

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Proyecto de Graduación  
**Sistema Aquapónico para pequeños  
y medianos piscicultores**

Para optar por el título de Ingeniero en Diseño Industrial  
con el grado académico de Bachillerato

Sharon Murillo Escalante (200509787)

Cartago, Junio 2011



# Índice de contenido

## Capítulo 1 Planteamiento del proyecto

Realidad nacional	5
Problemática	6
Justificación	7
Planteamiento de la necesidad	8
Problemas y objetivos de diseño	9
Definición del proyecto	
Árbol de problemas	10
Árbol de objetivos	11
Soporte lógico	12
Análisis de involucrados	13
Estrategias de diseño	14
Programa de trabajo	15
Metodología de cada fase	16

## Capítulo 2 Análisis General

Sobre la técnica	18
¿Qué es la acuaponía?	18
Cultivos más cotizados	19
Características de los sustratos	20
Características del clima	21
Requerimientos y principios involucrados	22
Antecedentes	23
Vegetales orgánicos en Costa Rica	23
Análisis de involucrados	24
Perfil del piscicultor	25
Relación piscicultor-agricultura orgánica	26
Análisis de lo existente	27
Patentes	27
Tanques	28
Sistemas acuapónicos	29
Técnicas de siembra	30
Análisis perceptual	31
Análisis ergonómico	32
Análisis tecnológico	33

## Capítulo 3 Conceptualización y propuestas

Funciones principales del sistema	36
Requisitos y requerimientos	37
Árbol de conceptos	38
Exploración de posibles soluciones	39
Propuesta 1	40
Propuesta 2	41
Propuesta 3	42
Cálculos y pruebas experimentales	43
Evaluación de propuestas	45
Selección de propuesta	46

## Capítulo 4 Propuesta final

Evolución de la propuesta	48
Propuesta definitiva	49
Componentes	50
Camas de crecimiento	50
Tanques	51
Bomba	51
Estructura	52
Ensamblaje de la estructura	53
Sistema de riego	54
Interacción con el usuario	55
Entorno de uso	56
Aspecto perceptual	56
Utilidades	57
Costos de manufactura	58
Gradientes de mejoramiento	59
Aportes del proyecto	60
Conclusiones	61
Recomendaciones	61
Bibliografía	62

## Capítulo 5 Anexos

## Indice de Figuras

Fig. 1 Toneladas de tilapia producidas en Costa Rica	5
Fig. 2 Gasto de agua limpia a nivel mundial	6
Fig. 3 Efectos negativos de los agroquímicos	6
Fig. 4 Ciclo del nitrógeno	18
Fig. 5 Sustratos más utilizados en acuaponía	20
Fig. 6 Regiones de Costa Rica	21
Fig. 7 Principio de capilaridad	22
Fig. 8 Categorías semánticas	31
Fig. 9 Curva de crecimiento de lechugas	43

## Indice de Tablas

Tabla 1 Valor de la tilapia exportada en Costa Rica	5
Tabla 2 Productores y hectareas dedicadas a los cultivos orgánicos en Centroamérica	5
Tabla 3 Estrategias de diseño	14
Tabla 4 Nutrientes que necesitan las plantas	18
Tabla 5 Características de cultivos de mayor consumo a nivel nacional	19
Tabla 6 Variación del clima de acuerdo a la zona y la estación	21
Tabla 7 Precios de feria para vegetales orgánicos	23
Tabla 8 Análisis de involucrados	24
Tabla 9 Características de materiales	33
Tabla 10 Funciones, requisitos y requerimientos	37
Tabla 11 Parámetros de evaluación	45

# 1.Planteamiento del Proyecto

---

## Realidad Nacional

### Deterioro ambiental por técnica hortícola tradicional

**Terreno disponible:** En Costa Rica se pierden 860 millones de toneladas de suelo valioso por año debido a la erosión causada por la deforestación principalmente para la implementación de urbanizaciones y complejos turísticos en zonas verdes no protegidas. Fuente: página Mongabay.com (marzo 2004).

**Consumo y calidad del agua:** El sector agrícola es el mayor extractor de agua con un 28.3% del total de oferta de agua superficial (proviene de los ríos Tárcoles, Reventazón, Tempisque, Térraba, Sarapiquí, y el Río San Carlos). El 96% de las aguas residuales urbanas recolectadas por los alcantarillados sanitarios desemboca en los ríos, sin ningún tratamiento, de ellas, un 70% de las aguas residuales sin tratar se descargan en los ríos Virilla y Reventazón.

**Agroquímicos:** El informe de 2005 de la Contraloría General de la República indica que en los últimos 10 años ha habido un aumento del uso de plaguicidas agrícolas importados de toxicidades agudas y probables cancerígenos. El informe también señala limitaciones de políticas, normatividad para controlar y disminuir el uso de estas sustancias, garantizar su calidad y reducir los riesgos asociados con la salud y el ambiente.

### Acuicultura en Costa Rica

La acuicultura, ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor, no solo como una alternativa de producción de proteína de origen acuático, sino desde el punto de vista empresarial. La acuicultura en Costa Rica está casi totalmente dominada por la piscicultura de tipo continental de agua dulce, específicamente truchas y tilapia, con grandes producciones de tilapia destinadas a mercados internacionales, en filete.

La exportación genera una gran fuente de capital para el país, de acuerdo con datos de la Promotora de Comercio Exterior (Procomer) en el 2007 y 2008 prácticamente el 100% de las ventas se dirigieron a Estados Unidos siendo este país el principal comprador de filete fresco de tilapia proveniente de Costa Rica.

Incopesca estima que existen 762 hectáreas cultivadas, de las cuales 670 estarían en la región Huétar Norte. Solo en Alajuela existen 730 productores con una población de 1.305 personas dedicadas a esta floreciente

actividad.

### Cultivo Orgánico en Costa Rica

Los vegetales orgánicos se ven cada vez más como una opción para la familia costarricense que quiere comer sano y sin tener que preocuparse por los peligros de los pesticidas. En Costa Rica la agricultura orgánica ha venido desarrollándose en forma positiva, en diferentes regiones del país, desde finales de los años 80.

Nuestro país es uno de los de la región centroamericana donde más hay productores de vegetales orgánicos lo cual es importante ya que al mismo tiempo Costa Rica forma parte de los países con mayor uso de plaguicidas en el mundo (2kg/persona/año).

Fig.1: Toneladas de tilapia producidas en Costa Rica



Tabla1: Valor de la Tilapia exportada en Costa Rica

Año	Valor en USD (000)
2000	20.250
2001	21.250
2002	32.975
2003	37.225
2004	47.468
2005	44.065
2006	33.640
2007	49.408
2008	52.950

Tabla 2: Productores y hectáreas dedicados al cultivo orgánico en Centroamérica

País	Ha	Productores
Guatemala	14.746	2.500
El Salvador	7.105	1.000
Honduras	7.856	3.000
Nicaragua	10.750	6.390
Costa Rica	13.967	6.000
Panamá	5.111	-
Total	59.535	18.890

Precio por Kilo de filete fresco de Tilapia: **\$8**

## Problemática que impulsa el proyecto

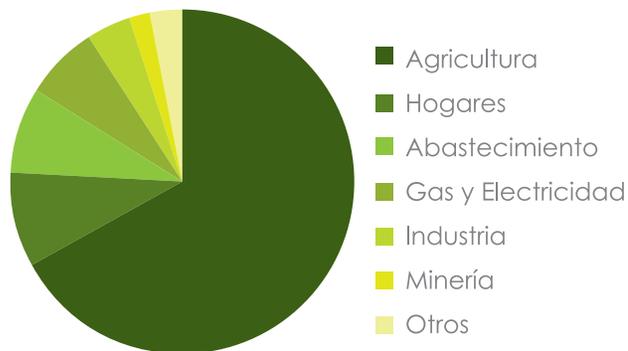
### Escasez de agua

El agua potable en el planeta y en nuestro país cada vez se ve más afectada tanto por contaminación como por el hecho de que se desperdicia de manera irresponsable. Tanto en la agricultura como en lo que es la acuicultura se usa agua limpia de manera desmedida; agua que utilizando otras técnicas se podría ahorrar o reducir su uso dramáticamente.

En el caso de la acuicultura, y en específico cuando se crían tilapias, se da un gasto de agua muy grande ya que el agua se queda sin oxígeno y se ensucia rápidamente debido a la inmensa cantidad de peces que se manejan en cada tanque. Cuando se da cría intensiva o semi-intensiva de tilapia pueden llegar a darse densidades de hasta 100 o más peces por metro cúbico lo cual hace necesario unos 10 recambios de agua al día, lo que significa cambiar el agua completamente al estanque 10 veces por día. Si se tiene entonces un tanque con capacidad para 25 metros cúbicos se pierden al día unos 250 mil litros de agua limpia.

En la agricultura tradicional también se da un gasto desmesurado de agua ya que de toda el agua que se utilizaría para regar una cosecha se estima que tan sólo el 40% es aprovechada por las plantas. Se sabe además que la agricultura gasta del 65-80% del agua dulce limpia del mundo.

Fig.2: Gasto del agua limpia a nivel mundial



### Herbicidas y pesticidas

Los herbicidas y pesticidas han demostrado en los últimos años no ser tan maravillosos como se decía en los años 50 cuando se empezó a dar su uso con cada vez más popularidad. Se ha demostrado que en la agricultura comercial mucha del agua que se utiliza para regar los campos se contamina con fertilizantes, pesticidas y demás químicos dañinos; esta agua se filtra por el suelo y va a dar a mantos acuíferos utilizados como fuente de agua potable. Muchos de estos químicos se van por medio de los ríos a los océanos, alterando los ecosistemas ya que causan crecimiento acelerado de ciertas algas y enferman o matan ciertos tipos de vida marina.

Según datos de la OMS, anualmente se intoxican dos millones de personas por exposición directa o indirecta a pesticidas. De ese total, las 3/4 partes de afectados pertenecen a los países subdesarrollados, donde únicamente se utiliza el 25% de la producción mundial de plaguicidas.

Los efectos indeseados producidos dependen del pesticida, la dosis, la vía y el tiempo de exposición. Los efectos agudos están asociados a accidentes. Los crónicos se deben a exposiciones repetidas y los síntomas o signos aparecen luego de un largo tiempo de contacto con el pesticida, dificultando su detección. Dado que su biotransformación es muy lenta, los pesticidas provocan efectos acumulativos en las personas expuestas.

Fig.3: Efectos negativos de los agroquímicos



## Justificación

En nuestro país se consume y se cría mucho pescado a través de métodos semi-intensivos e intensivos de siembra. Los principales tipos de pescado que se crían son la tilapia y la trucha arcoíris ambas consideradas de alta calidad, buen sabor y beneficiosas para la salud. Con la creación de este sistema acuapónico el pequeño productor podría tener una fuente de ingresos doble, el pescado y las hortalizas; además se ahorraría agua ya que el agua se mantendría limpia gracias a las plantas que se crezcan en el sistema evitando así tantos recambios en los tanques de crecimiento.

Considerando además la gran cantidad de agua limpia que se utiliza en las técnicas de cultivo tradicionales, este sistema vendría a generar un gran ahorro ya que con la acuaponía se utiliza solamente una décima parte del agua que se utilizaría en un cultivo tradicional.

Actualmente no hay en el país un sistema para este tipo de cultivos y en realidad se tiene muy poco conocimiento de la acuaponía en general, se dan solamente piscicultura e hidroponía pero por separado. La técnica de acuaponía no se practica en el país principalmente a causa de falta de experimentación por parte de las principales universidades pero es un hecho de que la técnica funciona y tiene múltiples beneficios. En nuestro país un sistema acuapónico estaría siempre lleno de vida y de alimentos frescos gracias a nuestro clima.

Un sistema acuapónico ayudaría mucho a piscicultores pequeños y con experiencia a tratar de incursionar en nuevos mercados con la venta de las hortalizas. Puede ser utilizado además para alguien que quiera incursionar en la cría de tilapia pero no tiene el suficiente capital ni el espacio tan grande como para construir las piletas o estanques necesarios para la cosecha de pescado.

Los vegetales y hortalizas que se produzcan vendrían a ser considerados un cultivo orgánico ya que en la acuaponía no se pueden usar agroquímicos dado a que esto afectaría severamente la salud de los peces involucrados en el proceso. Estos vegetales satisfacen a su vez la necesidad de comida orgánica cada vez más grande que tienen ciertos consumidores que están preocupados por su salud y por la calidad de los alimentos que ingieren. Se mejoraría considerablemente además el sabor, la apariencia y la calidad de los productos vegetales ya que la cantidad de nitratos en el sistema es una excelente fuente de nutrición para ellos mejorando así su desempeño.

Si bien se puede argumentar el uso de un sistema solamente hidropónico, en un cultivo acuapónico el operario no tiene que utilizar minerales "artificiales" ni preocuparse por dar las dosis adecuadas todos los días. La mayoría de los estudios están de acuerdo que los primeros 2 a 4 meses el rendimiento de un cultivo acuapónico es inferior al de un cultivo hidropónico; pero después de este tiempo ocurre una adaptación de las bacterias nitrificantes a las condiciones y se empiezan a obtener rendimientos hasta 20% superiores a los del sistema hidropónico.

## Planteamiento de la necesidad

La necesidad en este caso sería entonces *un sistema de cultivo acuapónico de fácil uso y mantenimiento para pequeños y medianos piscicultores, principalmente aquellos con métodos semi-intensivos e intensivos de cultivo.*

Se debe pensar en un sistema que facilite al piscicultor el aprendizaje de la técnica así como un contenedor o cama especializado para el sistema que permita la producción y mantenimiento de verduras y hortalizas orgánicas en conjunto con los peces.

## Problemas y objetivos de diseño

### Necesidad general

Una forma de facilitar al piscicultor la producción de variedad de cultivos vegetales de buena calidad sacando así provecho del agua de desecho generada por los peces.

### Problema

Los métodos de cultivo de tilapia actuales gastan cantidades desmesuradas de agua potable y se desperdicia el agua de desecho.

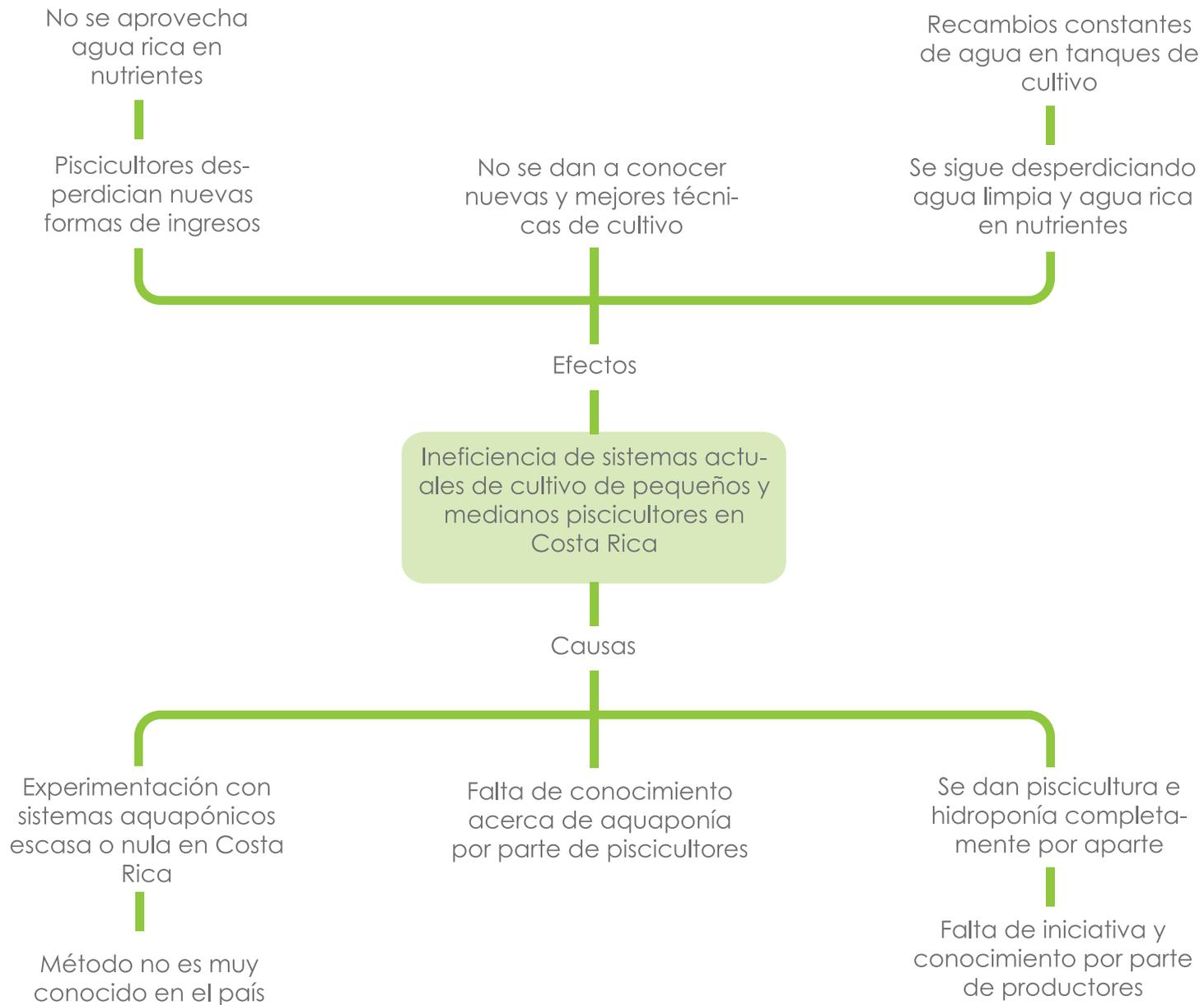
### Objetivo General

Generar un sistema que brinde las condiciones adecuadas para propiciar el crecimiento de cultivos vegetales orgánicos por medio del aprovechamiento del agua de desecho del cultivo semi intensivo de la tilapia.

### Objetivos Específicos

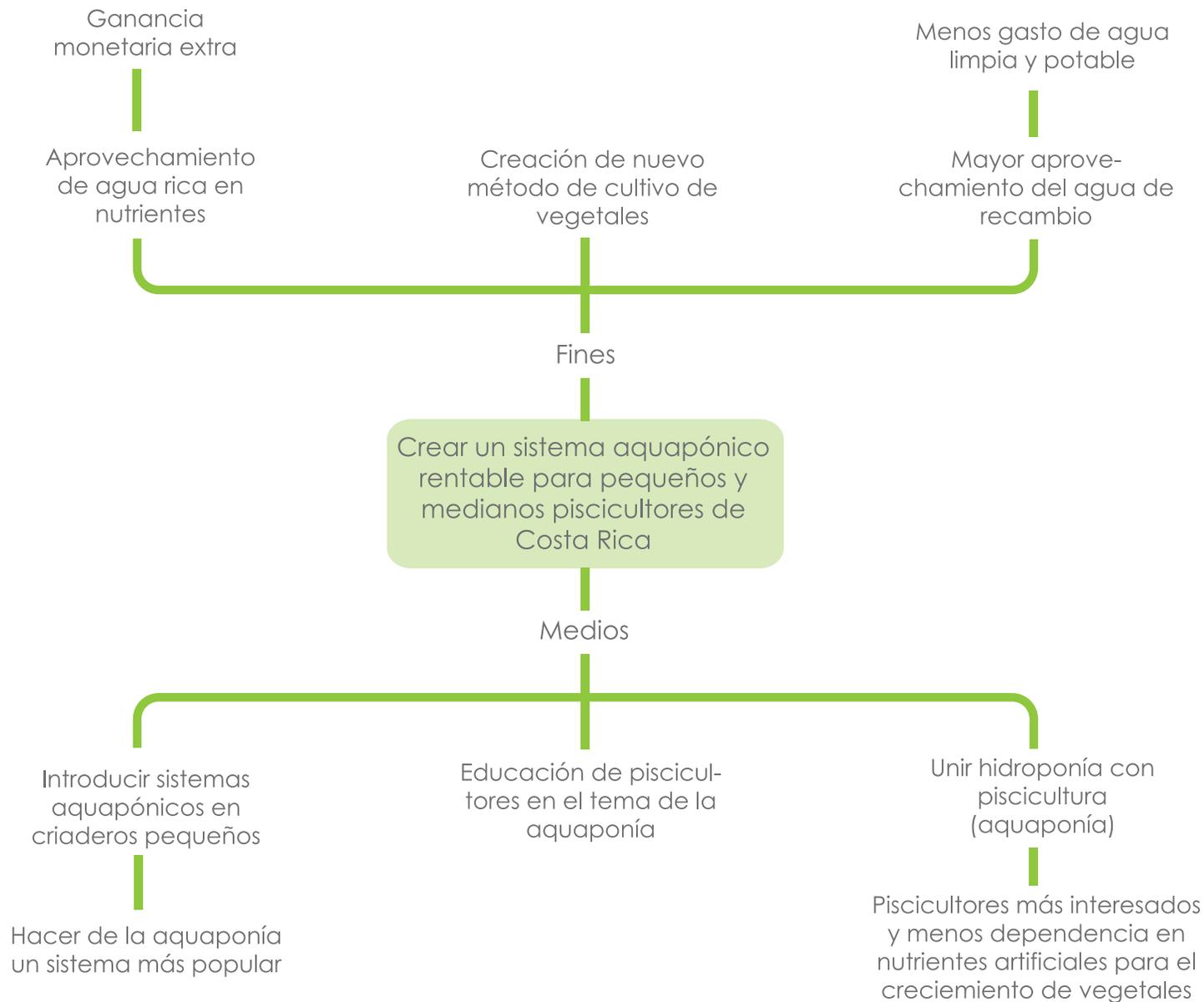
- Permitir el óptimo crecimiento de los cultivos vegetales por medio de un sistema que permita almacenar, contener y distribuir todos los elementos necesarios
- Facilitar al productor el mantenimiento de los cultivos vegetales y el aprendizaje de la técnica por medio del mejoramiento de la interfaz a nivel funcional y estético.
- Generar una fuente de ingresos extra para el piscicultor por medio del crecimiento de cantidades considerables de hortalizas y hierbas.

**Árbol de Problemas** Establece las relaciones causa - efecto entre los factores negativos de la situación existente.



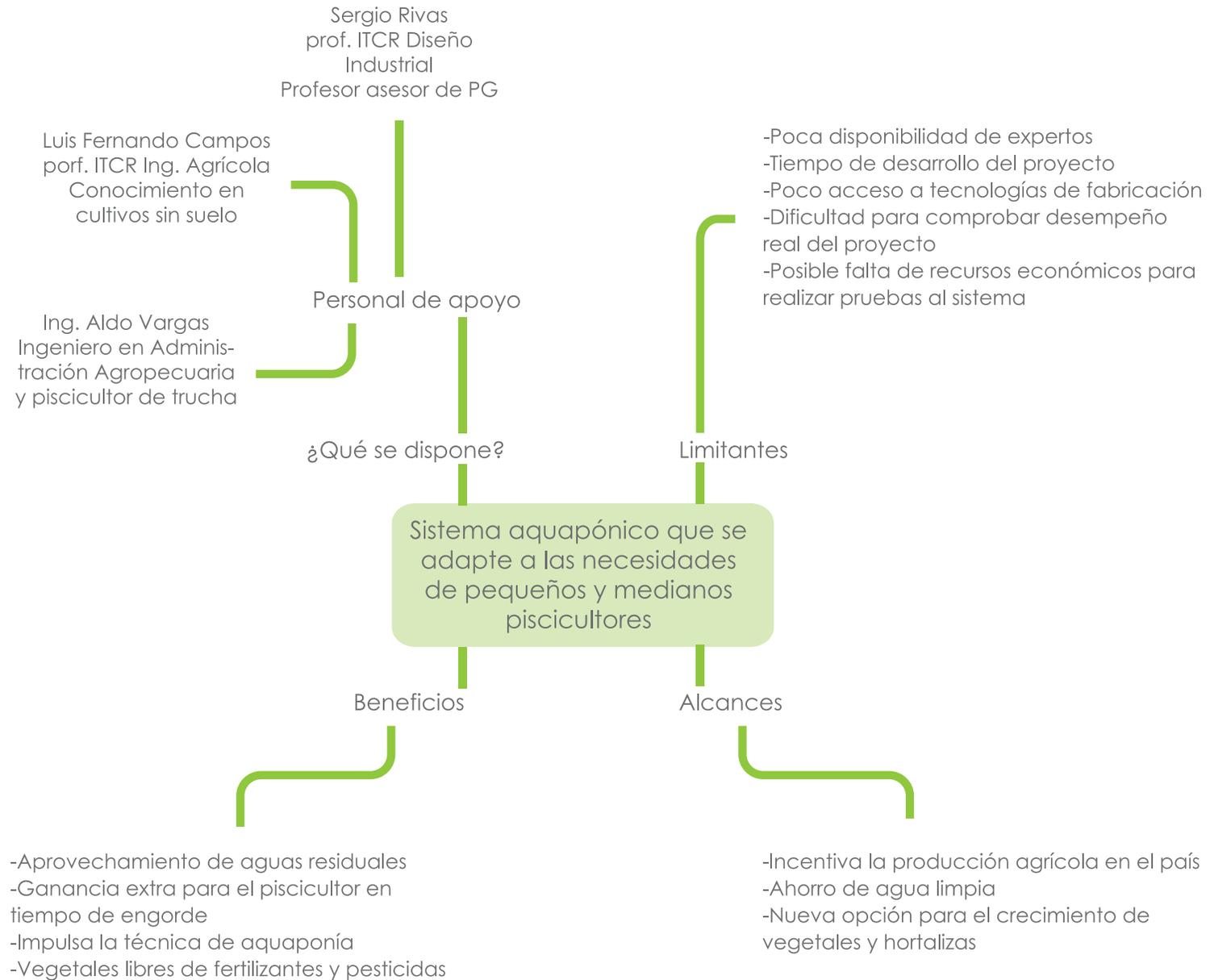
## Árbol de Objetivos

Son las soluciones de los problemas establecidos en el árbol anterior.  
Permite percibir las posibilidades de mejora y como se puede implementar en el sistema propuesto



## Soporte Lógico

Se expone la situación actual del proyecto, lo que se dispone, las limitantes del proyecto, los alcances y beneficios del mismo. Delimitan y marcan el camino a seguir.



## Involucrados

A continuación se presentan las personas involucradas en el proceso que se han tomado en cuenta para el desarrollo del proyecto, y las necesidades particulares de cada uno.



## Estrategias

A continuación se presentan las personas involucradas en el proceso que se han tomado en cuenta para el desarrollo del proyecto, y las necesidades particulares de cada uno.

Estrategias	Recursos disponibles	Probabilidad de cumplir con objetivos	Probabilidad de fabricación nacional
Diseñar un sistema que haga uso de elementos independientes para el riego y crecimiento de vegetales	Muchos: se pueden tomar partes de sistemas u objetos ya existentes y adaptarlos al sistema o el sistema a ellos.	Alta probabilidad: sistema puede llegar a ser simple y de fácil mantenimiento	Alta probabilidad: posibilidad de pocas dificultades técnicas
Diseñar un sistema con gran flexibilidad por parte de los componentes	Iniciar desde cero: no existen componentes que se puedan adaptar	Media: depende del grado de flexibilidad buscado	Media: posibles dificultades técnicas
Diseñar un sistema altamente tecnificado o automatizado	Alta: se hallan en el mercado gran variedad de componentes electrónicos que ayudarían a automatizar el sistema	Media/Baja: sistema puede llegar a ser muy complejo	Media/Baja: posibles dificultades técnicas y de presupuesto

Tabla 3: Estrategias de diseño

## Programación de trabajo

Por medio del diagrama de Gantt, se presentan las actividades según la fase y la duración de cada actividad en el periodo de tiempo establecido por la escuela.

### Fase 1

- Investigación situación actual
- Definición de problema y objetivos
- Desarrollo del concepto

### Fase 2

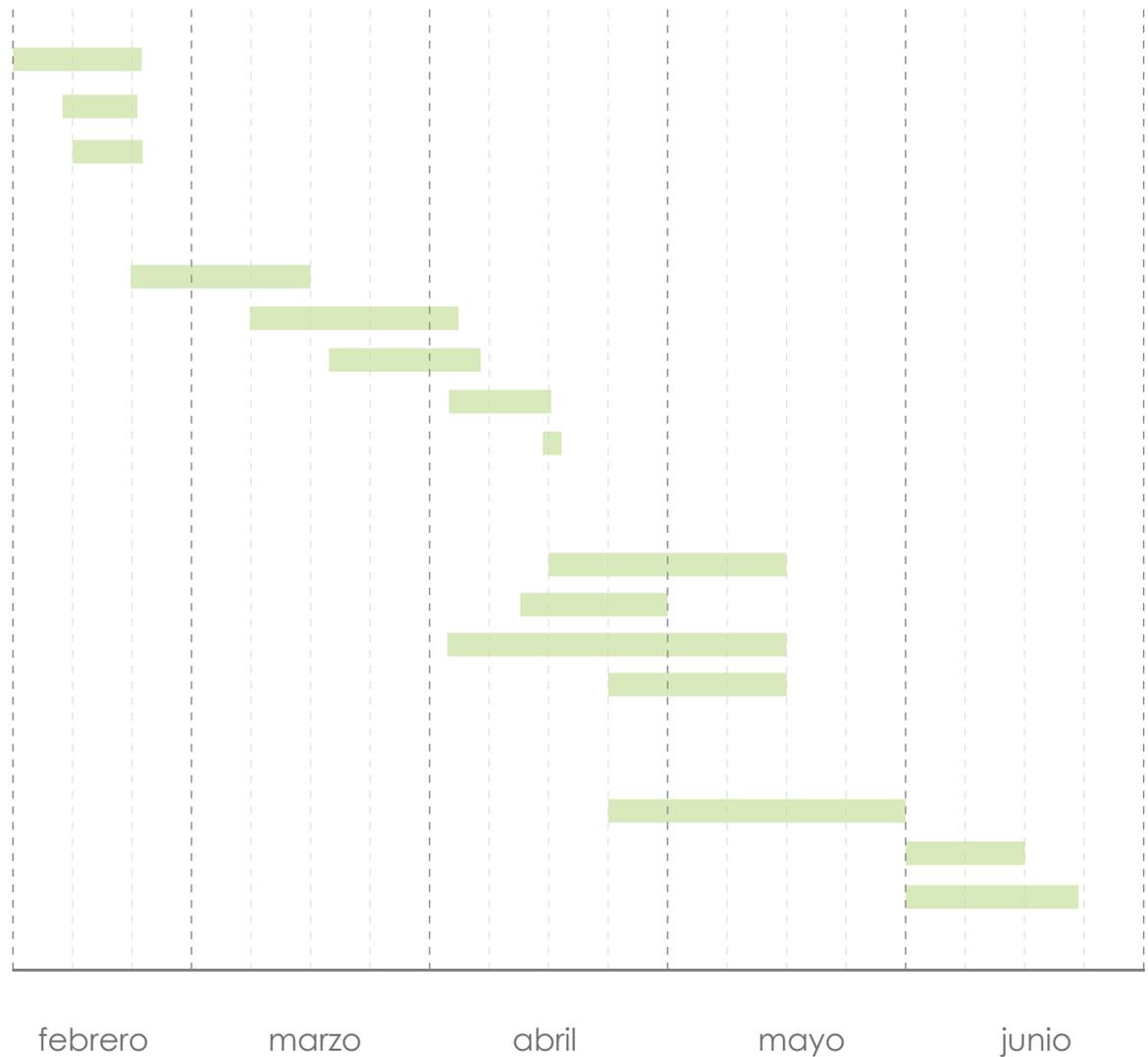
- Investigación aspectos técnicos hidroponía
- Investigación materiales y manufactura
- Desarrollo de propuestas
- Evaluación de propuestas
- Selección de propuestas

### Fase 3

- Detalles técnicos, formales de propuesta final
- Modelado de propuesta
- Realización de infografía, ilustraciones
- Costos

### Fase 4

- Informe final
- Resumen ejecutivo
- Presentación pública



## Metodología

### 1. Planteamiento del proyecto

- Determinar la problemática actual
- Establecer las necesidades del usuario
- Justificar la importancia y necesidad del proyecto
- Establecer el problema y objetivos del proyecto
- Determinar las personas involucradas con el sistema
- Establecer los alcances, limitaciones beneficios y lo que se dispone actualmente
- Proponer posibles estrategias que puedan guiar el desarrollo del proyecto
- Concretar el cronograma

### 2. Análisis general

- Investigación de campo
  - Determinar aspectos sobre la técnica
  - Características de los cultivos
  - Requerimientos para el buen crecimiento de los cultivos
  - Establecer las necesidades de los involucrados
  - Determinar la logística del funcionamiento del sistema en el mercado
- Análisis
  - De lo existente
  - Patentes
  - Sistemas actuales
  - Perceptual
  - Funcional
  - Tecnológico
  - Ergonómico

### 3. Conceptualización y propuestas

- Establecimiento de requerimientos, funciones y necesidades
- Realización del árbol de conceptos que es la base para generación de propuestas
- Desarrollo de propuestas con base en el árbol de conceptos
- Evaluación, validación y selección de propuesta

### 4. Propuesta final

- Verificación y realización de pruebas
- Validación por interacción con el usuario, entorno de uso, cultivos posibles y detallado de los componentes y materiales del cada subsistema
- Factibilidad, cotizaciones, procesos, materiales, tecnología
- Detallado del prototipo y planos constructivos

## 2. Análisis General

---

## Acerca de la Técnica

### ¿Qué es la acuaponía?

La acuaponía aprovecha al máximo el agua, el espacio y los desechos generados, por lo que se convierte en una forma de producción sustentable para el medio ambiente. En esta técnica se utiliza el agua sucia de los peces para así crear un ambiente en el cual bacterias nitrificantes puedan crear alimento para plantas. A este tipo de sistemas, en los cuales se aprovechan los desechos de una especie principal, se les conoce como sistemas integrados.

Hay que entender que para los peces el amonio tiene una toxicidad baja pero el amoníaco puede causar lesiones en las branquias y el intestino, causando hemorragias y atacando al sistema nervioso del pez.

La mineralización es la transformación de la materia orgánica (proteína, azúcares, etc.) en compuestos sencillos como el amoníaco, anhídrido carbónico, fosfato, etc. Este proceso es realizado por las bacterias mineralizantes, las cuales son capaces de degradar la materia orgánica (heces y restos de alimento) en un medio oxigenado. Como desechos producen principalmente CO<sub>2</sub> y el nitrógeno en forma de amoníaco o amonio.

Las bacterias Nitrosomonas transforman el amoníaco/amonio en nitritos. Para su desarrollo esta bacteria necesita CO<sub>2</sub>, oxígeno, amoníaco y elementos traza (sales minerales). Los nitritos son transformados en nitratos mediante la acción de las bacterias Nitrobacter. Estas bacterias también necesitan CO<sub>2</sub>, oxígeno, nitritos y elementos traza (sales minerales). El amoníaco bloquea su metabolismo.

Los nitratos son un alimento increíble para las plantas, los demás nutrientes que se necesitan para crecer los diferentes tipos de vegetales vienen del alimento para peces. Se necesitan plantas que produzcan gran cantidad de raíces para mayor absorción de nutrientes y oxigenación.

Se requiere además de grandes cantidades de oxígeno disuelto en el agua ya que esto es muy bueno tanto para las plantas como para los peces. Los niveles de anhídrido carbónico en el agua deben de controlarse ya que este hace que suban los niveles de pH y esto puede afectar ambos seres vivos del sistema, lo adecuado es tener un pH entre 6.5 y 7.

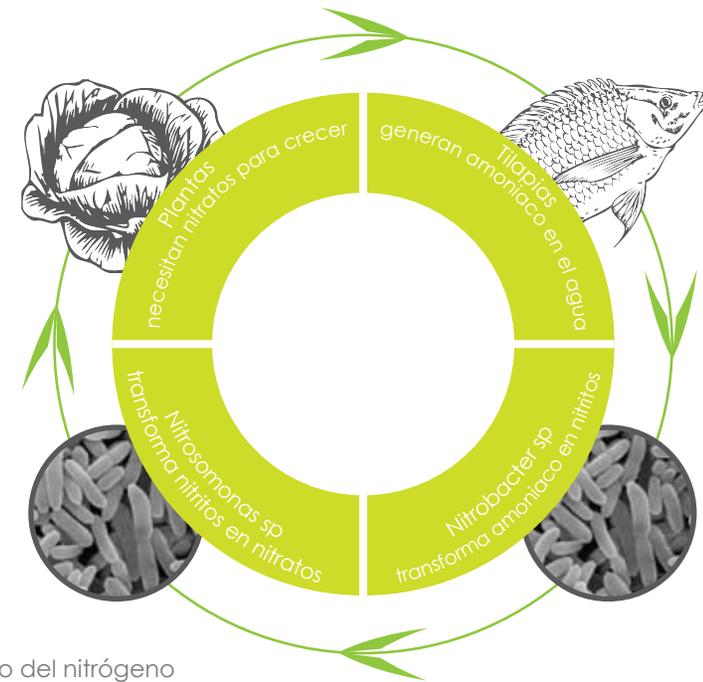


Fig.4: Ciclo del nitrógeno

Micronutrientes	Macronutrientes
Cloro	Carbono
Hierro	Oxígeno
Manganeso	Hidrógeno
Boro	Nitrógeno
Zinc	Potasio
Cobre	Calcio
Molibdeno	Magnesio
	Azufre
	Fósforo

Tabla 4: Nutrientes que necesitan las plantas

## Cultivos más cotizados

Este es el listado de los cultivos de mayor consumo a nivel nacional, junto con especificaciones técnicas de cada cultivo como el ciclo de cosecha y producción por metro cuadrado.

Tabla 5: Características de los cultivos de mayor consumo a nivel nacional

Cultivo	Días para cosecha	Producción por m <sup>2</sup>	Profundidad (cm)
Apio	65 a 75	35 unids	10
Cebolla	65 a 70	6 a 8 Kg	15-20
Culantro	50 a 55	25 rollos	10
Chile	80 a 85	15 a 20	15-20
Lechuga	28 a 45	20 a 25	10
Tomate	80 a 85	5 a 8 Kg x planta	-
Zanahoria	90 a 95	ND	25
Broccoli	85	ND	20-25
Pepino	45 a 50	ND	-
Repollo	60 a 65	10 a 12	15
Albahaca	60	3 a 4 Kg	10
Cebollino	65 a 70	30 rollos	10
Perejil	50 a 55	15 rollos	10
Puerro	60 a 65	30 rollos	15-20
Rabanito	35 a 45	20 rollos	10
Remolacha	60 a 65	30 unids	15-20

Fuente: Hidroponía, Granja Modelo, INA 2003

## Sustratos

### Requisitos de un sustrato

- Las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior a 0,5 y no superior a 7 milímetros, así se garantiza un óptimo drenaje
- Retengan una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua que pudieran caer con el riego o con la lluvia
- No retengan mucha humedad en su superficie
- No se descompongan o se degraden con facilidad-mayor vida útil
- No contengan elementos nutritivos, así no incorporan nutrientes al cultivo que no se deseen
- No contengan micro organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas
- No contengan residuos industriales o humanos
- Ser abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar
- Ser de bajo costo.
- Ser livianos

	Características
<p>Perlita</p> 	<p>Presenta buen drenaje y mantiene las raíces aireadas. Es buena para plantas pequeñas como lechugas. Absorbe de 3 a 4 veces su peso en agua. Densidad: 30 - 150 Kg/m<sup>3</sup></p>
<p>Vermiculita</p> 	<p>Se expande con el calor. Muy buen drenaje pero tiende a causar bloqueos en tuberías. Densidad: 64 - 160 Kg/m<sup>3</sup></p>
<p>Grava</p> 	<p>Soporta plantas altas como maíz o tomate. Sirve como biofiltro. Puede dañar las raíces. Presenta buen drenaje. Densidad: 1545 Kg/m<sup>3</sup></p>
<p>Arlita</p> 	<p>Muy suaves, gentiles con las raíces y permiten su oxigenación. Muy costosa pero es reutilizable. Densidad: 325 - 750 Kg/m<sup>3</sup></p>

Fig. 5: Sustratos más utilizados en la acuaponía

## Características del clima

En las zonas más calidas y de mayor humedad en el país sus picos tanto en la época lluviosa como en la seca afectan el desarrollo del cultivo.

A demás el cambio climático crea variaciones constantes y las temperaturas se aumentan en todas las zonas del país.

Posibles problemas:

- Humedad relativa alta fomenta la formación de hongos
- A temperaturas muy elevadas las lechugas se tornan amargas
- A temperaturas muy bajas los cultivos se secan



Tabla 6: Variaciones del clima de acuerdo a la zona y la estación

Zona	Época Seca		Época Lluviosa		Promedio Anual		
	Humedad	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	Temperatura	Precipitación
Valle Central	65%	30	87%	18	75%	19 - 24	900 - 2.500 mm
Zona Norte	75%	30	85%	15	80%	20 - 28	2.500 - 3.500 mm
Pacífico Norte	60-65%	36	80-85%	20	60-75%	25 - 28	1.400 - 2.500 mm
Pacífico Central	67%	32	90%	25	70-80%	17 - 27	2.300 - 4.300 mm
Pacífico Sur	81%	33	91%	17	81-91%	25 - 30	3.000 - 4.000 mm
Caribe	84%	31	88%	20	86%	26 - 30	3.000 - 4.500 mm

época seca: desde diciembre hasta marzo, lluviosa: desde mayo a octubre, se considera que abril y noviembre son meses de transición  
Fuente: <http://geografia.laguia2000.com/climatologia/costa-rica-clima-y-vegetacionv>

## Requerimientos del sistema

En resumen el componente hidropónico del sistema acuapónico debe tener ciertos requerimientos para que las plantas tengan un crecimiento óptimo; entre ellos están:

### Profundidad de zona de crecimiento según cultivo

-De 5 a 10 cm

Lechuga, culantro, apio, perejil, albahaca, acelga, rabanito, cebollín

-De 15cm a 20cm

Remolacha, camote, zanahoria, rábano grande, cebolla, repollo

-A 20 cm máximo sobre el suelo

Tomate y pepino

### Distribución

Las plantas no deben traslaparse entre sí, es preferible la distribución intercalada para maximizar el uso del espacio disponible.

### Riego del cultivo

Debe de estar dándose de manera constante para que así el sustrato pueda filtrar partículas del agua sucia y además para que el agua esté en contacto constante con las bacterias nitrificantes que viven en el sustrato.

### Nutrientes

El carbono, oxígeno y el hidrógeno se consiguen en el agua. Otros nutrientes necesarios se obtienen de las heces y del alimento de los peces. Si se llegara a necesitar, se puede agregar potasio y calcio al agua.

### Color

Blanco para así reflejar la luz y evitar el crecimiento de algas.

### Clima

-Temperatura: 18°C a 24°C

-Humedad relativa: 60% a 70%

-Luz solar: mínimo 6 horas diarias, preferiblemente mañanas, el eje longitudinal mayor que esté orientado hacia el norte

## Principios físicos involucrados

### Principio de capilaridad

La capilaridad es una propiedad física del agua por la que ella puede avanzar a través de un canal minúsculo (desde unos milímetros hasta micras de tamaño) siempre y cuando el agua se encuentre en contacto con ambas paredes de este canal y estas paredes se encuentren suficientemente juntas.

Esta propiedad es la que distribuye el agua por los micro-espacios de aire que quedan entre las partículas del suelo o sustrato. Allí queda el agua retenida hasta que finalmente es encontrada por las raíces de las plantas siendo absorbida por unos pelillos que tienen las mismas, que son los encargados de cumplir con la absorción.



Fig. 7: Principio de capilaridad

## Antecedentes

### Vegetales orgánicos en Costa Rica

La Agricultura Orgánica, conocida también como biológica o ecológica, respeta las relaciones existentes en la naturaleza, propicia la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, contribuyendo con la salud de los productores y consumidores, y constituye a la vez una puerta para un nuevo modelo de desarrollo rural más justo y sostenible.

Costa Rica tiene un liderazgo a nivel de Latinoamérica en lo referente a la producción orgánica, ya que no solo cuenta con productores capacitados y con experiencia, sino que este sector está organizado y se cuenta con políticas y legislación que lo respaldan.

Existen cerca de 15 acuerdos internacionales, en los que Costa Rica es signatario, que hablan de la necesidad de iniciar cambios en los sistemas productivos y de consumo para una mejor protección del medio ambiente. La mayoría de ellos implican compromisos relacionados con la producción agropecuaria sostenible.

Las tecnologías utilizadas en la producción orgánica ayudan a evitar la erosión y la contaminación, con lo que se cuidan las fuentes de agua limpia, se protege la fertilidad del suelo y se aseguran alimentos saludables.

### La política estatal y la coordinación con el sector privado

A nivel de las políticas del Sector Agropecuario, existe un compromiso fuerte con la producción orgánica desde hace varios años. En el MAG hay dos Oficinas directamente encargadas de atender las necesidades de esta actividad: el Programa Nacional de Agricultura Orgánica y la Gerencia Técnica de Acreditación y Registro de Agricultura Orgánica, que se encarga de los aspectos de certificación y control.

En años recientes, el sector público ha venido convenciéndose de que esta forma de producción representa una alternativa sostenible, rentable y más acorde a las necesidades de muchos pequeños y medianos productores nacionales.

En el documento de las políticas para el Sector Agropecuario Costarricense se dedica un capítulo a la Agricultura en Armonía con el Ambiente, bajo el lema de “producir conservando y conservar produciendo” Además de incluir a la agricultura orgánica y a la agricultura conservacionista en muchas de otras políticas propuestas.

### Puntos de venta

Con cada vez más gente consumiendo vegetales orgánicos se han empezado a dar ferias exclusivas para este tipo de producto:

- Feria Verde de Aranjuez: 300 m oeste del Colegio de México
- Feria Orgánica El Trueque: 600 m sureste de la Iglesia de San Cayetano
- Feria Orgánica Buena Tierra: Frente a la Cruz Roja en Escazú.

Tabla 7: Precios de Feria para varios vegetales orgánicos

Producto	Venta por	Precio (colones)
Albahaca	Rollo	250
Apio	Kilo	850
Culantro	Rollo	210
Culantro Coyote	Rollo	225
Espinaca	Paquete	225
Lechuga Americana	Unidad	300
Lechuga Boston	Unidad	300
Lechuga Frezee	Unidad	300
Lechuga Lollo Rosso	Unidad	300
Lechuga Romana	Unidad	300
Lechuga Veronica	Unidad	300
Mostaza China	Unidad	600
Perejil	Rollo	200

## Análisis de involucrados

Se analizan todas las personas involucradas en el desarrollo del proyecto. Se toman dos usuarios (mantenimiento y piscicultor) por diferenciación de funciones, pero en realidad es la misma persona

	Intereses	Problemas	Recursos	Interés en Estrategias	Conflictos
Usuario Piscicultor	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejorar ganancias</li> <li>-Ahorrar agua</li> <li>-No afectar peces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Desperdicio constante de agua limpia o de agua rica en nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interés</li> <li>-Tiempo</li> <li>-Conocimiento de normativas para el cultivo de pescado</li> </ul>	<p>Medio: La acuaponía no es muy conocida a nivel nacional y hay temor a dañar los peces, pero hay interés en nuevas formas de ahorro de agua y ganancia monetaria.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento de trabajo y dinero para el sistema y adaptar terreno.</li> <li>-Percepción de incapacidad de instalación</li> <li>-Gasto de dinero</li> <li>-Calidad dudosa de cultivo</li> </ul>
Usuario Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fácil uso</li> <li>-Fácil limpieza</li> <li>-Fácil reparación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Poco o nulo conocimiento de la acuaponía o de agricultura</li> <li>-Sistema de extrema complejidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiempo</li> <li>-Experiencia</li> </ul>	<p>Medio: Es preferible que el mantenimiento sea sencillo, rápido, simplificado y acertado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Percepción de incapacidad de mantenimiento</li> <li>-Gasto de dinero en herramientas innecesarias</li> <li>-Aumento de trabajo y tiempo</li> </ul>
Consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vegetales orgánicos a mejores precios</li> <li>-Pescado con buen sabor, aspecto y calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vegetales con agroquímicos dañinos para la salud</li> <li>-Vegetales orgánicos con altos precios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dinero</li> </ul>	<p>Alto: Se buscan productos más accesibles económicamente y que satisfagan estilo de vida más saludable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aceptación del producto en el mercado</li> </ul>

Tabla 8: Análisis de involucrados

## Perfil del Usuario Piscicultor

Las personas que por lo general tienen interés en los sistemas acuapónicos son personas que ya han trabajado con la cría de peces (piscicultores experimentados) o bien gente que busca iniciar un pequeño negocio desde cero. Para cualquiera de los dos el cuidado de hortalizas es un tema nuevo, razón por la cual el sistema debe ser de uso y mantenimiento sencillos. En el caso de la cría del pescado los piscicultores experimentados van a tener más conocimiento en el tema que los empresarios principiantes.

Con el interés de implementar este sistema, los usuarios buscan invertir el tiempo necesario en tareas poco desgastantes que les permita controlar fácilmente la producción y mantener los peces sanos de una manera eficiente. Por lo tanto, lo que se pretende con el proyecto, es un sistema que permita facilitar el mantenimiento del cultivo, disminuir en lo posible la demanda de cuidados y de personal capacitado pero manteniendo los estándares de calidad del cultivo y el pescado asegurando la satisfacción de la demanda.

## Cuidados eventuales

- Se deben de limpiar tuberías, el tanque de peces y las camas o canaletas en las cuales se crecen las plantas, después de cada cosecha ya que la materia orgánica tiende a acumularse. Mucha materia orgánica genera zonas anaeróbicas de crecimiento bacteriano las cuales pueden afectar luego el crecimiento de las plantas.

- Se debe de estar vigilando la población de peces para evitar la proliferación de enfermedades, especialmente cuando en el tanque de cría se tiene una población densa.

## Cuidados constantes

- Se debe de estar reabasteciendo una pequeña cantidad de agua cada cierto tiempo ya que se pierde aproximadamente un 20% de líquido debido a la evaporación. En zonas calientes o en temporada seca, este porcentaje puede llegar a ser más alto.

- No se debe sobrealimentar a los peces ya que muchas partículas de alimento hacen que dentro del agua se genere más amoníaco del que el sistema es capaz de procesar, causando así la muerte de los peces.

- Se debe mantener un Ph de entre 6.8 y 7 ya que si baja de esto las plantas no crecen y si el agua se vuelve más ácida esto perjudica la salud de los peces.

- El agua a utilizarse debe ser libre de cloro ya que éste maltrata a los peces y mata a las bacterias nitrificantes que se necesitan para que el sistema funcione adecuadamente. El agua debe dejarse reposar 24 horas antes de introducirse al sistema para que así se evapore el cloro y evitar complicaciones.

### Labor Diaria de un Operario de Sistema Acuapónico

1. Alimentar Peces
2. Revisar tuberías en busca de posibles fugas
3. Cosechar plantas que ya estén listas
4. Plantar nuevas plantas para sustituir las ya cosechadas

Horas totales de trabajo: 3 - 4 horas

## Relación Piscicultura - Agricultura orgánica

La tilapia es un pescado que tarda aproximadamente 6 meses en crecer, Durante este tiempo los piscicultores por lo general solamente esperan a que el pez madure y esté listo, pero si se integra el elemento hidropónico a el sistema y lo volvemos aquaponico se sacaría mucho más provecho.

El piscicultor estaría generando una ganancia monetaria extra durante estos meses de espera para la cosecha del pescado y además estaría ahorrando dinero y agua ya que estaría realizando menos recambios de agua al día.

Se estaría ayudando además a la producción de alimentos más sanos,tanto el pescado como los vegetales, ya que uno es rico en proteína y omega 3 y los otros son ricos en vitaminas y minerales necesarios para una buena alimentación. Si a eso se le suma que el producto viene libre de agroquímicos se tiene un sistema rentable y altamente beneficioso para la población en general.

### Beneficios

- Aseguran la inocuidad de alimentos
- Se ayuda a evitar la erosión del suelo debido al uso de técnicas tradicionales de siembra
- Se ayuda al mejor manejo y ahorro del agua limpia
- Se genera un producto altamente beneficioso para la salud
- Se genera un nuevo negocio o fuente de empleo
- Vegetales más grandes y nutritivos debido a la alta concentración de nitratos en el agua

## Análisis de lo existente

### Patentes

#### 1. Domestic Aquaponic Recreational System DARS2007

Numero de patente: US 2009/0211958 A1

Fecha: Ago 27, 2009

Se trata de un sistema en el cual se circula el agua y se puede:

- Crecer peces comestibles para uso propio o para venta
- Crecer peces ornamentales o de carnada
- Utilizar el agua para sistemas acuapónicos, hidropónicos y para regar agua en suelo con agua rica en nutrientes.

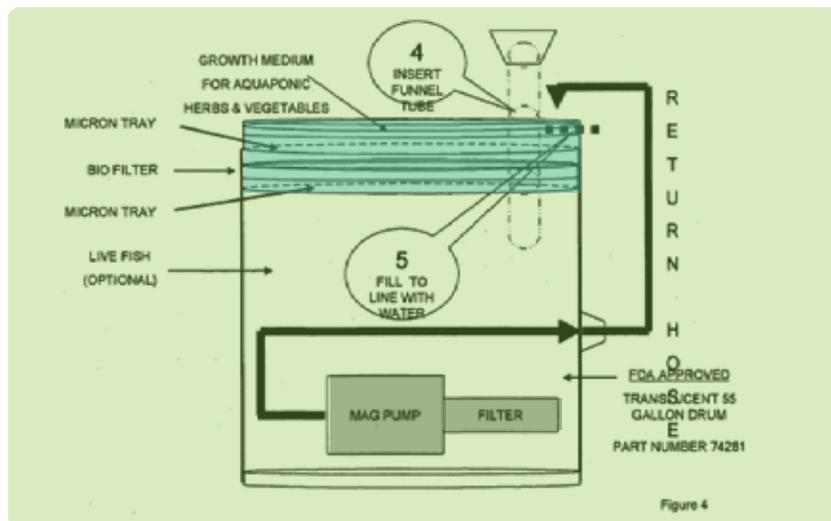
Consta de un tanque en el cual se encuentran los peces y una serie de filtros los cuales se encargan de eliminar basura dentro del tanque como lo son las heces y los restos del alimento de los peces.

Rescatable:

- Se tiene una serie de filtros que hace que el agua que llega a las plantas sea más limpia y sin partículas grandes de desecho eliminando así la posibilidad de zonas anaeróbicas en el sustrato

Problemas:

- Dentro de los filtros se puede dar un crecimiento acelerado de microorganismos nocivos los cuales pueden pasarse a las raíces de las plantas y podrir las, causando su muerte.



#### 2. Aquaponics System

Numero de patente: US 2010/0031893 A1

Fecha: Feb 11, 2010

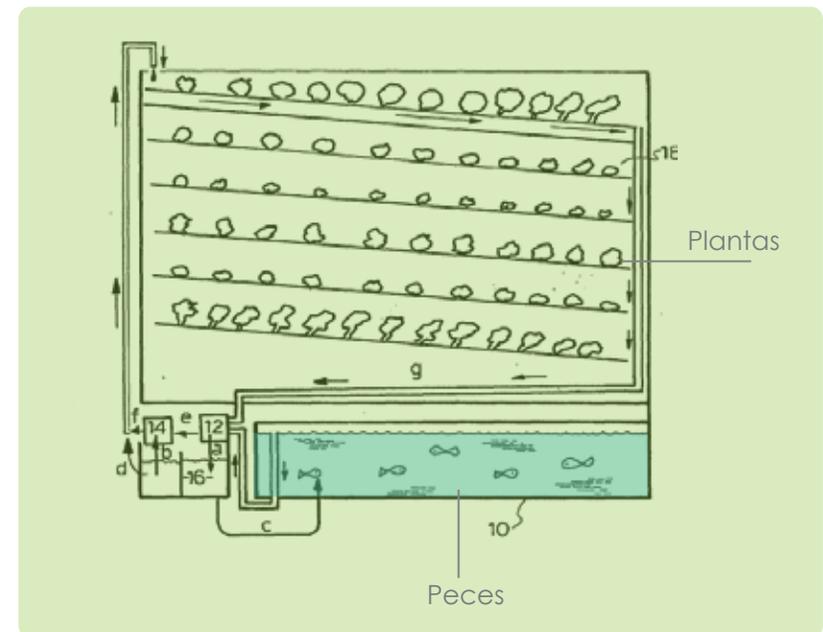
Es un sistema en el cual en un tanque se crecen peces el agua pasa a través de una serie de filtros y una porción se reutiliza cayendo de nuevo al tanque de los peces. Se tiene además un tanque en el cual se procesan los desechos orgánicos del agua (heces).

Rescatable:

- Se procesan de manera separada las heces de los peces haciendo al sistema más eficiente y limpio.

Problemas:

- Dentro de los filtros se puede dar un crecimiento acelerado de microorganismos nocivos.



### 3. Fish and Plant Factory

Numero de patente: US 2009/0301399 A1

Fecha: Dec 10. 2009

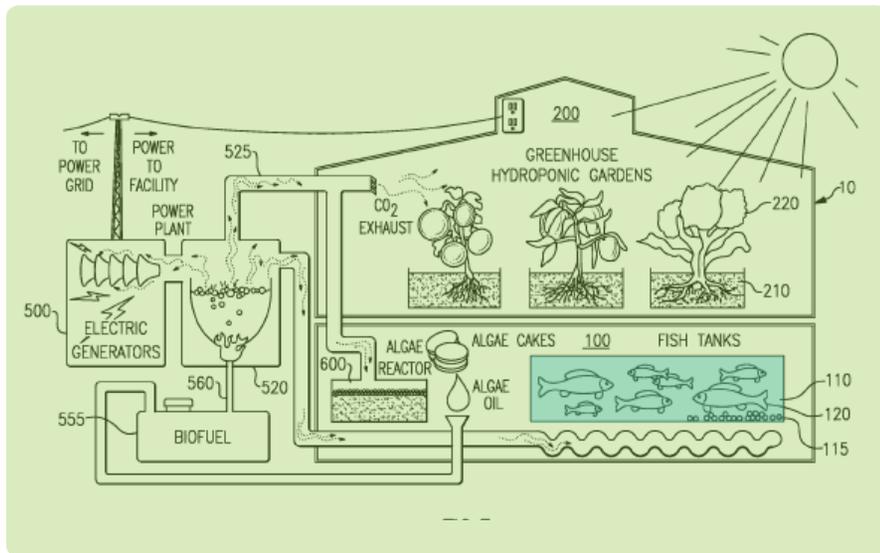
Se trata de una sistema en el cual dentro de un invernadero de tiene un tanque para la cría de peces y con el agua de éstos se alimenta a las plantas. El sistema cuenta además con un generador conectado a una fuente de biodiesel el cual se utilizaría para generar la electricidad que se ocupe en el invernadero y el tanque volviendo a éste un sistema autosuficiente.

Rescatable:

- Sistema autosuficiente
- Se genera mucho CO2 dentro del invernadero lo cual hace que las plantas crezcan con mayor velocidad

Problemas:

- Nivel muy alto de complejidad
- Gran cantidad de componentes



### Tanques para piscicultura

#### Polipropileno:

Beneficios:

- 100% reciclable
- Se pueden trabajar tamaños bastante grandes
- material inocuo
- Se le puede agregar protección UV y antioxidantes para mayor resistencia a la intemperie
- No absorbe agua

Problemas:

- Moldes de fabricación muy costosos



#### Fibra de Vidrio:

Beneficios:

- Son muy durables
- Resistentes a los elementos
- Se pueden hacer en múltiples tamaños
- No lastiman y afectan la salud de los peces

Problemas:

- Alto costo de manufactura
- No son muy amigables con el ambiente



## Tipos de sistemas acuapónicos:

### Sistemas mixtos:

Utilizan diversas técnicas hidropónicas para así poder cultivar plantas con diferentes necesidades, así las que necesitan más humedad van a la parte de NFT y las que necesitan más soporte van a crecer en sustrato.

Beneficios:

- Se pueden manejar diferentes tipos de cultivos

Problemas:

- Las cosechas se pueden dar de manera desordenada
- Gran cantidad de componentes



### Sistemas tradicionales:

En los sistemas tradicionales se tiene uno o varios tanques de crecimiento y varias camas de crecimiento en las cuales las plantas crecen en algún tipo de sustrato.

Beneficios:

- Se pueden cuidar las plantas de manera cómoda y accesible
- Configuración sencilla y sin gran cantidad de componentes

Problemas:

- En las camas de crecimiento se puede dar mal aprovechamiento del espacio
- Pobre oxigenación del agua



### Sistema de camas vertical:

El tanque va en la parte inferior del sistema y el agua sube con ayuda de una bomba a la cama de la parte más alta, de ahí el agua va chorreando a través de las diferentes camas hasta bajar de nuevo al tanque de peces.

Beneficios:

- Se da muy buena oxigenación del agua
- Aprovechamiento del espacio

Problemas:

- Cosechar la parte superior puede resultar difícil



## Técnicas de siembra utilizadas en sistemas acuapónicos:

Casi cualquier técnica utilizada para crecer plantas con la técnica de la hidroponía sirve para ser utilizada en la acuaponía, a continuación se nombran las técnicas más utilizadas generalmente en sistemas acuapónicos convencionales.

**NFT (Nutrient Film Technique):** En esta técnica se deja correr sobre un canal o tubo de PVC una delgada capa de agua con y solamente las puntas de las raíces de la planta están en contacto con el líquido.

Beneficios:

- No se usa sustrato
- Las raíces respiran muy bien

Problemas:

- Se necesita un filtro adicional para lidiar con las partículas de desecho más grandes.

**Raíz Flotante:** Se crecen las plantas en láminas de poliestireno que flotan directamente sobre el agua con nutrientes. Las láminas pueden flotar en el tanque de los peces o bien en canaletas hechas para la distribución del agua.

Beneficios:

- Se da una buena producción de plantas por metro cuadrado
- No se utiliza sustrato

Problemas:

- Tanto agua puede llegar a podrir las raíces de algunas plantas.
- Si se flota directamente sobre los peces, los peces muerden las raíces de las plantas.

**Cultivo en sustrato con flujo y drenaje:** En este caso hay camas en las cuales se siembran las plantas en algún tipo de sustrato. Las camas se llenan y se vacían de agua por medio del uso de un sistema de sifón

Beneficios:

- El sustrato actúa como un filtro natural que se encarga de las partículas más grandes de desecho provenientes del tanque de los peces.
- Al estarse vaciando las camas, las raíces tienen una oxigenación muy buena.

Problemas:

- El sustrato puede volver las camas un tanto pesadas.



## Análisis Perceptual

### Cromática

Por trabajar con plantaciones que requieren de mucha luz, es necesario trabajar con colores como el blanco y materiales reflectantes, es similar a un laboratorio médico esterilizado, todo claro, con colores llamativos que destaquen aspectos importantes del sistema y que permita resaltar la limpieza del entorno.

En cuanto a los tanques de los peces se recomienda que sean oscuros por fuera para así evitar que pasen los rayos ultravioleta y deben ser de un color claro por dentro para así poder ver con claridad a los peces y la calidad del agua.

### Aspecto formal

Se busca la simplicidad, la maximización del uso del espacio por medio de curvaturas y superficies planas que faciliten la utilización, la limpieza y maximizar el uso del material.

Preferiblemente estructuras poco voluminosas, poco complejas, agradables a la vista. Debe buscarse la integración de los diferentes subsistemas, es mucho más agradable y da más seguridad al productor al adquirir un sistema de este tipo.

### Categorías semánticas

Se busca determinar la tendencia de la propuesta al analizar los sistemas existentes en ejes opuestos, para nuestro caso, nos interesa buscar la simplicidad del sistema y que a la vez tenga una apariencia de salubridad por tratarse con alimentos.



Fig. 8: Categorías Semánticas

## Análisis Ergonómico

### Interacción con el usuario

Se ha decidido analizar los dos sistemas acuapónicos más utilizados los cuales son los que usan los métodos hidropónicos de NFT y de Flujo y Drenaje.

#### NFT

Estos sistemas son por lo general hechos y su estructura y componentes son muy básicos. Las plantas siempre están a la altura de la cadera lo cual las hace fáciles de cosechar. Las más difíciles de cosechar son las plantas que se encuentran en el centro del sistema ya que requieren que el operario estire un poco más sus brazos para alcanzarlas. En cuanto al tanque de los peces tienden a ser no más grandes de 1 m de altura para así facilitar la alimentación y cuidado de los peces y por realizar fácilmente tareas obligatorias como revisar los niveles de pH y eliminar los excesos de sólidos en el agua.

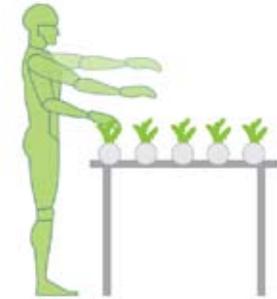
#### Flujo y drenaje

Los sistemas de flujo y drenaje tienden a ser un poco grandes y no se aprovecha muy bien el espacio para sacarles de verdad provecho. Las alturas son por lo general a la altura de la cadera y el tanque de los peces tiene una altura de no más de 1 m de alto. Las posturas para trabajar no son incómodas pero los usuarios tienden a estirarse un poco para alcanzar zonas de difícil acceso. La limpieza de las camas de crecimiento en estos casos puede llegar a ser difícil ya que son muy grandes para poder manipularlas fácilmente. Limpiar el sustrato después de cada cosecha puede también llegar a ser un trabajo pesado que puede conllevar a problemas lumbares.

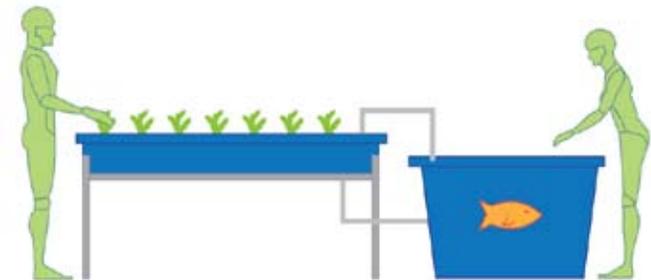
#### En síntesis:

- Los sistemas horizontales no aprovechan muy bien el espacio para la siembra.
- Los componentes pueden llegar a ser muy grandes y difíciles de manipular.
- Deben considerarse las distancias de acceso a las plantas para así facilitar la labor del usuario.

Cosecha acuapónica en sistema de NFT



Cosecha acuapónica en sistema de Flujo y Drenaje



## Análisis Tecnológico

### Características de Materiales

En la siguiente tabla se analizan las características del material y sus posibles aplicaciones en los componentes del sistema, así como las ventajas, desventajas y cuidados a tomar en cuenta a mediano y largo plazo.

Materiales comunes	Características	Ventajas	Desventajas
Metal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dúctil y maleable</li> <li>- Útiles en aplicaciones estructurales y de carga</li> <li>- Combinación de propiedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idóneo para estructura del sistema</li> <li>- Requiere poco mantenimiento</li> <li>- Tecnologías de transformación nacional</li> <li>- Costo medio de transformación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metales de peso alto son los de bajo costo mientras que los livianos son más caros</li> <li>- Susceptibles a la corrosión</li> </ul>
Plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligeros</li> <li>- Hay permeables e impermeables</li> <li>- Bajo costo</li> <li>- Diversidad de colores y acabados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ideal para uso en superficies</li> <li>- Casi no requiere mantenimiento</li> <li>- Fácil de limpiar</li> <li>- Bajo costo en láminas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo muy elevado para la fabricación de formas especializadas</li> <li>- No sirve para estructuras</li> </ul>
Materiales poco comunes			
Madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No conduce calor ni electricidad</li> <li>- Fácil de trabajar</li> <li>- Resiste a la tensión más que a la compresión</li> <li>- Susceptible al fuego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo de obtención y transformación</li> <li>- Tecnologías presentes en el país</li> <li>- Posible uso para estructura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere de mantenimiento constante para alargar su vida útil, sobre todo cuando se encuentra a la interperie</li> </ul>
Cerámicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son fuertes y duros</li> <li>- Son frágiles y quebradizos</li> <li>- Transparencia (solo vidrio)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitan las suciedad y las bacterias</li> <li>- Fáciles de limpiar</li> <li>- Bajo costo de fabricación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy frágiles y pesados</li> <li>- No sirven para estructurar</li> </ul>

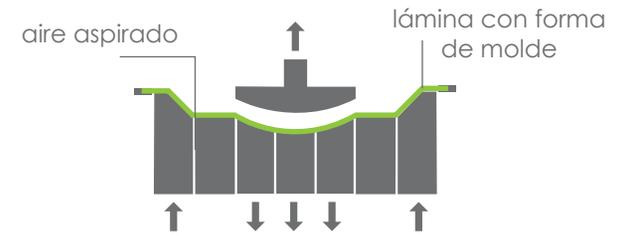
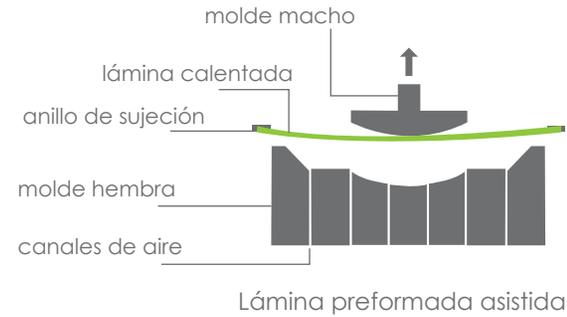
Tabla 9: Características de materiales

## Análisis Tecnológico

### Características de Procesos

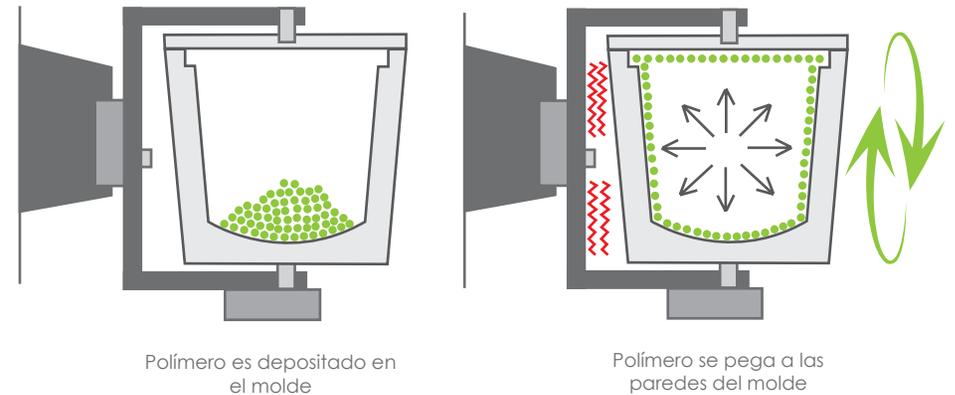
#### Termoformado

Es un proceso de fabricación de piezas en el que se parte de una lámina de materiales plásticos previamente obtenida y que por la acción del calor proporcionado por una pantalla, placa u horno, eleva la temperatura de la lámina para que quede apta para la deformación. Luego, con la utilización de un molde, sumado a la acción de aire comprimido o vacío se hace adherir la lámina al molde, el cual, por estar frío, rigidiza la pieza.



#### Rotomoldeo

En un proceso de moldeo de polímeros a altas temperaturas y baja presión que usa calor y rotación biaxial para producir partes huecas en una sola pieza. Primero se coloca el polímero en forma de polvo dentro del molde, luego se calienta el molde y se hace girar, haciendo así que el plástico se adhiera a la pared del molde. Cuando se enfría el molde la pieza se encoge y se depega, saliendo formada así la pieza.



## 3. Conceptualización y propuestas

---

## Funciones principales de sistema

**Función de primer orden:** Brindar las condiciones adecuadas para propiciar el crecimiento del cultivo:

- Iluminación adecuada
- Nutrientes necesarios
- Soporte o sosten
- Espacio adecuado para el crecimiento
- Temperatura adecuada
- Humedad necesaria

**Función de segundo orden:** Facilitar al piscicultor el cuidado de las plantas y de los peces, así como el ahorro de agua limpia:

- Tener acceso a todas las plantas
- Facilitar la cosecha de peces y plantas
- Permitir un manejo adecuado de plagas y enfermedades
- Generar una percepción agradable y amigable
- Propiciar la higiene
- Reutilizar el agua sucia de los peces

**Función de tercer orden:** Permitir un fácil mantenimiento y uso del sistema:

- Tener acceso a todos los componentes
- Componentes sencillos
- Fácil manipulamiento de componentes

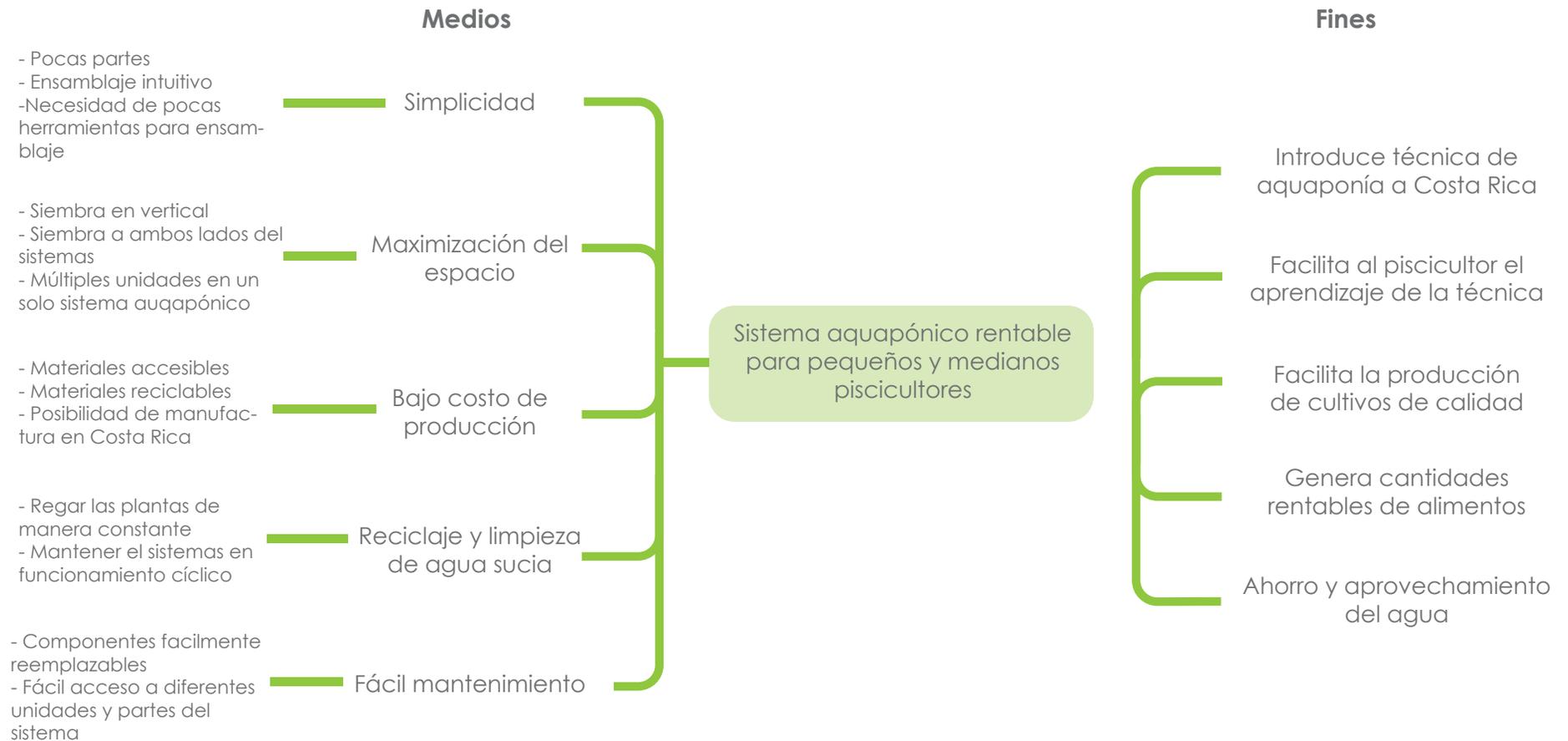
## Funciones, requisitos y requerimientos del sistema

Funciones del sistema	Requisitos	Características
<p><b>Función de primer orden:</b> Brindar las condiciones adecuadas para propiciar el crecimiento de los cultivos (peces y plantas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Debe brindar iluminación por 6 horas diarias</li> <li>-Cada plantas debe tener la alimentación acorde a sus necesidades y etapas de crecimiento</li> <li>-Debe tener suficiente sustrato para el sostén de las plantas</li> <li>-Debe tener espacio adecuado para el crecimiento</li> <li>-Debe existir una temperatura entre 25° y 31° C preferiblemente</li> <li>- Debe haber humedad del 60% al 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Distribución, espacio entre plantas</li> <li>-Sistema de riego y CSC (critical standing crop)</li> <li>-Forma y tipo de contenedor</li> <li>-Distribución, espacio entre plantas y filas</li> <li>-Acorde al clima de la zona y necesidades del cultivo</li> </ul>
Funciones del sistema	Requerimientos	Características
<p><b>Función de segundo orden:</b> Facilitar al piscicultor el cuidado de las plantas y de los peces, así como el ahorro de agua limpia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permitir el acceso a todas las zonas</li> <li>-Facilitar el control y reutilización del agua</li> <li>-Facilitar la cosecha y la plantación de nuevas plantas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Distribución, espacio entre unidades, sistemas y filas</li> <li>-Debe de tener indicadores visibles</li> <li>-Distribución específica de zonas de crecimiento</li> </ul>
<p><b>Función de tercer orden:</b> Permitir un fácil mantenimiento y uso del sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estructura y componentes resistentes a fuerzas y agentes climáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Materiales y configuración acorde al componente y sus respectivas funciones</li> </ul>

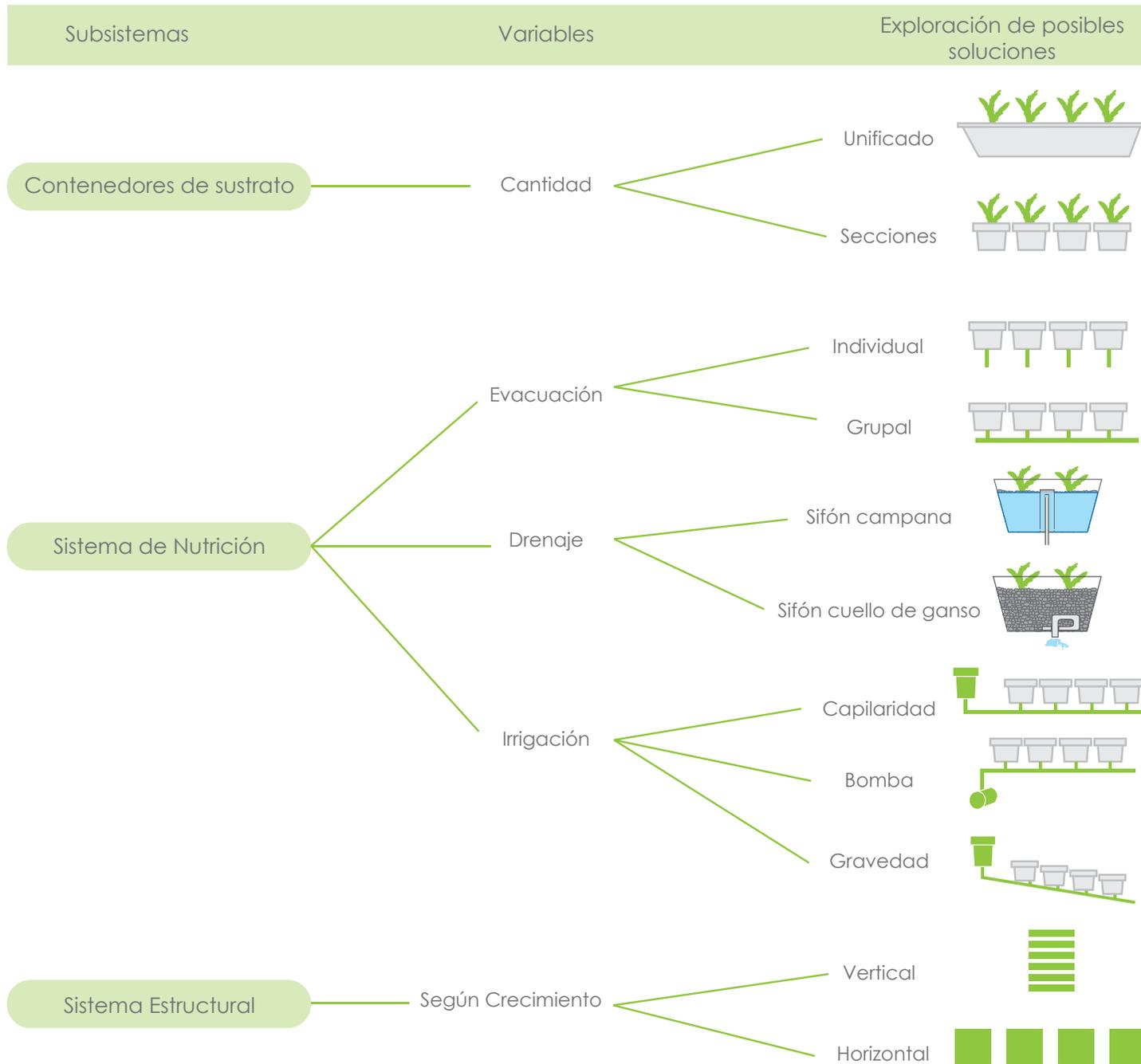
Tabla 10: Funciones, requisitos y requerimientos

## Árbol de conceptos de diseño

Con base en el árbol de problemas se establece la base de diseño para la elaboración de las propuestas, y permite establecer parte de los criterios para selección de propuesta final



## Exploración de posibles soluciones



## Propuesta 1

Se trata de un rediseño de los sistemas tradicionales de camas de crecimiento horizontal. Las camas estarían llenas de grava lo cual las hace funcionar como un biofiltro del sistema.

La idea principal sería hacer que las camas fueran más versátiles y hacer una modificación funcional y estética a los diseños disponibles ya en el mercado.

### PROS

- Sistema de fácil acceso y fácil instalación
- Pocos componentes

### CONTRAS

- Sistema demasiado parecido a lo que se puede encontrar en el mercado en estos momentos
- Manufactura de camas de crecimiento tan grandes sería difícil en nuestro país
- Mal aprovechamiento del espacio a nivel horizontal



## Propuesta 2

Se trata de un sistema de crecimiento con una inclinación de 30°. Se estaría diseñando una estructura metálica para el soporte de pequeñas camas de crecimiento donde se daría el cultivo de las plantas por medio de la técnica de flujo y drenaje.

Se tendrían además dos tanques inflables para lo que es la cría de la tilapia. Estos tanques se inflarían al llegar al lugar de instalación lo cual facilitaría el transporte de los componentes.

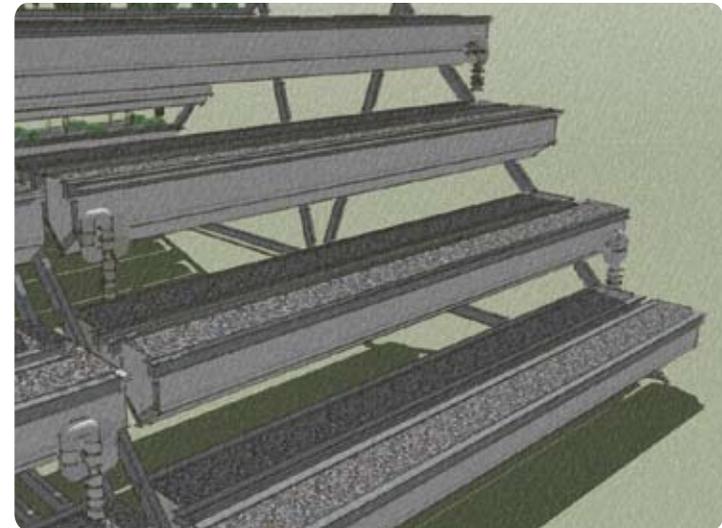
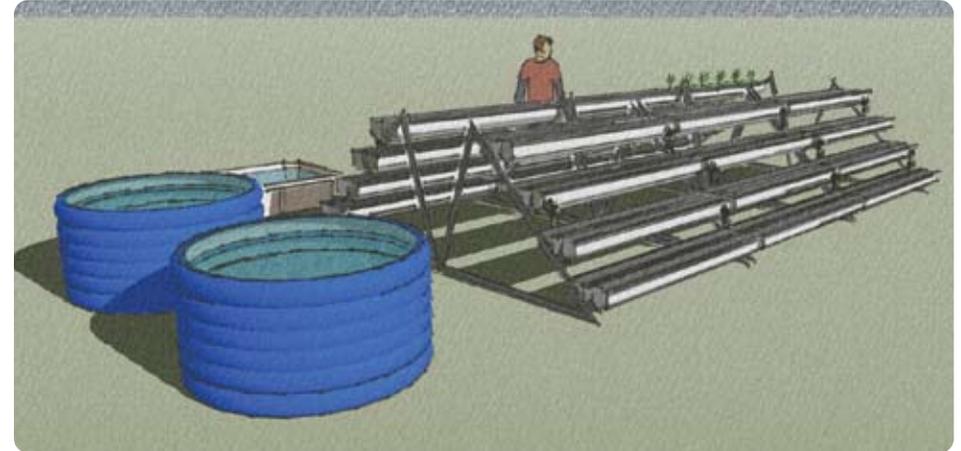
Las camas de crecimiento estarían llenas de perlita ya que esta es liviana y se drenarían por medio del uso de un sifón de cuello de ganso.

### PROS

- Sistema de fácil acceso y fácil instalación
- Sistema fácil de transportar
- Aprovechamiento del espacio en vertical

### CONTRAS

- Los materiales utilizados para los objetos inflables suelen reaccionar negativamente con el agua de los peces creando una babilla café dañina para la salud de los mismos
- Dependiendo del tipo de cobertura de PVC del material inflable, los costos de manufactura saldrían muy altos
- Se pueden dar fallos estructurales en los tanques, además de fugas y rupturas difíciles de reparar.



### Propuesta 3

Se mantiene la idea principal de la propuesta 3, el aprovechamiento del espacio vertical, pero se utilizan tanques regulares hechos a base de polipropileno. Los tanques son mejor estructurados que en la propuesta anterior lo cual los hace menos propensos a volcarse o a poner la vida de los peces en peligro.

La estructura metálica mantiene el mismo estilo de configuración que la propuesta anterior tratando de aprovechar así la posición de las plantas para recibir mejor luz y agua.

#### PROS

- Sistema fácil de transportar
- Aprovechamiento del espacio en vertical
- Componentes fáciles de fabricar con tecnología nacional

#### CONTRAS

- Tanques muy grandes pueden llegar a ser costosos de fabricar
- Materiales no oxidables para la estructura pueden llegar a ser costosos
- Pueden darse problemas ergonómicos de alcance por parte del usuario



## Cálculos y Pruebas experimentales:

Para poder definir cual de las propuestas escoger se hicieron pruebas para confirmar que fuera viable la realización de las mismas.

### Crecimiento en espacio reducido usando la técnica de flujo y drenaje

Para confirmar que es viable crecer hortalizas en espacios reducidos se realizó un experimento a escala en el cual se sembraron lechugas en un medio lleno de sustrato, en este caso grava, para así comparar su crecimiento con lechugas sembradas en tierra ordinaria.

Se realizó el mini sistema aquapónico con los siguientes componentes:

- 1 bomba de 900 V
- Pecera
- Grava
- Manguera
- 2 peces "cuatro colas"
- Contenedor para la grava"

Se vigiló el proyecto durante 5 semanas durante las cuales cada 2 semanas se midieron las plantas de lechuga para así comparar su rendimiento.

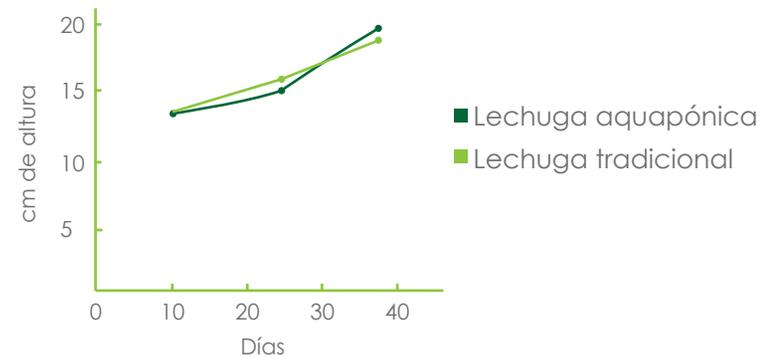
Se dejó al sistema empezar a madurar (dejar crecer a las bacterias nitrificantes) durante diez días, después de los cuales se sembraron dos lechugas en el sistema y dos en macetas pequeñas.

Las lechugas crecieron con las siguientes medidas:

- semana inicial: 14 cm ambas
- tercera semana: 15 cm lechuga aquapónica  
16 cm lechuga tradicional
- quinta semana: 19,8 cm lechuga aquapónica  
18,5 lechuga tradicional

La lechuga aquapónica terminó creciendo un 6,56% más que una lechuga en siembra tradicional en la misma cantidad de tiempo en un espacio igualmente reducido

Fig.9: Curva de crecimiento de lechugas



Lechugas aquapónicas

Semana 1



Semana 3



Lechugas tradicionales

Semana 1



Semana 3



## Cálculos de rendimiento

De acuerdo a los experimentos realizados en el sistema acuapónico de la Universidad de las Islas Vírgenes se deben hacer ciertos cálculos para así lograr un sistema estable:

1. Cuanto alimento aproximadamente se gastaría por año?

$$\frac{60 \text{ g}}{\text{m}^2 \times \text{días}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{18,816 \text{ m}^2}{\text{area de crecimiento}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 412,07 \text{ Kg de alimento al año}$$

2. Conversión de alimento a peso

$$\frac{\text{total de alimento}}{\Delta \text{ peso}} = \frac{412,07}{515,08} = 0,8$$

Con esto se sabe que por cada Kg de pescado se necesitan 0,4 Kg de alimento.

Eficiencia del alimento

$$1:0,8 = \frac{1}{0,8} = 1,25$$

este dato representa que por cada Kg de alimento se producen aproximadamente 2,5 Kg de biomasa en el tanque

3. Producción de biomasa

$$\frac{412,07 \text{ Kg de alimento}}{\text{año}} \times \frac{1,25 \text{ Kg de biomasa}}{\text{Kg de alimento}} = 515,1 \text{ Kg de biomasa}$$

Con este dato se da entonces que:

$$\text{Num. de peces por año} = \frac{515,1 \text{ Kg de biomasa}}{0,700 \text{ Kg biomasa por tilapia}} = 736 \text{ tilapias al año}$$

Esto es alrededor de 483 tilapias por cosecha.

## El CSC (Critical Standing Crop)

Es el máximo de peces que puede haber en un sistema.

Se da para que el sistema funcione con la mayor eficiencia posible.

CSC recomendado : 60 kg por metro cúbico

Con los datos que se obtuvieron anteriormente se tiene entonces que la densidad de peces a la cual se obtendría un CSC estable en el sistema propuesto debe ser de:

$$\frac{60}{0,700} = 86 \text{ tilapias x m}^3$$

Con esto se obtiene que:

- La densidad de peces del sistema debe ser de 86 tilapias por metro cúbico para que éste funciones
- Para lograr la cantidad de biomasa deseada se tiene que tener 18,816 metros cuadradoa de área de crecimiento.

## Parámetros de evaluación

Además de la curva de crecimiento se evaluarán en la siguiente tabla aspectos importantes que deben contemplarse en el diseño y reafirmarán la opción más acertada.

Criterios de Evaluación	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
<b>Crecimiento de plantas</b> -Recepción de luz y agua -Crecimiento uniforme	Buena recepción de luz y las plantas tienen suficiente espacio para crecer adecuadamente 	Buena recepción de luz en todas las hileras, una buena distribución hace que se de un crecimiento uniforme 	Buena recepción de luz en todas las hileras, una buena distribución hace que se de un crecimiento uniforme 
<b>Sistema simple</b> -Pocos componentes -Facilidad de instalación -Facilidad de mantenimiento	Camas de crecimiento pueden ser difíciles de limpiar 	Componentes sencillos, pequeños que permiten armar la unidad en sitio. Si se daña un pieza se puede reparar fácilmente 	Componentes sencillos, pequeños que permiten armar la unidad en sitio. Si se daña un pieza se puede reparar fácilmente 
<b>Unidad entre sistemas</b> -Crecimiento -Área ocupada	El área ocupada puede llegar a ser muy grande 	Se aprovecha el espacio y el area depende de la distribución y forma de las pequeñas camas de crecimiento. 	Se aprovecha el espacio y el area depende de la distribución y forma de las pequeñas camas de crecimiento. 
<b>Sistema de riego</b> - Facilidad de crecimiento -Facilidad de instalación	El sistema de riego se puede configurar con pocos componentes y satisfacer las necesidades del las unidades 	El sistema de riego se puede configurar con pocos componentes y satisfacer las necesidades del las unidades 	El sistema de riego se puede configurar con pocos componentes y satisfacer las necesidades del las unidades 

Tabla 11:Parámetros de Evaluación

## Sintésis de selección de propuesta

De acuerdo a los parámetros de evaluación establecidos en la tabla anterior y a los datos obtenidos en las pruebas y cálculos realizados, se llegó a la conclusión de que la mejor propuesta es la número 3.

### Beneficios

#### Estructura simple

Utiliza pocos elementos fáciles de reemplazar, permite el crecimiento del sistema sin abarcar gran área. Además el sistema de riego se facilita al crecer linealmente

#### Favorece crecimiento

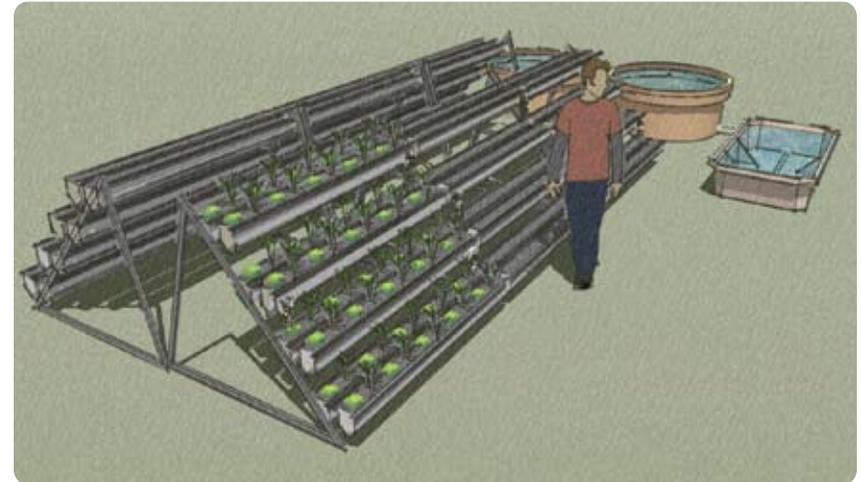
Permite el buen crecimiento de los cultivos, brindando buena recepción de luz en cada hilera por su forma escalinal de distribución. La distribución del agua con nutrientes se da de manera uniforme.

Inocuidad y seguridad de los alimentos

Las plantas se pueden dar sombra entre si con este sistema. Los pece están seguros en estos tanques sólidos y se evitan infecciones creadas a partir de reacciones negativas con los materiales.

### Siguiente etapa

Con esta base formal definida se desarrollarán propuestas y se definirá de la mejor solución del resto de componentes que conforman el sistema, siendo la rentabilidad y cuidado de los cultivos y mantenimiento de la estructura los aspectos más relevantes para la toma de decisión.

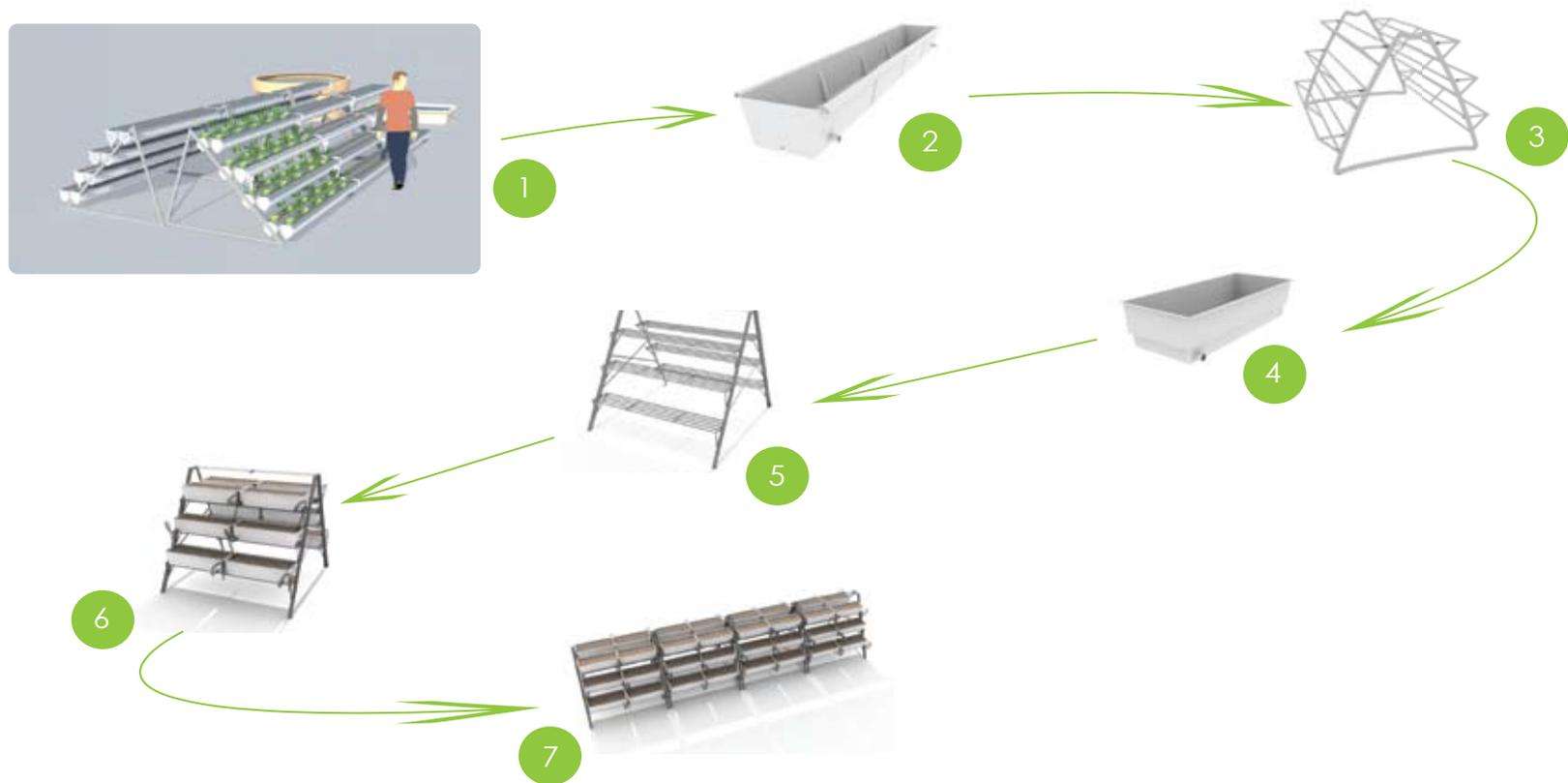


## 4.Propuesta Final

---

## Evolución de la propuesta

En esta línea del tiempo se pueden visualizar las variaciones de los componentes en el proceso del diseño, las razones por las que se descartan y los aspectos positivos que se mantienen para la solución final.



1. Se toma para trabajar la propuesta 3, escogiendo así el sistema vertical de crecimiento como proyecto definitivo.
2. Se piensan las camas de crecimiento como unidades individuales de 2m de largo, además éstas se guindan de los tubos de la estructura de soporte. Se desecha la idea ya que su fabricación es muy difícil y costosa y se tienen problemas de soporte.
3. Se plantea la estructura de soporte de 2 m de largo para que pueda soportar el peso de las camas de crecimiento. Se desecha esta idea ya que las camas no calzan bien y se dan problemas de fuerzas por tener que soportar un peso tan grande.
4. Se replantea la cama de crecimiento como una unidad más pequeña y fácil de manipular y de limpiar.
5. La estructura de soporte es rediseñada utilizando componentes simples que fueran fáciles de aramar y fáciles de reponer cuando se necesite.
6. Se define la organización de la camas de crecimiento en el sistema y la forma en que se va a distribuir el agua.
7. Se define la manera en que se van a colocar las unidades y cuántas se van a necesitar en el sistema.

## Propuesta definitiva



### Descripción general

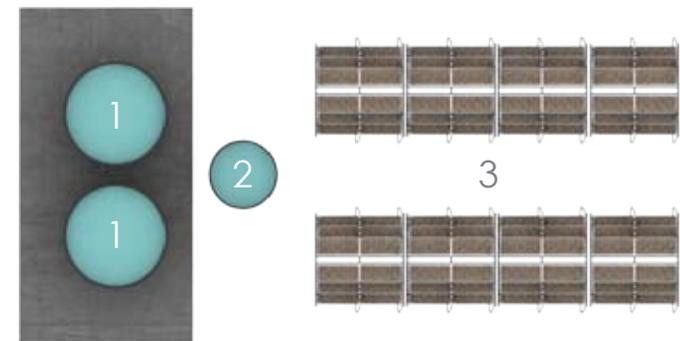
Se trata de un sistema en el cual se utilizan pequeñas camas de crecimiento para la siembra de plantas y en el cual se aprovecha el agua de desecho de dos tanques de producción de tilapia. Las camas están dispuestas de forma vertical para maximizar la recepción de luz con lo cual se asegura el buen crecimiento de las plantas y un buen aprovechamiento del espacio.

Las plantas se alimentan mediante la técnica hidropónica del flujo y drenaje, utilizando como sustrato la perlita y un sifón de cuello de ganso para el control del flujo del agua.

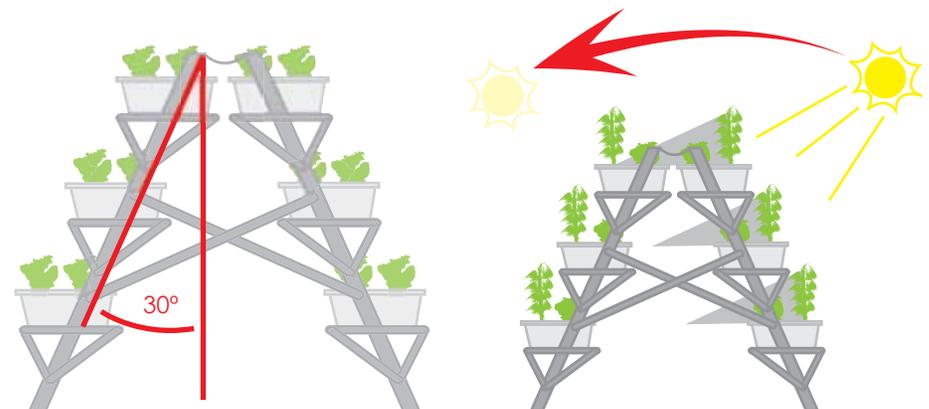
### Configuración del sistema

El sistema cuenta de 3 componentes principales, los cuales son:

1. Tanques de cría de tilapia
2. Tanque de reserva
3. Unidades de crecimiento vegetal



Las unidades tienen una estructura con una inclinación de  $30^\circ$  para así aprovechar el espacio y que las plantas se den sombra entre sí a lo largo del día, ya que diversos cultivos tienen diversas necesidades del luz y temperatura.



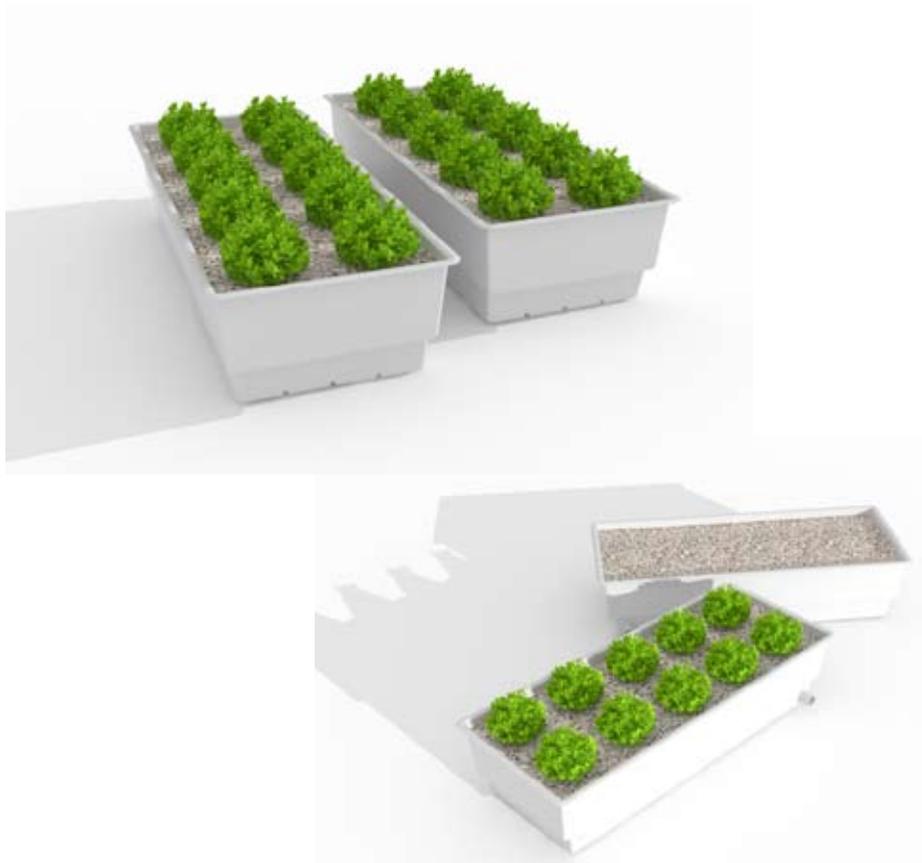
## Componentes

### Camas de crecimiento

#### Características

Las camas de crecimiento tienen una medida de 28 cm de ancho por 70 cm de largo y se cuenta con una profundidad de 16 cm. Este espacio permite la siembra de alrededor de 10 plantas en cada cama y tiene una profundidad adecuada para que las raíces puedan crecer cómodamente.

Se utiliza como material el polipropileno ya que es totalmente reciclable, no tienen ningún contaminante que se pueda transmitir al agua, no absorbe agua, no es tóxico y presenta muy buena resistencia a la intemperie. Se fabricarían en color blanco para así evitar la aparición de hongos y algas.



#### Fabricación

Las camas se fabricarían por medio de termoformado ya que permite una rápida manufactura. Primero se fabricaría la cama en la cual se da una guía para que así luego los operarios puedan hacer un agujero y pegar el tubo por el cual se da el desagüe.

#### Interacción

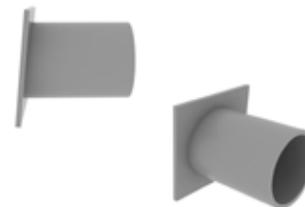
Las camas permiten que el agua las llene antes de vaciarse a través de un sifón de cuello de ganso, pasando así el agua a la camas que se encuentran en un nivel inferior. El sustrato (perlita) actúa como un biofiltro dentro del sistema y esta acción constante de llenar y vaciar la cama es beneficiosa para las raíces ya que se da muy buena oxigenación.



Cuenta con 3 nervios en la parte inferior para así dar estructura y evitar deformidades durante el proceso de fabricación



Se da un reborde y un desnivel en el cuerpo tanto para estructura como para su fácil desmolde en el proceso de fabricación



El tubo se coloca en la cama durante un proceso secundario de manufactura. El tubo puede ir en el lado derecho o bien en el izquierdo

## Tanques

### Características

Los tanques están fabricados por medio de rotomoldeo ya que sólo este proceso permite la fabricación de piezas plásticas tan grandes. Están fabricados a base de polipropileno ya que este material no presenta ningún peligro para las tilapias y no reacciona de manera negativa con el agua sucia de las mismas.

Ambos tanques presentan bajorelieves en sus superficies para así dar estructura y rigidez. Los tanques son redondos para así lograr un proceso de fabricación más rápido y con menos probabilidades de deformidades en el producto.



### Tanque de tilapias

diámetro: 1,58 m  
altura: 1,08 m  
capacidad: 2140 L



### Tanque de reserva

diámetro: 1 m  
altura: 95 cm  
capacidad: 745 L

## Bomba

### Características

El sistema cuenta solamente con una bomba ya que el resto del proceso de irrigación se da por principios físicos y gravedad. La bomba escogida es la Little Giant la cual es sumergible y automática.

### Especificaciones:

Fuerza: 1/3 HP (caballos de fuerza) y 45 GPM (galones por minuto)  
Voltaje: 115 V  
Watts: 720  
Peso: 18,5 libras  
Altura: 15 cm  
Largo: 24 cm  
Ancho: 22 cm

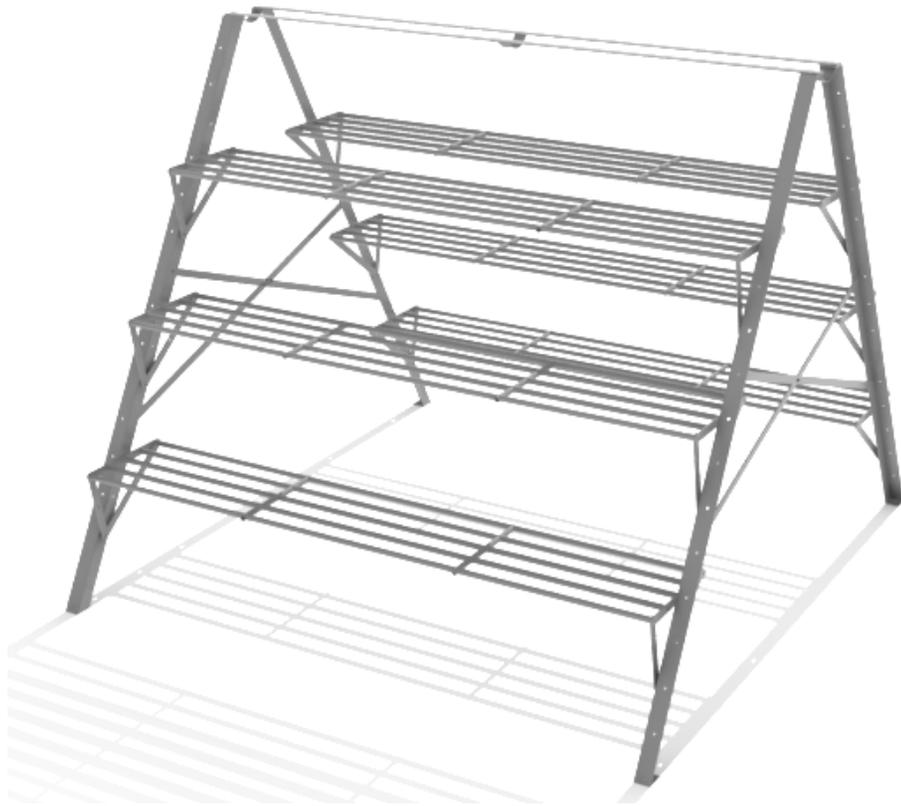
Cuando está a su mayor capacidad la bomba puede subir agua hasta una altura de 18 pies.



## Estructura

### Características

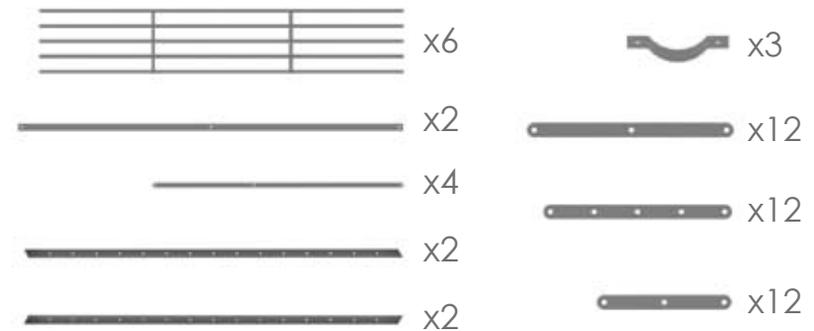
Se trata de una estructura hecha a partir de lamina de 3 mm de acero galvanizado. El acero galvanizado es muy resistente a la humedad, razón por la que fue elegido para el proyecto. La estructura está conformada por varios componentes simples y se puede armar en sitio solamente con la ayuda de una llave y un desatornillador.



Los componentes se unen a través del uso de tuercas, tornillos y arandelas. De estos componentes se necesitan para cada unidad las siguientes cantidades:



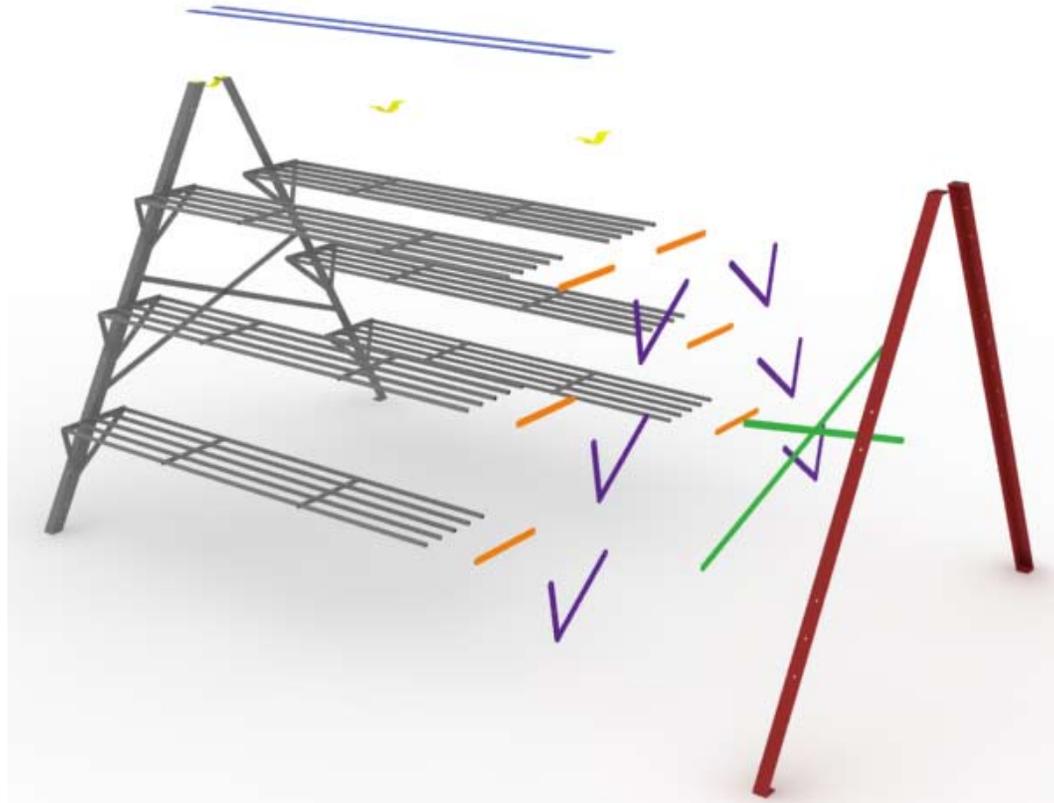
Los demás componentes metálicos se dan en las siguientes cantidades por unidad:



Para anclar las unidades se utiliza un clavo especializado para cuando se trata de anclar en tierra. Si se trata de anclar en cemento se pueden utilizar tornillos y espanderos.



## Ensamblaje de la estructura

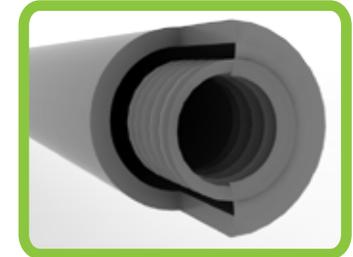


- Paso 1: Atornillar rejilla a conectores
- Paso 2: Colocar los siguientes conectores para dar soporte a rejilla
- Paso 3: Atornillar rejillas y conectores a las patas
- Paso 4: Atornillar paralelos a patas para dar estabilidad
- Paso 5: Alinear piezas para poder atornillar los soportes de la tubería
- Paso 6: Atornillar longitudinales y soportes de tubería

## Detalles



Todas las piezas cuentan con los agujeros necesarios para poder atornillarlas



Los tubos se pueden atornillar fácilmente ya que tienen una rosca dentro



Las piezas se unen fácilmente con las tuercas y arandelas



Los clavos se posicionan en los agujeros que se encuentran en las patas de la unidad

## Sistema de Riego

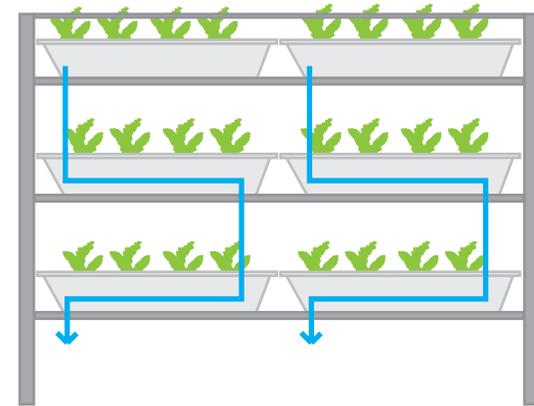
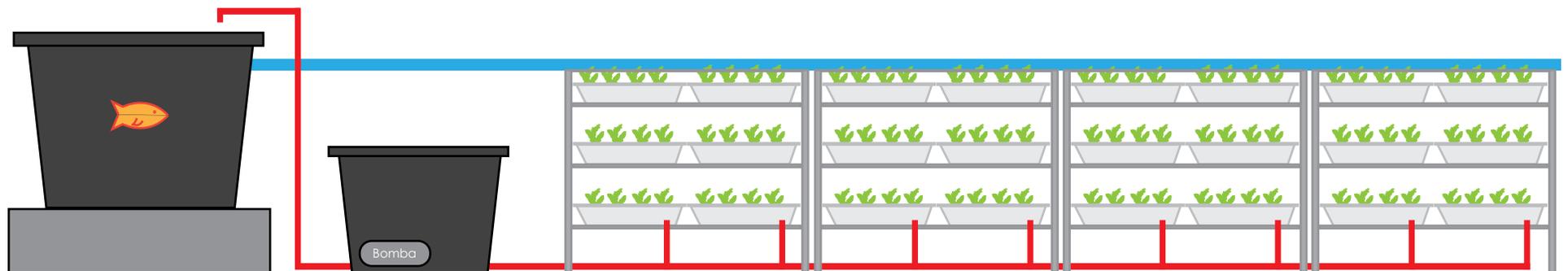
Los tanques de tilapia se encuentran a una altura de 44 cm sobre una pequeña plataforma de concreto lo cual hace que los excesos de agua fluyan con facilidad hacia las unidades donde se encuentran las camas de crecimiento.

El agua se distribuye a través del sistema por medio de tubería de PVC convencional. La parte superior de la estructura metálica es curva para así poder sostener con facilidad la tubería y distribuir el agua a las camas de crecimiento.

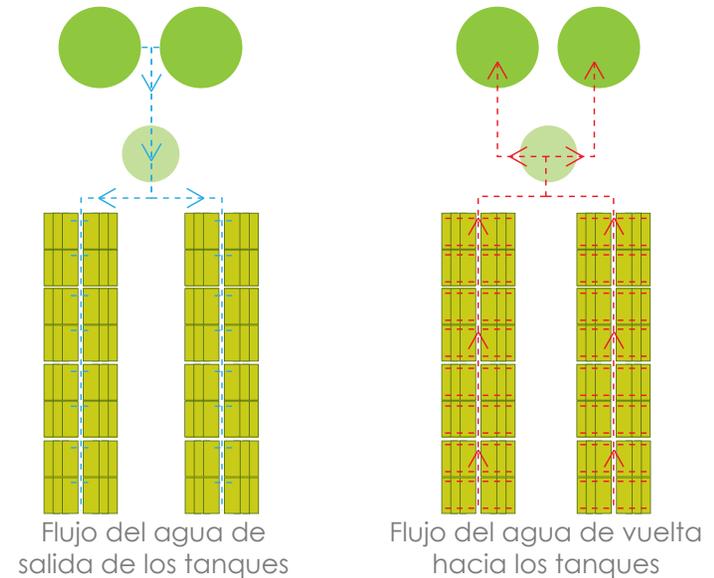


Se utilizan dos tipos de tubo: de 3 pulgadas, para el flujo de agua de los tanques de tilapia a las camas, y de 1 pulgada para el desague de las camas de crecimiento y el flujo hacia el tanque de reserva.

El agua viaja de las camas de crecimiento por las tuberías hacia el tanque de reserva y de ahí es bombeada de nuevo los tanques de las tilapias, el bombeo es necesario para así alcanzar la altura necesaria y lograr que el agua tenga caída lo cual es beneficioso ya que oxigena el agua de los peces



El agua fluye de manera zigzagueante a través de las camas



Flujo del agua de salida de los tanques

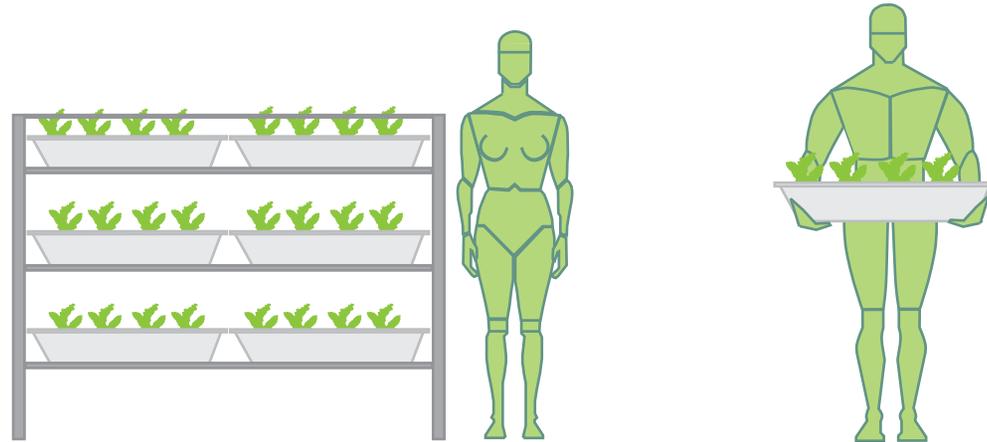
Flujo del agua de vuelta hacia los tanques

## Interacción con el usuario

### Tiene acceso a todos los cultivos

Altura máxima del sistema: 1 m 30cm  
Ancho del contenedor: 28cm  
Largo del contenedor: 70cm

La distancia entre las hileras de unidades es adecuada para que el usuario pueda navegar con comodidad y realizar su trabajo.



### Mantenimiento constante:

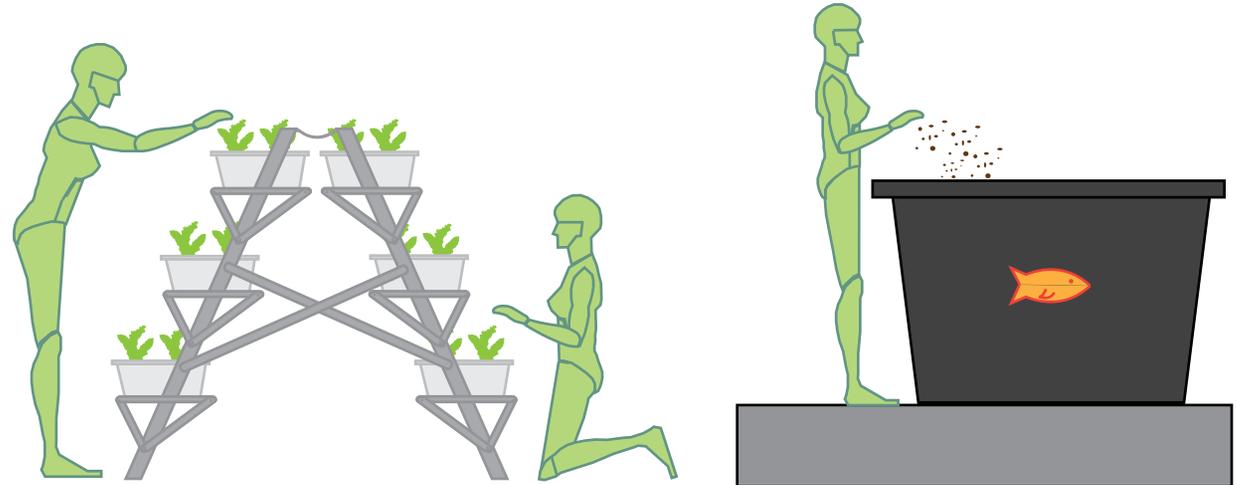
- Alimentar los peces
- Cultivar plantas y plantar nuevas
- Revisar tuberías

### Mantenimiento eventual:

Después de cada cosecha debe extraer el cultivo y el sustrato

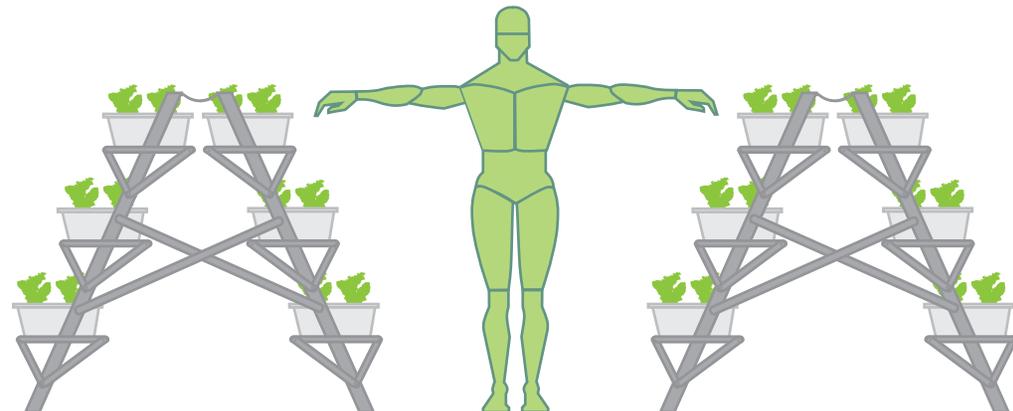
El sustrato y el contenedor deben lavarse con agua y eliminar cualquier tipo de impureza que pueda ser dañina para los cultivos futuros

Una vez limpios colocar el sustrato limpio y las plántulas nuevas para iniciar con la nueva cosecha



### Transporte

Los contenedores pueden funcionar para transportar el cultivo de la zona de cosecha a la zona de uso



## Entorno de uso

El sistema debe situarse en exteriores, en un área libre, preferiblemente con el suelo nivelado para que la base tenga soporte en los cuatro puntos de apoyo.

Se recomienda mantener la zona libre de malas hierbas y mantener el césped corto para así dar un aspecto más limpio y así evitar que el pasto y la maleza atraigan a posibles plagas a los cultivos del sistema.

Un solo sistema requiere de 22.71 metros cuadrados. Si se quisieran implementar 2 sistemas para tener mayor ganancia y producción, se requeriría de un área de al menos 50 metros cuadrados o bien 0,005 hectáreas.



## Aspectos perceptuales

En general se busca una configuración más funcional que estética, sin embargo, la utilización de un sistema que usa niveles ha facilitado la distribución de los cultivos de una forma eficiente manteniendo una estética con pocos elementos. Ya que el usuario es quien arma las unidades, el ver que tiene que trabajar con pocos elementos ayuda a darle confianza y a entender con facilidad su configuración.

Este sistema busca exaltar el cultivo, su cromática y sus texturas, por ello la sobriedad con la utilización de formas puras, el color plateado de la estructura busca ser discreto y el blanco en contenedores incentiva la limpieza, aspecto fundamental al tratar con alimentos.



## Utilidades

### Vegetales

Se utilizarán las lechugas para este ejemplo, cada lechuga se vende a 300 colones en la ferias orgánicas.

- Se producen 10 lechugas por cama
- Eso es 120 por unidad, o sea 960 lechugas por sistema
- Se dan alrededor de 13 cosechas al año
- En total se da una ganancia de **\$7.284 anuales**

### Pescado

- Se deben criar unas 736 tilapias para obtener alrededor de 515 Kg de biomasa al año
- Cada tilapia se cosecha al alcanzar los 0.700 Kg
- Se dan 2 cosechas por año, en cada una se crían 368 tilapias aproximadamente
- El kilogramo de tilapia fresca se compra a \$8, lo cual da un total de ganancia de **\$4.120 anuales**

### TOTAL

\$7.284 de lechugas

\$4.120 de pescado

---

\$11.404 anuales

Esto es aproximadamente **5.861.680 colones anuales**, o bien **488.473 colones mensuales**

## Costos de manufactura

Los costos fueron calculados pensando en la manufactura de 200 sistemas acuapónicos completos.

### Costos estructura

Conector A	\$2,03	x unidad
Conector B	\$2,03	x unidad
Conector C	\$2,03	x unidad
Longitudinales	\$9,75	x unidad
Patas	\$18,16	x unidad
Parales	\$3,50	x unidad
Rejilla	\$20,37	x unidad
Soporte tubería	\$0,87	x unidad

### Costos cama crecimiento

Cama	\$19	x unidad
------	------	----------

### Costos tanques

Tanque de tilapias(molde)	\$5676
Tanque de tilapias(costo de fabricación)	\$99,9 x unidad
Tanque de reserva(molde)	\$4043
Tanque de reserva(costo de fabricación)	\$37,8 x unidad

### Costos tuberías

Tubería PVC 3 pulg.	\$20 p/ todo sistema
Tubería PVC 1 pulg.	\$15 p/ todo sistema
Accesorios PVC 3 pulg.	\$8 p/ todo sistema
Accesorios PVC 1 pulg.	\$12 p/ todo sistema
Manguera 1 pulg.	\$1,69 x metro

### Otros

Bomba	\$106,45 x unidad
-------	-------------------

## Costos Totales por sistema

Componente	Cantidad	Precio
Conector A	96	\$195
Conector B	96	\$195
Conector C	96	\$195
Longitudinales	16	\$156
Patas	32	\$580
Parales	32	\$112
Rejilla	48	\$976
Soporte tubería	24	\$21
Camas	96	\$1824
Tanque de tilapias	2	\$199,8
Tanque de reserva	1	\$37,8
Tubería PVC 3 pulg.	13 mts	\$20
Tubería PVC 1 pulg.	13 mts	\$15
Accesorios PVC 3 pulg.	5	\$8
Accesorios PVC 1 pulg.	24	\$12
Manguera 1 pulg.	20 mts	\$34
Bomba	1	\$106,45
<b>TOTAL</b>		<b>\$4687</b>

## Gradientes de mejoramiento

### A nivel de sistema

#### Uso del agua

Permite la reutilización del agua sucia de los peces

#### Gradiente

En los sistemas tradicionales de cultivo de tilapia se da un uso inapropiado del agua y se desperdicia de manera desmesurada, aquí se aprovecha y se utiliza para la siembra de plantas. Al reutilizar el agua y aprovechar la limpieza que dan las bacterias nitrificantes se necesitaría hacer solo 1 recambio al día, lo que ahorraría hasta 19 260 litros de agua limpia por tanque en el sistema.



Gasto diario de agua sistema acuapónico:



Gasto diario de agua sistema tradicional:



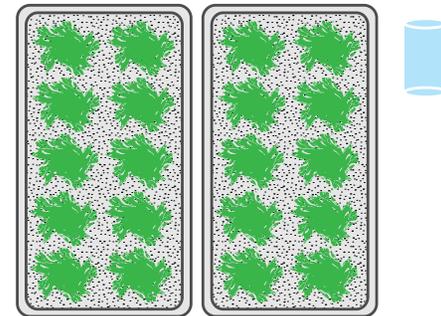
#### Aprovechamiento del agua

El sistema permite el aprovechamiento del agua sucia de los peces

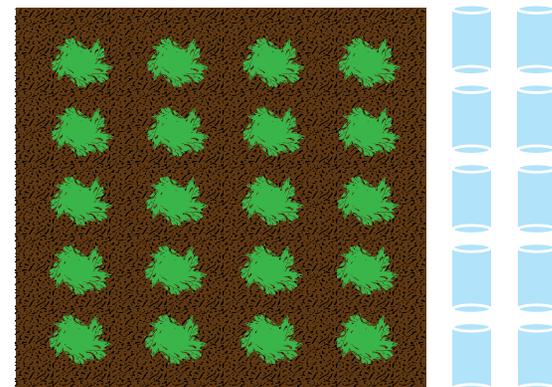
#### Gradiente

En los sistemas tradicionales el agua sucia no se reutiliza y simplemente se elimina. En este sistema se aprovecha el agua sucia para sembrar las plantas lo cual hace que se ahorre agua ya que se limpia el agua de los peces y a su vez se pueden crecer plantas con tan sólo 1/10 parte del agua que se usa en el cultivo de plantas tradicional.

Agua utilizada por sistema acuapónico:



Agua utilizada por sistema tradicional de cultivo:

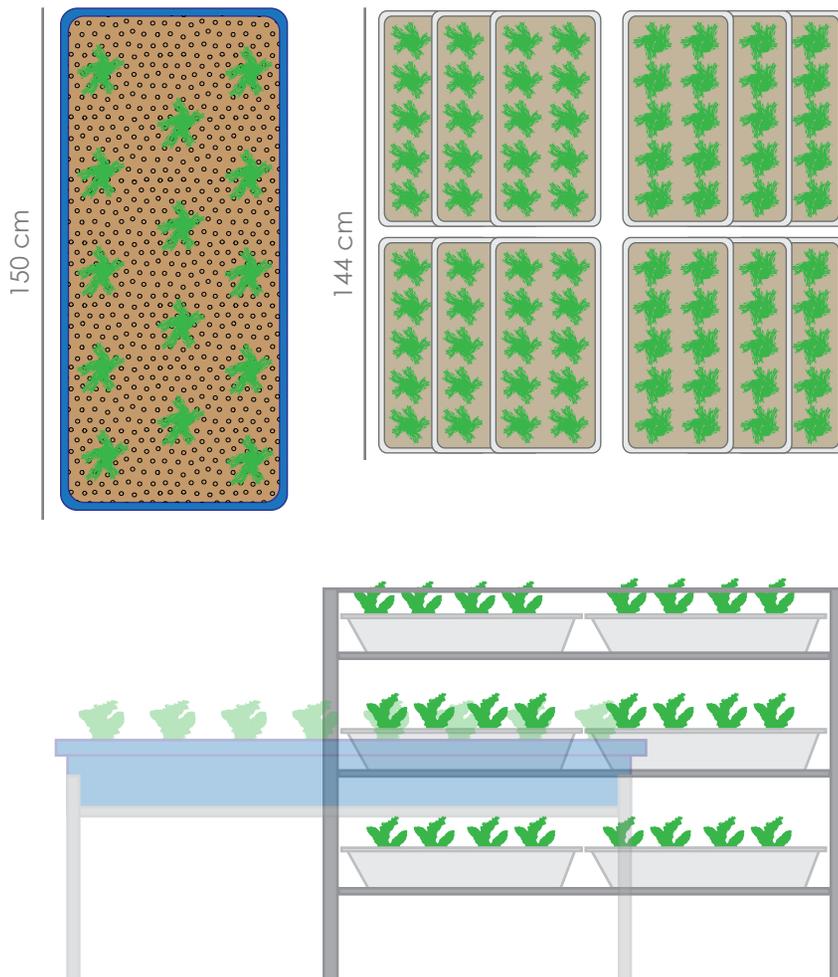


### Mejor utilización del espacio

Se aprovecha mejor el espacio al distribuir las plantas de manera vertical y en niveles en lugar de un solo plano horizontal

### Gradiente

En un cultivo horizontal, aunque sea un componentes hidropónico, solo se pueden sembrar alrededor de 71 plantas en un espacio de 2 metros cuadrados mientras que con estas unidades en ese mismo espacio se pueden cultivar unas 120 plantas. Al utilizar así el espacio se podrían poner pequeñas granjas en espacios donde antes no se consideraba, incitando así a los pequeños productores.



### A nivel de instalador

- Este paquete tecnológico permite a la persona interesada la adquisición de las piezas prefabricadas necesarias, el sistema es simplemente de armar en el sitio.

- Requiere de herramientas y de conocimiento muy básico

- Se puede armar entre dos personas

### A nivel del piscicultor

- Facilita las labores de mantenimiento y cuidado del cultivo

- El sistema busca maximizar la funcionalidad de los componentes, lo que permite tener menos piezas y mejor entendimiento de las mismas por parte del usuario.

- La técnica de la acuaponía es simplificada para así poder facilitar el aprendizaje de la técnica al piscicultor experimentado o bien principiante.

### Aportes del proyecto

#### A nivel de producción

Se da la opción de producir grandes cantidades de alimentos muy saludables de manera sencilla y amigable con el ambiente. Además al ser una técnica simple pueden haber cada vez más productores de este tipo, sacando así provecho de las condiciones climáticas tan favorables de nuestro país.

#### A nivel social

Es un incentivo para la creación de pequeños módulos productivos en diferentes regiones del país, el sistema brinda cultivos de alta demanda y alto valor nutritivo, además es una manera de incentivar un cambio hacia la búsqueda de un estilo de vida más saludable y más conciente con el ambiente.

## Conclusiones

Los elementos necesarios para el cultivo de hortalizas de alta calidad se pueden establecer en un espacio relativamente pequeño, siendo tan o más eficientes que los sistemas actuales.

Es posible desarrollar un sistema con pocos elementos que puedan adaptarse con facilidad para proporcionar confort y facilidad de mantenimiento al usuario y productor.

En el país hay gran posibilidad de implementar este tipo de sistemas, ya que los sistemas de producción de tilapia actuales tienen carencias en varios aspectos, y no existe en el mercado un sistema que reúna todos los beneficios, por lo que el sistema propuesto tiene gran ventaja competitiva.

La modularidad y la implementación de pocos elementos lo vuelven mucho más versátil y facilita su transporte.

Ya que el sistema es de fácil uso, ensamblaje y mantenimiento presenta una buena opción para la introducción de la técnica de la acuaponía en el país.

## Recomendaciones

La nivelación de la superficie es fundamental para mantener la estabilidad del sistema.

Establecer como mínimo 2 personas de mantenimiento ya que al ser un trabajo semi-tecnificado, se requiere de cuidados y vigilancia en cuanto a sanidad y crecimiento correcto del cultivo.

El sistema es de uso externo, no es recomendable el uso en interiores debido a la iluminación y ventilación que se requiere para esa densidad de plantas. (En un invernadero cerrado por completo existe 30% menos de luz que en el exterior, y la iluminación artificial favorece pero disminuye la velocidad de crecimiento).

Se debe recordar que es necesario dejar reposar todo el agua que se incorpore al sistema para que así se evapore todo el cloro que contiene la misma ya que el cloro mata a las bacterias nitrificantes necesarias en el proceso y además afecta la salud de los peces.

Es importante limpiar los contenedores y el sustrato después de cada cosecha para mantener el aseo y evitar generación de hongos y proliferación de insectos o plagas.

## Bibliografía

### Páginas web consultadas

"Aquaponic Gardening Rules of Thumb" disponible en: <http://aquaponicscommunity.com/page/aquaponic-gardening-rules-of> [15 marzo de 2011]

Frequently asked questions in aquaponic disponible en: [http://www.aquaponics.com.au/aquaponics\\_faq.htm](http://www.aquaponics.com.au/aquaponics_faq.htm) [11 mayo de 2011]

Integrated Systems of Agriculture and Aquaculture disponible en: <http://ag.arizona.edu/azaqua/extension/Classroom/Aquaponics.htm> [29 marzo de 2011]

Useful Diagrams disponible en: <http://www.aquaponiclynx.com/aquaponic-lynx-llc/aquaponics-in-detail/useful-diagrams> [12 de marzo de 2011]

Crop Layout to get maximum use from Grow beds disponible en: <http://www.aquaponicshq.com/forums/archive/index.php/t-480.html> [3 de marzo de 2011]

Can Aquaponics systems operate profitably? disponible en: <http://www.aquaponicshq.com/forums/archive/index.php/t-2452.html> [21 de abril de 2011]

Aquaponics: Optimizing the Grow Bed to Tank Ratio disponible en: <http://www.doityourself.com/stry/aquaponics-optimizing-the-grow-bed-to-tank-ratio> [12 de marzo de 2011]

How To Turn A Commercial Aquaponics System Into A Profitable Business disponible en: <http://ezinearticles.com/?How-To-Turn-A-Commercial-Aquaponics-System-Into-A-Profitable-Business&id=6002296> [12 de marzo de 2011]

Aquaponic designs disponible en: <http://www.backyardaquaponics.com/component/content/article/4/44-designs.html> [17 de febrero de 2011]

Advantages of Aquaponics over Hydroponics, Aquaculture and Soil Based Farming disponible en: [http://www.kulakahikofarm.com/kulakahiko/index.php?option=com\\_content&task=view&id=29&Itemid=43](http://www.kulakahikofarm.com/kulakahiko/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=43) [12 de marzo de 2011]

Nutrient fluxes in aquaponic systems disponible en: [http://www.slidefinder.net/n/nutrient\\_fluxes\\_aquaponics\\_systems\\_harry/24909360](http://www.slidefinder.net/n/nutrient_fluxes_aquaponics_systems_harry/24909360) [17 de marzo de 2011]

ACUICULTURA EN COSTA RICA disponible en: <http://www.incopesca.go.cr/Acuicultura.htm> [17 de marzo de 2011]

Small Unit Aquaponics disponible en: <http://es.scribd.com/doc/33577581/Small-Unit-Aquaponics> [30 de marzo de 2011]

Types of Aquaponics Mediums disponible en: [http://www.ehow.com/list\\_7466728\\_types-aquaponics-mediums.html](http://www.ehow.com/list_7466728_types-aquaponics-mediums.html) [11 mayo de 2011]

Plant species disponible en: <http://www.backyardaquaponics.com/component/content/article/4/46-plants.html> [5 de marzo de 2011]

Choosing a fish species disponible en: <http://www.backyardaquaponics.com/component/content/article/4/45-fish.html> [5 de marzo de 2011]

Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System disponible en: <http://www.backyardaquaponics.com/Travis/Update-on-Tilapia-and-Vegetable-Production-in-the-UVI-Aquaponics-System.PDF> [15 de abril de 2011]

### Personas consultadas

Campos, Luis Fernando Campos. Profesor de Agropecuaria Administrativa del ITCR

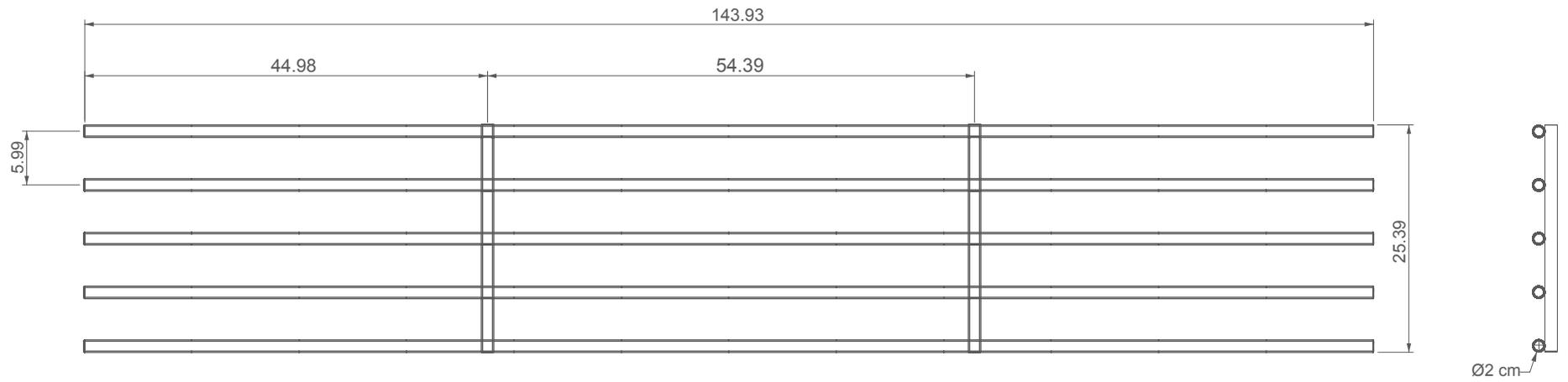
Andrés Castillo, RTC Termoformas, Bo. Corazón de Jesús, San José Costa Rica.

## 5. Anexos

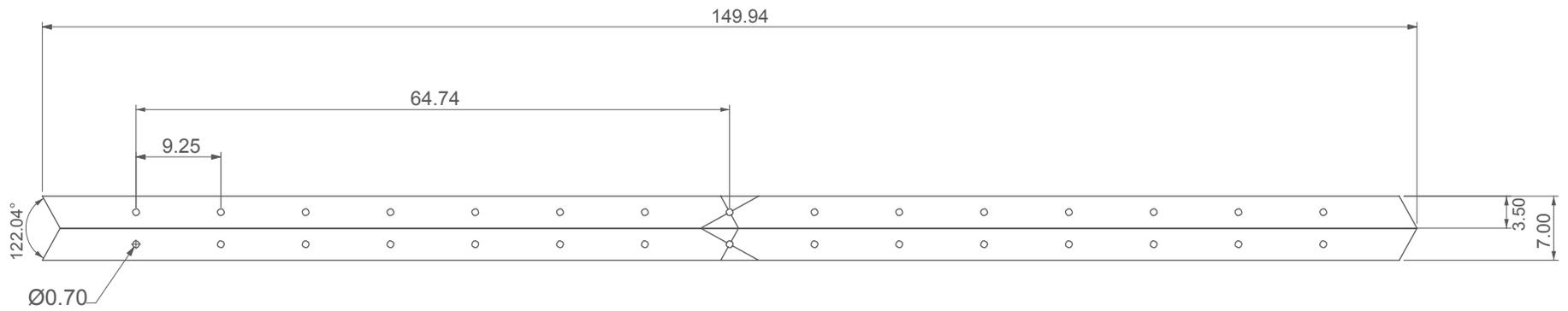
---

## REJILLA

\*todas las unidades están en cm

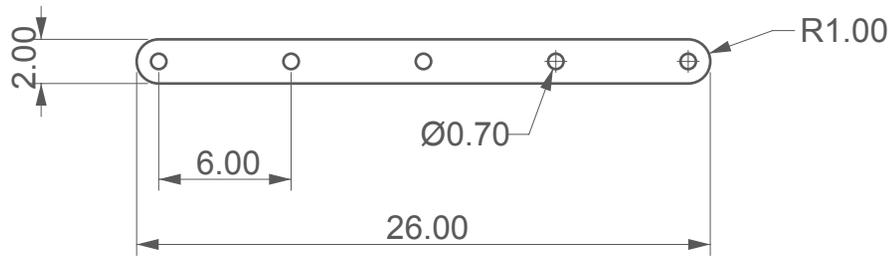


## PATAS

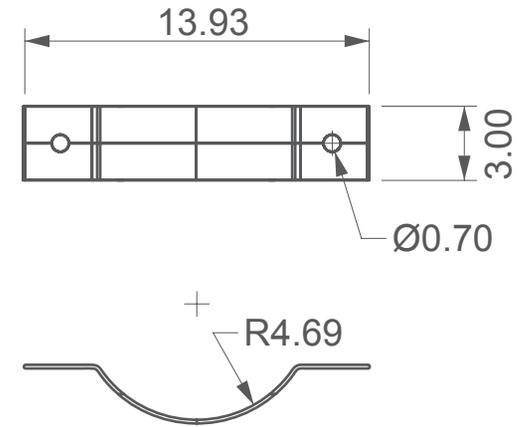


Doblada a la mitad en ángulo de  $90^\circ$

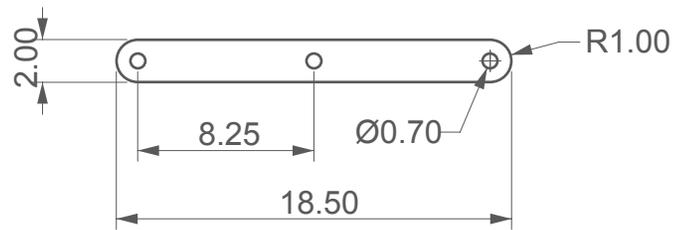
CONECTOR A



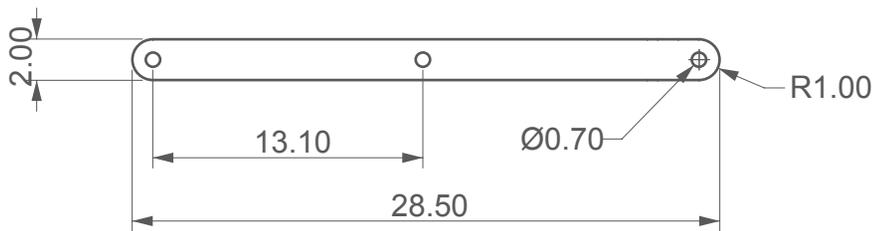
SOSTEN



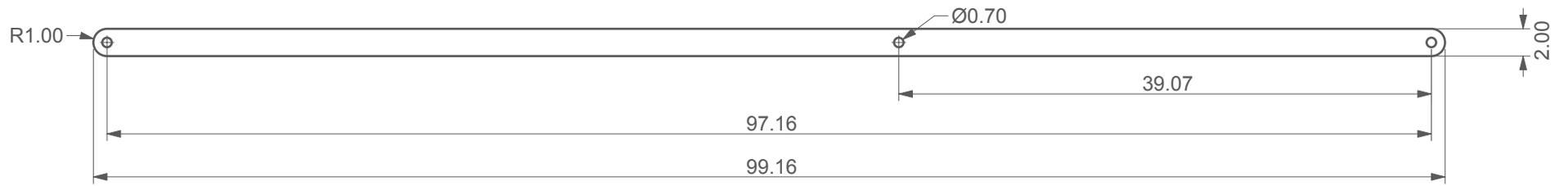
CONECTOR B



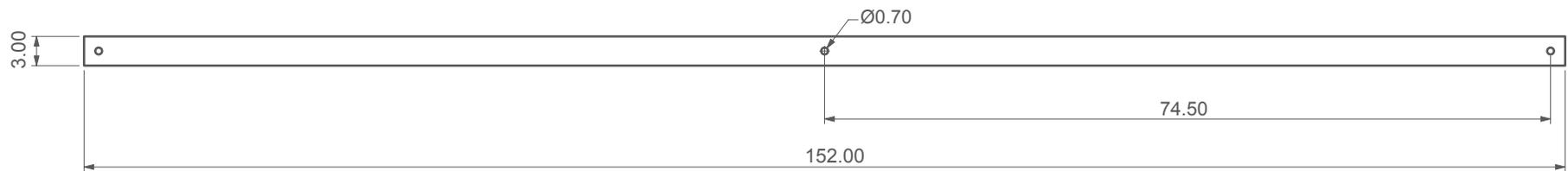
CONECTOR C



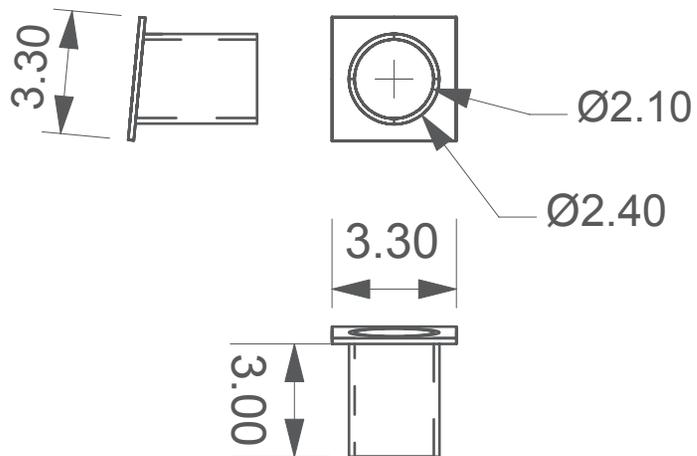
## PARALES



## LONGITUDINALES



## TUBO CAMA DE CRECIMIENTO



# CAMA DE CRECIMIENTO

