

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial

Anteproyecto

**Bioasis: Sistema acuapónico para el
pequeño y mediano productor nacional**

Para optar por el título de Diseñador Industrial
con el grado académico de Bachillerato

Leonardo Canalías Sanabria
II semestre 2011

1. Introducción	2	11. Análisis funcional	15
2. Justificación	2	11.1 Componentes básicos del sistema acuapónico	15
3. Situación actual	3	11.2 Métodos de cultivo acuapónico	17
3.1 Crecimiento demográfico	3	11.3 Descripción del funcionamiento	18
3.2 Consumo y calidad del agua	3	11.4 Principios físicos involucrados	19
3.3 Disponibilidad y calidad de tierra	4	12. Análisis ergonómico	20
3.4 Agricultura industrializada	4	12.1 Biomecánica	20
3.5 Hidroponía	5	12.2 Antropometría	21
3.6 Acuicultura	5	13. Análisis perceptual	22
3.7 Mercado de productos orgánicos	6	13.1 Semiótica del producto	22
4. Análisis de involucrados	7	13.2 Aspecto formal	23
5. Análisis de problemas	8	13.3 Efectos del color	23
6. Análisis de objetivos	9	14. Análisis tecnológico	24
7. Planteamiento del proyecto	10	14.1 Características de los materiales	24
7.1 Problemática	10	14.2 Características de los procesos	25
7.2 Necesidad	10	15. Conceptualización y propuestas	26
7.3 Problema	10	15.1 Funciones y requerimientos	26
7.4 Objetivo general	10	15.2 Arbol de concepto	27
7.5 Objetivos específicos	10	15.3 Posibles soluciones	28
7.6 Alcances	10	15.4 Propuestas	30
7.7 Limitaciones	10	15.5 Selección de propuesta	33
8. Metodología	11	16. Propuesta final	34
9. Cronograma	12	16.1 Descripción general	34
10. Análisis general	13	16.2 Descripción de componentes	35
10.1 Acuaponía	13	16.3 Relación con el usuario	40
10.1.1 Ciclo del nitrógeno	13	16.4 Utilidades - Costo	41
10.1.2 Parámetros de calidad del agua	13	16.5 Gradientes de mejoramiento	42
		16.6 Conclusiones y recomendaciones	43
		17. Bibliografía	44

1. Introducción

Desde siempre, la lucha por la supervivencia del hombre esta ligada a la cantidad de recursos con los que se cuenten. Durante muchos años, esa constante expansión de la población, ha repercutido en la presión por producir comida suficiente para abastecer las necesidades básicas de alimentación, pero a su vez, también han generado un deterioro constante de los recursos ambientales, disminuyendo la disponibilidad, calidad y producción de las tierras de cultivo, así como del agua.

Ante la tendencia de crecimiento de la población mundial, los científicos prevén que, en 2030, las necesidades mundiales de agua aumentarán un 30%, la demanda energética crecerá un 50% y los requisitos alimentarios globales aumentarán un 50%, por lo que asegurar una producción sostenible de alimentos se está convirtiendo rápidamente en un tema de interés común a nivel mundial.

Es evidente la necesidad de desarrollar sistemas sostenibles para la producción de alimentos basados en una producción ecológica y diversificada, mediante la conservación de los recursos, el uso racional de insumos y la gestión adecuada de residuos.

La acuaponía surge, entre otras, como una alternativa novedosa de producción sostenible de alimentos, que mediante la integración de los sistemas acuícola y agrícola incrementa la diversidad y producción final con la posibilidad de obtener productos “mas sanos” con importantes impactos socio-económicos a nivel local, y que al seguir principios de reuso de aguas residuales contribuye a la conservación de los recursos (agua-suelo-energía).

Sin embargo, la acuaponía aún requiere de una mayor investigación para establecer procedimientos más asequibles para aumentar la variedad en la producción de alimentos, así como mejorar en la optimización del espacio y en la inserción en el mercado nacional.

2. Justificación

La continúa expansión de la acuicultura y su contribución a la seguridad alimentaria, la implementación de la hidroponía como un sistema de cultivo sin necesidad de tierra y el creciente mercado de productos orgánicos, brindan un panorama adecuado para el desarrollo e implementación de la acuaponía.

La acuaponía es la combinación de acuicultura e hidroponía, que por medio de la recirculación del agua, se integran los desechos orgánicos de los peces con las plantas. Entre las ventajas que existen alrededor de la producción y el uso de la acuaponía se pueden señalar las siguientes:

- Conservación de agua a través del reciclaje y reutilización.
- Fertilización orgánica de plantas con emulsión natural pecera.
- Aprovechamiento del material de desecho para obtener un subproducto.
- Mejor manejo de recursos necesarios para producir los mismos cultivos.
- Capacidad de generar fuentes de empleo
- Diversificación de producción



“Aportando valor
al desarrollo
sostenible”

Viresco R.L es una cooperativa autogestionaria de servicios múltiples para el desarrollo sostenible, ofrece servicios en asesoría, manejo responsable del recurso hídrico y educación. La empresa tiene un gran interés en desarrollar un sistema acuapónico a disposición de los pequeños y medianos productores acuícolas y agrícolas, de modo que se fomente el desarrollo de este tipo de tecnología a nivel nacional, para impulsar la sostenibilidad en los sistemas de producción de alimentos con el fin de promover la conservación de los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de los productores.

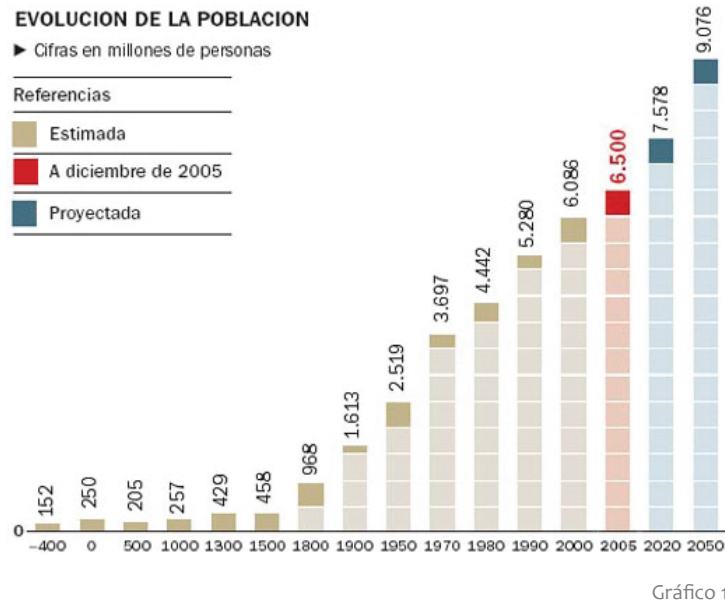
El beneficio clave del proyecto está en la integración del sistema que permita:

- Mayor aprovechamiento del espacio
- Facilitar el cultivo y cosecha de los productos
- Facilidad de instalación y mantenimiento

3. Situación actual

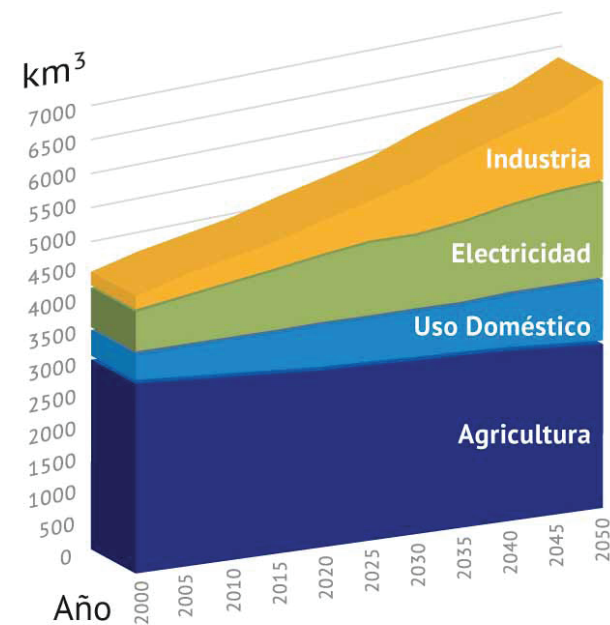
Crecimiento demográfico

- Según el informe anual del Population Reference Bureau, para el 2011 la población mundial será de 7.000 millones de humanos, y se estima que para el año 2050 la población alcanzara los 9.000 millones de personas (Gráfico 1).
- Centroamérica está creciendo, con una población de 149 millones de habitantes y una tasa de crecimiento relativamente alta de un 1,9% anual (2006).
- Cada vez más gente vive en áreas urbanas lo cual contribuye a un aumento de la presión sobre el medio ambiente y riesgos a la salud.
- En Centroamérica la población que vivía en áreas urbanas en la década de 1950 era del 40% y para el 2005 aumentó al 70%. Según proyecciones, en Costa Rica la población urbana aumentará del 62% en 2007 a un 72% para el 2025.



Consumo y calidad del agua

- Aunque el 70,8% de la superficie del mundo está cubierta por agua, solamente el 2,5% del agua disponible es dulce y menos del 1% de los recursos de agua dulce del mundo están disponibles para el consumo.
- Para el 2050 se requerirá 42% más agua destinada principalmente a generar electricidad, para usos industriales y domésticos (Gráfico 2).
- La agricultura por irrigación es responsable del consumo de aproximadamente el 70% del agua, lo que representa un aumento de más del 60% desde 1960. En Costa Rica, el sector agrícola es el mayor extractor de agua, con un 28,3% del total de oferta de agua superficial.
- Por otro lado la pérdida de calidad del agua dulce por contaminación repercute muy gravemente en su disponibilidad para consumo, una vez superada la capacidad natural de autodepuración de los ríos. A nivel nacional, el 96% de las aguas residuales urbanas recolectadas por los alcantarillados sanitarios desemboca en los ríos, sin ningún tratamiento.



Fuente: OCDE-Environmental Outlook Baseline

3. Situación actual

Degradación de la calidad de tierra

- A nivel mundial se estima que anualmente están siendo eliminadas de la producción unos 100 000 km² por año a causa de la degradación acelerada del suelo y la deforestación por la rápida urbanización.
- De continuar las tendencias actuales del crecimiento de la población y de la utilización de la tierra, en 2050 la cantidad de tierra arable en el mundo será apenas algo superior a 0,1 hectárea por persona (Gráfico 3).
- En 1965, América Central contaba con aproximadamente 1 hectárea de tierra cultivable disponible por habitante, pero dicha cifra se redujo en 2005 a menos de 0,5 hectárea.
- A pesar de que América Latina cuenta con el 28% de la superficie potencialmente cultivable en el mundo según el Banco Mundial (BM), el 16% de la tierra de la región está degradada y el impacto mayor se registra en Mesoamérica (América Central y México), donde alcanza el 26 %.
- En Costa Rica, el área de tierra cultivada se ha mantenido cerca de un 10% del territorio, pero se pierden 860 millones de toneladas de suelo valioso por año debido a la erosión causada por la deforestación y el uso de agroquímicos.

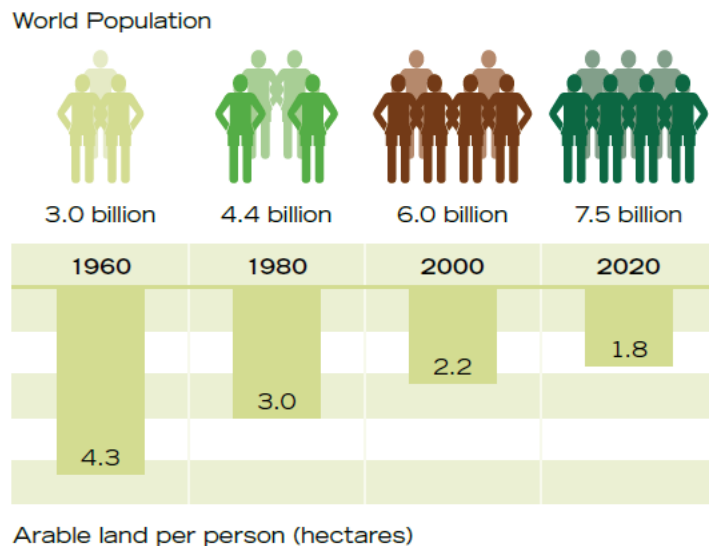
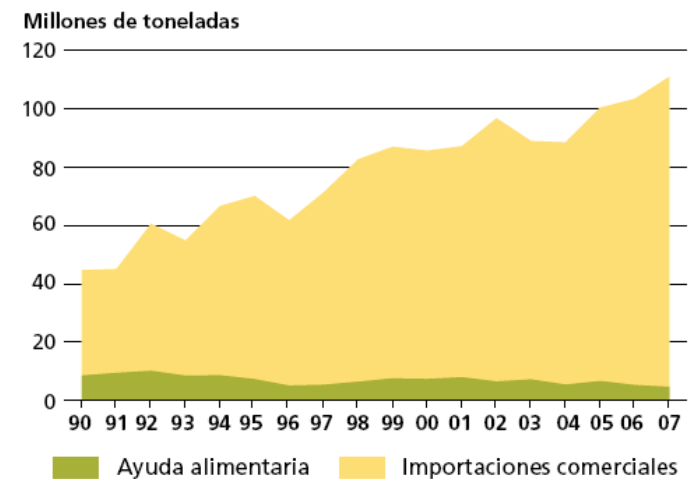


Gráfico 3

Agricultura industrializada

- La agricultura industrial o convencional tiende a grandes extensiones de monocultivos con uso intensivo de pesticidas y fertilizantes químicos, está diseñada para facilitar la uniformización, mecanización, acopio y comercialización en manos de grandes corporaciones, estimulando la importación de alimentos antes que la producción nacional (Gráfico 4).
- Este tipo de agricultura, aunque ha conseguido un aumento de productividad, hoy ya es insostenible y las pérdidas que genera desde el punto de vista social, económico y ambiental son muy importantes.
- Hoy día en Costa Rica se tiene el más alto consumo de agroquímicos de la región Centroamericana, de acuerdo con estudios del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), el uso de agroquímicos ha aumentado sin haberse incrementado las áreas y superficies agrícolas. La cantidad de plaguicidas importados en Costa Rica ha repuntado un 340% en 30 años.
- Por otro lado, continúa la expansión explosiva del monocultivo en el país, especialmente el de la piña, que ha pasado de 11 000 ha en el año 2000 a cerca de 50 000 ha en 2009.



Nota: Los datos hacen referencia a 70 países en desarrollo y siguen el modelo utilizado por el Servicio de Investigaciones Económicas del USDA en sus evaluaciones de la seguridad alimentaria.

Fuente: FAO

Gráfico 4

3. Situación actual

Acuicultura

- Según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la pesca mundial se estancará en los próximos 30 años y la acuicultura (cría en cautiverio de especies acuáticas) será la única opción para satisfacer la creciente demanda de pescado.
- En el período 1970-2008 la producción acuícola de pescado comestible aumentó a un ritmo anual del 8,3% (Gráfico 5), mientras que la población mundial aumentó en promedio un 1,6 % anual.
- La FAO asegura que es el sector productivo alimentario con el mayor crecimiento en todo el mundo y recomienda potenciar aún más esta actividad por su gran contribución a la seguridad alimenticia (Gráfico 6), además de ser una fuente de ingresos y empleo.
- En Costa Rica, en los 15 últimos años la acuicultura ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor, el número de productores ha venido incrementándose de manera significativa, habiendo en 2007 ya 1775, de los cuales un 77% son productores de tilapia, un 20% de trucha, un 6,5 % de camarón y un 0,4 % de otras especies, como langostino de agua dulce y bagre de canal.

Producción acuícola mundial: crecimiento anual por región desde 1970

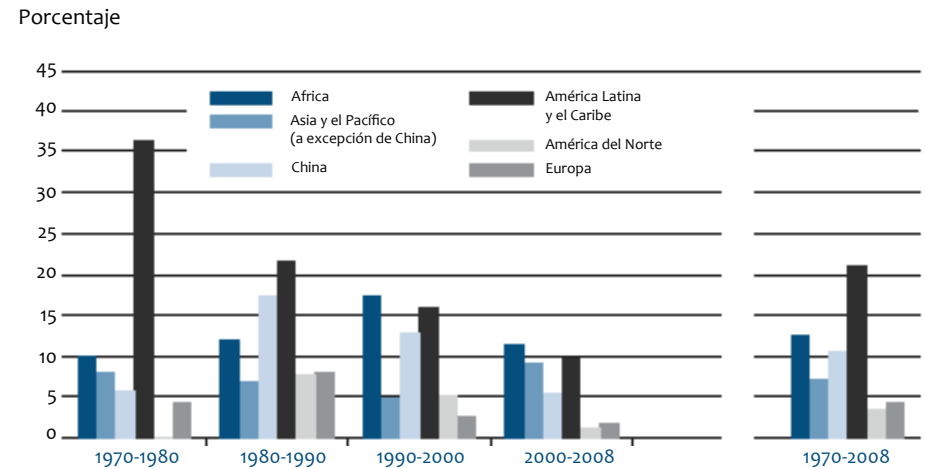


Gráfico 5

Producción y consumo mundial de pescado como alimento 1976 - 2030

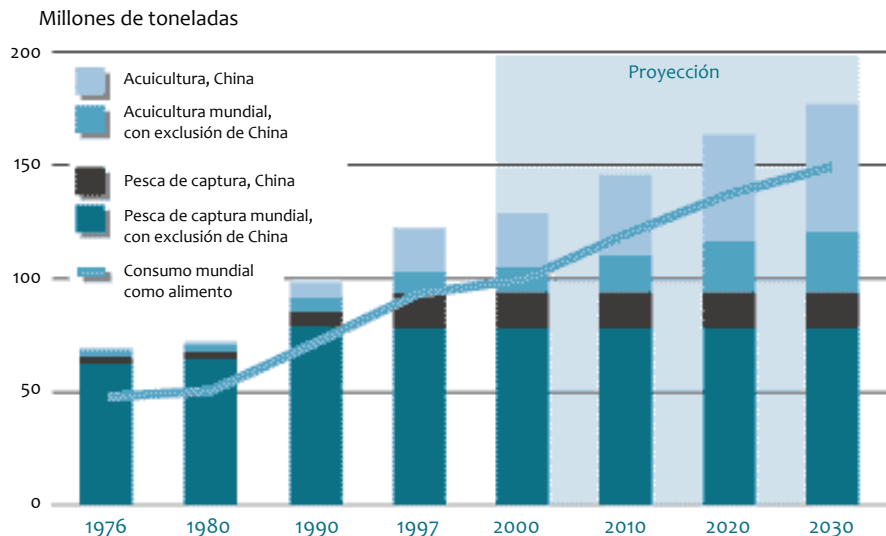


Gráfico 6

Hidroponía

- La considerable disminución de áreas agrícolas hace de la hidroponía una interesante alternativa de producción en zonas donde no es posible cultivar con la agricultura tradicional.
- Permite el cultivo de hortalizas de excelente calidad y sanidad, durante cualquier época del año, haciendo un uso más eficiente de la mano de obra, el agua y los fertilizantes, además de aumentar el rendimiento por unidad de área.
- En los últimos quince años, el área mundial destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente. Actualmente se estiman más de 35000 hectáreas dedicadas a la producción hidropónica en el mundo.

3. Situación actual

Mercado de productos orgánicos

- Los productos orgánicos como un grupo de producto dentro de la producción agropecuaria total, es el que más dinamismo ha registrado en los últimos años, a un ritmo de crecimiento de un 20 % promedio anual.
- Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM), para el 2009 el cultivo de productos orgánicos abarcó un total de 37,2 millones de hectáreas, lo que equivale al 0,9% del total de tierras agrícolas a nivel mundial. A nivel regional, Oceanía, Europa y Latinoamérica son las que más aportan a la producción orgánica, representando un 81% del total de áreas orgánicas del mundo (Gráfico 7).
- De acuerdo con el Programa Nacional de Agricultura Orgánica del Ministerio de Agricultura, para el 2010 Costa Rica contaba con 8500 ha dedicadas a la producción de orgánicos, principalmente, en la producción no exportable y en el cultivo más sistemático de hortalizas (de 50 hectáreas registradas, la mitad se distribuye en dos cadenas de supermercados y ferias del agricultor [Soto 2003]) y menos de frutas, granos y verduras.

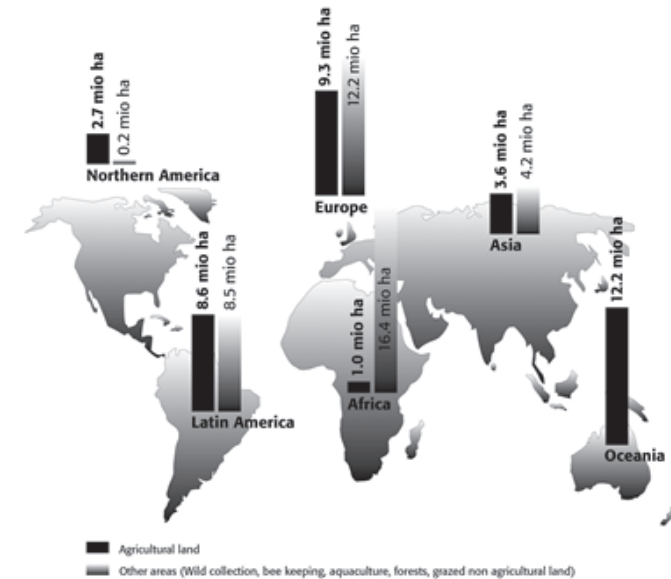


Gráfico 7

4. Análisis de involucrados



5. Análisis del problema



6. Análisis de objetivos



Diagrama : Análisis de objetivos

7. Planteamiento del proyecto

4.1 Problemática

Debido al crecimiento demográfico y al modelo productivo basado en la agricultura industrializada, la disponibilidad de tierras fértiles y agua es cada vez menor.

La erosión del suelo por el aumento de la urbanización y el uso de agroquímicos, la contaminación de los ríos y el consumo irresponsable del agua son los principales retos que tienen que enfrentar la agricultura mundial, los gobiernos y la sociedad en su conjunto, para asegurar la demanda de alimentos y mantener niveles sustentables de los recursos naturales.

4.2 Necesidad

Desarrollo de alternativas sostenibles para la producción de alimentos que beneficien a los pequeños y medianos productores acuícolas y agrícolas.

4.3 Problema

Carencia de sistemas sostenibles que optimicen el uso del espacio y agua para producir alimentos saludables.

4.4 Objetivo General

Diseñar un sistema acuapónico que optimice el uso del espacio y del agua, con el fin de generar mayores ingresos a los productores acuícolas y agrícolas.

4.5 Objetivos Específicos

- Permitir el crecimiento del sistema.
- Facilitar la instalación y mantenimiento.
- Diversificar la producción.
- Reducir la contaminación de ríos por causa de los desechos acuícolas.
- Incentivar la producción nacional de alimentos orgánicos.

4.6 Alcances

- La capacidad de producción está delimitada al nivel de un pequeño y mediano productor.
- La producción de alimentos se limita a especies de fácil cultivo y resistentes a las variables fisicoquímicas, como la tilapia, trucha y lechuga.
- En esta fase se tiene como fin el identificar una solución de diseño a nivel conceptual, para establecer el funcionamiento lógico del sistema para luego verificar la fabricación del prototipo con expertos.

4.7 Limitaciones

- Falta de recursos económicos para realizar un prototipo para comprobar el desempeño real del proyecto..
- Poca disponibilidad de expertos.

Planteamiento del proyecto

- Análisis de la situación actual
- Análisis de involucrados
- Análisis de problemas
- Análisis de objetivos



Análisis general

- Análisis de objetos referencia
- Análisis funcional
- Análisis ergonómico
- Análisis perceptual
- Análisis tecnológico



Conceptualización y propuestas

- Identificación de necesidades
- Establecimiento de especificaciones
- Generación del concepto
- Selección del concepto
- Desarrollo de propuestas
- Selección de propuesta final



Síntesis de la propuesta

- Desarrollo del modelado y planos constructivos
- Descripción formal
- Interacción con el usuario
- Definición de gradientes de mejoramiento

Cronograma PROYECTO GRADUACION			2S- 2011					mes	
Actividades			semana	L	K	M	J		V
Etapa de análisis	<ul style="list-style-type: none"> * Análisis de la situación actual — Identificación de problemas y objetivos * Planteamiento del proyecto — Definición de necesidad, problema, objetivos, alcances y limitaciones * Análisis funcional y de objetos referencia — Identificar subsistemas y funciones * Análisis ergonómico — Establecer relaciones dimensionales y biomecánica * Análisis tecnológico — Identificar materiales y tecnología * Análisis perceptual — Identificar cromática y forma 	Inicio de clases	1			27	28	29	JUL
		Anteproyecto	2	1	2	3	4	5	AGOSTO
			3	8	9	10	11	12	
			4	15	16	17	18	19	
Gestión de diseño	<ul style="list-style-type: none"> * Identificar las necesidades — Establecer la importancia relativa de las necesidades * Establecer las especificaciones del producto — Determinar las características indispensables * Desarrollo del concepto de diseño — Determinar los principios fundamentales del producto * Generación de propuestas — Generación de ideas y alternativas * Evaluación de propuestas — Desarrollar matriz de selección * Selección de la propuesta final 		5	22	23	24	25	26	SEPTIEMBRE
			6	29	30	31	1	2	
			7	5	6	7	8	9	
			8	12	13	14	15	16	
			9	19	20	21	22	23	
			10	26	27	28	29	30	
			11	3	4	5	6	7	
Síntesis de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> * Desarrollo de detalles — Aspectos funcionales, interacción con el usuario y costos * Establecer gradientes de mejoramiento * Generar modelado digital 	Presentación Privada	12	10	11	12	13	14	OCTUBRE
			13	17	18	19	20	21	
			14	24	25	26	27	28	
			15	31	1	2	3	4	
Desarrollo de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> * Desarrollo del cuaderno de especificaciones * Correcciones del informe final * Preparación de la presentación final * Fabricación de maqueta funcional (Pendiente) 	Informe Final	16	7	8	9	10	11	NOVIEMBRE
			17	14	15	16	17	18	
		Resumen Ejecutivo	18	21	22	23	24	25	
		Presentación Pública	19	28	29	30	1	DIC	

Tabla : Cronograma

10. Análisis general

Acuaponía

Es una técnica de producción sostenible de peces y plantas en los que ambos se benefician mutuamente en un mismo sistema de recirculación de agua. Se considera un sistema biointegrado ya que combina la acuicultura con la hidroponía, donde los peces proporcionan los nutrientes a las plantas y estas filtran los desechos de los peces, obteniendo así, productos saludables de alto valor comercial.

Acuicultura: Cultivo de animales acuáticos en ambientes controlados
Hidroponía: Cultivo de plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola

Ciclo del nitrógeno (Gráfico 8)

Los peces son nutridos con alimento balanceado, el cual contiene básicamente proteínas y minerales. El pez toma dicho alimento y convierte el nitrógeno de las proteínas en un desecho conocido como “nitrógeno amoniacal” el cual es tóxico a bajas concentraciones para los organismos acuáticos. Tanto el nitrógeno amoniacal como otros desechos que se generan en el cultivo de los peces, son utilizados por las bacterias y convertidos en nutrientes disponibles para las plantas, básicamente “nitratos”. Una vez formados los nitratos, las plantas los absorben a través de sus raíces y el agua vuelve nuevamente hacia las unidades de cultivo de los peces, y así el ciclo continúa indefinidamente.

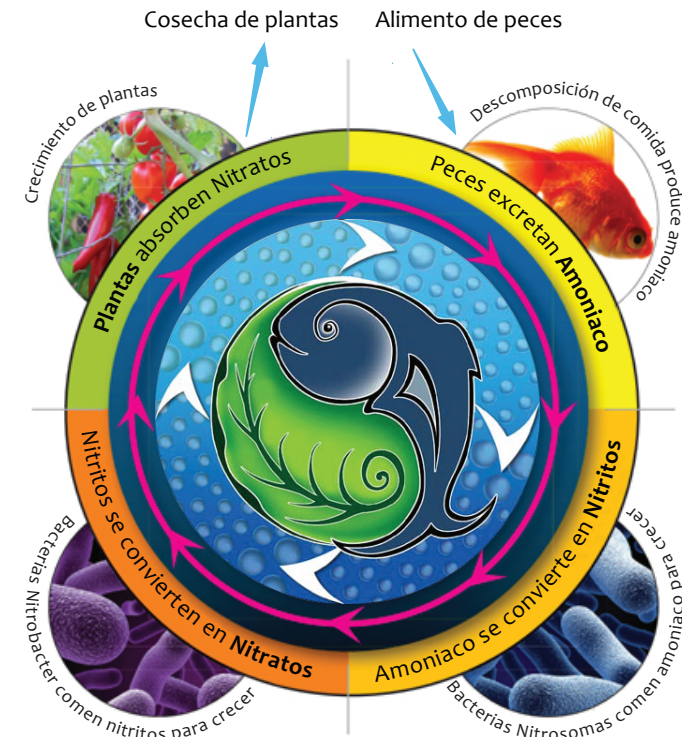


Gráfico 8

Rango de tolerancia Oxígeno disuelto para peces

Partes por millón (PPM)

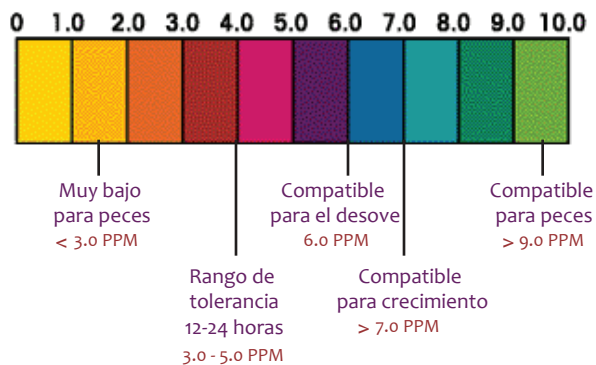


Gráfico 9

Parámetros de calidad del agua

Para mantener el sistema en buenas condiciones debe existir un control de los parámetros de calidad críticos como el oxígeno disuelto, dióxido de carbono, amoníaco, nitrato, nitritos, pH, cloro, y otras características. Esto se logra asegurando una buena relación entre los niveles de amoníaco, la temperatura del agua y el pH.

• Oxígeno disuelto

Es un indicador de la pureza del agua. Un nivel bajo de oxígeno provoca que los peces respiren más rápido de lo normal ocasionándoles estrés crónico y eventualmente la muerte. El nivel de oxígeno requerido por las diferentes especies varía, los peces de aguas cálidas requieren no menos de 4,0 mg/l, mientras que las especies agua fría requieren no menos de 5,0 mg / l de oxígeno disuelto (Gráfico 9).

10. Análisis general

• Amoníaco

El amoníaco es producido por las excretas de los peces y por los residuos de alimento no consumido. Si se acumula con el tiempo sin que las bacterias nitrosomas las conviertan en nitratos, matará a los peces y paralizará el sistema. Un nivel correcto de amoníaco depende de la temperatura del agua en el tanque, del pH en el agua, de la densidad de peces y de la cantidad de alimento no ingerido.

• Nivel de PH (potencial de hidrógeno)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. La escala de pH varía desde 0 hasta 14, donde el pH de 7 es neutro. Un pH por debajo de 7 es ácido y básico cuando el pH es superior a 7. Un rango de pH óptimo para la acuaponía está entre 6 y 7, y puede variar ligeramente en función de las especies de peces (Gráfico 10).

• Toxicidad del amoníaco y temperatura del agua

De acuerdo con el gráfico 11, para peces de agua cálida, una pequeña cantidad de amoníaco puede ser tóxico. En el extremo opuesto, los peces de agua fría pueden tolerar niveles más altos de amoníaco, debido a que el agua fría puede almacenar más oxígeno disuelto que el agua cálida.

• Proporción peces-plantas

Se refiere a la relación volumen del agua en el tanque de los peces con el volumen del medio hidropónico. Para sistemas acuapónicos domésticos se utiliza una tasa de 1:1, pero para sistemas comerciales 1:2 es la tasa más usada. La variación en la proporción depende del tipo de sistema hidropónico, especie de pez, densidad de cultivo del pez, tasa de alimentación, especies de plantas, etc.

• Los peces:

Varias especies de aguas calidas y frías se pueden adaptar a los sistemas de acuaponía; entre ellas se incluyen la tilapia, trucha, pacú, etc. La mayor parte de pescado acuapónico del mercado es con tilapia, ya que tiene varias ventajas para la operación comercial: tienen un ciclo corto desde el nacimiento hasta la cosecha (6-9 meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y son tolerantes a los bajos niveles de oxígeno durante largos tiempos.

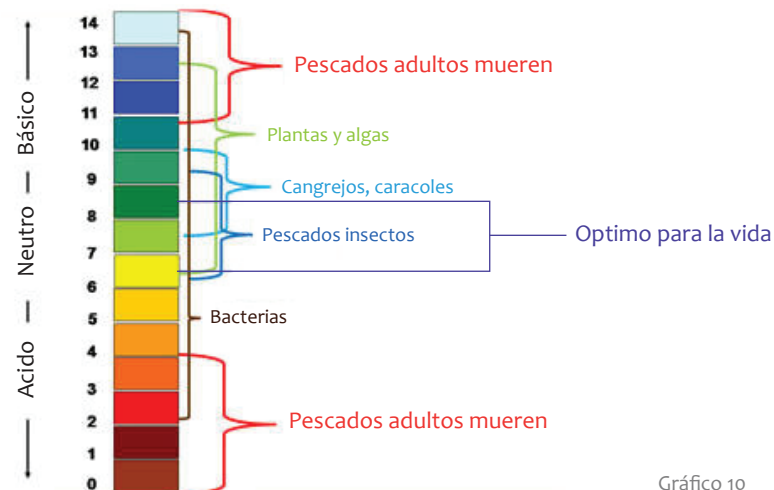


Gráfico 10

Total Ammonia Nitrogen (TAN) - ppm											
Use this table to find out when ammonia levels will start to become toxic to your fish											
Temp (°C)	pH										
	6.0	6.4	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4
4	200	67	29	18	11	7.1	4.4	2.8	1.8	1.1	0.68
8	100	50	20	13	8.0	5.1	3.2	2.0	1.3	0.83	0.5
12	100	40	14	9.5	5.9	3.7	2.4	1.5	0.95	.61	0.36
16	67	29	11	6.9	4.4	2.7	1.8	1.1	0.71	0.45	0.27
20	50	20	8.0	5.1	3.2	2.1	1.3	0.83	0.53	0.34	0.21
24	40	15	6.1	3.9	2.4	1.5	0.98	0.63	0.4	0.26	0.16
28	29	12	4.7	2.9	1.8	1.2	0.75	0.48	0.31	0.2	0.12
32	22	8.7	3.5	2.2	1.4	0.89	0.57	0.37	0.24	0.16	0.1

Gráfico 11

10. Análisis general

• Las plantas:

Se puede cultivar casi cualquier planta en acuaponía, pero para fines comerciales es mejor elegir plantas de ciclo corto y que crecen con altos niveles de nitrógeno como lechugas, hierbas aromáticas y de cocina. Las plantas requieren de 16 elementos esenciales para su crecimiento, de los cuales 10 están presentes en la comida de los peces, 3 en el agua y los otros 3 (Fe-K-Ca) deben ser añadidos, debido a que generalmente presentan niveles bajos en el sistema (Gráfico 12).

Elementos nutritivos para las plantas

Micronutrientes	Fe	Formación de la clorofila	Proviene del alimento de los peces
	Cu	Activador de enzimas	
	Zn	Formación de auxinas	
	B	Formación de carbohidratos	
	Mn	Formación de la clorofila	
	Mo	Involucrado en la fijación del N	
Macronutrientes	Cl	Interviene en el metabolismo de las plantas	
	S	Formación de proteínas	
	P	Interviene en la fotosíntesis	
	Mg	Imprescindible en la fotosíntesis	
	N	Brinda proteínas y aminoácidos	
	Ca	Formación de proteínas	
	K	Activa enzimas y transporte de nutrientes	
	O	Respiración celular	
	H	Reacciones de fotosíntesis	
	C	Brinda proteínas, enzimas, etc	

Gráfico 12

11. Análisis funcional

Componentes básicos del sistema acuapónico

Estanque para peces

Es un depósito cerrado de agua sin corrientes donde crecen los peces, su tamaño, forma y estructura dependen de la planificación previa para el cultivo y producción. Se recomienda tener espacios diferenciados para peces en crecimiento (menor de 50gr) y los peces de engorde final (300 a 500gr).

Tanque plástico



Tanque en fibra de vidrio



Tanque en geomembrana



Bomba de agua

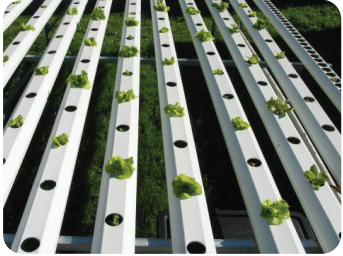
Se utiliza para elevar el agua hasta una cierta altura y mover continuamente el agua en todo el sistema a través de la tubería. El tamaño de la bomba se relaciona directamente con el tamaño del sistema.



11. Análisis funcional

Recipientes para plantas

Es el medio donde se colocan las plantas para su crecimiento. Su tamaño, forma y estructura varían de acuerdo a la capacidad de producción, al tipo de cultivo y al sistema acuapónico a utilizar. Se recomienda una profundidad promedio de 30cm



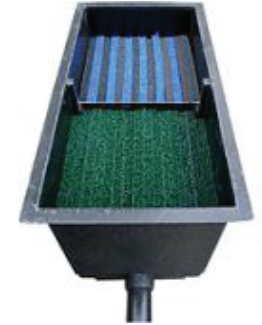
Clarificador de agua

Es un recipiente cónico donde se eliminan los sólidos de gran tamaño que provienen del estanque de los peces. Esto permite una mayor densidad de peces en el estanque aumentando la producción de peces y plantas. Los sólidos que se han eliminado pueden ser compostados o secados y utilizados para fertilizar el suelo en la agricultura tradicional. Se requiere para los sistemas de raíz flotante y el NFT.



Biofiltro

Es el lugar para que las bacterias colonicen, suele ser un tanque o barril que tiene un medio poroso que es fuertemente aireado. El agua del clarificador pasa por el biofiltro donde el amoníaco es transformado en nitritos y luego en nitratos. Este proceso acelera la conversión de nutrientes en el agua y ayuda en la aireación general del agua. Es indispensable para los sistemas NFT.



Sumidero

Es un recipiente que aumenta el volumen total del agua. Más agua significa una mayor estabilidad del sistema, y ayuda a mantener las fluctuaciones del nivel del agua en el estanque de los peces.



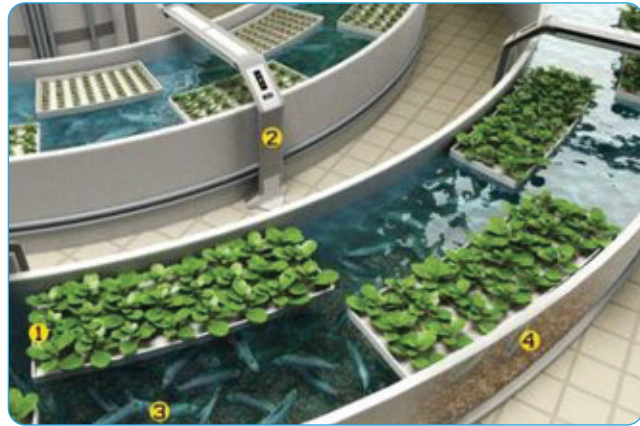
11. Análisis funcional

Métodos de cultivo acuapónico

Existen 3 métodos acuapónicos principales, derivados directamente de los sistemas hidropónicos:

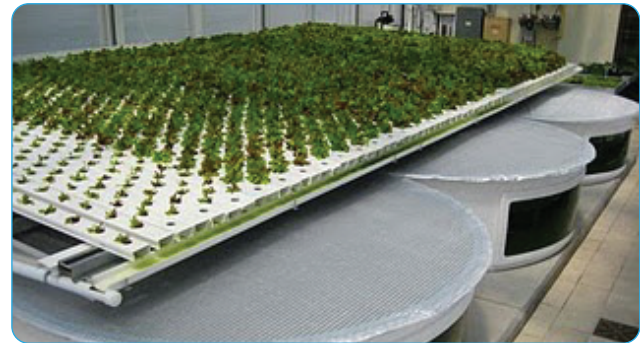
Sistema UVI (Raíz flotante)

Se utilizan canales que contienen agua con una profundidad entre 10 a 12 pulgadas, donde se colocan láminas flotantes, ya sean de poliestireno expandido, plástico o cualquier material inerte que pueda flotar. Se le hacen agujeros a las láminas y se insertan macetas tipo cesta, en las que se añade algún sustrato para las plantas. En este sistema las plantas tienen las raíces sumergidas en agua durante todo su periodo de vida. Es el óptimo para lechugas y vegetales de hoja y se utiliza mayormente en instalaciones de tipo comercial debido a que el gran volumen de agua tiende a mantener el pH y la temperatura estables. (Gráfico)



Sistema NFT (Técnica de película de nutrientes)

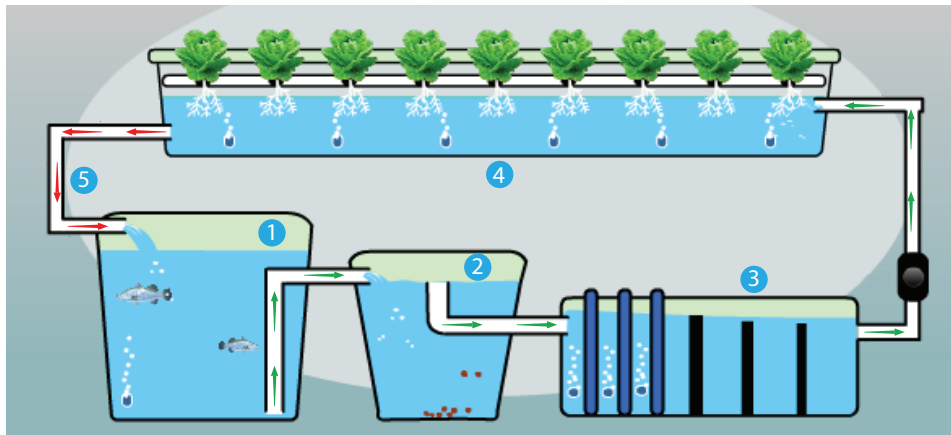
Se utiliza una canal con agujeros por donde fluye continuamente el agua que proviene del biofiltro que ayuda a mantener la calidad de agua para los peces. Las plantas cuelgan en macetas tipo cesta y sus raíces están expuestas al flujo continuo de las canales del cual extraen los nutrientes necesarios para desarrollarse y filtran el agua para los peces. Este sistema es el menos utilizado en acuaponía debido a su mantenimiento y a las adaptaciones que se le debe hacer para el manejo de los desperdicios sólidos de los peces. (Gráfico)



Camas con sustrato

Se utilizan camas de sembrado por lo general entre 8 a 12 pulgadas de profundidad rellenas de sustrato. Las semillas o plántulas se siembran directamente en el sustrato. Estas camas se inundan y se drenan periódicamente con agua proveniente del estanque donde habitan los peces, permitiendo al agua enriquecerse de oxígeno y nutrientes. Este sistema es el más popular en instalaciones caseras y operaciones a pequeña escala. (Gráfico)





Descripción del funcionamiento

Sistema UVI (Raíz flotante)

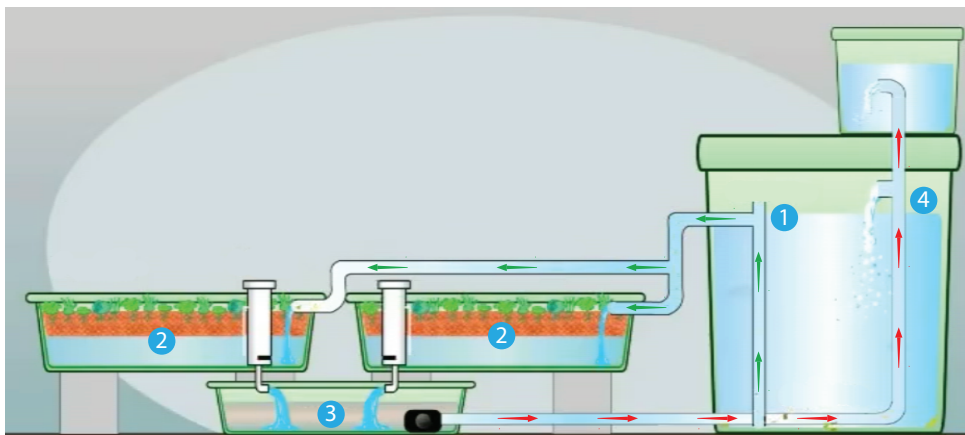
- 1 El agua y los sólidos en el estanque de peces son transportados por gravedad al clarificador.
- 2 Se separan los sólidos pesados y el agua rica en nutrientes pasa al biofiltro.
- 3 Se realiza la mineralización de los nutrientes por medio de las bacterias y los filtros.
- 4 El agua es bombeada hasta el recipiente de las plantas, donde las raíces entran en contacto con el agua y se alimentan de los nutrientes.
- 5 El agua es filtrada y cae por gravedad hasta el estanque de los peces para completar el ciclo.

Ventajas:

- Tiende a mantener el pH y la temperatura estables.
- Permite un alto rendimiento de producción.

Desventajas:

- Requiere de filtración adicional para eliminar los sólidos suspendidos.
- No puede soportar cultivos grandes como el tomate, pepino, etc.



Sistema cama con sustrato

- 1 El agua y los sólidos en el estanque de peces son transportados por gravedad a los recipientes de las plantas.
- 2 Simulando las mareas, se realiza la oxigenación y filtración del agua por medio del sustrato y las plantas.
- 3 El sifón transporta el agua al sumidero.
- 4 El agua es bombeada desde el sumidero hasta el estanque de los peces para completar el ciclo.

Ventajas:

- Permite una buena oxigenación lo que aumenta el potencial de crecimiento.
- No requiere de filtración adicional para eliminar los sólidos suspendidos.
- Permite crecer mayor variedad de cultivos.

Desventajas:

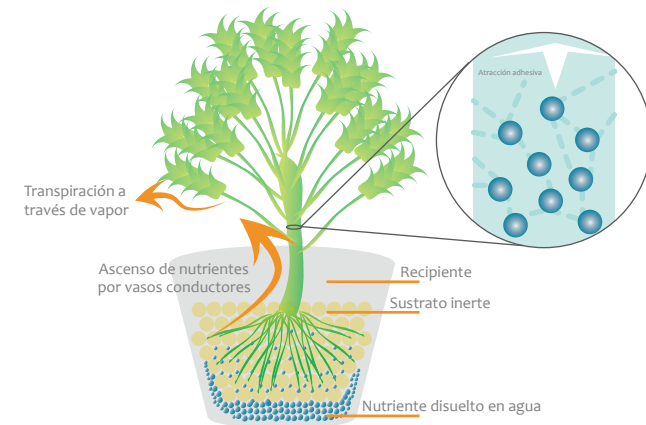
- Requiere mayor mantenimiento para evitar que el sistema se obstruya.

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 absorbida por las raíces de las plantas.



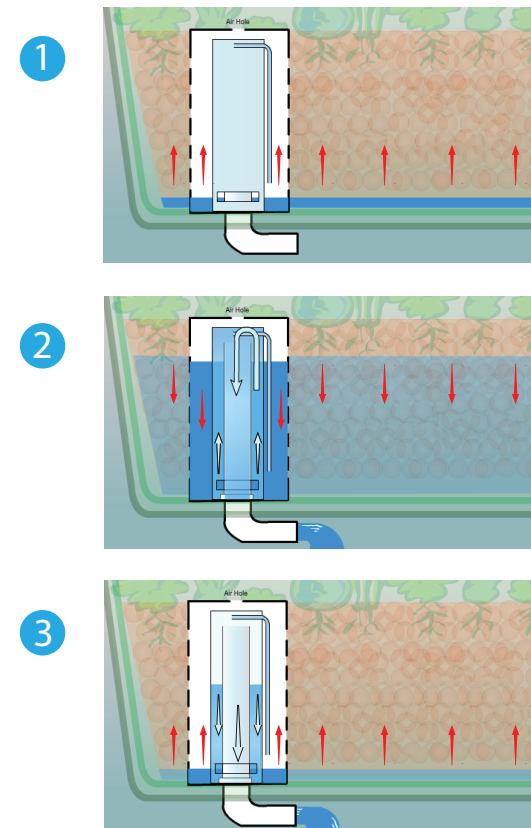
Principios de Pascal y Bernoullie

El principio de Pascal indica que la presión ejercida por un fluido incompresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables, se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.

El principio de Bernoulli indica que la disminución de la presión de un fluido (líquido o gas) en movimiento se da cuando aumenta su velocidad. Sirve para calcular la velocidad con que va a salir el agua.

Estos dos principios se aplican para explicar el efecto sifón, muy utilizado para el riego en la agricultura.

- 1 A medida que el nivel del agua sube en el recipiente de las plantas, el agua es forzada a través de los orificios en la parte inferior de la campana.
- 2 A medida que el nivel del agua supera la altura de la tubería y el drenaje se empieza a llenar y el efecto sifón se crea. La mayoría del agua en el recipiente de las plantas se drena por el sifón hasta el nivel del agua llega a la altura de los orificios de la campana.
- 3 El aire es forzado a través del tubo, y como resultado el efecto sifón se rompe, dando como resultado que el nivel del agua comience a subir de nuevo, con lo cual el ciclo se repite.



12. Análisis ergonómico

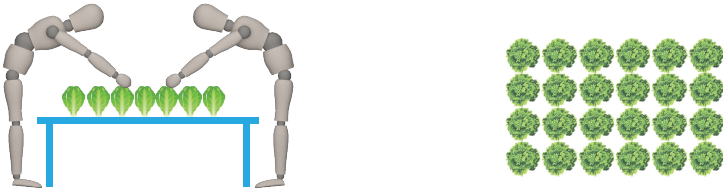
Biomecánica

Situaciones que causan posturas inadecuadas

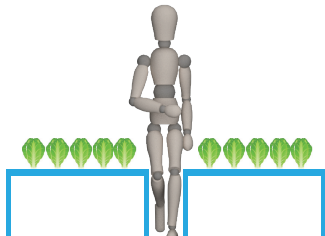
- Cultivos a nivel del suelo:
Para alcanzar los cultivos se obliga al cuerpo a tomar posiciones incómodas como el sentarse de cuclillas y encorvar la espalda.



- Areas de cultivo muy anchas:
Dificultan el alcance de los cultivos centrales, obligando al cuerpo a tener que encorvar la espalda y estirar los brazos.

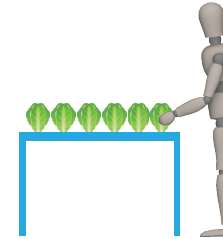


- Acceso estrecho entre cultivos:
Dificulta y limita la movilidad durante el cultivo y la cosecha.

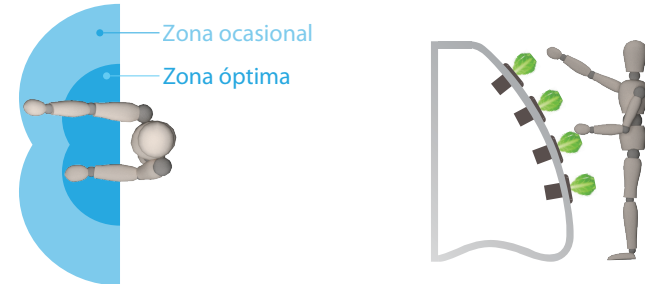


Recomendaciones

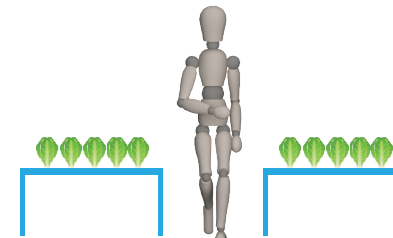
- Para facilitar la cosecha, las plantas deben estar a la altura de la cadera.



- Para evitar encorvar la espalda, los objetos deben estar situados lo más cerca posible al alcance de los brazos.



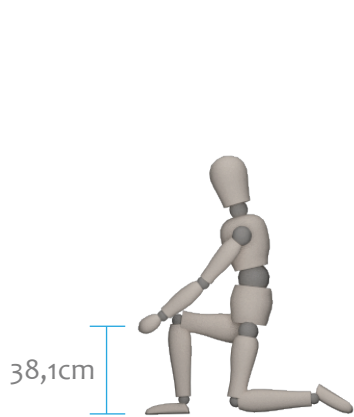
- Permitir un espacio mínimo adecuado para una libre movilidad.



Antropometría

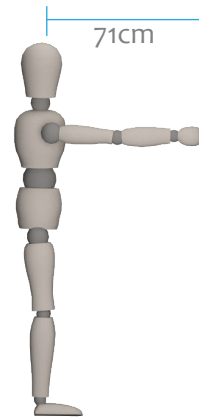
Se toma como referencia una población adulta de hombres y mujeres, de los 20 años en adelante.

Percentiles importantes



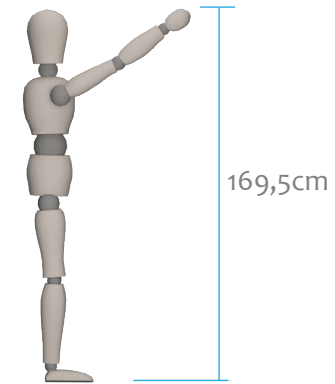
Altura mínima desde el suelo

Percentil 50 mujeres



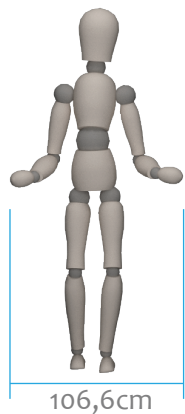
Alcance máximo horizontal

Percentil 5 hombres



Alcance máximo vertical

Percentil 5 mujeres



Anchura máxima de agarre

Percentil 50 hombres



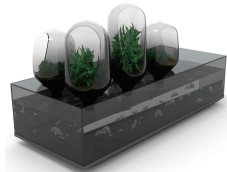
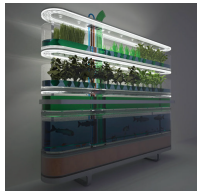
Ancho de hombros

Percentil 50 hombres

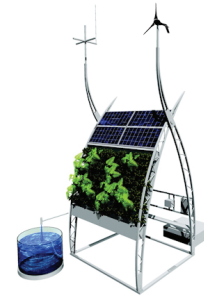
Modular Voluminoso



Doméstico



Comercial



Modular Compacto

Se busca la maximización del uso del espacio por medio de una construcción modular a partir de curvaturas y superficies planas que faciliten la instalación y mantenimiento sin necesidad de interrumpir el funcionamiento del sistema. Al ser un sistema comercial se pretende utilizar, preferiblemente, estructuras poco voluminosas y agradables a la vista que permitan la integración de los diferentes componentes, para que a nivel funcional el sistema sea más sencillo de operar.

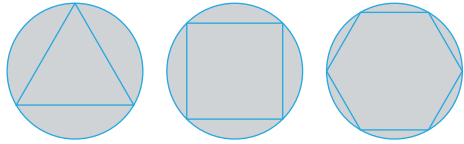
Moderno, compacto, atractivo, innovador son características semánticas que debe reflejar el sistema.

13. Análisis perceptual

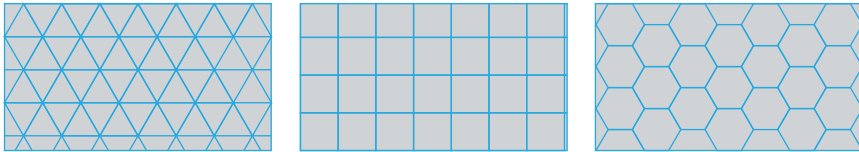
Aspecto formal

Formas que optimizan el espacio

Está demostrado que entre todos los polígonos regulares con el mismo perímetro, encierran más área aquellos que tengan mayor número de lados. De hecho, la figura que encierra mayor área para un perímetro determinado es el círculo, ya que posee un número infinito de lados. (Gráfico)

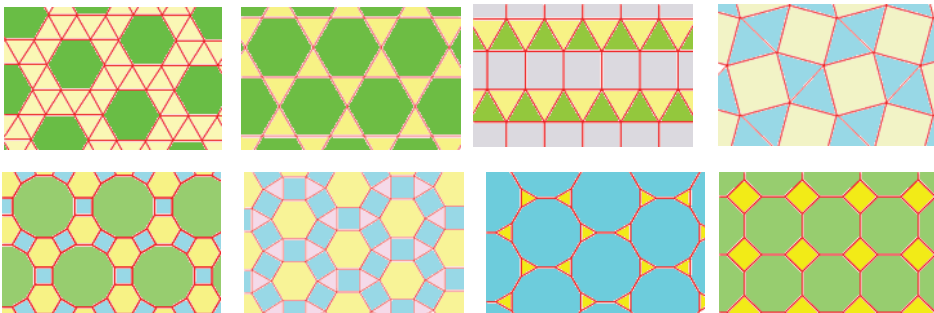


Sin embargo, si se quiere crear una superficie con un patrón de formas regulares de manera que se aproveche al máximo el espacio, un círculo deja espacios vacíos cuando se rodea de otros círculos. De todas las figuras geométricas que cumplen la condición “mayor número de lados y adyacencia sin huecos”, el hexágono es la más óptima.



Tesselaciones regulares

También existen patrones semiregulares compuestos de dos o más polígonos regulares que aprovechan el espacio sin dejar huecos.

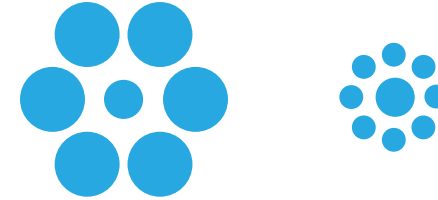


Tesselaciones semiregulares

Efectos del color

Tamaño

Una figura central parece más pequeña si está rodeada de figuras de mayor tamaño, y parece más grande si por el contrario lo rodean figuras más pequeñas.



Peso y masa del color

El color actúa por gravitación y extensión de una superficie cromática. Los tonos fríos y claros parecen más livianos y menos sustanciales, mientras que los cálidos y oscuros parecen más pesados y densos. Además, los colores claros sugieren descanso, suavidad y fluidez, mientras que los colores oscuros encierran el espacio y lo hacen parecer más pequeño.

14. Análisis tecnológico

Características de los materiales

Características esperadas	Metal	Plástico	Fibra de vidrio	Madera	Fibras/Tela	Geomembranas	Bambú
Impermeable	5	5	5	2	2	5	2
Manufactura de bajo costo	3	5	5	3	5	5	5
Fácil mantenimiento	3	5	5	1	5	5	1
Fácil mecanizado	3	5	5	3	5	5	3
Resistencia estructural	5	5	5	5	2	2	5
No tóxico para cultivos	1	5	5	3	5	5	5
Larga vida útil	4	5	5	2	5	5	2
Liviano	1	4	5	3	5	5	5
	25	39	40	22	34	37	28

○ Materiales más adecuados

Características de los procesos

Termoformado

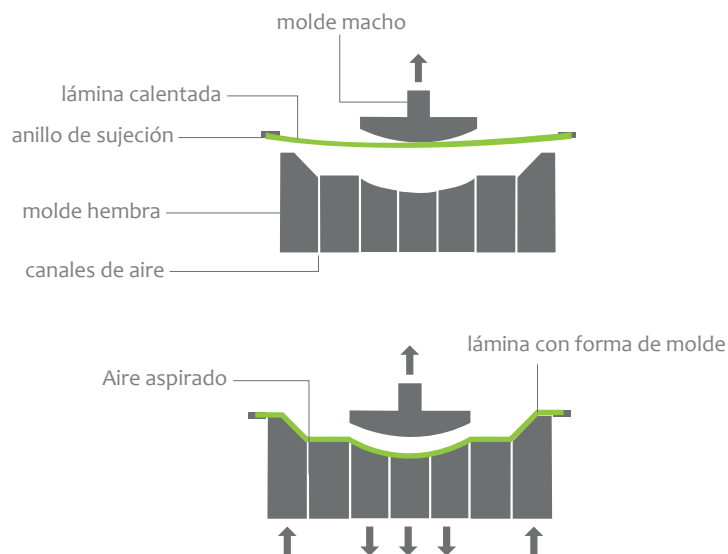
Es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica por medio de calor (120 °C a 180 °C) y vacío (600 a 760 mmHg) utilizando un molde o matriz (madera, resina epóxica o aluminio). A diferencia de otros procesos como la inyección, el soplado y el rotomoldeo, el termoformado parte de una lámina rígida de espesor uniforme realizada por el proceso de extrusión, y permite realizar pequeñas producciones por su bajo costo en matricería llegando a ser rentable también en altas producciones.

Ventajas

- Es un proceso económico, debido a la sencillez del molde.
- Se pueden fabricar geometrías complicadas de la pieza de moldeo.
- Los moldes son mucho más económicos.
- Es un proceso de alta productividad adaptable a series cortas.

Desventajas

- Alto costo de la materia prima.
- No se garantiza un espesor continuo.
- Existe un límite en las dimensiones debido al espesor de la lámina.



Rotomoldeo

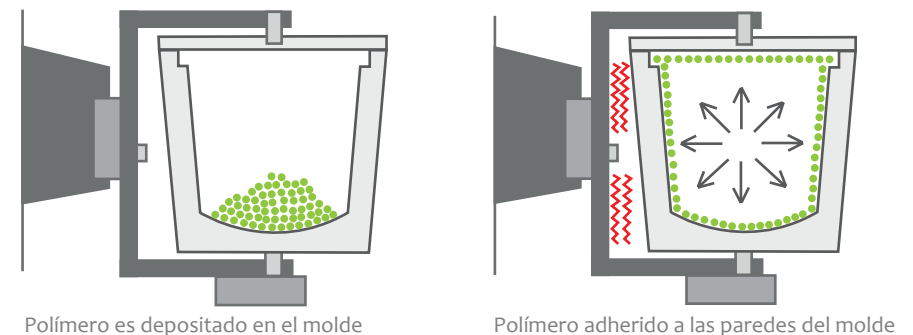
Es un proceso de conformado de productos plásticos en el cual se introduce un polímero en estado líquido o polvo dentro de un molde y éste es introducido en un horno a temperaturas entre 250-450°C donde comienza a girar lentamente en rotación biaxial, causando que el polímero se adapte a las paredes internas del molde creando piezas huecas.

Ventajas

- Es un proceso económico, debido a que el coste del molde disminuye notablemente en comparación con el método de soplado o inyección.
- Se pueden obtener piezas de distintos tamaños, desde muy pequeñas hasta piezas de grandes dimensiones que serían imposibles fabricar por otros métodos.
- Baja inversión inicial considerando la producción.
- Se pueden realizar piezas de distintos espesores.
- Se pueden utilizar varios colores y materiales y cambiarse con facilidad.
- Muy bajo número de desperdicios.
- Es un proceso casi completamente automatizable.

Desventajas

- La producción por medio del rotomoldeo es para series cortas, debido a que el tiempo de calentamiento y enfriamiento del molde y polímero es largo.
- La precisión dimensional no es muy buena, existen variaciones considerables.
- Las burbujas de aire y humedad pueden suponer un problema.



15. Conceptualización y propuestas

Funciones y especificaciones del sistema

Función de primer orden

Brindar las condiciones adecuadas para el crecimiento de los cultivos

- Mantener el nivel de oxígeno del agua adecuado
- Mantener el nivel de ph del agua adecuado
- Mantener la temperatura del agua adecuada
- Mantener el nivel de amoníaco adecuado
- Mantener una adecuada relación peces-plantas
- Mantener el agua en recirculación
- Brindar espacio adecuado para los cultivos
- Permitir la iluminación a las plantas

Función de segundo orden

Optimizar el uso del espacio

- Integración de los subsistemas
- Permitir el crecimiento del sistema

Función de tercer orden

Facilitar el mantenimiento del sistema

- Facilitar la instalación del sistema
- Tener acceso a todos los componentes
- Tener acceso a todas las plantas
- Brindar un espacio adecuado entre componentes
- Brindar un espacio ordenado

Especificaciones

- Entre 5 y 7 mg/l
- Entre 6 y 7
- Entre 18 C y 30 C
- Menos de 1 mg/l
- Cantidad de desechos/año vs Area de plantas
- Flujo de agua = 5,4 L/s para 15 recambios diarios
- Mínimo 16 plantas/m²
- 6 horas por día

Construcción modular

- Uso de pocas herramientas
- Medidas ergonómicas de alcances máximos
- Medidas ergonómicas de alcances máximos
- Medidas ergonómicas de espacios mínimos

15. Conceptualización y propuestas

Arbol del concepto



15. Conceptualización y propuestas

Exploración de posibles soluciones

Contenedor de plantas



Crecimiento del sistema

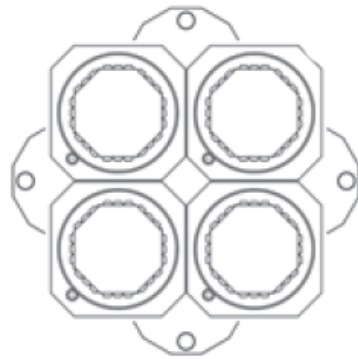
Módulos individuales que pueden ser apilados uno encima del otro.

Instalación y mantenimiento

Armado requiere pocas herramientas.

Optimización del espacio

La disposición de las plantas de forma cilíndrica con crecimiento vertical, reduce el consumo de espacio.



Crecimiento del sistema

Módulos individuales que se pueden unir de forma horizontal.

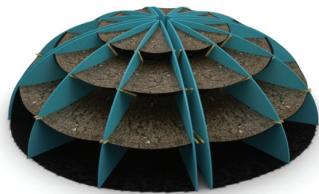
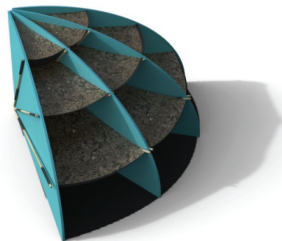
Instalación y mantenimiento

Armado requiere pocas herramientas.

Acceso a las plantas de 360°.

Optimización del espacio

La disposición de las plantas de manera vertical formando un octágono, reduce el consumo de espacio.



Crecimiento del sistema

Módulos individuales unidos en forma radial.

Instalación y mantenimiento

Armado requiere pocas herramientas.

Acceso a las plantas de 360°.

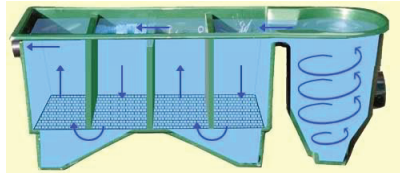
Optimización del espacio

La disposición de las plantas en forma concéntrica y circular, reduce el consumo de espacio y maximiza la captura de la luz.

15. Conceptualización y propuestas

Exploración de posibles soluciones

Clarificador y biofiltro



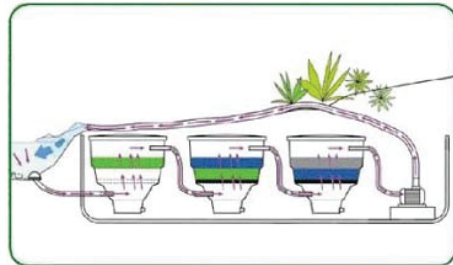
Optimización del espacio

Integración lineal entre clarificador y filtros.

Instalación y mantenimiento

No requiere herramientas.

Fácil acceso a material filtrante y drenajes.



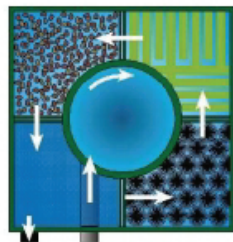
Optimización del espacio

El sistema puede ser utilizado como un solo filtro o en serie para formar un sistema de filtros múltiples.

Instalación y mantenimiento

No requiere herramientas.

Fácil acceso a material filtrante y drenaje.



Optimización del espacio

Integración concéntrica entre clarificador y filtros.

Instalación y mantenimiento

No requiere herramientas.

Fácil acceso a material filtrante y drenajes.

15. Conceptualización y propuestas

Propuesta 1

Tanque de peces - Filtración - Plantas en un solo módulo

Consiste en un módulo circular compuesto por 1 tanque de peces, 2 filtros, 4 submódulos de contenedores para plantas y 4 submódulos de sumideros. Cada módulo tiene una capacidad de producción por cosecha de aproximadamente 208 lechugas y de 312 peces de 600g en un espacio de 32 m². El sistema puede crecer mediante la agregación de módulos.

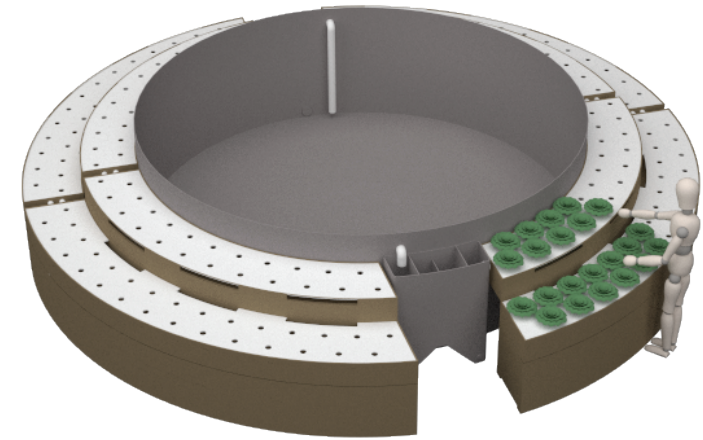
Ventajas

La integración de los elementos reduce el espacio y la cantidad de componentes y permite el funcionamiento independiente del módulo. La forma circular permite un acceso de 360° y facilita la cosecha de la lechuga. Las plantas no están al nivel del suelo lo que evita posturas inadecuadas.

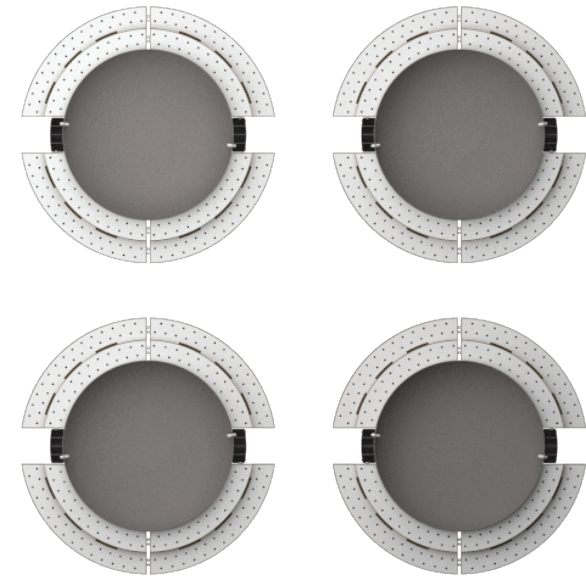
Desventajas

La ubicación de los filtros pueden incomodar el acceso a los peces. Las plantas del nivel superior no tienen el alcance adecuado por lo que puede requerir un esfuerzo adicional para el usuario.

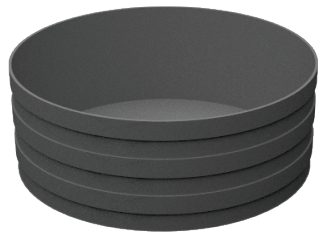
Módulo Principal



Crecimiento modular



Submódulo
Contenedor de peces



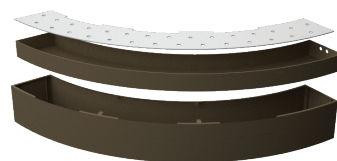
Submódulo
Filtración



Submódulo
Contenedor de plantas



Submódulo
Sumidero



15. Conceptualización y propuestas

Propuesta 2

Tanque peces - Biofiltro en un módulo + Plantas módulos - Sumidero

Se mantiene el módulo circular compuesto por 1 tanque de peces y 2 módulos de filtración y se le da crecimiento modular a las plantas. Cada módulo de producción lo conforman 1 tanque circular para peces y 8 módulos de contenedores para plantas.

Ventajas

Permite un crecimiento modular de las plantas independiente del sistema.

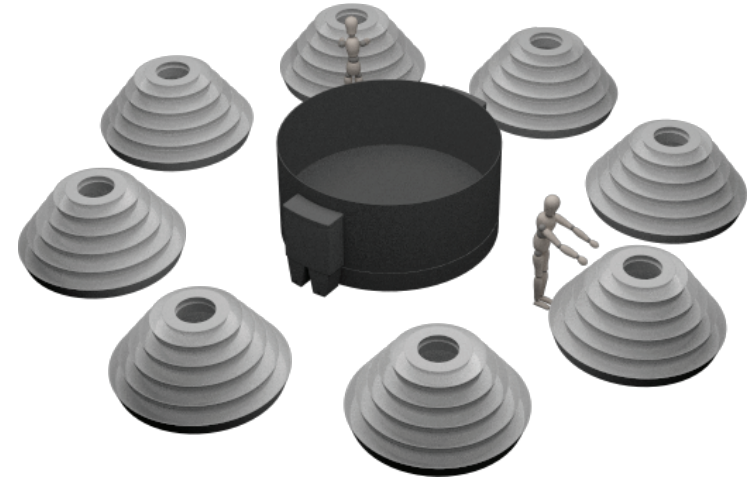
Permite un acceso de 360°.

Los contenedores de las plantas al estar apilados en forma vertical, facilita la instalación del sistema y evita posturas inadecuadas durante la cosecha.

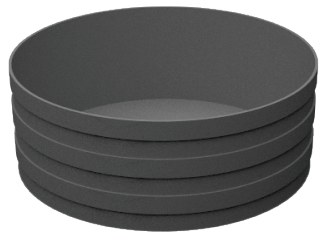
Desventajas

El crecimiento modular de las plantas deja mucho espacio libre entre módulos. El sistema requiere de mayor cantidad de componentes, lo que afecta el mantenimiento y costo.

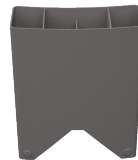
Módulo Principal



Submódulo
Contenedor de peces



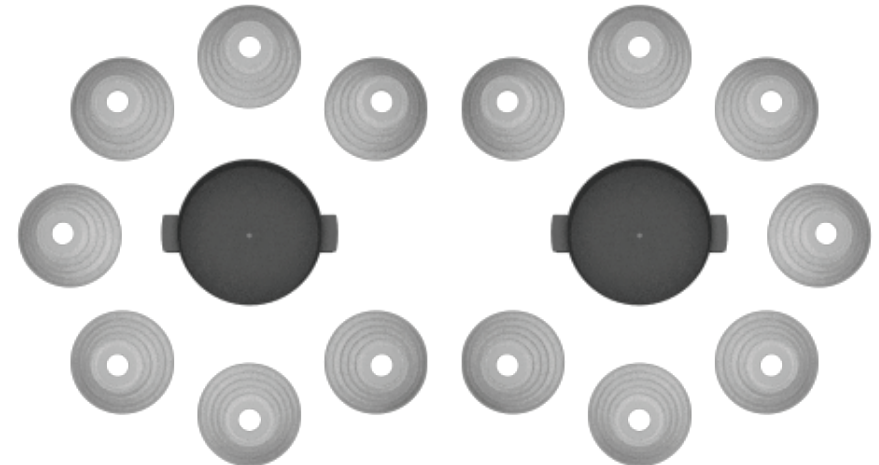
Submódulo
Filtración



Submódulo
Contenedor de plantas



Crecimiento modular



15. Conceptualización y propuestas

Propuesta 3

Tanque peces - Plantas en un módulo + Filtración - Sumidero en un módulo

Consiste en un supermódulo compuesto por 4 módulos de producción de cultivos y 1 módulo de filtración. Cada módulo de producción lo conforman 1 tanque circular para peces y 4 submódulos de contenedores para plantas. Cada módulo de producción tiene una capacidad de aproximadamente 272 lechugas y de 312 peces de 600g por cosecha, en un espacio de 190 m². El sistema puede crecer mediante la agregación de módulos.

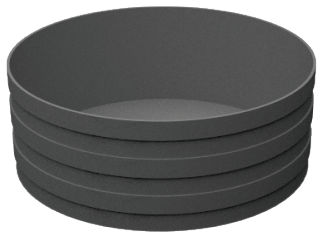
Ventajas

La integración de los elementos reduce el espacio y la cantidad de componentes y permite el funcionamiento independiente del módulo. La forma circular permite un acceso de 360° y facilita la cosecha de la lechuga. Las plantas no están al nivel del suelo lo que evita posturas inadecuadas.

Desventajas

La ubicación de los filtros pueden incomodar el acceso a los peces. Las plantas del nivel superior no tienen el alcance adecuado por lo que puede requerir un esfuerzo

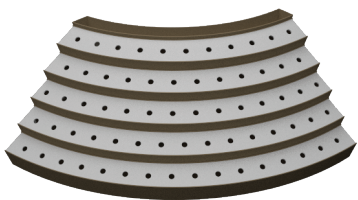
Submódulo
Contenedor de peces



Submódulo
Filtración



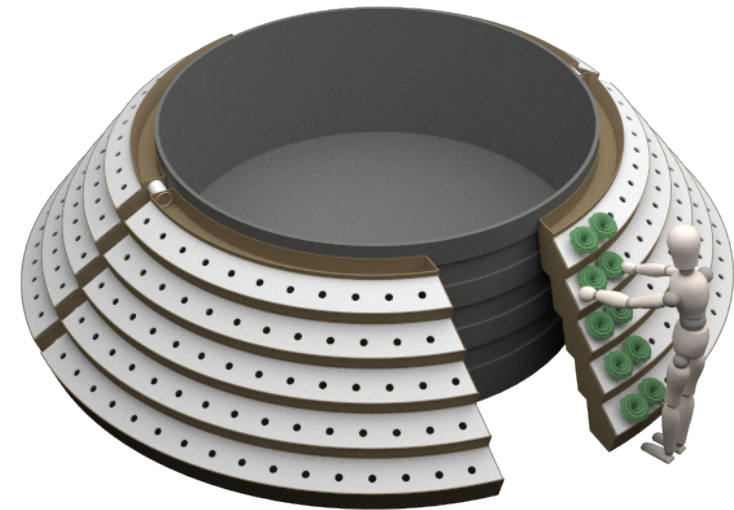
Submódulo
Contenedor de plantas



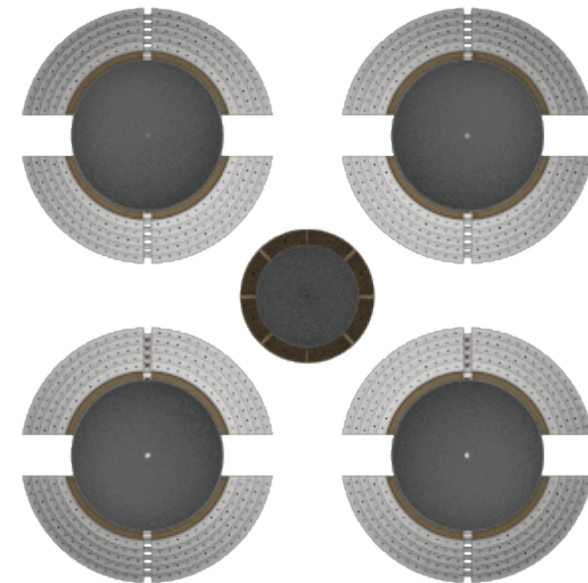
Submódulo
Sumidero



Módulo Principal



Crecimiento modular



Criterios de evaluación	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Optimización del espacio	○	-	+
Crecimiento del sistema	+	+	+
Capacidad de producción	-	○	+
Pocos componentes	+	-	○
Facilidad de instalación	+	+	+
Facilidad de mantenimiento	+	○	+
Facilidad de cosecha de cultivos	-	+	+
Facilidad de acceso a los componentes	+	+	○
Sumar +	6	4	6
Sumar o	0	3	2
Sumar -	2	2	0
Puntuación neta	35	31	36

16. Propuesta final

Descripción general

Módulo Baja Producción

El sistema se caracteriza por la integración de los componentes en un solo módulo con el fin de optimizar el espacio y facilitar al usuario el cultivo y la cosecha de la lechuga. Está compuesto por un tanque para peces, 2 biofiltros, 4 módulos de plantas cada uno con 5 contenedores dispuestos en forma vertical y un sumidero. El sistema cuenta con dos bombas encargadas de la recirculación del agua, la cual está compuesta por dos fases, una pasiva y otra activa. La pasiva se caracteriza por utilizar la gravedad como medio para trasladar el agua de los tanques a los biofiltros, luego a los contenedores de plantas y por último al sumidero. En la fase activa se utilizan las bombas para trasladar el agua del sumidero al tanque para peces y así empezar de nuevo el ciclo.

El sistema ocupa 32 m² incluyendo el área de tránsito, y su capacidad de producción por cosecha es de 187 kg de pescado (312 peces/año de 600g aproximadamente) y 108 kg de lechuga (272 cabezas/mes de 400g aproximadamente), adecuado para un pequeño productor. Su diseño modular permite el crecimiento del sistema para adecuarse a una producción escalonada y a un espacio mayor.

Módulo Alta Producción

El sistema utiliza 4 módulos de baja producción, conectados a un nuevo sistema de filtración, debido a que una mayor producción requiere mayor capacidad de filtración de sólidos. El diseño del sistema de filtración integra al clarificador, los biofiltros y el sumidero como un único módulo, con el fin de mantener la optimización del espacio y la facilidad de mantenimiento e instalación, y está compuesto por un clarificador central, 4 biofiltros y 2 sumideros.

El sistema tiene una capacidad de producción por cosecha de 450 kg de pescado (750 peces de 600 g aproximadamente cada tres meses) y 5650 kg de lechuga (14140 cabezas de 400g aproximadamente) en un espacio de 180 m², adecuado para un mediano productor.

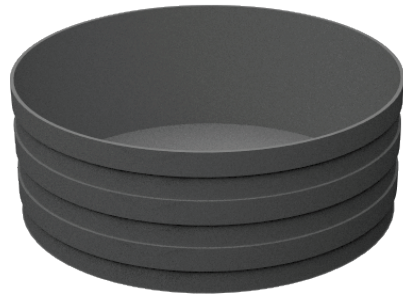


16. Propuesta final

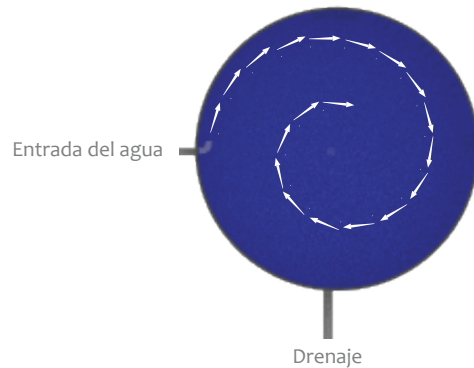
Descripción de componentes Módulo Baja Producción

Tanque para peces

Su forma circular permite un movimiento de rotación constante del agua, la cual ingresa de manera tangencial al radio, con lo cual se genera una corriente que mantiene el agua de los peces en constante movimiento. Además al estar en ausencia de esquinas elimina lugares donde se pueda acumular los desechos.

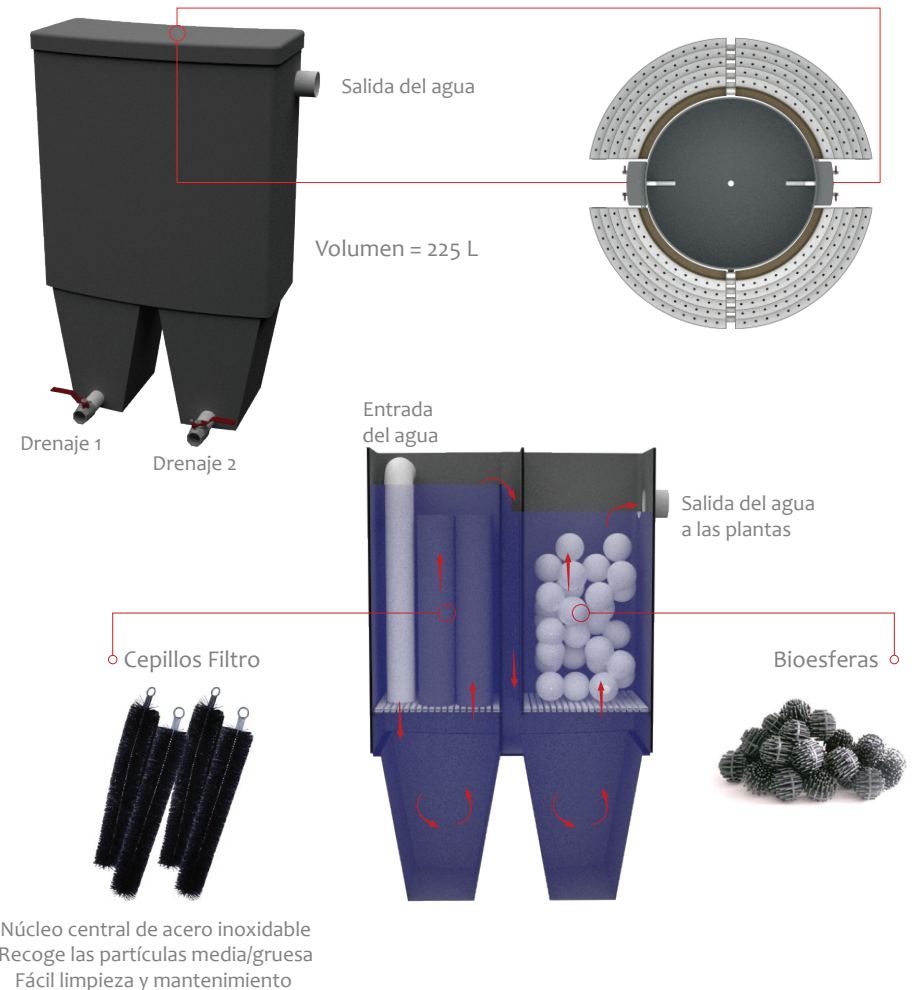


Diámetro = 3 m
Altura = 1,2m
Volumen = 7,5 m³



Biofiltro

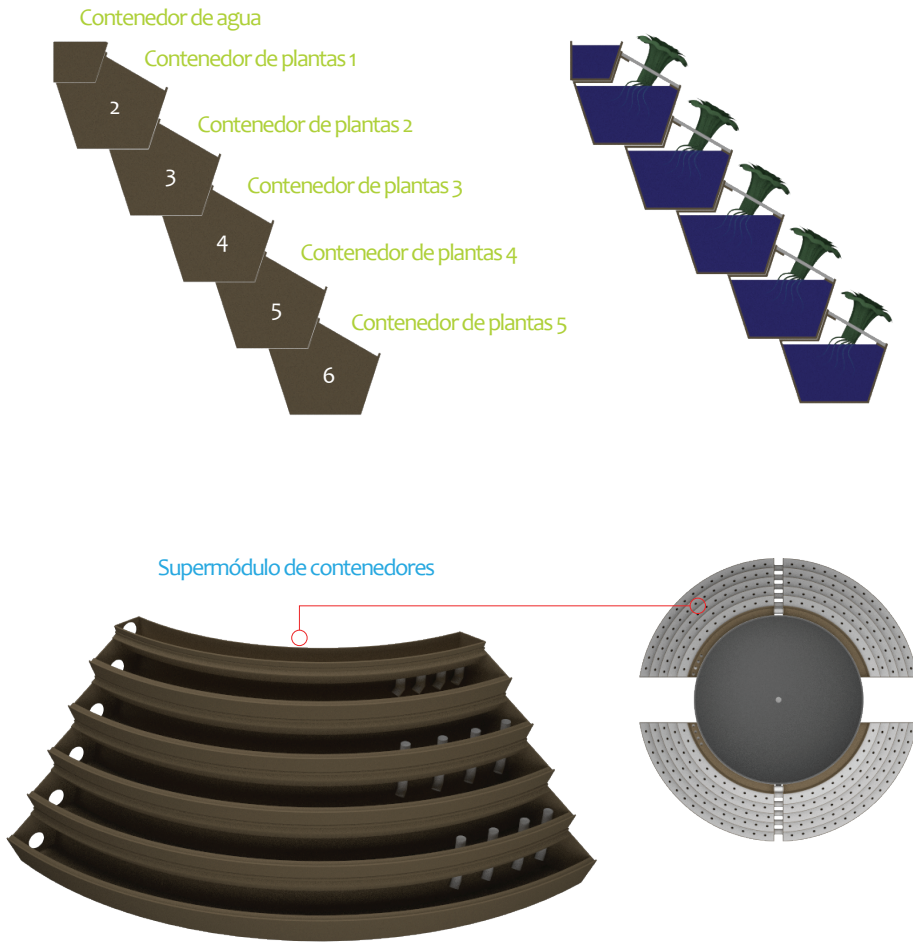
Existen 2 módulos por sistema, cada módulo realiza la mineralización de los desechos mediante el principio de flujo ascendente, el cual permite el flujo eficiente del agua que proviene del tanque de peces y pasa entre los medios de filtración acumulando los sólidos en la parte inferior. Cada módulo contiene dos cámaras de material filtrante separadas entre sí, una para la filtración mecánica, por medio de cepillos cilíndricos de polipropileno, y la otra para la filtración biológica por medio de bioesferas.



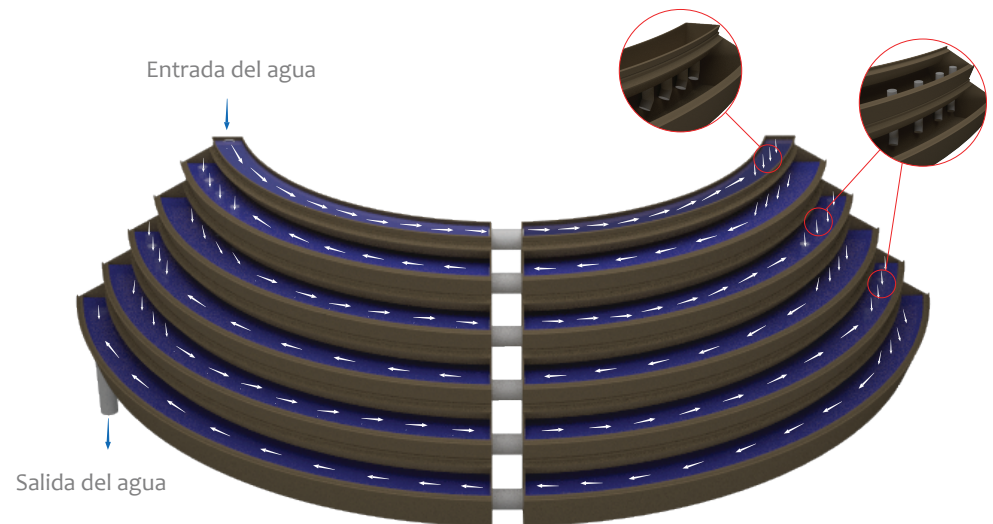
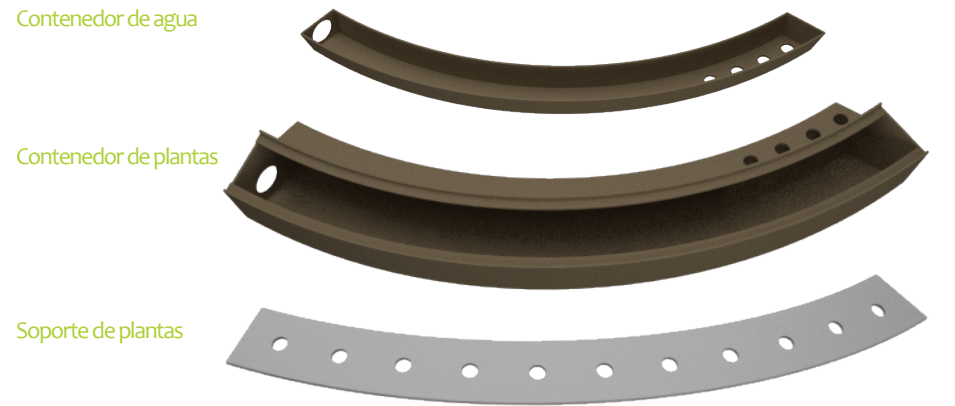
16. Propuesta final

Contenedor de plantas

Compuesto por 6 contenedores modulares dispuestos de forma vertical con una inclinación de 40°, brindando uniformidad de exposición a la luz y mejor acceso al cultivo. Los contenedores se unen entre sí para formar un supermódulo, el cual se repite 4 veces por cada tanque de peces, con la capacidad de albergar 68 lechugas con una separación de 20 cm entre cada planta.



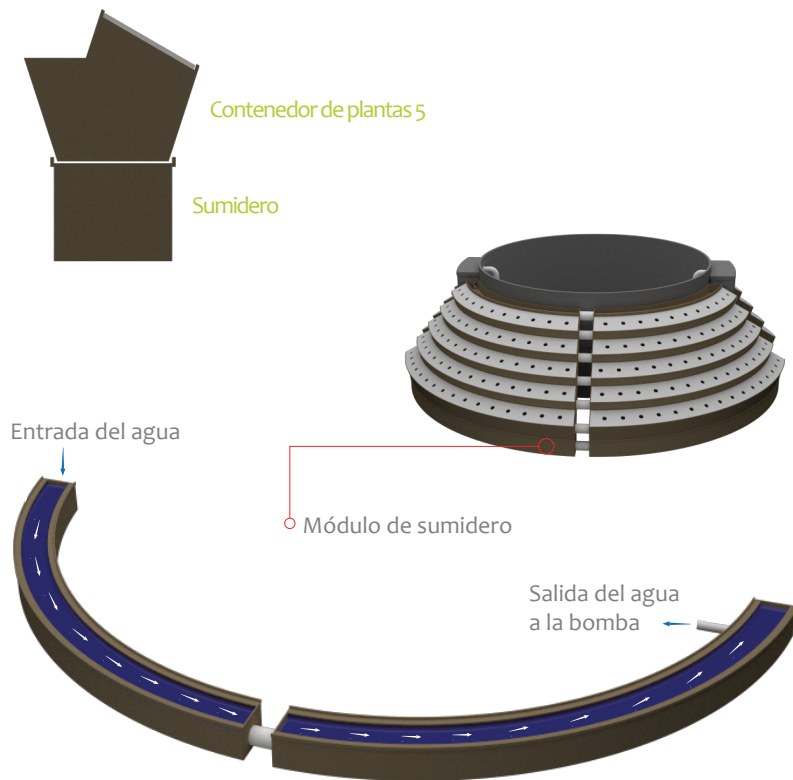
El contenedor superior transporta el agua que viene de los biofiltros hacia el primer contenedor de plantas, a partir de ahí el agua sigue un movimiento en "S" descendente recorriendo los 5 contenedores de plantas a través de los orificios entre niveles. Las plantas se colocan en canastas de 2 pulgadas, las cuales se insertan en los orificios del soporte de plantas que se coloca sobre el contenedor de plantas.



16. Propuesta final

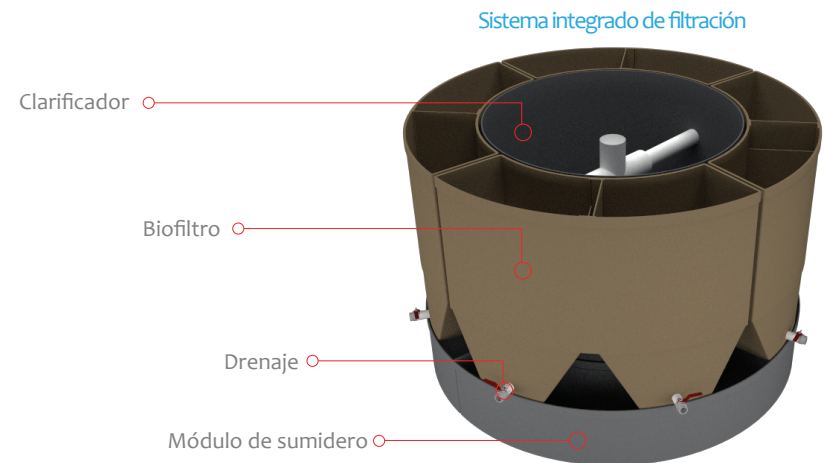
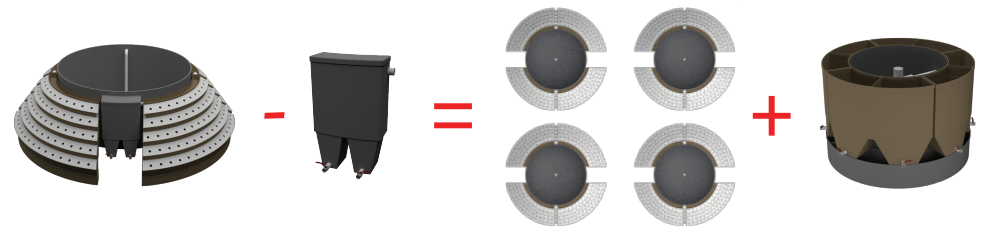
Sumidero

Son 2 contenedores unidos entre sí formando un módulo semicircular, cada uno almacena el agua que proviene de los contenedores de plantas, y por medio de la bomba el agua es recirculada hacia los tanques de los peces para que el ciclo comience de nuevo. Se requiere de 4 contenedores por tanque, ya que cada módulo está colocado debajo del último contenedor de plantas para dar mayor estabilidad.



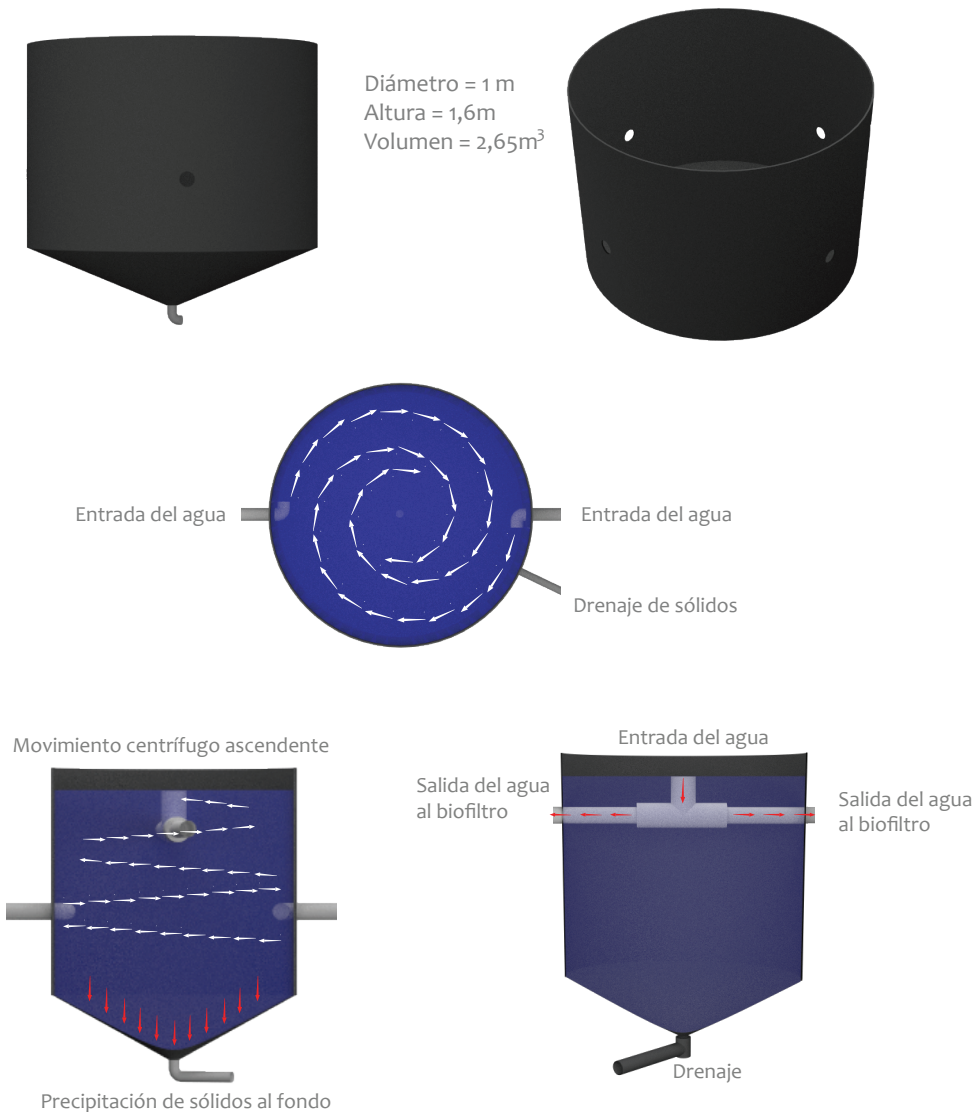
Descripción de componentes Módulo Alta Producción

Simplemente al sustituir los biofiltros del módulo de baja producción por un sistema integrado de filtración, el sistema puede crecer de tener un tanque hasta cuatro tanques. Esto permite mantener una producción escalonada tanto en peces como en lechugas. El módulo de filtración está integrado por un clarificador, 4 biofiltros y 2 sumideros.



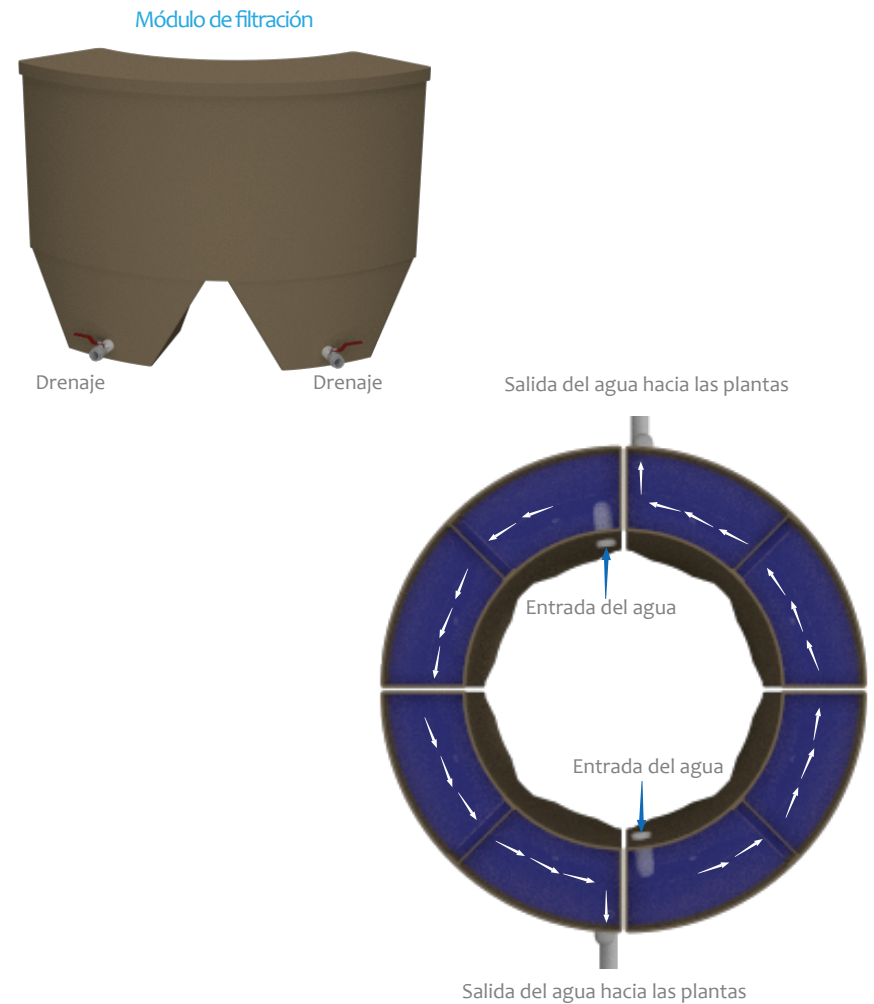
Clarificador

Representa la primera fase de filtración de sólidos grandes, su forma cilindro-cónica permite una adecuada recolección de los sólidos, debido a que el agua ingresa de manera tangencial generando una fuerza centrípeta que actúa en un movimiento circunferencial, que obliga a los sólidos más pesados caer en el fondo.



Biofiltro

Conformado por 4 contenedores modulares que se unen entre sí para brindar una adecuada mineralización de los desechos. Dos módulos unidos tiene la capacidad de filtrar los desechos de 2 tanques de peces y cada módulo representa una etapa de filtración contenidas en dos cámaras de material filtrante separadas entre sí.



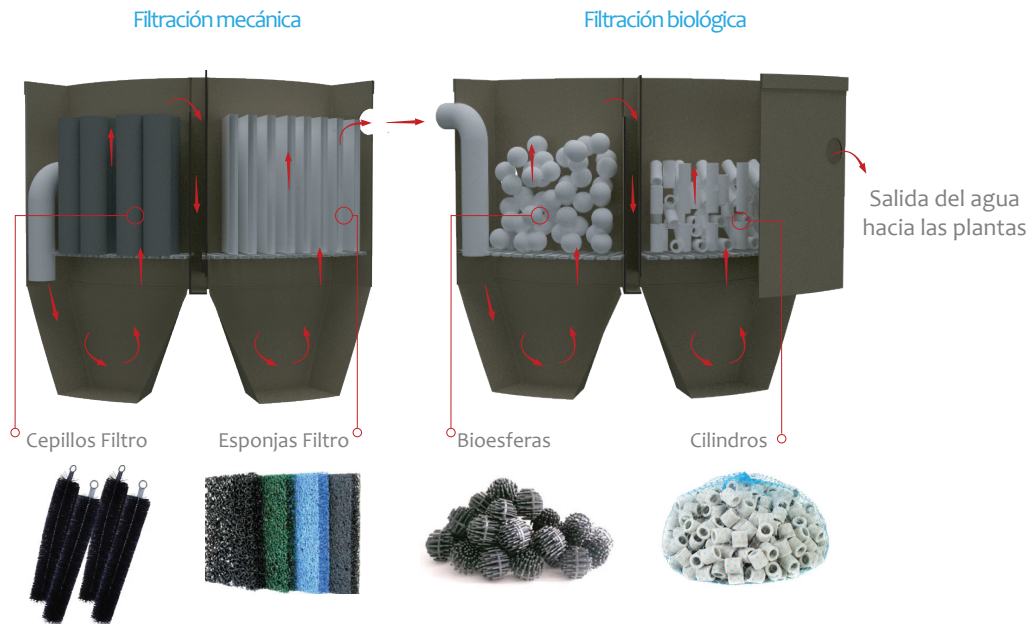
16. Propuesta final

Luego de la retención de sólidos en el clarificador, se realizan las etapas de filtración mecánica y biológica.

El módulo de filtración mecánica esta compuesta por cepillos cilíndricos de polipropileno y esponjas filtrantes, que se encargan de atrapar los sólidos en suspensión. Este proceso es importante para mantener la claridad del agua y reducir la materia orgánica biodegradable en el sistema.

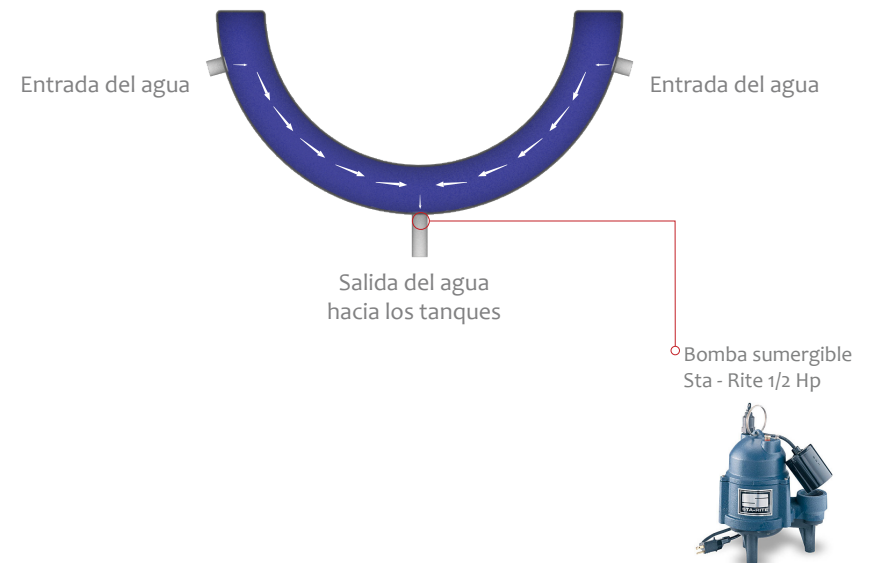
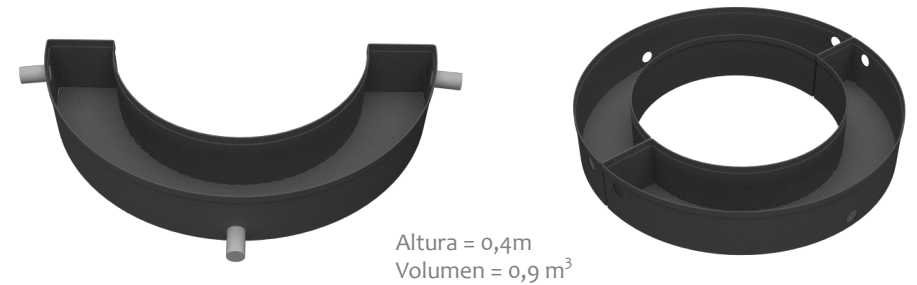
El módulo de filtración biológica contiene bioesferas y cilindros cerámicos que proporcionan una amplia superficie donde las bacterias nitrificantes pueden colonizar y prosperar para la descomposición del amoníaco en nitritos.

En el interior del módulo, a partir del principio de flujo ascendente, el agua pasa a través de los medios del filtración acumulando los sólidos en la parte inferior.



Sumidero

Está conformado por 2 módulos semicirculares, cada uno almacena el agua que proviene de los contenedores de plantas, y por medio de la bomba el agua es recirculada hacia los tanques de los peces para que el ciclo comience de nuevo. Cada módulo almacena y alimenta 2 tanques de peces y funcionan como soporte para los biofiltros.

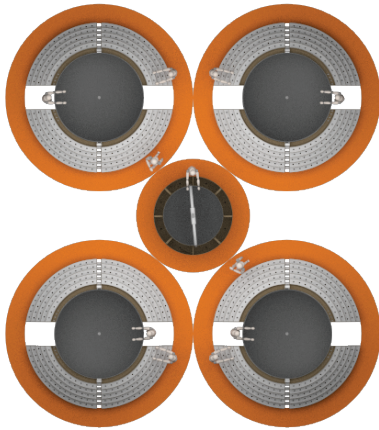


16. Propuesta final

Interacción con el usuario

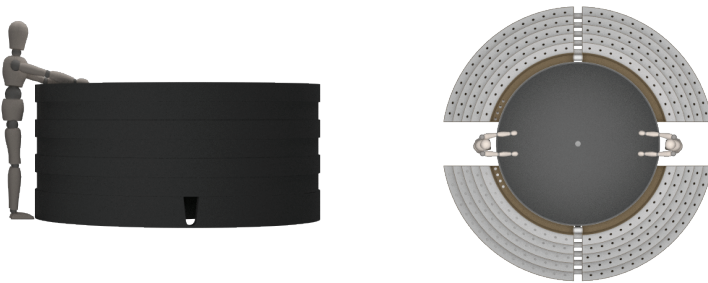
Relación usuario - sistema

El sistema ofrece un libre tránsito entre los componentes, con lo cual se facilita y no se interrumpen las tareas de mantenimiento y cosecha. Las áreas marcadas de anaranjado, representan las zona de tránsito la cual tiene 65cm de ancho proporcional al ancho de una persona.



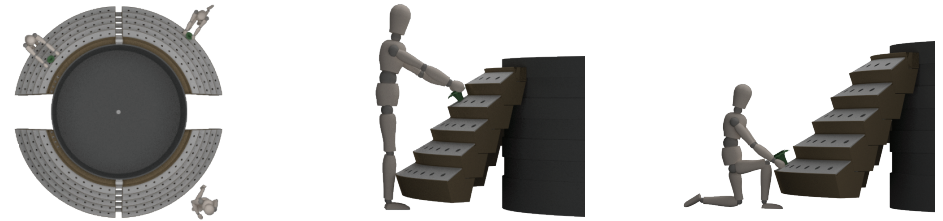
Relación usuario - tanque de peces

La altura del tanque permite un acceso adecuado para el mantenimiento o cosecha de los peces. El tanque tiene dos accesos opuestos entre sí de 80cm, suficiente para poder realizar movimientos en el momento de manipular los peces.



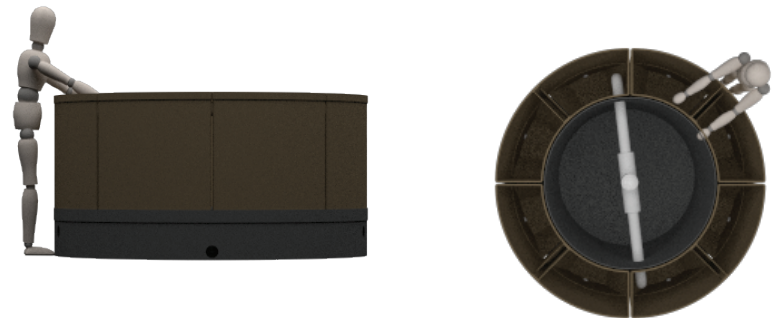
Relación usuario - plantas

Se brinda un acceso a las plantas de 360°, la disposición vertical permite un alcance horizontal máximo de 75cm y los cultivos inferiores están a 40cm del nivel de suelo.



Relación usuario - biofiltro

Se brinda un acceso a los contenedores de 360° para los chequeos y mantenimiento. El sistema se encuentra separado 1,3 m de los módulos de plantas.



16. Propuesta final

Utilidades pequeño productor

Producción anual de peces pequeño productor

Con una densidad de 25 kg/m³ por tanque se tiene una capacidad de producción de 187,5 kg por cosecha. En el primer año solo habrá 1 cosecha, pero a partir del segundo año el total de cosechas anuales será de 2.

El kilogramo de tilapia fresca se compra a 4000 colones, lo cual da un ingreso total de 750 000 y 1 500 000 colones en el primer y segundo año respectivamente.

Producción anual de lechugas pequeño productor

Con una densidad de 23 plantas/m² se tiene una producción de 272 lechugas por cosecha. Anualmente existen 12 cosechas aproximadamente, para un total de 3260 lechugas/año. Cada lechuga se vende a 300 colones en las ferias orgánicas, lo cual da un ingreso total de 978 000 colones por año.

Utilidades mediano productor

Producción anual de peces pequeño productor

Con una densidad de 60 kg/m³ por tanque se tiene una capacidad de producción de 450 kg por cosecha. Al emplear un cultivo escalonado, en el primer año solo habrá 2 cosechas pero a partir del segundo año el total de cosechas anuales será de 4.

El kilogramo de tilapia fresca se compra a 4000 colones, lo cual da un ingreso total de 3 600 000 y 7 200 000 colones en el primer y segundo año respectivamente.

Producción anual de lechugas pequeño productor

Con una densidad de 23 plantas/m² por tanque, y empleando un cultivo escalonado, se tiene una producción de 272 lechugas por semana, para un total de 14140 lechugas/año aproximadamente. Cada lechuga se vende a 300 colones en las ferias orgánicas, lo cual da un ingreso total de 4 242 000 colones por año.

Costos aproximados pequeño productor

Tanque de peces = 1 560 000 colones

Biofiltros = 385 000 colones

Contenedores de plantas = 480 000 colones

Sumidero = 187 200 colones

Bombas = 126 500 colones

Beneficio - Costo = 4 206 000 - 2 738 200 = 1 467 800 colones

Costos aproximados mediano productor

Tanque de peces = 5 210 000 colones

Clarificador = 585 000 colones

Biofiltros = 1 067 500 colones

Contenedores de plantas = 1 728 000 colones

Sumidero = 336 600 colones

Bombas = 253 000 colones

Tubería = 121 500 colones

Beneficio - Costo = 19 284 000 - 9 301 600 = 9 982 400 colones

16. Propuesta final

Gradientes de mejoramiento

Optimización del espacio

La integración de los componentes mejora la utilización del espacio y brinda mayor cercanía entre componentes.

Se da un mejor aprovechamiento en el área de las lechugas, debido a la modulación de los contenedores apilables.

Crecimiento del sistema

El diseño modular permite que el sistema crezca en producción y tamaño, con la posibilidad de adecuarse a las diferentes capacidades económicas y de terreno. Simplemente agregando un módulo de filtración mayor, el sistema puede aumentar de 1 tanque de peces y 4 módulos de plantas hasta 4 tanques de peces y 16 módulos de plantas.

Facilidad de instalación y mantenimiento

La integración de los componentes entre sí y la funcionalidad de la forma, permiten reducir la cantidad de piezas que se tienen que unir de forma mecánica. Además al estar los componentes más cerca y con fácil acceso se facilitan las labores de mantenimiento.

Menor esfuerzo para recolectar las lechugas

La disposición de las plantas en forma vertical y al alcance del usuario evita esfuerzos innecesarios a la hora de cosechar o sembrar las lechugas.

Al estar los cultivos más juntos se ahorra espacio, tiempo de cosecha y mantenimiento de los cultivos. El sistema brinda un espacio suficiente entre los componentes, de manera que no se afecte el desplazamiento de la persona durante la cosecha.

Aportes del proyecto

A nivel social

Es un sistema de producción de productos de alto valor nutritivo, y es una manera de incentivar un cambio, hacia la búsqueda de un estilo de vida más saludable. Puede incluso considerarse como una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria del país.

A nivel socioeconómico

El sistema brinda una posibilidad de negocio productivo para los pequeños productores que quieran diversificar su producción. Además, se puede considerar como una alternativa de empleo en las zonas rurales.

A nivel ambiental

La recirculación del agua y el uso de los desechos de los peces como alimento para las plantas, crean un sistema de producción de alimentos amigable con el ambiente, que permite reducir la contaminación de los ríos, mejorar el consumo de agua y transformar los desechos en subproductos. Además promueve la producción de productos orgánicos.

Conclusiones

- La acuaponía se puede integrar a los sistemas de circulación cerrados en la acuicultura, como una alternativa viable para la reducción de costos y la diversificación productiva. Sin embargo, requiere de una mayor investigación para establecer procedimientos más asequibles para aumentar la variedad en la producción de alimentos.
- En el país hay gran posibilidad de implementar este tipo de sistemas, ya que actualmente los sistemas acuícolas no utilizan la recirculación del agua y tampoco aprovechan los desechos sólidos para desarrollar subproductos.
- En Costa Rica la técnica de acuaponía es un área poco explorada, por lo que no se cuenta con profesionales ni sistemas aplicados a nivel comercial. Esto se puede considerar como una gran ventaja competitiva, además por los beneficios que ofrece.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un mantenimiento completo después de cada cosecha para asegurar el buen funcionamiento del sistema. Los drenajes y los materiales filtrantes deben revisarse 3 veces al día.
- El sistema debe estar nivelado para mantener una adecuada recirculación del agua.
- Establecer como mínimo 2 personas para el armado y el mantenimiento en una producción de 272 lechugas semanales.
- Contar con un sistema eléctrico de respaldo en caso de que hayan problemas de energía eléctrica. En este caso como el sistema funciona por gravedad, lo recomendable es cerrar el flujo de salida del agua de los tanques y el de las plantas, y enfocar el sistema de respaldo a mantener con buena aereación el agua de los peces.
- Para la siguiente fase del proyecto es necesario la asesoría de diferentes especialistas para verificar datos técnicos de funcionamiento, así como la experimentación.
- Para la experimentación se recomienda utilizar sistemas a pequeña escala, ya que entre menos individuos por especie más fácil es el control de las variables.

17. Bibliografía

Literatura consultada

- Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. “Diseño y desarrollo de productos enfoque multidisciplinario”. Tercera edición: Mc Graw-Hill Interamericana, México, 2004.
- Incopescas, 2011. “Conceptos básicos de acuicultura y mercadeo de productos agrícolas”. Depto de Acuicultura. San José, Costa Rica.
- Saavedra Martínez M.A, 2006. “Manejo del cultivo de tilapia”. Departamento de Tecnología y Arquitectura. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.
- FAO, 2010. “El estado de la pesca mundial y la acuicultura”. FAO. Roma, Italia.
- Hurtado Hernán, Jiménez Pedro, Ramirez Diego y Sabogal Daniel, 2008. “La acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible”. Volumen 4. Número 1. Páginas 32-51. Facultad de Ciencias, Universidad Militar “Nueva Granada”, Colombia.
- Donaldson Gary, 2008. “The Urban Aquaponics Manual”. Segunda edición. Australia.
- Connolly Keith, Trebic Tatjana, 2010. “Optimization of a backyard aquaponic food production system”. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences Macdonald Campus, McGill University.
- Rakocy James , Masser2 Michael y Losordo Thomas, 2006. “Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture”. SRAC Publication No. 454. USA.
- Ako Harry y Baker Adam, 2009. ”Small-Scale Lettuce Production with Hydroponics or Aquaponics”. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Hawaii.
- Galli Oscar y Sal Facundo, 2007. “Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC. Argentina.

Páginas web consultadas

- aquaponics.com
- www.aquaponics.net.au
- www.backyardaquaponics.com
- www.ecofilms.com.au
- www.lagunakoi.com
- aquaponicseasy.com
- www.aquaponicsusa.com
- www.bobsbackyard.co.uk
- www.aquaponicsusa.com
- www.aquaponicsjournal.com
- www.fishdoc.co.uk

Personas consultadas

- Lic. Alvaro Otarola F. Jefe del Departamento de Acuicultura de Incopescas.
- Ing. Ricardo Salazar. Ingeniero en Agropecuaria Administrativa del ITCR
- Tim Mann y Susanne Friend. Propietarios y encargados de Friendly Aquaponics Farm, Hawaii

Videos consultados

- Aquaponics Made Easy. Murray Hallam
- Aquaponics Secrets. Murray Hallam