia un tanque de 2500 L el mismo que nos permite sedimentar los residuos sólidos suspendidos en el agua. En este tanque se cuenta con una bomba con las mismas características que la del tanque de peces. Esta bomba está a una altura de 30cm al nivel del suelo para evitar el bombeo de residuos. El caudal de esta bomba será dirigida mediante una tubería al tanque de peces, y será depositada mediante una caída de tres m que ayudara a la aireación del estanque.

Las 16 horas que el sistema no esté funcionando servirán para la sedimentación de los sólidos en el tanque sedimentador al mismo tiempo permitirá que la planta absorba la mayor cantidad de nutrientes de la lamian de agua en la que se encuentra. Este tiempo también servirá para aumentar la concentración de amonio producido por los peces, mejorando la disponibilidad para los cultivos (Figura 4).

### Costos de instalación

El costo de la instalación de los sistemas hidropónicos, iniciando en el sistema de recirculación es de \$ 2,110.00 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Costo total para la instalación de un sistema acuapónico, Zamorano, Honduras.

Partes del sistema acuapónico	Precio (\$)
Sistema NFT	1,103.82
Sistema de Llenado y vaciado	263.09
Tanque sedimentador	370.32
<b>Total</b>	<b>2,110.01</b>

### Diseño

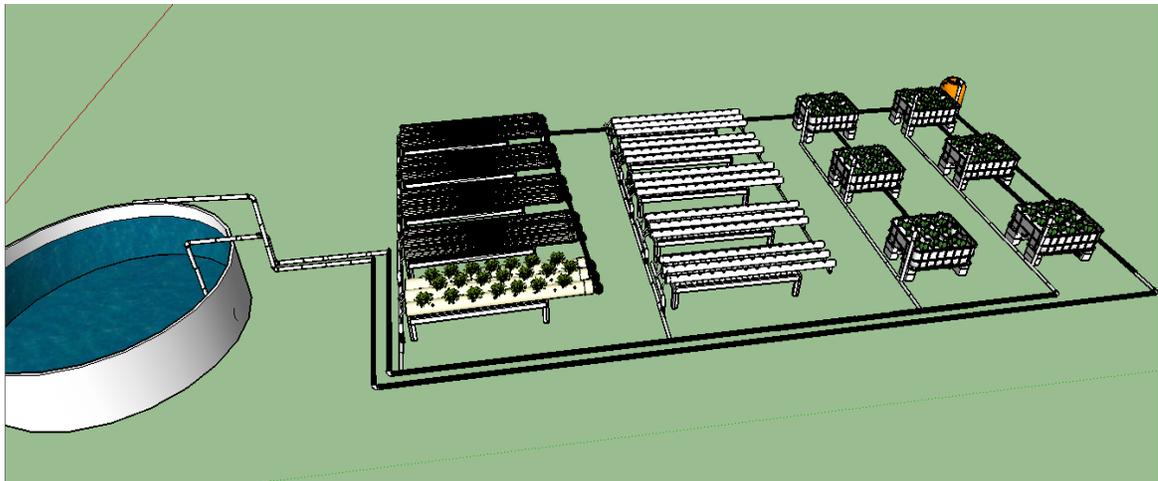


Figura 4. Diseño sistema acuapónico.

## **4. CONCLUSIONES**

- Se diseñó un sistema acuapónico apto para las condiciones climatológicas de la zona.
- El sistema acuapónico propuesto permite la producción de 200 tilapias en un tiempo de seis a nueve meses, recirculando el agua hacia la producción hidropónica.
- Se diseñaron dos sistemas de producción hidropónica, NFT y “Llenado y Vaciado” adaptándose al sistema de recirculación de agua del sistema de producción de peces.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema propuesto en la finca integral orgánica.
- Evaluar los dos sistemas hidropónicos en la producción de hortalizas orgánicas.
- Evaluar el aporte nutricional del agua proveniente de la producción de peces y su efecto en el rendimiento y mortalidad del cultivo.
- Evaluar la reducción de la necesidad de recambio de agua en la producción de peces.
- Realizar un análisis económico sobre la viabilidad de este proyecto.

## 6. LITERATURA CITADA

Allsopp, M., P. Jonhston., D. Santillo. 2008. Challenging the aquaculture industry on sustainability. Greenpeace Research Laboratories. 54p.

Alvarado, D., F. Chávez., K. Wilhelmina. 2001. Lechugas hidropónicas. Universidad del Pacifico. Lima, Perú. 96 p.

Alpizar, L. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple- 1a. ed. -Cartago., Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 108 p.

Bartokd, J. 1989. Ebb and Flow from an engineers viewpoint. Ornamentals Northwest archives. University of Connecticut, Storrs, CT. 18p.

Caló, P. 2011. Introducción a la Acuaponía. Nicaragua: Dirección de Acuicultura. 43p.

CATIE 1976. Uso de la gallinaza en alimentación de rumiantes. Turrialba, Costa Rica. 12p.

CICESE. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California 2008. Gaceta electrónica, CICESE. 32p.

Diver, S. 2006. Aquaponics – Integration of hydroponics with aquaculture. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. North Carolina: 28 p.

Egna, H. y C. Boyd. 1997. Dinámica de los estanques en Acuicultura. Dirección de Acuicultura. 22p.

Ferruzzi, C. 1988. Manual de Lombricultura. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 14p.

Flores, E. 2002. Excreción del total de nitrógeno como amonio y amoníaco (TAN) según el peso de la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 32p.

Kubitza, F. 2009. Producción de Tilapias en estanques excavados en tierra: Estrategias avanzadas de manejo. Panorama de la Acuicultura. 15p.

Lagos, Macias. 2000. Comparación de la sobrevivencia y el crecimiento de dos líneas de Tilapia cultivadas bajo dos sistemas de manejo. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 28 p.

- Libey, G. 1993. A comparative analysis of three biofilter types treating wastewater produced in recirculating aquaculture. Virginia Polytechnic Institute and State University. 60 p.
- Mateus, J. 2009. Acuapónia: Hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. Corpoica, Colombia. 41p.
- Merino, A. y M. Sal. 2007. Sistemas de recirculación y tratamientos de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC. Santa Ana, Corrientes. 41p.
- Meyer, D. 2004. Introducción a la acuicultura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. 82p.
- Paredes, L. 2011. Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósito de minerales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 12p.
- Rakocy, M., J. Masser., T. Losordo. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC 46p.
- Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. USAID. Managua, Nicaragua. 11p.
- Scott, J. 2006. Evolutions Aquaponics (en línea). Consultado el 14 de Octubre 2015. Disponible en: [www.aquaponicsjournal.com/articleEvolution.htm](http://www.aquaponicsjournal.com/articleEvolution.htm)
- Shehu, R. 2014. Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albanian. Albanian: Agricultural University of Tirana. 8p.
- Suazo, A. 2002. Cultivo combinado de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en jaulas y alevines en un estanque integrado con cerdos. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 28p.
- Trang, B. y H. Brix. 2014. Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture. *Aquaculture Research*, p 460-469.
- Tsang, S.H. y M. Quintanilla. 2008. Manual sobre cultivo y reproducción de Tilapia. El Salvador, Centroamérica. 64 p.
- UNA 2011. Aliementos (Cerdaza o Porqueriza). Universidad Nacional Agraria, Heredia-Costa Rica. 22p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Costo para la instalación de NFT 4" y NFT 3".

Cantidad	NFT 4" y NFT 3"	Precio (\$)
1	Válvula de pie 1 1/2"	14.18
2	Bomba DANNER MFG Model 24	272.73
1	Reductor de 1 1/2"	0.79
1	Reductor de 1"	0.40
10	Adaptador macho 1 1/2"	1.56
1	Válvula check de 1 1/2"	17.59
1	Codo PVC 1 1/2" * 90	0.32
10	Tee PVC 1 1/2"	3.65
6	Codo PVC 1 1/2"	0.71
1	Válvula compuesta 1 1/2"	14.19
2	Válvula eléctrica 1 1/2"	28.38
2	Filtro anillos 1 1/2"	90.91
4	Válvula bola lisa 1 1/2"	3.64
4	Tapones de 1 1/2"	1.14
30	Conector lineal 10 mm	1.82
30	Aspersores NPS boquilla Azul 200 L/h	9.09
15	Tubos PVC 4" SDR 26	395.45
15	Tubos PVC 3" SDR	340.91
30	Tapones de 4"	81.82
30	Tapones de 3"	72.73
2	Tubo 1" SDR 26	5.22
18	Tubo 1 1/2" SDR 26	85.38
30	Adaptador macho 1/2"	13.05
30	Codo PVC 1/2"	17.78
30	Tee PVC 1/2"	4.98
8	Tubo PVC 1/2"	12.33
2	Codo PVC 1 1/2" * 90	0.61
<b>Total</b>		<b>1491.34</b>

Anexo 2. Costo para la instalación del sistema llenado y vaciado (Ebb and Flow).

<b>Cantidad</b>	<b>Ebb and Flow</b>	<b>Precio (\$)</b>
1	Tee PVC 1 1/2"	0.73
1	Reductor 1 1/2"	0.40
1	Reductor 1"	0.40
1	Tee PVC 1"	0.36
2	Codo PVC 1"	1.22
1	Válvula eléctrica 1"	17.59
4	Tubo PVC 1" SDR 26	18.97
4	Codo PVC 1 1/2"	2.37
6	Conector lineal 16 mm	1.82
6	Empaques únicos	1.82
3	Tanques 1000 L	218.18
<b>Total</b>		<b>262.09</b>

Anexo 3. Costo para la instalación del tanque sedimentador y sistema de recirculación.

<b>Cantidad</b>	<b>Tanque Sedimentador</b>	<b>Precio (\$)</b>
6	Adaptador macho 1/2"	0.59
6	Codo PVC 1/2"	0.79
6	Tee PVC 1/2"	4.51
6	Tubo PVC 1/2"	9.25
1	Tanque rotoplast 2500 L	365.57
<b>Total</b>		<b>370.32</b>