



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial

Sistema de producción acuapónico de traspatio

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciada en Diseño Industrial

Presenta:

Martha Olivia Ontiveros López

Dirigido por:

M. en C. Oscar Alatorre Jácome

SINODALES

M. en C. Oscar Alatorre Jácome
Presidente

Firma

L.D.I. Azucena Gómez López
Secretario

Firma

Dr. Enrique Rico García
Vocal

Firma

L.D.I. Lina Fuensanta Rodríguez Villeda
Suplente

Firma

M.en C. Omar Valencia Hernández
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio del 2013
MÉXICO

RESUMEN

En el presente trabajo se integra una propuesta de la aplicación del diseño industrial a un sistema acuapónico de traspatio. El objetivo consiste en generar un producto para cultivo de hortalizas en hogares de tal manera que se obtengan alimentos orgánicos. Así mismo, el sistema acuapónico podrá ser utilizado por un operador con conocimientos técnicos mínimos sobre agricultura y acuaponia.

Se realizó un análisis de estudios de mercado en base a consumidores de productos orgánicos, de tal manera que se buscara satisfacer las principales demandas que este mercado exige. Adicionalmente se llevaron a cabo estudios sobre sinergismo en plantas para seleccionar aquellas especies que fueran empáticas entre sí. Así mismo, se emplearon principios básicos de antropometría para conformar un producto ergonómico.

Éstos datos se conjuntaron para generar un sistema acuapónico para hogares, enfocado a la comodidad y ergonomía del usuario.

Bocetos, datos y planos se encuentran incluidos en la presente tesis.

Para llegar a un producto final se construyeron prototipos de funcionamiento y forma. El prototipo fue fabricado en fibra de vidrio.

(Palabras clave: diseño industrial, ergonomía, producción orgánica, sistema de recirculación acuícola, auto-sustentabilidad, agricultura urbana de hortalizas)

SUMMARY

The following paper integrates the proposal of industrial design applied in a backyard aquaponic system. The objective is to generate household vegetable cultivation to obtain organic food. This aquaponic system can be used by an operator with minimal technical knowledge on agriculture and aquaponics.

A market research analysis based on organic product consumers was performed to obtain the main market demands. Further studies were conducted on synergism between plants to select those that were empathetic species. Also, anthropometry basic principles were used to enhance an ergonomic product.

The integration of this information was applied to generate an aquaponic system for household use, that is focused on comfort and ergonomics for the consumer.

Data, sketching, prototyping and drawings of CAD 3D and 2D are included in the following paper.

To reach a final product, various prototypes were built such as functioning prototype and form prototype. The final prototype was built in fiberglass.

(Key words: industrial design, ergonomics, organic production, recirculating aquaculture system, self-sustainability, urban agriculture)

DEDICATORIAS

A mis padres, por su inigualable apoyo y paciencia.

**A mi hermano y hermana por su inagotable fuente de
consejos.**

A mis compañeros por su apoyo, amistad y empatía.

**A mis profesores, por sus enseñanzas tanto académicas
como personales.**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Universidad por el apoyo que se me ofreció al realizar mi tesis. En especial al Dr. Gilberto Herrera y a mi director el Dr. Oscar Alatorre Jácome.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVO	6
III.	HIPÓTESIS	7
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	8
	a. MARCO TEÓRICO	8
	i. Diseño de Sistemas Acuícolas	8
	ii. Diseño Industrial	10
	iii. Productos Orgánicos	13
	b. ANTECEDENTES	14
V.	METODOLOGÍA	19
	a. INVESTIGACIÓN DE CAMPO	19
	i. Mercado	20
	ii. Sistemas Acuapónicos	20
	iii. Usuario	20
	iv. Vivienda.	21
	v. Ergonomía	22
	vi. Cultivos.	23
	b. PROCESO DE DISEÑO	23
	i. Conceptualización de Diseño.	23
	ii. Materiales.	23
	iii. Diseño	24
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24

a.	INVESTIGACIÓN DE CAMPO	24
i.	Mercado.	24
ii.	Sistemas Acuapónicos	27
iii.	Usuario	27
iv.	Vivienda.	33
v.	Ergonomia	34
vi.	Cultivos	37
b.	PROCESO DE DISEÑO	39
i.	Requerimientos de Diseño..	39
ii.	Conceptualización de Diseño.	44
iii.	Bocetaje a Mano Alzada.	45
iv.	Desarrollo de Producto	48
v.	Modelado	53
vi.	Prototipado..	55
vii.	Diseño Final.	61
	VII. CONCLUSIONES	62
	VIII. REFERENCIAS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Características de viviendas de acuerdo a nivel socioeconómico (AMAI, 2009)..	29
Cuadro 2	Especies de plantas seleccionadas para cultivo en sistema acuapónico de traspatio (http://www.shootgardening.co.uk , 2012).	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Vista lateral de módulo de sistema acuapónico. (Wardlow, 2002)	18
Figura 2	Vistas frontal y posterior de módulo de sistema acuapónico (Wardlow, 2002)	19
Figura 3	Vista de pantalla de ventas en página web (http://www.aquaponics.org.uk)	19
Figura 4	Regiones con mayor extensión de tierras gestionadas orgánicamente (hectáreas) (IFOAM, 2010)	24
Figura 5	Países con el mayor número de productores orgánicos (IFOAM, 2010)	25
Figura 6	Comparación de datos de producción orgánica en México en 1996 y 2002 (Landry Consulting LLC, 2004)	26
Figura a	Superficie cultivada con productos orgánicos en México	26
Figura b	Número de productores orgánicos en México	26
Figura 7	Porcentajes de población en el estado de Querétaro dividido en género femenino y masculino (INEGI, 2010)	28
Figura 8	El estimado de rango de edad de mujeres con interés en productos orgánicos es de 25-49 años (INEGI, 2010; AMAI, 2009; Mitofsky, 2009)	29
Figura 9	Relación de hogares en Querétaro por nivel socioeconómico. (Mitofsky, 2009)	31

Figura 10	Dimensiones antropométricas de la mujer mexicana promedio (http://www.semec.org.mx)	34
Figura a	Estatura promedio y altura promedio a ojos (cm).	34
Figura b	Alcance vertical de asimiento (cm)..	34
Figura c	Alcance hasta punta de dedos (cm).	34
Figura 11	Dimensiones ergonómicas de las normas de referencia para diseño básico (Panero y Zelnik, 1979)..	35
Figura a	Alcance máxima hasta muñeca (cm).	35
Figura b	Dimensiones de zona de inclinación promedio(cm).	35
Figura c	Dimensiones promedio de zona de actividad de persona arrodillada (cm).	35
Figura 12	Hiperextensión y flexión de cuello. (Panero y Zelnik, 1979)	35
Figura 13	Relación de requerimientos de espacio de cada planta.. . . .	38
Figura 14	Relación de sinergia entre plantas.	38
Figura 15	Bocetaje de acomodo de plantas de acuerdo a requerimientos de espacio.. . . .	39
Figura 16	Bocetos a mano alzada de propuestas de diseño del producto. (ETAPA I).	43
Figura 17	Boceto seleccionado para comenzar la etapa II de diseño del producto.	44

Figura 18	Etapa II de bocetaje a mano alzada.	45
Figura 19	Selección de boceto afín a características y requerimientos de diseño.	46
Figura 20	Fase III de bocetaje a mano alzada. Se prestó mayor atención a detalles técnicos tanto de instalación como de función y forma. (Parte 1 y 2)	47
Figura 21	Modo de instalación de sistema en rieles.	49
Figura 22	Acomodo de bomba y mangueras dentro del sistema.. . . .	49
Figura 23	Fase IV de bocetaje a mano alzada sobre planos de modelo.. .	50
Figura 24	Proceso de fabricación de prueba de material silicón.	51
Figura 25	Prueba de textura en silicón.	51
Figura 26	Representación gráfica de sistema acuapónico de traspatio. . .	53
Figura 27	Modelado en 3D de sistema acuapónico de traspatio.. . . .	54
Figura 28	Renderizado en 3D de sistema acuapónico de traspatio. . . .	55
Figura 29	Renderizado en 3D de sistema acuapónico de traspatio localizado en ambiente.	56
Figura 30	Primer prototipo. Modelo de prototipo de función.	56
Figura 31	Proceso de construcción de prototipo de función.	57
Figura 32	Comparación de niveles de agua. Donde existe un aumento anormal de nivel de agua en biofiltro (imagen	

	izquierda).58
Figura 33	Cambios realizados en campana sifón.58
Figura 34	Proceso de prototipado de sistema acuapónico de traspatio en cartón.59
Figura 35	Prototipo final de sistema acuapónico de traspatio en cartón. . .	.59
Figura 36	Corte de planos seriados en MDF de 18mm para armado de molde.60
Figura 37	Armado de planos seriados para formar el molde.60
Figura 38	Lijado y acabado de planos seriados para remover bordes.61
Figura 39	Acabado final de molde para su uso en producción.61

I. INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades primarias de nuestra sociedad es la alimentación. Se requiere que el ser humano ingiera cierta cantidad de alimentos con contenidos en proteínas, lípidos, glúcidos, vitaminas y minerales (Lehninger *et. al.*, 2008). Es por eso que la producción de alimentos es una de las actividades más importantes en la sociedad (Koning *et al.*, 2008) .

A través de los años nos hemos dado cuenta de que la población está incrementando de manera desproporcionada, provocando una mayor demanda de recursos naturales, alimentarios y energéticos (Brander, 2007). Para el año 1997, México contaba con una superficie cultivable de 227,458 km² y en 2002 hubo un aumento ahora con 321,582 km². En cuanto a la industria alimentaria en 2005 había un consumo de 558,000 millones de pesos y para 2010 éste tuvo un incremento de 850,000 millones de pesos (INEGI, 2011). Así mismo, en 2010 hubo un crecimiento en el requerimiento energético nacional del 6% en comparación con el año 2005 (SIE, 2010).

De igual manera, el agua es un recurso natural que a través de los años se ha ido agotando. González (2008) menciona que para el año 2007 teníamos una disponibilidad natural media per cápita de 4.416 m³ hab⁻¹ año⁻¹ y se espera que para el año 2030 se tenga una disponibilidad de 3.705 m³ hab⁻¹ año⁻¹.

El principal uso del agua esta destinado a la agricultura. El 77% del agua extraída en nuestro país corresponde al sector agrícola, proviniendo el 40.7% de ríos, arroyos y lagos; y el 20.5% de fuentes subterráneas (acuíferos) en 2008. Para

2001 se requería un total de agua para riego de 69 mil millones de m³, en 2008 esta cifra ascendió a 80 mil millones de m³ (CONAGUA, 2010).

Se han dado muchos avances en la tecnología de riego, precisamente para atacar el problema del continuo uso no sustentable del agua. Tal es el caso del riego por goteo que permite un mejor humedecimiento de la raíz de la planta con menor gasto de agua (Sethuraman y Naidu, 2008).

Sin embargo, a pesar de estos avances tecnológicos que se han dado en materia de irrigación, el agua sigue siendo un recurso que sigue agotándose con el transcurso de los años. Esta problemática, aunada a la emisión de gases de invernadero y la pérdida constante de tierra cultivable, plantean la necesidad de nuevas investigaciones sobre métodos más eficientes de cultivo (Alatorre-Jácome, 2010; Le Treut, 2007).

Es por estos motivos que la en los últimos años la acuaponía, también conocida como la integración de la hidroponía y la acuacultura, ha recibido mayor atención. Esto debido a las ventajas que presenta como medio de producción alimentaria sustentable y orgánica tanto a pequeña como a gran escala (Diver, 2006). Un sistema acuapónico se define como el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación (Rakocy *et. al.*, 2006). En éstos sistemas el agua y los nutrientes se reciclan en un circuito cerrado, por lo que la eficiencia del sistema aumenta de manera considerable, minimizando así los daños al medio ambiente (Graber y Junge, 2009). Los desechos de los peces disueltos en el agua son asimilados por las plantas, reduciendo la descarga de desechos al medio ambiente y teniendo mayor aprovechamiento de agua. Los desechos sólidos que se descargan se

pueden emplear para la producción de alimentos como pueden ser hortalizas; y las plantas purifican el agua empleada para el sistema en recirculación (Rakocy, 2000).

Las ventajas de la acuaponía se pueden resumir en: (a), los desechos de un sistema biológico son los nutrientes del otro; (b), la integración de peces y plantas da como resultado un policultivo, incrementando así la diversidad y rendimiento de varios productos; (c), el agua se recircula a través filtración biológica sin necesidad de llevar a cabo la compra de biofiltro alguno; y (d) permite el desarrollo de producción alimentaria local dando acceso así a alimentos saludables y orgánicos mejorando también la economía local (Diver, 2006).

Actualmente se continúan llevando a cabo investigaciones para determinar qué especies son las más rentables en el sistema de producción acuapónico (Savidov et. Al., 2007). Algunas de las especies ya estudiadas son, en el caso de plantas, la lechuga (*Lactuca sativa* L.), la espinaca (*Spinacia oleracea* L.), el cebollín (*Allium schoenoprasum* Regel y Tiling), la albahaca (*Ocimum basilicum* L.), el berro (*Nasturtium officinale* W.T. Aiton), el tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), el pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.). Para el caso de los peces, la tilapia (*Oreochromis niloticus* L.), la trucha (*Salvelinus fontinalis* M.), la perca (*Perca flavescens* M.), la trucha alpina (*Salvelinus alpinus* L.), el róbalo (*Dicentrarchus labrax* L.) y el bacalao (*Gadus morhua* L.) (Diver, 2006). Existen muchas más especies con las que se ha experimentado y que se ha logrado producir en masa (Al-Hafedh et. al., 2008).

Los sistemas acuapónicos son substancialmente productivos en hierbas culinarias, especialmente la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en donde la producción

ha llegado a ser tres veces mayor a la obtenida en producción de campo (Rakocy *et. al.*, 2004; Rakocy y Bailey, 2003). Diver (2006) menciona que basándose en el precio de mercado de USD \$22 por kg de albahaca de las Islas Vírgenes, el sistema acuapónico resultó en un ingreso de USD \$515 por m³ por año o USD \$110,210 por sistema por año, esto comparado con la producción en campo con un ingreso de USD \$172 por m³ por año o USD \$36,808 por año por la misma área de producción.

Así mismo, Diver (2006) resalta que algunas de las características que hace del sistema de producción acuapónico poco atractivo para los agricultores es que la mayoría de los sistemas desarrollados requieren de conocimientos altamente técnicos acerca del sistema y son empleados principalmente para producción en masa. Esto forma parte de las problemáticas que tenemos actualmente con la agricultura a gran escala, permea la posibilidad de diversos escenarios negativos como es la escasez y contaminación de agua y suelos fértiles; la falta de alimentos que existen en regiones de escasos recursos y el uso de agentes fertilizantes dañinos para la salud (Prasad, 1998). Connolly y Trebic (2010) resaltan que la agricultura a pequeña escala (en específico la acuaponía) es una alternativa sustentable a la agricultura de producción en masa, ya que permite el cultivo, el proceso y la distribución de alimentos en o los alrededores de una comunidad.

La agricultura urbana como parte de la agricultura a pequeña escala está siendo reconocida como una de las actividades con el potencial para incentivar el desarrollo socio-económico de zonas urbanas de países en desarrollo (Goodman, 2011; Hampwaye *et. al.*, 2009; Bishop *et. al.*, 2009; Pade y Nelson, 2007).

Es por estos motivos que en el presente trabajo se considera a la acuaponía como un sistema de producción de alimentos orgánicos susceptible al diseño industrial. Su objetivo es diseñar un sistema acuapónico de traspatio, el cual sea de uso e instalación sencilla para que así cualquier persona con un mínimo conocimiento técnico. De esta manera se logrará promover la agricultura urbana sustentable y orgánica, teniendo como beneficios adicionales el cultivo.

II. OBJETIVO

Proponer el diseño industrial de un sistema acuapónico de traspatio para la producción orgánica de alimentos.

III. HIPÓTESIS

Se encuentra justificado el no proponer hipótesis en el presente trabajo. Debido a que la tesis a realizar no verificará ni falsificará sentencia alguna, únicamente se propondrá el diseño de un sistema.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

a. MARCO TEÓRICO

i. Diseño de Sistemas Acuícolas

Debido al interés de incrementar la productividad en los sistemas acuícolas se han desarrollado principalmente 3 tipos de sistemas: abierto, semi-cerrado y cerrado.

El sistema abierto es en sí el sistema natural, es decir, depende de las variables propias del medio ambiente en el que se encuentra. Hay una mínima intervención de la mano del hombre, ya que el entorno provee de todos los elementos necesarios para la cosecha de peces. Las ventajas de éstos sistemas son su bajo costo y su limitado requerimiento de administración. No obstante, la principal desventaja de este sistema es el poco control que se puede tener en las variables como temperatura, velocidad y volumen del agua.

Por otro lado, el sistema semi-cerrado se caracteriza por emplear agua natural la cual pasa una sola vez a través del sistema. Los sistemas semi-cerrados se encuentran, generalmente, en áreas modificadas para tal propósito. La ventaja de éste sistema es que tienen una mejor administración y control de variables que los sistemas abiertos. La desventaja es la inversión inicial que se tiene para la construcción de instalaciones especiales.

Los sistemas cerrados son aquellos en los que el fluido es colocado dentro del sistema y éste rara vez se cambia con fuentes externas del sistema. Se logra

tener un preciso control de temperatura del agua y de otros parámetros ambientales. Las principales desventajas de este tipo de sistema son sus altos costos de inversión y operación y el alto nivel de capacitación que debe tener el acuicultor (Wheaton, 1982). Dos de los principales ejemplos de este tipo de sistema son:

1. Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS)

Los sistemas RAS¹ representan una nueva y única manera de llevar a cabo la acuicultura de peces. A diferencia de los métodos tradicionales que se enfocan en el crecimiento de peces al aire libre en estanques y canales; en estos sistemas se crían peces en altas densidades, en tanques con variables y ambientes controlados.

En general, los sistemas de recirculación acuícola utilizan filtros para limpiar y purificar el agua, reutilizándola en los tanques de peces (Helfrich y Libey, 1991).

Los sistemas RAS han obtenido mayor atención debido a las ventajas que presentan. Entre ellas está la reducción de recursos tales como la tierra arable y el agua, el control de variables, la permisión de crecimiento de peces a lo largo de todo el año y la determinación precisa de biomasa de los peces (Bijo, 2007).

La configuración general de un sistema RAS consiste en un medio de suministro de agua, filtración mecánica y biológica, bombas, tanques de cultivo, dispositivos de aireación y otros componentes adicionales que cumple con la función de brindarle calidad al agua (Alatorre-Jácome, 2007; Hutchinson *et. al.*, 2004).

2. Sistemas acuapónicos

1 Sistemas de recirculación acuícola por sus siglas en inglés.

Un sistema acuapónico es la incorporación de sistemas de recirculación de cultivo de peces con la producción hidropónica de hortalizas (Rakocy *et. al*, 2006). El agua y los nutrientes en este sistema se recirculan a través de un sistema cerrado, reduciendo así la descarga de desechos al medio ambiente (Graber y Junge, 2009). La principal ventaja de éste sistema es la ausencia de filtros mecánicos y sistemas de aireación la cual reduce el costo de producción. Otro beneficio es la obtención de productos orgánicos, ya que no es necesaria la intervención de químicos para mejorar su desempeño (Rakocy *et. al.*, 2006)

ii. Diseño Industrial

Definir el concepto de diseño industrial se ha vuelto motivo de discusión, ya que se proponen diversas interpretaciones, algunas imprecisas, otras más definidas. A continuación se mencionan algunas de ellas.

El término de “diseño industrial” se usó por primera vez en 1948 por Mart Stam (Bürdek, 2005). Para Stam, el diseñador industrial era aquel que redactaba, bocetaba y planeaba (Hirdina, 1988). Horst Oehlke (1978) señaló que el diseñador debe preocuparse por satisfacer las necesidades de la vida individual y social. Una de las definiciones más complejas pero más útiles fue dada por Internationales Design Zentrum Berlin (IDZ²) en una exhibición de 1973, en donde se señalaron diversas características:

“...- El buen diseño no debe solo envolver la técnica. Debe expresar la individualidad del producto en cuestión a través de un modelado apropiado.

2 Centro de Diseño Internacional de Berlín, por sus siglas en alemán.

- *Debe de hacer de la función del producto, su aplicación, plenamente visible para que sea claramente comprensible para el usuario.*

- *El diseño no debe de estar restringido solo a un producto en sí; debe también considerar aspectos como ecología, conservación de energía, reciclado, durabilidad y ergonomía.*

- *El buen diseño debe tomar la relación humano – objeto como el punto de partida de las formas que utiliza...”.*

De la misma manera, pero de una forma mas comprimida, Michael Erlhoff (1987) señaló que *“diseño – a diferencia del arte – requiere justificación práctica y se puede considerar que esta principalmente en cuatro afirmaciones: ser social y funcional, significativo y concreto”.*

Un concepto que puede considerarse como más moderno y aún vigente puede ser el de Bürdek (1999) quien resume que el diseño debe:

- visualizar progresos tecnológicos;
- simplificar o hacer posible el uso y operación de productos (hardware o software);
- tener transparencia en las conexiones entre producción, consumo y reciclado; y
- promover y comunicar servicios, pero también ayudar a prevenir productos que no tienen sentido alguno.

Por último, de acuerdo a la ICSID³ el diseño industrial se define como la actividad creativa cuyo objetivo es establecer las cualidades multifacéticas de los

3 International Council of Societies of Industrial Design, por sus siglas en inglés.

objetos, procesos, servicios y sus sistemas en sus ciclos de vida completos. Por tanto, el diseño es el factor central de la humanización innovadora de las tecnologías y el factor crucial del intercambio cultural y económico.

1. Diseño Sustentable

Dentro de la “Declaración del Diseñador Industrial” en Seúl en 2001 se declaraba, entre otros, los siguientes estatutos:

- el diseño industrial no considerará al medio ambiente como una entidad independiente,

- el diseño industrial se esforzará por organizar mutuas, equitativas y holísticas relaciones entre personas; personas y objetos; personas y naturaleza; y la mente y el cuerpo buscando el lugar de la armonía entre el sujeto y el objeto,

- el diseño industrial debe ser un concepto abierto, en respuesta a las demandas tanto de las sociedades presentes como de las futuras de manera flexible,

- nosotros, como diseñadores industriales globales, debemos buscar el desarrollo sostenible mediante la coordinación de los diversos aspectos que influyen en su consecución, tales como política, economía, tecnología y medio ambiente;

- Y, como diseñadores industriales responsables, debemos estar conscientes de que la toma de decisiones de diseño en el presente es un acto que influirá en el desarrollo del mañana.

De acuerdo a estos estatutos, el diseño industrial ahora tiene la tendencia a ser sustentable. El IDZ (2012) define al “diseño sustentable” como “*la oportunidad de optimizar la eficiencia energética, minimizar tanto la contaminación como la*

producción de residuos, cuidar los recursos naturales, enseñar prácticas sociales y, de esta manera, ayudar a promover el desarrollo sustentable. Esto debido a que el ciclo de vida de un producto se ve envuelto en diversas variables que alteran al medio ambiente como su uso, su reciclaje, su proceso de deshecho, su proceso de manufactura, el uso tanto de recursos naturales como de energía para su producción, entre otros.”

Así mismo, el IDZ (2012) menciona que la sustentabilidad desde el punto de vista del consumidor ha tomado la tendencia de la llamada LOHAS⁴. Esto ha desembocado en el desarrollo de mercados de alimentos orgánicos. LOHAS se refiere a un estilo de vida posmoderno, donde consumidores están orientados hacia el consumo consciente de productos con beneficios para la salud y que están alineados con la justicia social, ecología y sustentabilidad. Estos consumidores reconocen la importancia de su contribución y responsabilidad como individuos hacia la sociedad y el medio ambiente, y demuestran su apoyo a las prácticas comerciales que aplican principios éticos (Gröli, 2007).

iii.Productos Orgánicos

Así mismo, para lograr comprender el presente trabajo es necesario definir el término “orgánico”. La mayoría de los mexicanos no conocen el verdadero significado de la palabra “orgánico, ni los requerimientos y sus beneficios. Algunas personas ven éste termino como sinónimo de nutritivo y aunque si forma parte de las características de éste tipo de producto, los orgánicos significan mucho más que

4 Lifestyle of Health and Sustainability, por sus siglas en inglés

esto.

Al referirnos a un “producto orgánico” estamos aludiendo indirectamente a la manera en que se produjo, es por eso que al decir “producto orgánico” en realidad nos estamos refiriendo a “agricultura orgánica”. La agricultura orgánica incluye la forma en que se cuida el suelo, el agua, las plantas y los animales, con el fin de producir, preparar y distribuir alimentos y otros bienes.

Esta basada en 4 principios:

1. Principio de Salud: debe sostener y promover la salud del suelo, plantas, animales, humanos y planeta como uno e indivisible.
2. Principio de Ecología: debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos, trabajar con ellos, imitarlos y ayudar a sostenerlos.
3. Principio de Equidad: debe basarse en relaciones que aseguren equidad con respecto al medio ambiente y oportunidades de vida.
4. Principio de cuidado: debe ser gestionada de manera precavida y responsable para proteger la salud y bienestar de las generaciones actuales y futuras, y del medio ambiente (IFOAM, 2012).

b. ANTECEDENTES

El uso de sistemas acuapónicos no es nuevo. Jones (2002) menciona el uso de sistemas integrados en la antigua China hace más de 1,500 años en donde su rendimiento era pobre. También alude a los Incas de Perú, quienes cavaban estanques de forma ovalada cerca de las viviendas en la montaña dejando una

pequeña isla en medio. Cuando los estanques se llenaban de agua entonces agregaban peces. Posteriormente los gansos se alimentaban de éstos y se posaban en la isla, donde sus desechos fertilizaban la tierra y aumentaban la disponibilidad de nutrientes.

Los Aztecas, en México, igualmente practicaban una técnica primaria del sistema criando peces junto con cultivos en las llamadas chinampas. Éstos se construían en islas artificiales en pantanos o en lagos poco profundos, sobre los cuales sembraban maíz (*Zea mays* L.) y calabacita (*Cucurbita pepo* L.), entre otros. Los canales que rodeaban las islas artificiales eran empleados para criar peces y eran navegados en canoas llamados *acallis*. Los desperdicios de los peces caían en el fondo de los canales y eran recolectados para fertilizar las plantas (Boutwell, 2007; Zucherman *et. al.*, 1989).

Pero no fue sino a partir de los años 70's en que se comenzó a tener registro de investigaciones y experimentos en materia de acuaponia. Como el llevado a cabo por McLarney (1972) quien llevó a cabo un experimento en donde llevaba el control de riego de distintas especies de plantas, unas las regaba con agua corriente y otras con agua de un estanque de peces. Los resultados fueron determinantes: las plantas regadas con agua de la llave tuvieron un menor crecimiento comparada con aquellas que fueron regadas con agua del estanque de peces.

Sin embargo, el primer registro de cultivo de peces y plantas en un sistema cerrado de recirculación fue llevado a cabo por Lewis *et. al.* (1978) en donde desarrollaron uno de los primeros sistemas de recirculación acuícola integrando

producción de peces, biofiltración e hidroponía. En el experimento se incorporaron el cultivo de bagre (*Ictalurus punctatus* L.) con tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) los resultados recolectados fueron contundentes. En cuanto a los peces, el nivel de supervivencia fue alto pero por el contrario su crecimiento fue por debajo del máximo debido a la baja temperatura del agua del estanque. La calidad de agua se mantuvo en excelentes condiciones. El biofiltro funcionó de manera apropiada convirtiendo los desechos en Nitrato-N y Fosfato-P. El sistema hidropónico removió éstos residuales del agua y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) fue aproximadamente dos veces mayor al esperado de la producción en campo, así mismo la calidad del fruto fue mayor en el sistema acuapónico contra aquel cosechado en condiciones de campo. Esa misma década se efectúan otros tantos trabajos referentes a la acuaponia, como el de Sneed *et. al.* (1975), en el cual se combina el cultivo de peces y la hidroponia, el de Naegel (1977), quién habla de la combinación de la producción de peces y plantas recirculando el agua; y el de Wolfe *et. al.* (1977), quiénes hacen una recopilación de las técnicas de cultivo de peces, incluyendo la acuaponia como otro de tantos métodos.

En los años 80's destaca Rakocy con sus diversas investigaciones, como la determinación de problemas que se pueden encontrar en un sistema acuapónico (1987), la influencia del sistema hidropónico en la calidad del agua (1989), el estudio del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico (1989), entre otros. También podemos encontrar otras investigaciones en donde se estudia el sistema acuapónico bajo condiciones de invernadero (Bender, 1984; Burgoon y Baum, 1984; Sanders y McMurty, 1988; Rennert y Drews, 1989).

Conforme se avanza en el tiempo se puede observar mayor especificación en los temas de investigación referentes a la acuaponía. Para los años 90's se llevan a cabo estudios acerca de la dinámica de los nutrientes en el agua como Clarkson y Lane (1991), McMurty *et. al.* (1993), Rakocy *et. al.* (1993), entre otros. Así como la relación que puede haber entre el sistema acuapónico y el tratamiento de aguas residuales (Costa-Pierce, 1998; Guterstam, 1996).

Comenzando en el siglo XXI, se puede apreciar el interés que se presenta a los sistemas de recirculación acuícola (RAS) para integrarlos al sistema acuapónico como lo hacen Harmon (2005), Sfetcu *et. al.* (2008) y Graber y Junge (2009).

Hay muchas más investigaciones en cuanto a este sistema, muchas de las cuales pueden ser encontradas en el overview de Diver (2006).

No obstante, a pesar de las numerosas investigaciones y experimentos que existen, la mayoría están enfocados a la ingeniería acuícola, los sistemas experimentales y a la producción comercial. Algunas excepciones son los trabajos de Wardlow *et. al.* (2002) donde hablan de mejorar el interés del estudiante en ciencias agrícolas a través de la acuaponía; así mismo el de Pade y Nelson (2007) quienes hablan de un sistema acuapónico para comunidades; y de igual manera el de Connolly y Trebic (2010), quienes optimizaron un sistema acuapónico para su uso en traspatio.

Basándonos en las anteriores investigaciones, podemos inferir que el sistema de producción acuapónico es susceptible al diseño industrial, a diferencia de otros sistemas de producción (como la agricultura tradicional). Aunque en la

literatura es posible encontrar manuales de construcción de sistemas acuapónicos, existe una falta de ejemplos de aplicación las técnicas de diseño industrial empleados en éstos sistemas , y por ende una falta de planos industrialmente reproducibles.

Un ejemplo de ellos podría ser el de Wardlow (2002), en el que se describe un módulo de sistema acuapónico escalado al tamaño de un salón de clases. Con el primordial objetivo de mejorar el interés del estudiante a las ciencias agrícolas. Se tuvieron 5 criterios principales para su diseño: seguridad, compacidad, funcionamiento silencioso, portabilidad y bajo costo. (Fig. 1, 2).

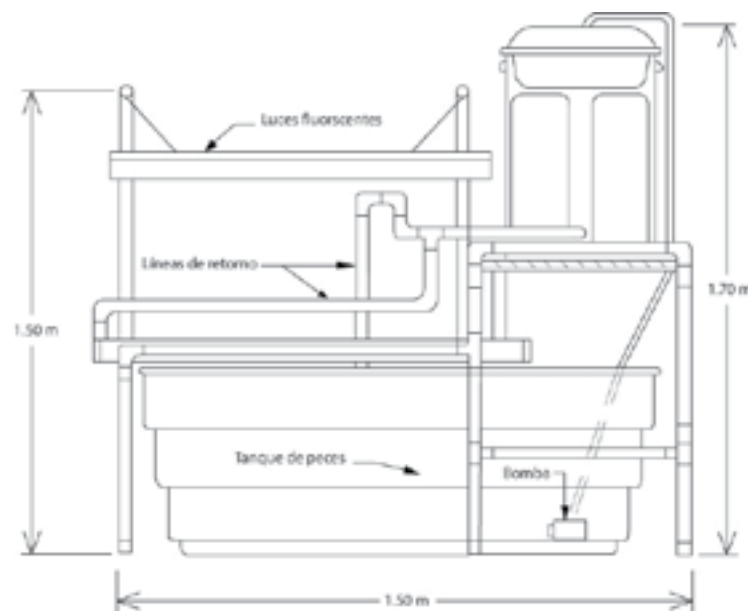


Fig. 1. Vista lateral de módulo de sistema acuapónico. (Wardlow, 2002)

En el caso de empresas que diseñan y comercializan sistemas acuapónicos se encuentran Hydrogarden Ltd. y Aquaponics UK. Ambas localizadas en el Reino Unido, que cooperan entre si, y se dedican a instalar sistemas acuapónicos

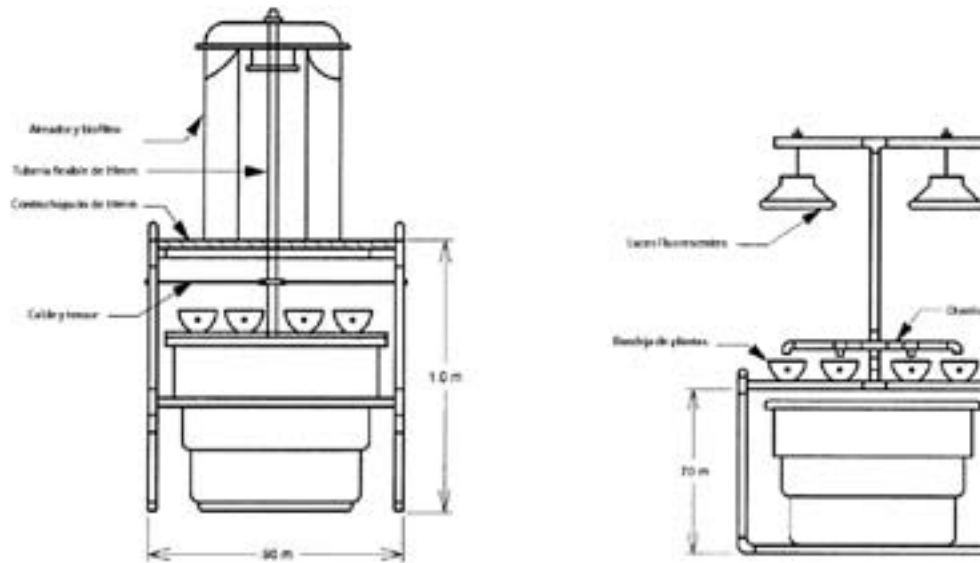


Fig. 2. Vistas frontal y posterior de módulo de sistema acuapónico (Wardlow, 2002)

fomentando producción de alimentos a través de la agricultura urbana. Tienen diversos productos y proyectos en su página web (Fig. 3).

Fig. 3. Vista de pantalla de ventas en página web (<http://www.aquaponics.org.uk>)

V. METODOLOGÍA

a. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Dado que el sistema tiene una perspectiva de Diseño Industrial y los sistemas acuapónicos requieren de conocimientos técnicos previos, se llevo a cabo una amplia investigación interdisciplinaria descrita a continuación.

i. Mercado

Se indagó en las tendencias que existen actualmente sobre el consumo de productos orgánicos a nivel mundial. Esto con el fin de determinar el nicho de mercado existente en Latinoamérica para finalmente acotarlo al mercado en México. Se tomó como base el trabajo llevado a cabo por Mutlu (2007), en el que se analizan las actitudes y comportamientos del consumidor de comida orgánica en Turquía y Alemania. Éstos datos se compararon y relacionaron con datos de México, obtenidos a través de Landry Consulting LLC (2004), IFOAM⁵ y Gröli (2007). En apoyo a estos datos se determinó el posible mercado de productos orgánicos en México.

ii. Sistemas Acuapónicos

Se llevó a cabo la revisión de literatura de diversos trabajos relacionados a experimentos, estudios y prácticas de acuaponia como aquellos llevados a cabo por Bender (1984), Rakocy (1989, 1993, 2000, 2003, 2004), Diver (2006), Bishop

5 International Federation of Organic Agriculture Movements por sus siglas en inglés.

(2009), entre otros. Esto con el fin de conocer y comprender tanto las partes como el funcionamiento del sistema.

iii. Usuario

Se analizaron, compararon y relacionaron los resultados del análisis de mercado llevado a cabo por Mutlu (2007) con bases de datos de México. Se tomaron datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) correspondientes al estado de Querétaro. Los datos a evaluar fueron: población total, población en zonas urbanas, población por sexo, población por edad, población por nivel escolar y población de hogares con presencia de niños. Así mismo se consultó el índice socioeconómico de la población publicados por la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercados y Opinión Pública (AMAI, 2005) y por la Consulta Mitofsky llevada a cabo en 2010.

Con estos datos se logró determinar el porcentaje de población del usuario objetivo.

iv. Vivienda

Para determinar las dimensiones del producto se llevo a cabo el análisis de colonias, residencias y hogares en la ciudad de Querétaro.

Se analizaron las tendencias de construcción de los últimos 5 años para conocer el área potencial de cultivo por vivienda. Así mismo, se reconocieron las características en común de las viviendas según el nivel socioeconómico. Para determinar estos datos se consultaron las características presentadas por los índices

socioeconómicos publicados por AMAI (2005) y la Consulta Mitofsky (2010) y a partir de éstos se hizo una recopilación de datos de terrenos, casas y departamentos. Determinando así las dimensiones apropiadas del sistema.

v. Ergonomía

Se analizó el estudio antropométrico llevado a cabo por Panero y Zelnik (1979) con respecto a las normas de referencia en espacio interior. De igual manera, se consultó el estudio antropométrico nacional elaborado por la Sociedad de Ergonomistas de México A. C. De esta manera se determinó las medidas y diseño del producto.

vi. Cultivos

Se llevó a cabo el análisis de 80 diversas especies de plantas aromáticas (Naturart, 2007; Méndez, 2004; Harding, 2005) con el fin de determinar aquellas especies apropiadas para el sistema acuapónico de traspatio.

b. PROCESO DE DISEÑO

A partir de la investigación y análisis de los datos previamente presentados se lograron desarrollar los siguientes puntos para el diseño del sistema acuapónico de traspatio.

i. Conceptualización de Diseño

Se tomó como referencia el estudio de diseño llevado a cabo por Bürdek (2005). Para determinar los requerimientos necesarios para el producto final. De la misma manera se llevó a cabo una lluvia de ideas de la cual se desprendieron ciertas características primordiales para el sistema. Así mismo se procedió a realizar una etapa de bocetaje a partir de la cual se seleccionó un diseño previo, esto con el fin de lograr simplificar el diseño final.

ii. Materiales

De acuerdo a la concepción y en conjunto con la determinación del diseño final, se plantearon diversas posibilidades de materiales de acuerdo a características físicas y de procesos de producción.

iii. Diseño

En conjunto con la conceptualización de diseño y la selección de materiales se logró determinar un diseño final. Se elaboraron diversos tipos de prototipos, para determinar el tipo de funcionamiento y las dimensiones del sistema acuapónico de traspatio. Esto con el fin de afinar detalles para la elaboración del producto final.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

i. Mercado

La agricultura ha cambiado enormemente en el siglo XX, después de la Segunda Guerra Mundial. El uso de químicos y las técnicas de cultivo de uso intensivo han causado problemas tanto en la seguridad alimentaria como en el medio ambiente. Como resultado los países han comenzado a buscar nuevas técnicas de cultivo y la agricultura orgánica ha ganado gran atención (Mutlu, 2007).

De acuerdo a un estudio realizado por IFOAM (2010), las regiones que presentan mayor territorio cultivado orgánicamente son Oceanía (12.1 millones de hectáreas), Europa (8.2 millones de hectáreas) y América Latina (8.1 millones de hectáreas) (Fig. 4).

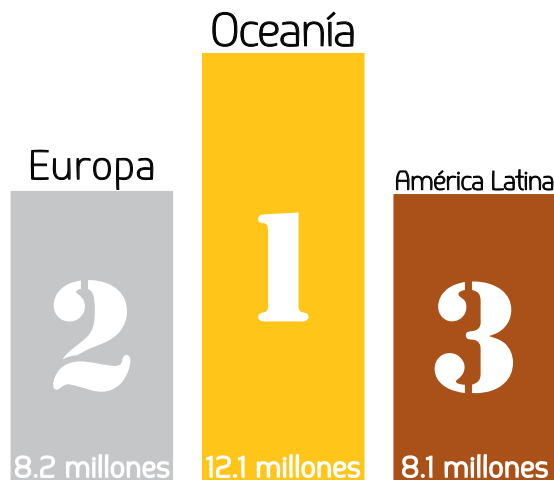


Fig. 4. Regiones con mayor extensión de tierras gestionadas orgánicamente (hectáreas) (IFOAM, 2010).

Así mismo, determina que México se encuentra en la tercera posición con el mayor número de productores orgánicos con 130,000 productores, estando en primer lugar India (340,000 productores) y en segundo lugar Uganda (180,000 productores) (Fig. 5)

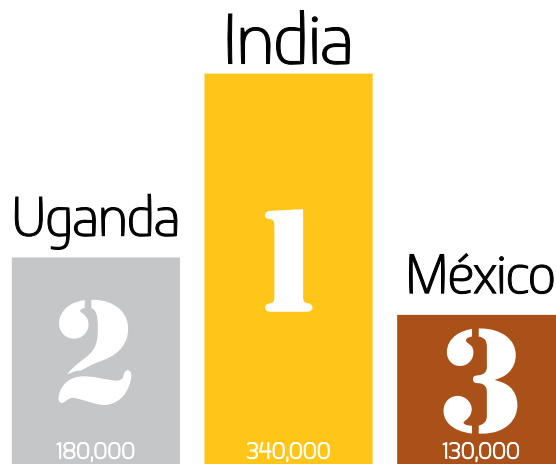


Fig. 5. Países con el mayor número de productores orgánicos (IFOAM, 2010).

De igual manera menciona que existió un aumento del 26% (o 1.65 millones de hectáreas) en tierras bajo gestión orgánica en América Latina en comparación con datos del año 2007.

Landry Consulting LLC (2004) indicó que la producción orgánica ha ido incrementando en los últimos años. En 2002, se estimó el uso de 215,843 hectáreas de tierra para el cultivo orgánico y 53,577 productores. Esto representa un incremento con respecto a 23,265 hectáreas y 13,176 productores que existían en 1996 (Fig. 6).

Para el año 2004 el 98% de la producción orgánica estaba destinada a exportación (Landry Consulting LLC, 2004). Sin embargo, México ocupa el segundo lugar en obesidad mundial y debido a esto el gobierno ha marcado como prioridad

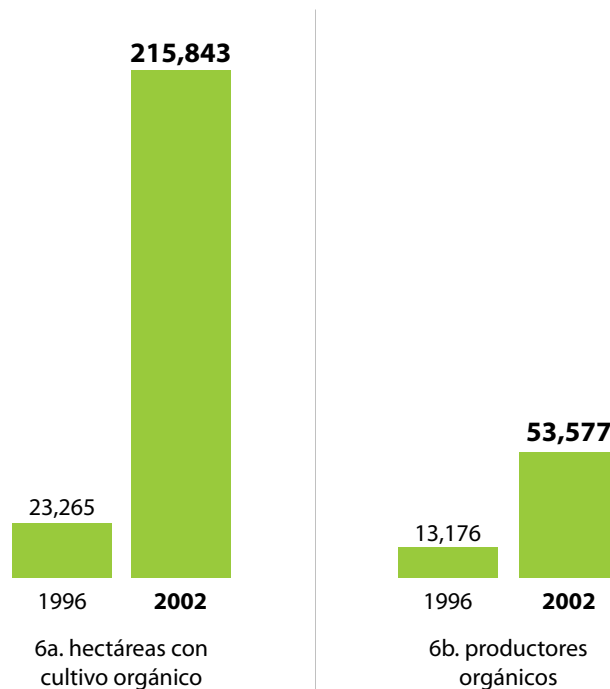


Fig. 6. Comparación de datos de producción orgánica en México en 1996 y 2002.

Fig. 6a. Superficie cultivada con productos orgánicos en México. Fig. 6b. Número de productores orgánicos en México. (Landry Consulting LLC, 2004).

atacar esta problemática a través de campañas de educación nutricional y nuevas leyes de nutrición alimenticia. Como resultado, un mayor número de mexicanos han buscado alternativas para tener un estilo de vida más saludable, que incluye mejorar sus hábitos alimenticios (Salcido, 2011).

Así mismo, existe un aumento de consumidores que son “green” (o verdes, en español) y basan su decisión de compra en función de si los alimentos se cultivan de manera sustentable o no. Es así como la tendencia LOHAS llega a México (Gröli, 2007).

De acuerdo a Landry Consulting LLD (2004), otras de las razones por las cuales la producción orgánica seguirá creciendo será debido a: 1) La presencia de la agricultura tradicional y conocimiento indígena; 2) Recuperación de prácticas

tradicionales y la visión indígena de proteger a la madre naturaleza; 3) Los bajos costos de producción en México y 4) Los métodos usados para la transferencia tecnológica y la formación de promotores rurales.

ii. Sistemas Acuapónicos

iii. Usuario

Debido a las nuevas tendencias de consumo como lo es LOHAS y las personas que se consideran “green”, se han hecho estudios de mercado para verificar datos demográficos de los mismos. De acuerdo a Landry Consulting LLC (2004) y Salcido (2011) los consumidores que tienden a adquirir productos orgánicos son aquellos pertenecientes a los niveles socioeconómicos media y alta; ya que están dispuestos a pagar un precio más caro por estos productos. Así mismo identifican a otro tipo de usuario, aquel consumidor alternativo que llega a clasificarse como “hippy”, budista o consumidor vegetariano (incluyendo a aquellos con necesidad de dietas nutricionales especiales o por problemas de salud).

Mutlu (2007) llevó a cabo un estudio a fondo de los datos demográficos de las personas consumidoras de productos orgánicos. Su estudio se desenvuelve en Europa, e hizo una comparación entre el mercado orgánico turco y el alemán. Para fines del estudio demográfico de la presente tesis, se tomará como base su estudio y se comparará con datos demográficos de México y más específicamente del estado de Querétaro, para un mejor entendimiento del mercado orgánico mexicano.

De acuerdo al trabajo de Mutlu (2007):

1. Género

Diversos estudios europeos mencionan que hay una mayor tendencia por parte del sexo femenino a adquirir productos orgánicos que el sexo masculino (Zanolí *et. al.*, 2002; Hofmann, 2004; Radman, 2005). Las mujeres se sienten responsables de la salud de la familia , es por eso que se ven inclinadas a comprar productos orgánicos, mientras que los hombres se guían por el sabor (Hofmann, 2006).

Contemplando esta variable, se registra que existen 940,749 mujeres en el estado de Querétaro de un total de 1'827,937 (INEGI, 2010), es decir, del total de la población de Querétaro, el 51.46% pertenece al sexo femenino (Fig. 7).

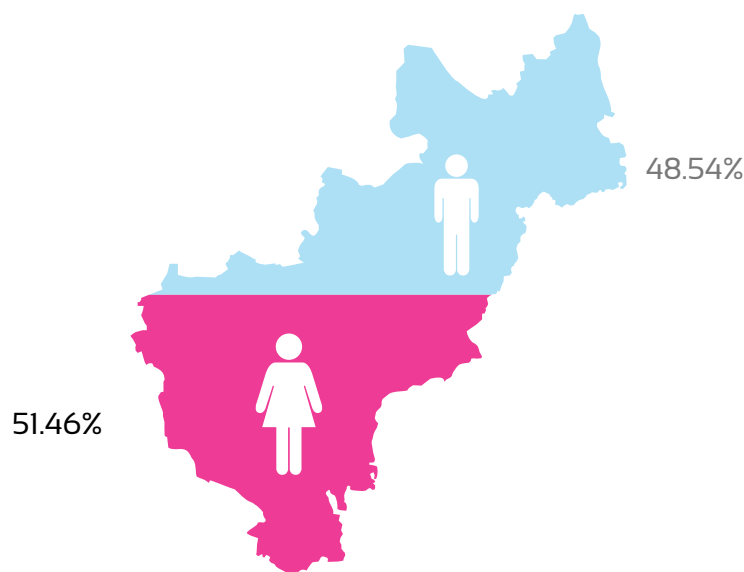


Fig.7. Porcentajes de población en el estado de Querétaro dividido en género femenino y masculino (INEGI, 2010).

2. Edad

Existe una amplia variedad de estudios en los que se indican las edades

promedio de aquellas personas que se muestran interesadas en productos orgánicos. En un estudio llevado a cabo en Inglaterra se muestran 2 tipos de resultado, personas entre las edades de 45-54 años se muestran como clientes regulares, sin embargo también indica que personas menores de esta edad invierten su dinero en productos orgánicos (Padel y Foster, 2005). En Finlandia, aquellos dentro del rango de edad de 35 a 49 años muestran mayor interés; y en Italia, el rango va de 25 a 40 años (Zanolli *et. al.*, 2004).

De acuerdo a las conclusiones previamente proporcionadas por Mutlu (2007), se llevó a cabo la comparación de datos estadísticos (INEGI, 2010; AMAI, 2009; Mitofsky, 2009). Los datos a evaluar fueron: población económicamente activa ocupada, población económicamente activa por estrato socioeconómico y población por estrato socioeconómico por estado. De acuerdo a éste análisis de datos se logró estimar que el rango de edad de mujeres interesadas por productos orgánicos es de 25 a 49 años en el estado de Querétaro (Fig.8).

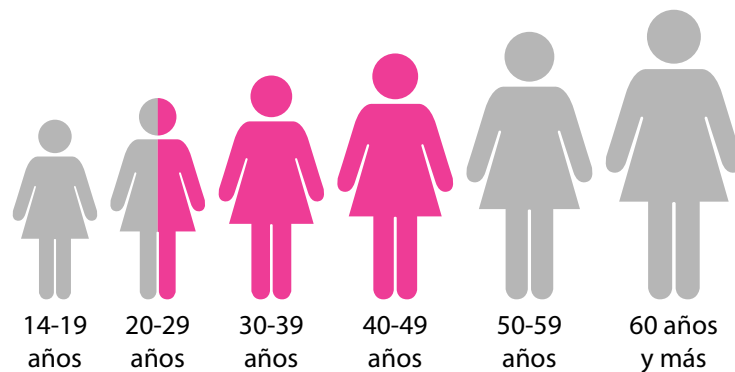


Fig. 8. El estimado de rango de edad de mujeres con interés en productos orgánicos es de 25-49 años (INEGI, 2010; AMAI, 2009; Mitofsky, 2009).

3. Nivel de escolaridad.

Se encontró que los consumidores frecuentes tienen un nivel de escolaridad mayor a aquellos consumidores ocasionales o aquellos no-compradores (Zanoli *et. al.*, 2004; Radman, 2005). Los consumidores frecuentes poseen información acerca del producto y esto los lleva a adquirir el producto con frecuencia (Zanoli *et. al.*, 2004). De acuerdo a esta información en el estado de Querétaro existen 169,337 personas con grados aprobados en nivel superior de los cuales 86,435 son hombres y 82,902 son mujeres. Dentro del total de mujeres con grados aprobados en nivel superior 68,254 se encuentran dentro del rango de edad 25-49 años.

4. Ingresos

Hay diversas conclusiones dadas por los estudios. Unos estudios afirman que dependiendo de los ingresos de una persona esta llega a consumir productos orgánicos o no (Zanoli *et. al.*, 2004; Padel y Foster, 2005). Los que presentan mayor tendencia a consumir productos orgánicos son aquellos pertenecientes a los niveles socioeconómicos medio y alto (Laundry Consulting LLC, 2004; Salcido, 2011). Otra afirmación es que si una persona nace y se desarrolla en una zona urbana, ésta tenderá más a consumir productos orgánicos que una persona que se ha desarrollado en una zona rural (Radman, 2005).

Basándonos en éstos datos se encuentra que en el estado de Querétaro del total de los hogares: el 3.2% presenta características del nivel socioeconómico alto (A/B) y el 10.2% pertenece al nivel socioeconómico

medio alto (C+) (Fig. 9).



Fig. 9. Relación de hogares en Querétaro por nivel socioeconómico. (Mitofsky, 2009)

5. Presencia de niños

Dentro de los estudios realizados en Europa se encontró que la presencia de niños (edades de 0 a 14 años) tiene un efecto positivo en el consumo de productos orgánicos (Davies *et. al.*, 1995). Las familias con niños se interesan más en la salud que otras familias (Fricke y Alvensleben, 1997).

MOTIVACIÓN DE COMPRA

Es importante, así mismo, conocer la motivación del consumidor hacia los productos orgánicos.

- **Salud:** Es una de las principales razones por las cuales los consumidores se inclinan por productos orgánicos. Pretenden mejorar su salud o mantener su buena salud.
- **Protección ambiental:** La creciente preocupación sobre el medio ambiente y recursos naturales son motivos para la compra de productos orgánicos.

- **Bienestar animal:** La forma en que se alimenta, viven y se sacrifican a los animales es un tema de preocupación.
- **Alta calidad:** Los productos orgánicos son percibidos como de alta calidad y productos “premium” debido al método de producción especial.
- **Origen:** Muchos de los consumidores orgánicos prestan especial atención a que los productos provengan de prácticas agrícolas regionales, pretendiendo apoyar a pequeños agricultores.
- **Sabor:** La mayoría de los consumidores orgánicos opinan que la comida orgánica sabe más natural, intenso y es rico en sabor.
- **Confianza e inocuidad alimentaria:** Las personas quieren sentirse seguras cuando pagan un precio “premium” por un producto orgánico. Así mismo, los compradores quieren estar seguros de que lo que están comprando se efectivamente un producto orgánico (Mutlu, 2007).

iv. Vivienda

Se analizaron viviendas dentro de los niveles socioeconómicos A/B y C+, ya que de acuerdo a datos de Salcido (2011) y Laundry Consulting LLC (2004) las personas con mayor interés de consumo en productos orgánicos son aquellas pertenecientes a estos dos niveles socioeconómicos. Así mismo se realizó el análisis del tamaño de las construcciones de viviendas que cumplieron con las características del tipo de vivienda pertenecientes a los niveles socioeconómicos A/B y C+. Esto con el fin de dimensionar el sistema acuapónico de traspatio.

A continuación se presenta una tabla de las características de las viviendas

de acuerdo a su estrato social (AMAI, 2009) (Cuadro 1).

	Niveles Socioeconómicos	
	A/B	C+
Características de la Vivienda	En su mayoría viviendas propias, con más de 8 habitaciones en promedio. Construidas con materiales sólidos de primera	Dos terceras partes de las viviendas son propias. Casas grandes con 5 o 6 habitaciones. Construidas con materiales sólidos de calidad.
Infraestructura Sanitaria	Sistema óptimo de sanidad y agua corriente dentro del hogar. Cuentan con almacenamiento de agua.	Sistema óptimo de sanidad y agua corriente dentro del hogar.
Infraestructura Práctica	Poseen todos los enseres y electrodomésticos para facilitar la vida en el hogar. Dos automóviles en promedio.	Poseen casi todos los enseres y electrodomésticos para facilitar la vida en el hogar. Uno y/o dos automóviles en promedio.

Cuadro 1. Características de viviendas de acuerdo a nivel socioeconómico (AMAI, 2009)

v. Ergonomía

Se analizaron los datos antropométricos proporcionados por Panero y Zelnik (1979). Estos datos fueron ajustados a las medidas ergonómicas de la mexicana promedio (<http://www.semec.org.mx>). Las dimensiones a analizar fueron: estatura, altura a ojos, alcance vertical de asimiento y alcance hasta punta de dedos. (Fig. 10).

Se tiene, por lo tanto, que la estatura promedio es de 163.1 cm y la altura a ojos es de 152.8 cm (Fig. 10a). En cuanto al alcance vertical de asimiento se tiene 200.9 cm (Fig. 10b) y el alcance hasta la punta de los dedos es de 82.6 cm (Fig. 10c). Estas dimensiones permiten conocer de manera general las medidas máximas y mínimas que el sistema acuapónico puede tener, tomando en cuenta la comodidad del usuario.

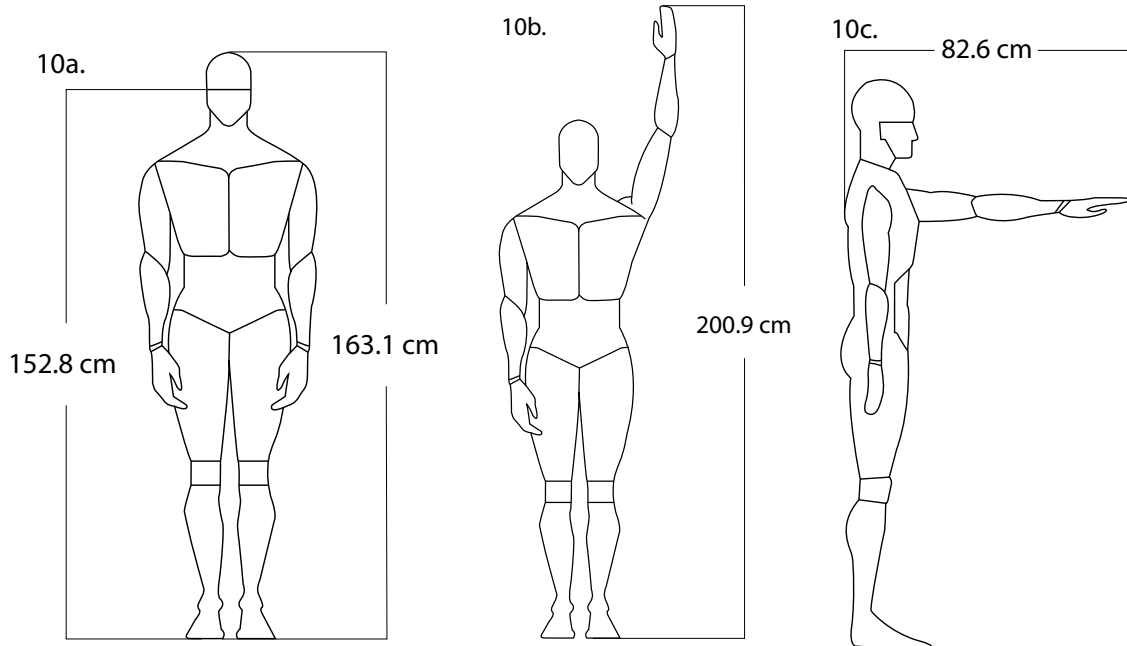


Fig. 10. Dimensiones antropométricas de la mujer mexicana promedio.

Fig. 10a. Estatura promedio y altura promedio a ojos (cm).

Fig. 10b. Alcance vertical de asimiento (cm).

Fig. 10c. Alcance hasta punta de dedos (cm).

(<http://www.semac.org.mx>)

Así mismo se tomaron a consideración las dimensiones ergonómicas de las normas de referencia que Panero y Zelnik (1979) proponen para el diseño básico (Fig. 11).

Estas referencias nos permiten asociar las medidas al sistema acuapónico de traspatio y así dimensionarlo.

Las medidas antropométricas de las mujeres mexicanas y las normas ergonómicas permitirán dimensionar el sistema de manera que sea cómodo y adecuado para su uso.

Tenemos así los requerimientos dimensionales del sistema. A partir de éstas medidas se sabe que al colocar el sistema a una altura mayor a 175.3 cm se

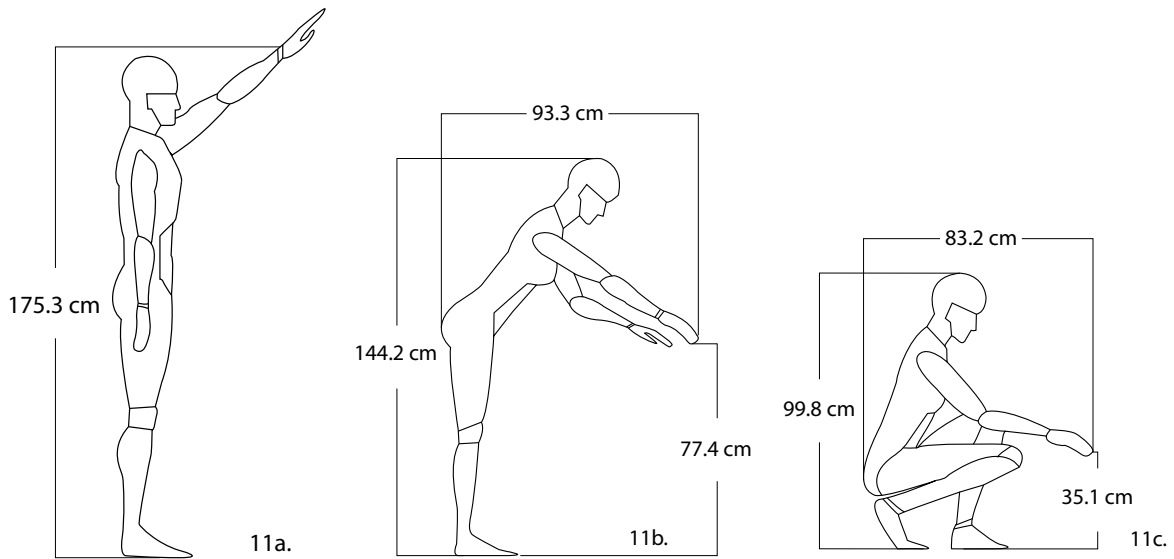


Fig. 11. Dimensiones ergonómicas de las normas de referencia para diseño básico.

Fig. 11a. Alcance máxima hasta muñeca (cm).

Fig. 11b. Dimensiones de zona de inclinación promedio(cm).

Fig. 11c. Dimensiones promedio de zona de actividad de persona arrodillada (cm).

(Panero y Zelnik, 1979)

estará ocasionando un estiramiento anormal en el físico del usuario.

Así mismo, el sistema (para ser ergonómico) debe de estar disponible a visibilidad del usuario. Considerando que la altura a ojos promedio es de 152.8 cm y tomando en cuenta que el ángulo de hiperextensión del cuello es de 50° (Fig. 12) se puede concluir que el sistema no puede ser o estar colocado a una altura mayor a 175 centímetros.

En cuanto al manejo del sistema acuapónico, se debe considerar que la altura mínima alcanzada por la mano del usuario al inclinarse es de 77.4cm (Fig. 11b). Colocar

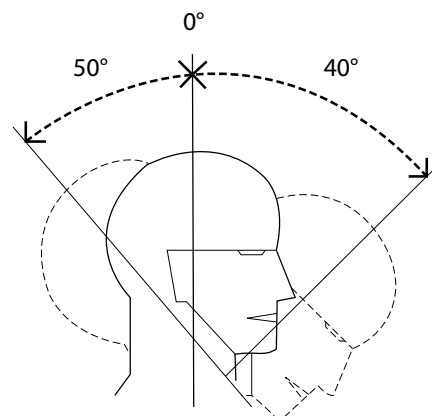


Fig. 12. Hiperextensión y flexión de cuello. (Panero y Zelnik, 1979)

algún elemento del sistema acuapónico a una altura menor a ésta medida estará provocando una contractura innecesaria en el cuerpo del usuario.

Se toma así mismo, como referencia, las dimensiones que presenta una persona arrodillada, esto para determinar el área mínima de actividad de una persona. Se obtiene así una altura (hasta cabeza) de 99.8cm y una longitud de 83.2cm (Fig. 11c). Se debe considerar que la altura del suelo-mano es de 35.1 cm ya que esto determina que el sistema acuapónico de traspatio no puede tener una altura o estar colocado a una altura menor a 35 cm (desde suelo).

vi. Cultivos

Se realizó el análisis de alrededor de 77 especies de plantas (Naturart, 2007; Méndez, 2004; Harding, 2005) para su potencial cultivo dentro del sistema acuapónico. Las características a evaluar fueron: según su uso (cocina, medicina, cosmético, aroma y aspecto), de acuerdo a sus requerimientos de luz (sol, semisol, sombra), época de cultivo (anuales, vivaces), sinergia entre plantas, biometría, sensibilidad a latitud y hábitos de crecimiento.

De acuerdo a estas características la selección se redujo a 10 especies de plantas (Cuadro 2), las cuales se estima pueden crecer en sinergismo dentro del sistema acuapónico de traspatio.

Se diseñó la distribución de cultivos en el sistema acuapónico de traspatio en base a los requerimientos de área de cada especie de planta. Como se puede observar en el Cuadro 2, tenemos las medidas máximas que llegan a alcanzar las distintas especies de plantas, así como sus hábitos de crecimiento. Ésto permite

ORIGANUM VULGARE (orégano)	OCIMUM BASILICUM (albahaca)
↔ 0.45m máx ↑ 0.45m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: arbusto, agrupado	↔ 0.50m máx ↑ 0.50m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: erguido, mata.
CORIANDRUM SATIVUM (cilantro)	ROSMARINUS OFFICINALIS (romero)
↔ 0.50m máx ↑ 0.50m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: erguido, agrupado	↔ 0.60m máx ↑ 0.20m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: se esparce, cascada
THYMUS 'FRAGRANTISSIMUS' (tomillo)	PETROSELINUM CRISPUM var. NEAPOLITANUM (perejil)
↔ 0.20m máx ↑ 0.30m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: arbusto, se esparce	↔ 0.50m máx ↑ 0.50m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: agrupado
LACTUCA SATIVA var. LONGIFOLIA (lechuga romana)	LACTUCA SATIVA 'SALAD BOWL' (lechuga)
↔ 0.30m máx ↑ 0.30m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: irregular, agrupado	↔ 0.30m máx ↑ 0.15m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: irregular, agrupado
LYCOPERSICON ESCULENTUM 'CHERRY BELLE' (tomate cherry)	FRAGARIA X ANANASSA 'ELEGANCE' (fresa)
↔ 0.50m máx ↑ 0.50m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: irregular, agrupado	↔ 0.30m máx ↑ 0.20m máx ☀ de sol Hábitos de crecimiento: trepadora

Cuadro 2. Especies de plantas seleccionadas para cultivo en sistema acuapónico de traspatio. Se muestra: nombre científico de especie de planta (en amarillo), nombre común (en blanco), anchura (↔), altura (↑), requerimientos e luz (☀), y hábito de crecimiento).

(<http://www.shootgardening.co.uk>, 2012)

definir de manera aproximada el área que se deberá proporcionar a las plantas para su apropiado crecimiento. Por ejemplo, tenemos que la lechuga (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) requiere un espacio máximo de 0.09m², así mismo la tabla menciona que tiene un crecimiento irregular pero que es agrupado, entonces podemos asumir que el espacio asignado a la lechuga puede ser discretamente menor a los 0.09m² antes mencionados, ya que su hábito de crecimiento lo permite.

De acuerdo a los requerimientos de espacio de cada planta (Fig. 13) se

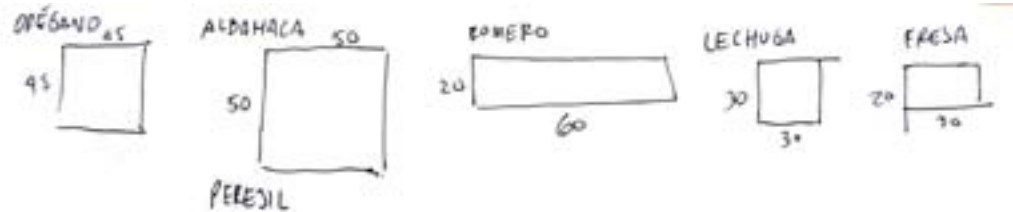


Fig. 13. Relación de requerimientos de espacio de cada planta..

decidió reducir el número de especies por sistema acuapónico de traspatio a seis. Ésta selección se hizo en base a la sinergia que existe entre cada especie de planta, (sin embargo, se estima que entre las 10 plantas antes mencionadas puede existir una sinergia en armonía completa) (Fig. 14).

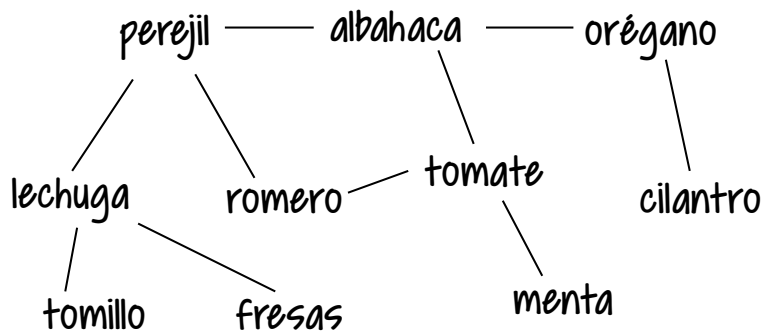


Fig. 14. Relación de sinergia entre plantas.

Para la distribución del área de cultivo del sistema acuapónico de traspatio se calculó el área requerida por cada planta de acuerdo a sus especificaciones y posteriormente se elaboraron bocetos para adaptarlos en un mismo elemento del sistema acuapónico de traspatio (Fig. 15).

A partir de éstas, se seleccionaron seis especies de plantas que se emplearon para fines del diseño del sistema: lechuga (*Lactuca sativa*), fresa

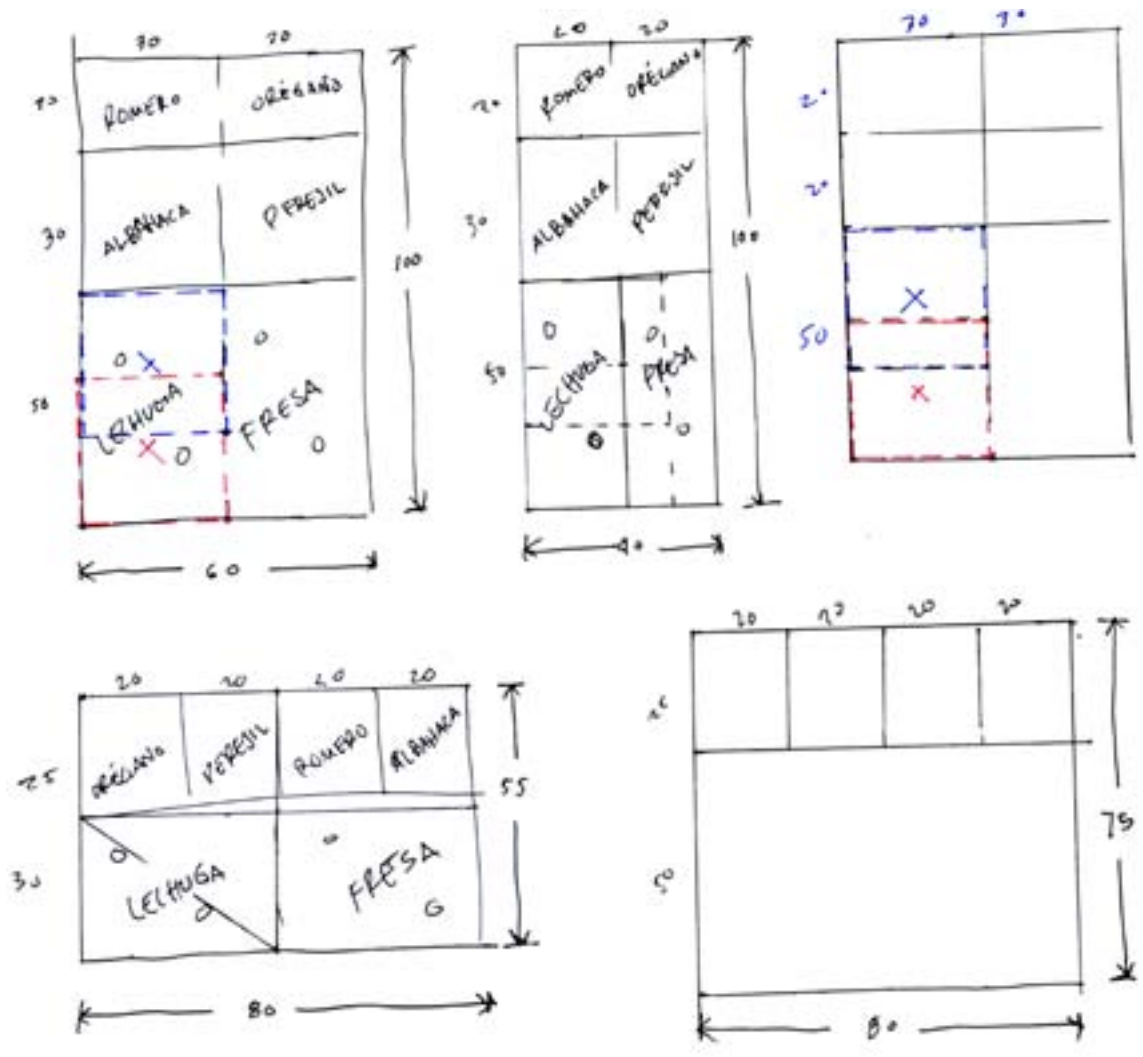


Fig. 15. Bocetaje de acomodo de plantas de acuerdo a requerimientos de espacio.

(*Fragaria x ananassa*), orégano (*origanum vulgare*), albahaca (*Ocimum basilicum*), romero (*Rosmarinus officinalis*) y perejil (*Petroselinum crispum* var. *neapolitanum*). La lechuga se considera altamente empleada en sistemas acuapónicos además de ser apreciada culinariamente. La fresa es sinérgica con la lechuga y es fuente de antioxidantes, además de ser de corte. Las restantes son especias básicas culinarias que presentan sinergismo entre ellas.

b. PROCESO DE DISEÑO

Con base en la investigación documental del estado del arte previamente presentada se llevó a cabo el proceso de diseño. En donde se definieron diversos requerimientos como lo fueron: la situación actual de los sistemas acuapónicos, el estudio de mercado del consumo de productos orgánicos, las cualidades y la personalidad del usuario propenso al consumo de productos orgánicos, y el análisis de nivel socioeconómico y de vivienda.

i. Requerimientos de Diseño

A partir de los datos recabados en la previa investigación se llevo a cabo la definición de requerimientos de diseño del producto. En donde se plantea que el nivel socioeconómico al cual pertenece el usuario y a partir de ésto se determinó el tipo de vivienda en el que habitaría. Así mismo, se definieron los requerimientos de cada planta elegida para plantear así su acomodo en el sistema. A continuación se enlistan los requerimientos del producto para llevar a cabo su diseño:

USUARIO.

- El usuario es mayoritariamente mujer de entre 25 a 49 años.
- Tiene estudios de educación superior.
- Pertenece a la clase socioeconómica alta y media-alta (A/B y C+)
- Habita en zonas urbanas.
- Viviendas tipo casa con terrenos desde 300 a 600m² aprox. Y viviendas tipo departamento con espacio desde 120 a 260m² aprox.

- Se interesa por su salud y la de su familia.
- Se preocupa por la protección ambiental y el bienestar animal.
- Le interesa que sus productos tengan alta calidad y que provengan de prácticas agrícolas regionales.

PLANTAS.

- Deben de tener sinergia entre ellas, es decir, debe de haber una interacción positiva.
- Los requerimientos de agua de cada planta deben ser similares o ser acomodados de manera en que se satisfagan sus necesidades propias de cada planta.
- De uso culinario.

MATERIALES.

- El producto debe de crear una experiencia de uso.
- Los materiales usados deben ser los apropiados tanto para las plantas como para los peces.
- Transparente. La luz que traspase permitirá el crecimiento de bacterias apropiadas para el desarrollo de las plantas. Así mismo, se permite el crecimiento adecuado de los peces.

DISEÑO

- Atractivo, moderno y simple.
- De instalación a prueba de errores humanos.
- Accesible a mantenimiento.
- Personas sin conocimientos técnicos previos pueden ser capaces de

usarlo.

ii. Conceptualización de Diseño

Después de haber definido los requerimientos de diseño se procedió a la etapa de conceptualización del diseño. En la que se planteó el tipo de diseño que atrae al usuario objetivo. Teniendo así una tendencia hacia el minimalismo.

iii. Bocetaje a Mano Alzada

Posteriormente se llevo a cabo el proceso de bocetaje a mano alzada La cual se dividió en diversas etapas. La etapa I, se caracterizó por la experimentación de propuestas en cuanto a diversos tipos de acomodo como fueron: un sólo módulo involucrando a todos los elementos, dos módulos separando los elementos, e incluso adicionando elementos al sistema para la comodidad del usuario (Fig. 16).

Selección de boceto final

A partir de la experimentación en la parte de bocetaje, se seleccionó un modelo de 2 módulos independientes (Fig. 17). Así se dio inicio a la etapa II de bocetaje (Fig. 18) con el fin de volver más sencillo el proceso de instalación del sistema, así mismo para identificar ambas partes (peces y plantas) de manera más evidente. Ayudando así al usuario al mejor manejo y mantenimiento del sistema. Así mismo, se seleccionó el boceto con mayor afinidad a la conceptualización del diseño en cuanto a la tendencia minimalista (Fig. 19).

1. Bocetaje sobre boceto final

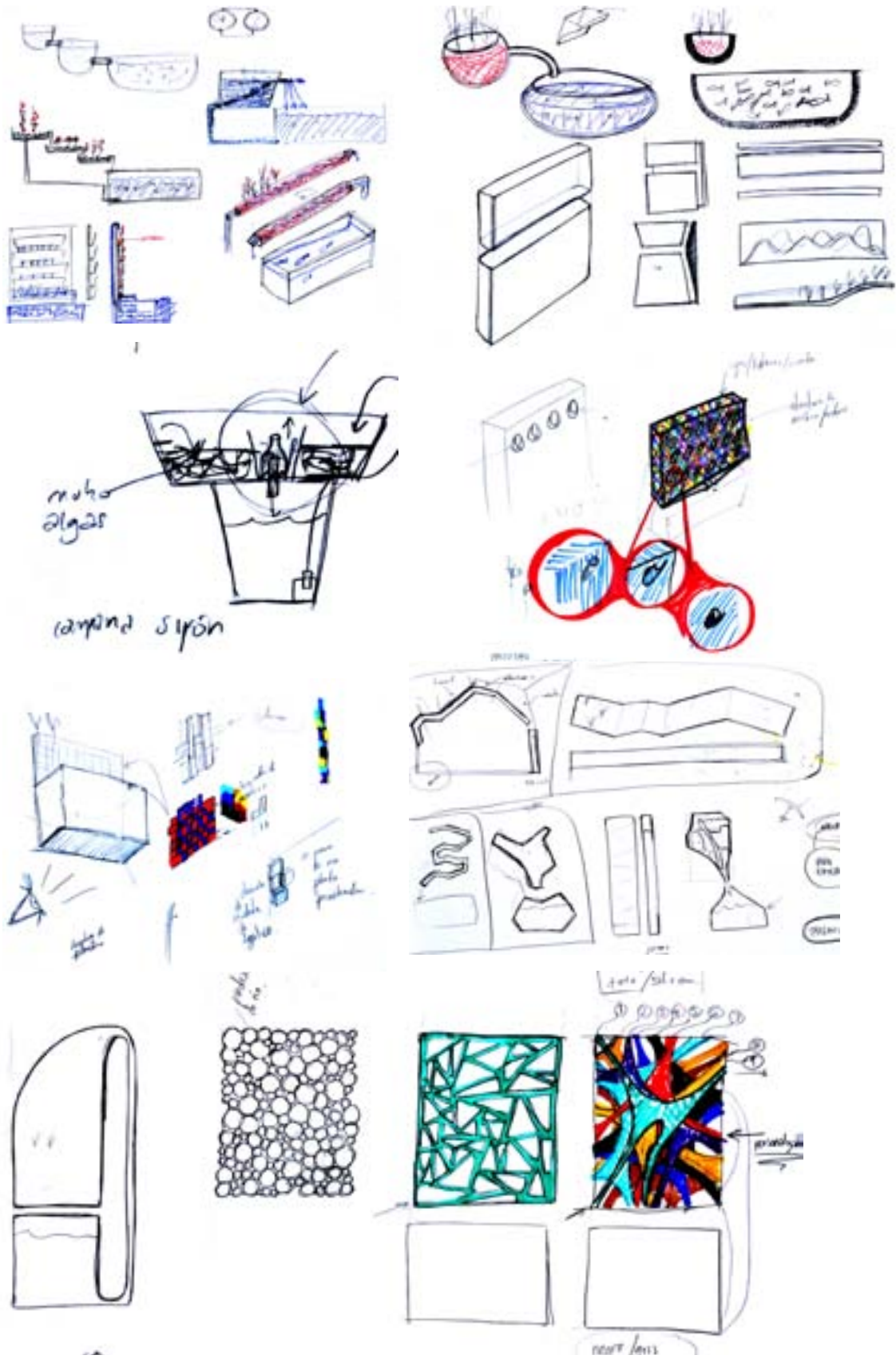


Fig. 16. Bocetos a mano alzada de propuestas de diseño del producto. (ETAPA I)

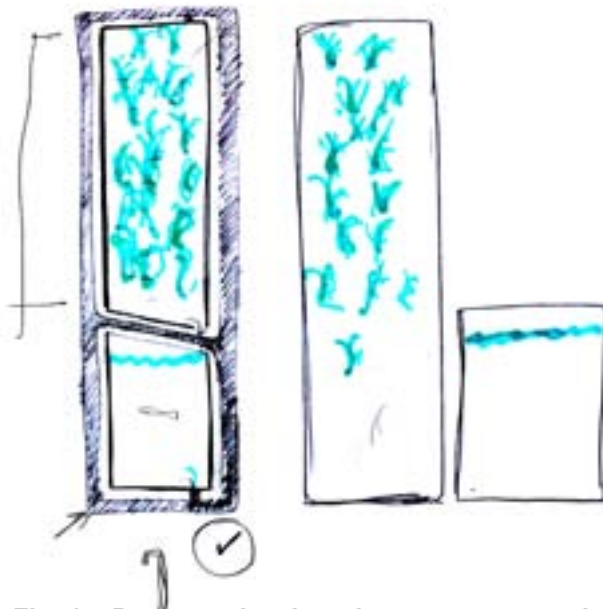


Fig. 17. Boceto seleccionado para comenzar la etapa II de diseño del producto.

Posteriormente se procedió a bocetar con mayor atención a los detalles técnicos, basándose en la propuesta de boceto previamente seleccionada. Esto conformó la etapa III de bocetaje a mano alzada (Fig. 20). De igual manera se trabajó en el detalle de la forma y ergonomía del diseño.

Se bocetaron diversas opciones para el acomodo e instalación de cada elemento en el sistema, como lo fueron: el modo de instalación del tanque de peces, la posición de la bomba de agua, la posición de las mangueras (para agua) de conexión entre tanque y biofiltro, los modos de conexión entre la manguera y el biofiltro, el modo de instalación del biofiltro y el desarmado del sistema para su mantenimiento.

2. Boceto final.

A partir de las propuestas detalladas de diseño del sistema se seleccionaron las opciones encontradas como más apropiadas y alineadas tanto a los requerimientos como a la conceptualización del diseño.

Así se obtuvo el modo de instalación de ambos módulos (tanque y biofiltro) mediante una ranura incrustada en ambas partes, en la cual se insertará un riel previamente fijado a la pared. De esta manera la instalación es más

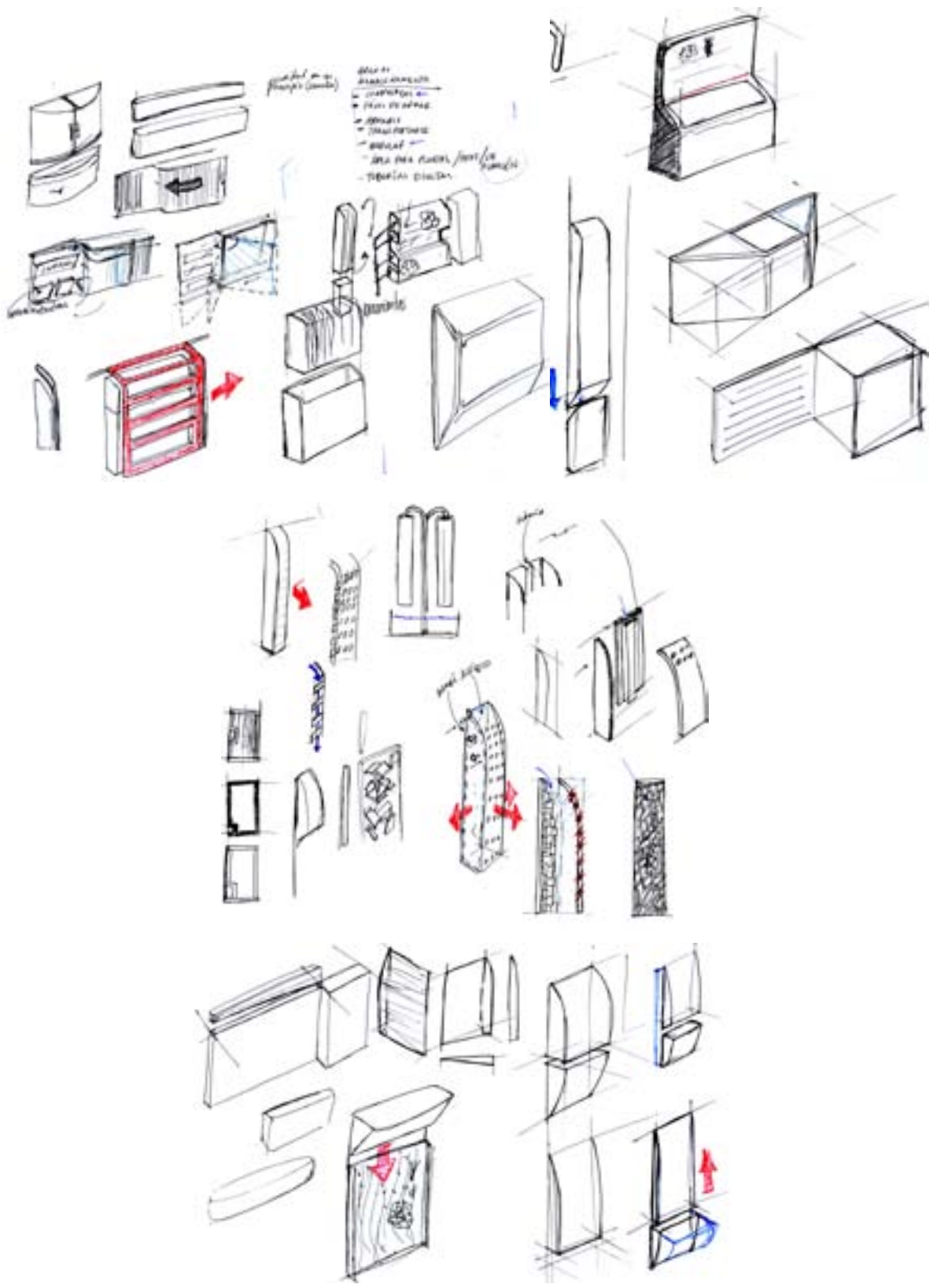


Fig. 18. Etapa II de bocetaje a mano alzada.

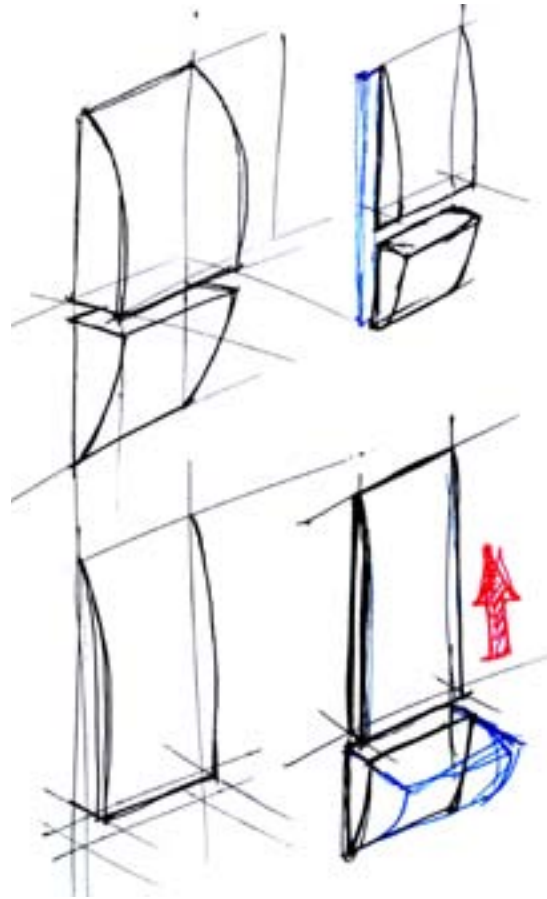


Fig. 19. Selección de boceto afín a características y requerimientos de diseño.

sencilla. (Fig. 21). Se seleccionó el acomodo de la bomba para la parte media del tanque ajustada a la ranura incrustada en el tanque, esto con la finalidad de tener una uniformidad en la conducción del agua hacia el biofiltro. Para las mangueras se optó por tener un acomodo con simetría para que el flujo de agua sea el mismo del lado derecho como del lado izquierdo (Fig. 22). En cuanto a la conexión entre mangueras y biofiltro se seleccionaron conexiones de rosca para evitar fugas de agua y para permitir una instalación sin permisión a error humano. En la parte de desarmado del sistema se seleccionó colocar tapas laterales en el biofiltro con un

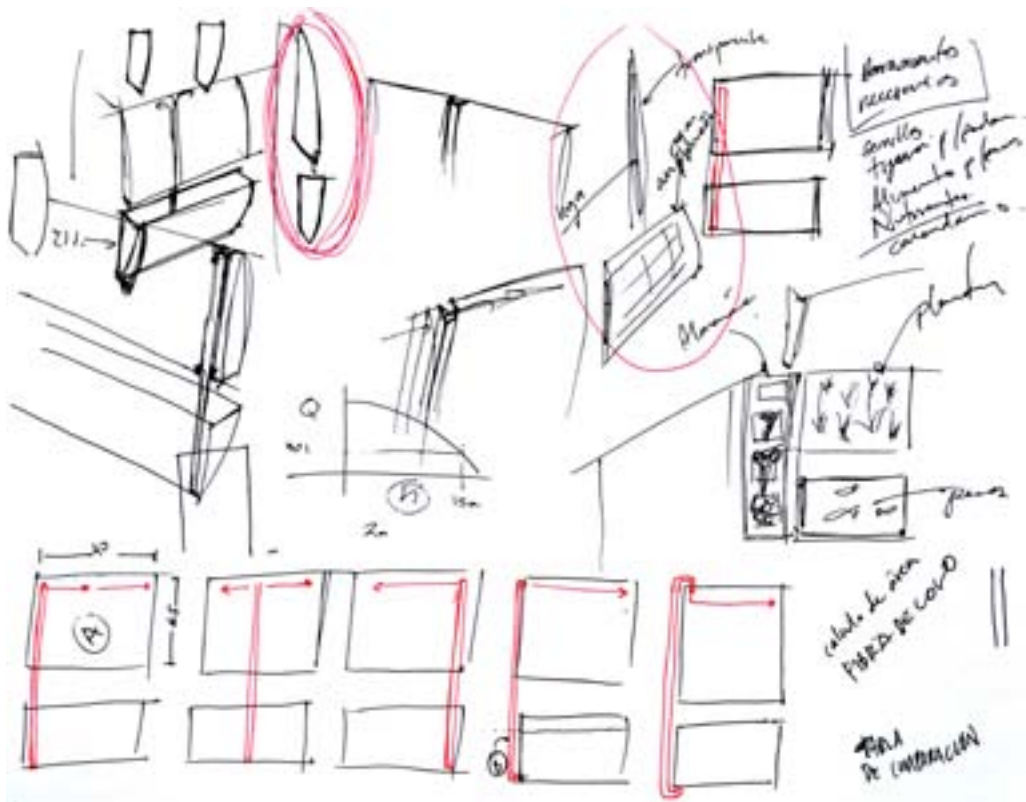
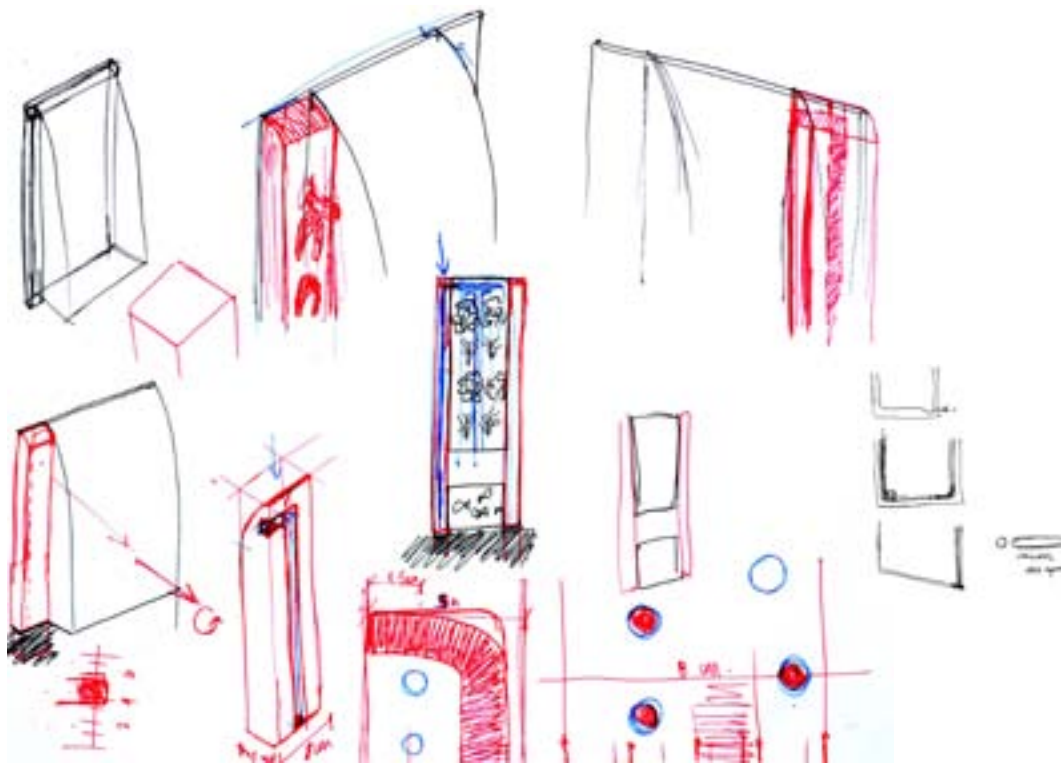


Fig. 20. Fase III de bocetaje a mano alzada. Se prestó mayor atención a detalles técnicos tanto de instalación como de función y forma. (Parte 1)



Fig. 20. Fase III de bocetaje a mano alzada. Se prestó mayor atención a detalles técnicos tanto de instalación como de función y forma. (Parte 2)

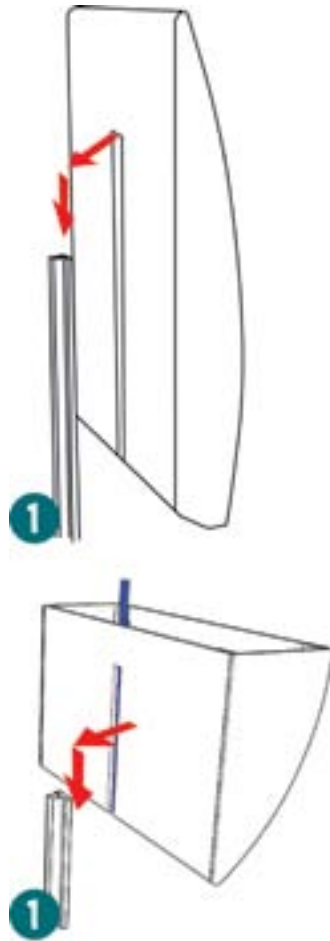


Fig. 21. Modo de instalación de sistema en rieles.

agregado de goma para evitar fugas de agua y unos “snaps” para su la desinstalación de las tapas y de ésta manera dar mantenimiento a la parte interna del biofiltro.

Posteriormente se procedió a la fase IV de bocetaje, en la cual se llevó a cabo la modificación del

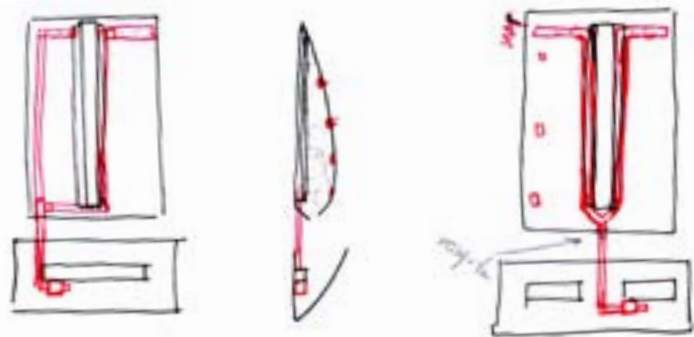


Fig. 22. Acomodo de bomba y mangueras dentro del sistema.

diseño sobre planos del modelo, ésto con el fin de solucionar detalles de producción en el modelo (Fig. 23).

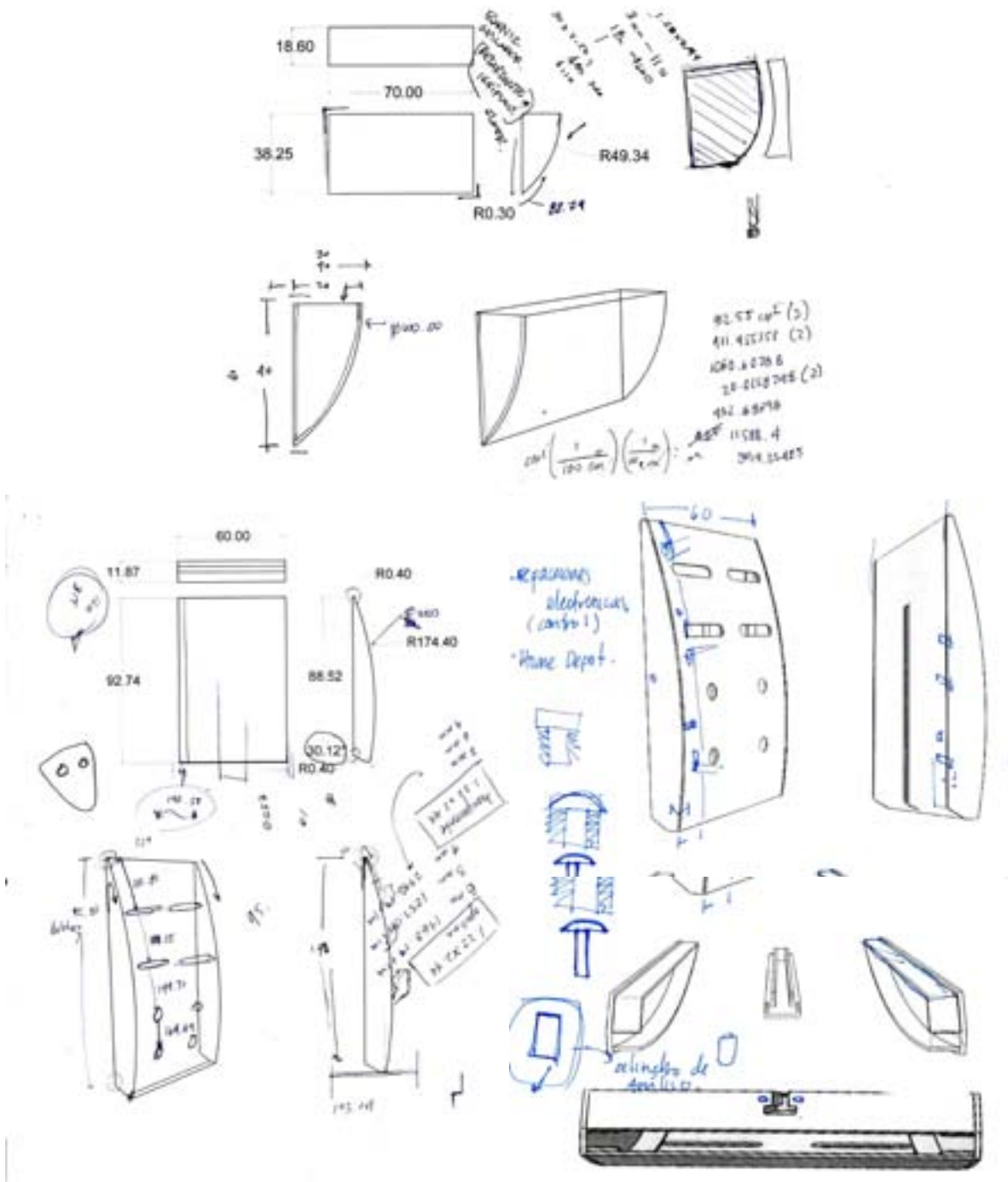


Fig. 23. Fase IV de bocetaje a mano alzada sobre planos de modelo.

iv. Desarrollo de Producto

1. Selección de Materiales.

De acuerdo a la concepción y en conjunto con la determinación del diseño final, se plantearon diversas posibilidades de materiales de acuerdo a características físicas y de procesos de producción. Se realizaron pruebas de materiales como el silicón (Fig. 24). Se realizaron así mismo



Fig. 24. Proceso de fabricación de prueba de material silicón.

pruebas de textura en silicón (Fig. 25). Se puso a prueba para la zona de biofiltro, pero se concluyó que no era el material adecuado debido a su superficie lisa, la cual no permitiría retener los nutrientes necesarios para las plantas.

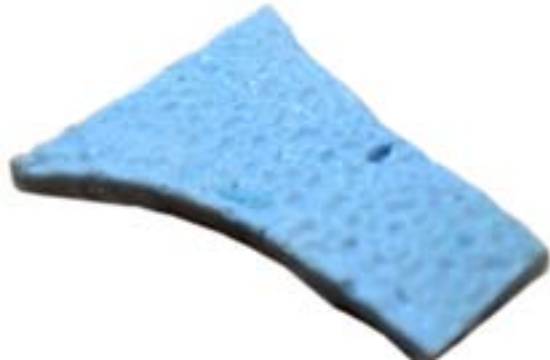


Fig. 25. Prueba de textura en silicón.

Se seleccionó el acrílico por su maleabilidad y su flexibilidad al momento de procesarlo para la producción de curvas. De igual manera el acrílico permite crear una experiencia de visualización del sistema en funcionamiento, siendo así más atractivo para el ojo del usuario. El

material seleccionado para la parte interna del biofiltro, como sistema de retención de nutrientes aptos para la planta, fue la fibra de coco ya que es un elemento orgánico que retiene los nutrientes necesarios. Así mismo existen 2 tipos de fibra de coco, aquél que se encuentra molido de manera fina y aquel en el que existen partículas de mayor tamaño. Cada tipo de fibra de coco retiene líquidos y nutrientes de manera distinta .

2. Características de diseño.

El diseño del sistema consiste en la conexión de flujo de agua entre 2 módulos a través de mangueras transparentes. Éstos 2 módulos se refieren al tanque (para los peces) y el biofiltro (en el que internamente se encuentra la fibra de coco y externamente se colocan las plantas a cultivar). Éstos presentan curvas similares en la parte frontal, el objetivo de éstas curvas son las siguientes:

- En el caso del biofiltro: la curva es más amplia en la parte baja, esto quiere decir que habrá una mayor concentración de fibra de coco en esa zona y esto se traduce a una mayor retención de agua. Las plantas pensadas para esta zona tienen requerimientos de agua mayores a las plantas colocadas en la parte superior.

- En el caso del tanque para peces: esta curva permite que no exista una mayor retención de desechos al no tener esquinas y al mismo tiempo al no tener más de 1 arista en donde se podrían retener estos desechos sólidos.

Éstos módulos se encuentran alineados en el eje horizontal con un flujo vertical de agua de abajo hacia arriba (tanque-biofiltro) ayudado por una bomba sumergible y de arriba hacia abajo (biofiltro-tanque) mediante la acción de la gravedad (Fig. 26).

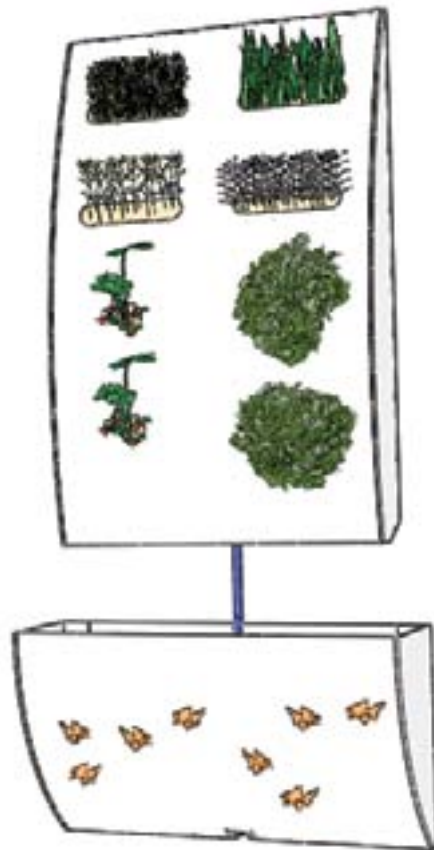


Fig. 26. Representación gráfica de sistema acuapónico de traspatio.

El módulo del biofiltro es desarmable para hacer del mantenimiento del sistema un proceso más eficiente y eficaz. El desarmado se lleva a cabo quitando las tapas laterales del biofiltro, éstas cuentan con unos “snaps” que ayudan a la fijación de las tapas con el biofiltro. De igual manera las tapas cuentan con un engomado en las orillas para evitar cualquier tipo de

fuga de agua por parte del biofiltro.

v. Modelado

1. Modelado por computadora.

Se realizó el modelado del sistema en 3D para mejorar la percepción del sistema acuapónico de traspatio (Fig. 27).

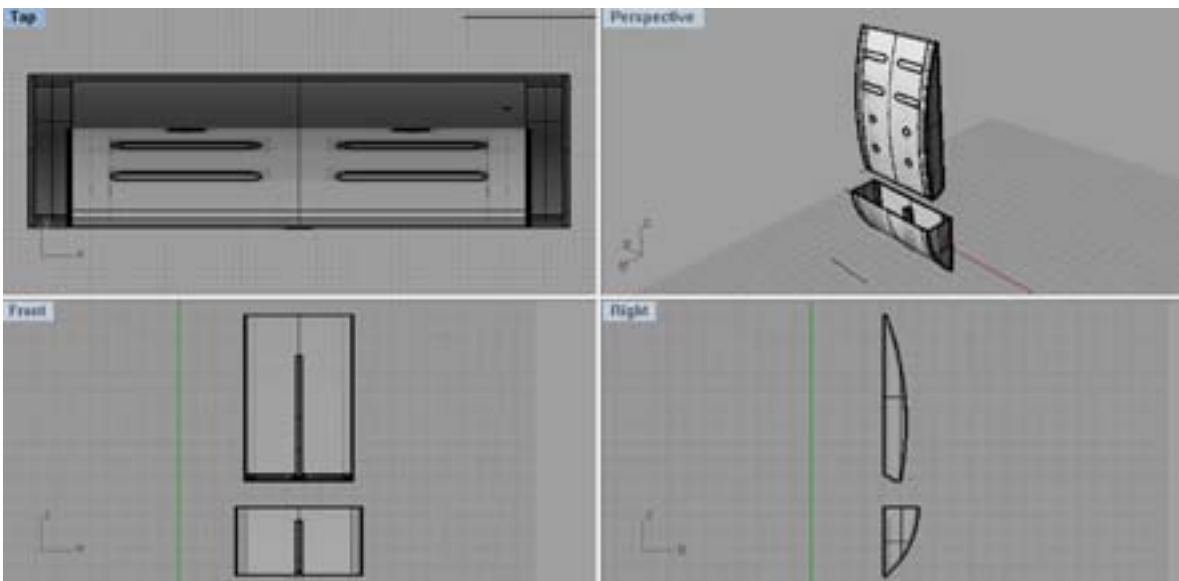


Fig. 27. Modelado en 3D de sistema acuapónico de traspatio.

2. Render

Se llevaron a cabo renders para visualizar al sistema con los materiales previamente seleccionados. Así mismo, se colocó el sistema en ambiente para visualizar el sistema acuapónico en traspatio (Fig. 28). Se tiene así diversas imágenes en diferentes ángulos de perspectiva y de igual manera, se tienen imágenes colocando al sistema en el ambiente correspondiente (Fig. 29).

vi. Prototipado

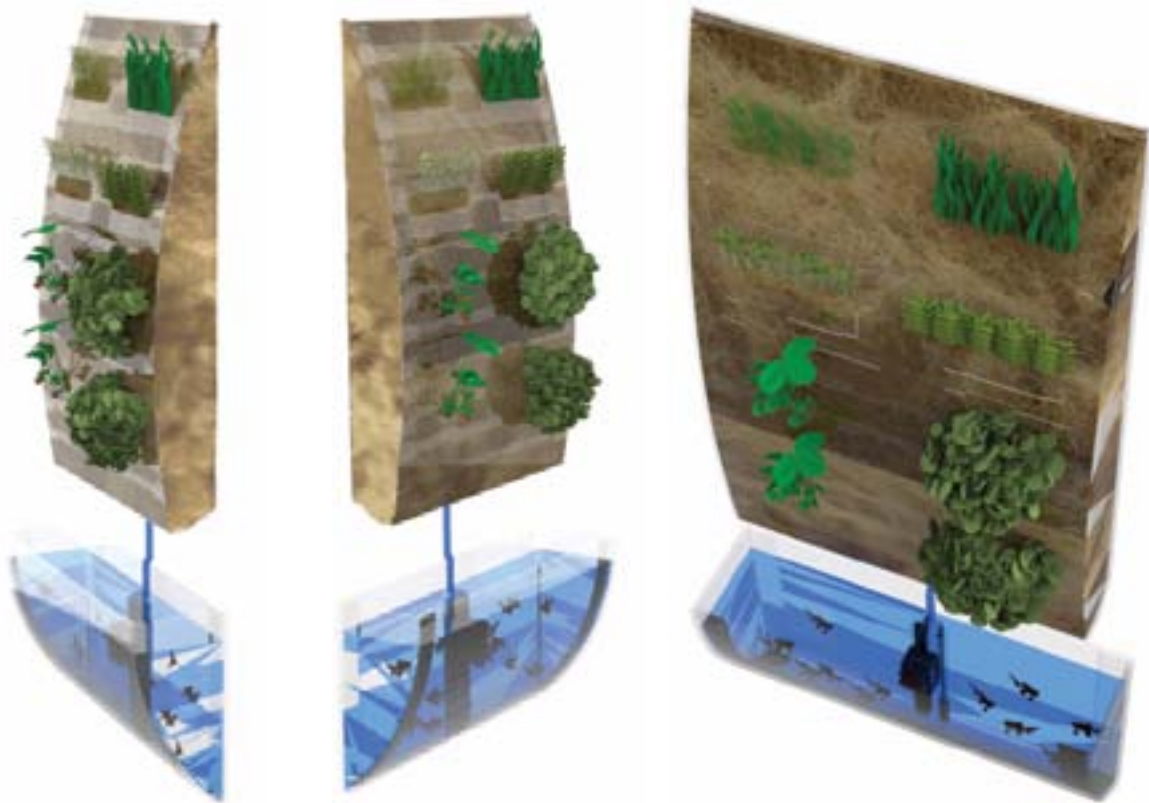


Fig. 28. Renderizado en 3D de sistema acuapónico de traspatio.

1. Prototipos

Se elaboraron diferentes tipos de prototipos, funcional, de forma y de ambos.

El primer prototipo (Fig. 30) consistía en la prueba del funcionamiento de un tipo de campana llamada sifón que permite llenar y vaciar de agua un recipiente de manera automática (Fox *et. al.*, 2010). El proceso de elaboración del prototipo se puede ver claramente en la Fig. 31 donde se realizan las adecuaciones necesarias para armar la campana sifón, la cama para el biofiltro y el tanque de los peces.

El prototipo se puso a prueba y el funcionamiento de la campana sifón fue



Fig. 29. Renderizado en 3D de sistema acuapónico de traspatio localizado en ambiente.

adecuado durante las primeras 2 semanas, a partir este plazo el sistema comenzó a fallar. Existía un aumento anormal en el nivel de agua en el biofiltro lo que ocasionó que las semillas no logran crecer (Fig. 32). Una de las posibles causas es la perdida de agua que se tiene debido a la evaporación. Esta variable desequilibró el sistema haciendo complicado el proceso de su estabilización. Como se puede ver en la Fig. 33, se realizaron adaptaciones al envase que formaba parte de la campana sifón. Finalmente se llegó a la conclusión de que al colocar una campana sifón el sistema se vuelve inestable y se decidió desechar este tipo de sistema para el presente trabajo.

El segundo prototipo se elaboró en cartón con el fin de dimensionar visualmente y de ajustar medidas para el producto final (Fig. 34).



Fig. 30. Primer prototipo. Modelo de prototipo de función.



Fig 31. Proceso de construcción de prototipo de función.



Fig. 32. Comparación de niveles de agua.
Donde existe un aumento anormal de nivel de agua en biofiltro (imagen izquierda).

Así mismo se elaboraron las ranuras y los orificios correspondientes al espacio de las plantas, con el fin de verificar la dimensión que se esta proponiendo (Fig. 35).

2. Molde

Para realizar el prototipo en materiales reales, se necesitó elaborar un molde para su fabricación en fibra de vidrio. Éste se realizo mediante el corte de planos seriados de las figuras del biofiltro y el tanque en MDF de 18 mm (Fig. 36). Posteriormente se realizó el empalme y pegado de cada pieza cortada formando así un molde basado en planos seriados (Fig. 37). Se lijaron y se nivelaron las pieza (Fig. 38).

El acabado del molde se realizó de manera tal que los bordes quedaran lisos para su para su apropiada producción (Fig. 39).



Fig. 33. Cambios realizados en campana sifón.

vii. Diseño Final



Fig. 34. Proceso de prototipado de sistema acuapónico de traspatio en cartón.

El diseño final consiste en el acomodo vertical de dos módulos. Fabricados en fibra de vidrio, por la complejidad de la forma. El superior consiste en el módulo de del biofiltro, donde se colocaran las 8 diversas especies de plantas para su consumo. El módulo inferior consiste en el tanque para peces, en el que se colocaran peces de ornato. Existe una manguera que conecta a éstos dos módulos para generar la circulación de agua y por ende el intercambio de nutrientes entre ambas especies. El modelo presenta una medida de 1.50m de alto por 70cm de ancho total , contemplando ambos módulos y el espacio que existe entre sí, para permitir la caída de agua (y por consecuencia su oxigenación).

A continuación se pueden analizar los planos de ambas módulos.



Fig. 35. Prototipo final de sistema acuapónico de traspatio en cartón.



Fig. 36. Corte de planos seriados en MDF de 18mm para armado de molde.



Fig. 37. Armado de planos seriados para formar el molde.

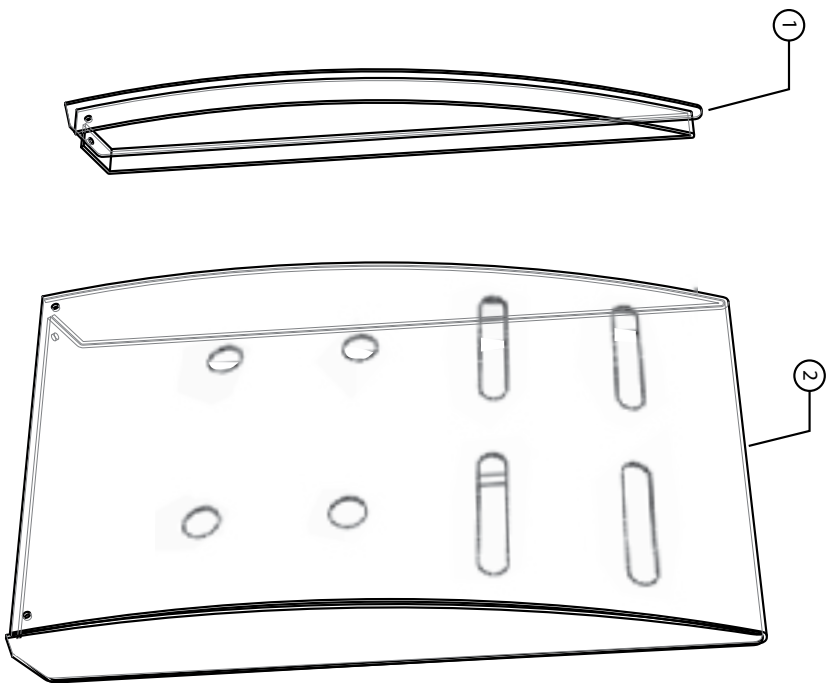


Fig. 38. Lijado y acabado de planos seriados para remover bordes.



Fig. 39. Acabado final de molde para su uso en producción.

**ENSAMBLE
PIEZA 1 Y 2**

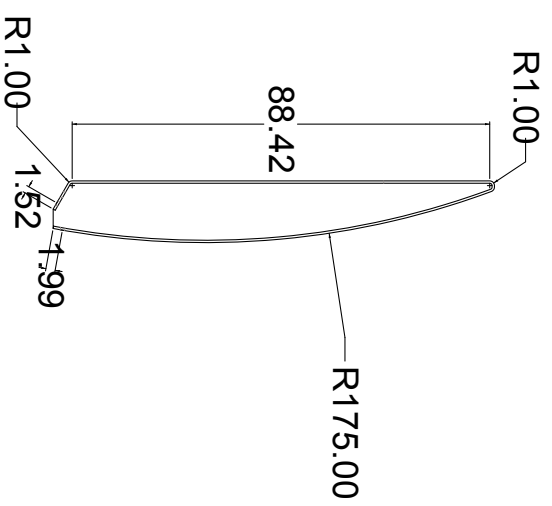
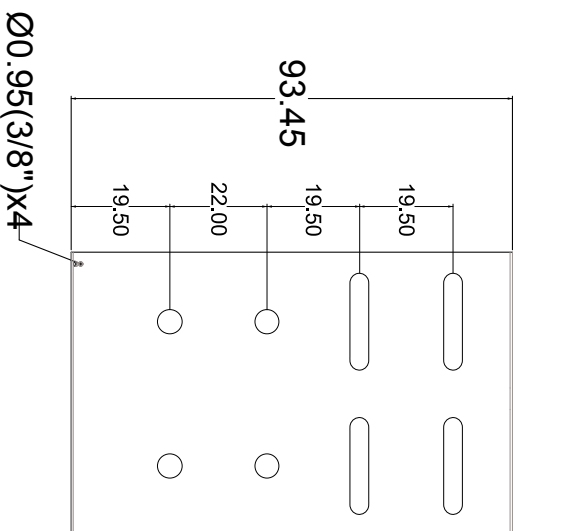
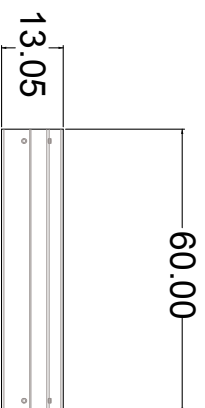


PIEZA:
NÚMERO DE PIEZAS:
MATERIAL:
ESPESOR:

BIOFILTRO
2
Fibra de vidrio
5mm

SISTEMA ACUAPÓNICO DE TRASPATIO

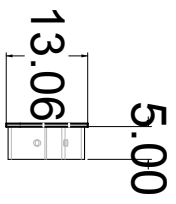
PIEZA 2



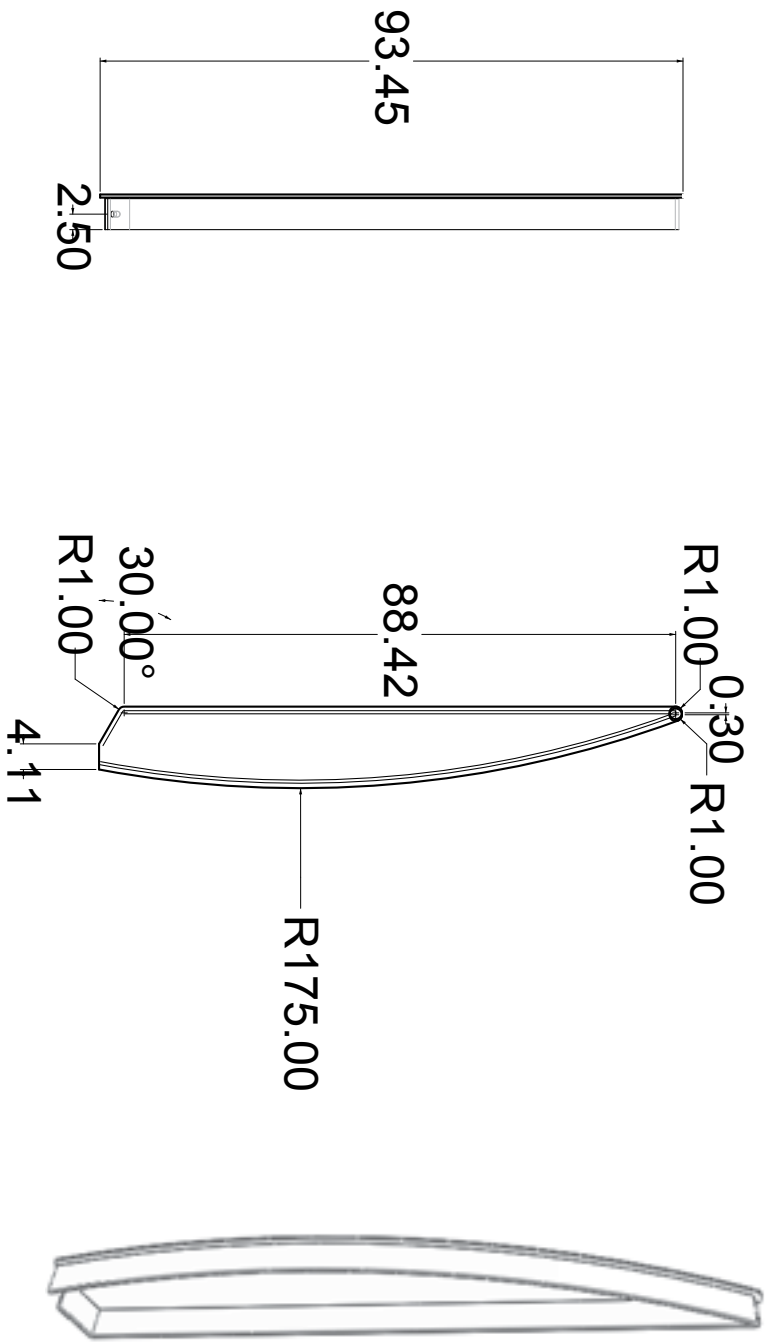
PROYECTO:
PLANO DE PIEZA:
MATERIAL:
ESPESOR:
UNIDADES:

BIOFILTRO
2
Fibra de vidrio
5mm
cm

SISTEMA ACUAPONICO DE TRASPATIO



PIEZA 1b

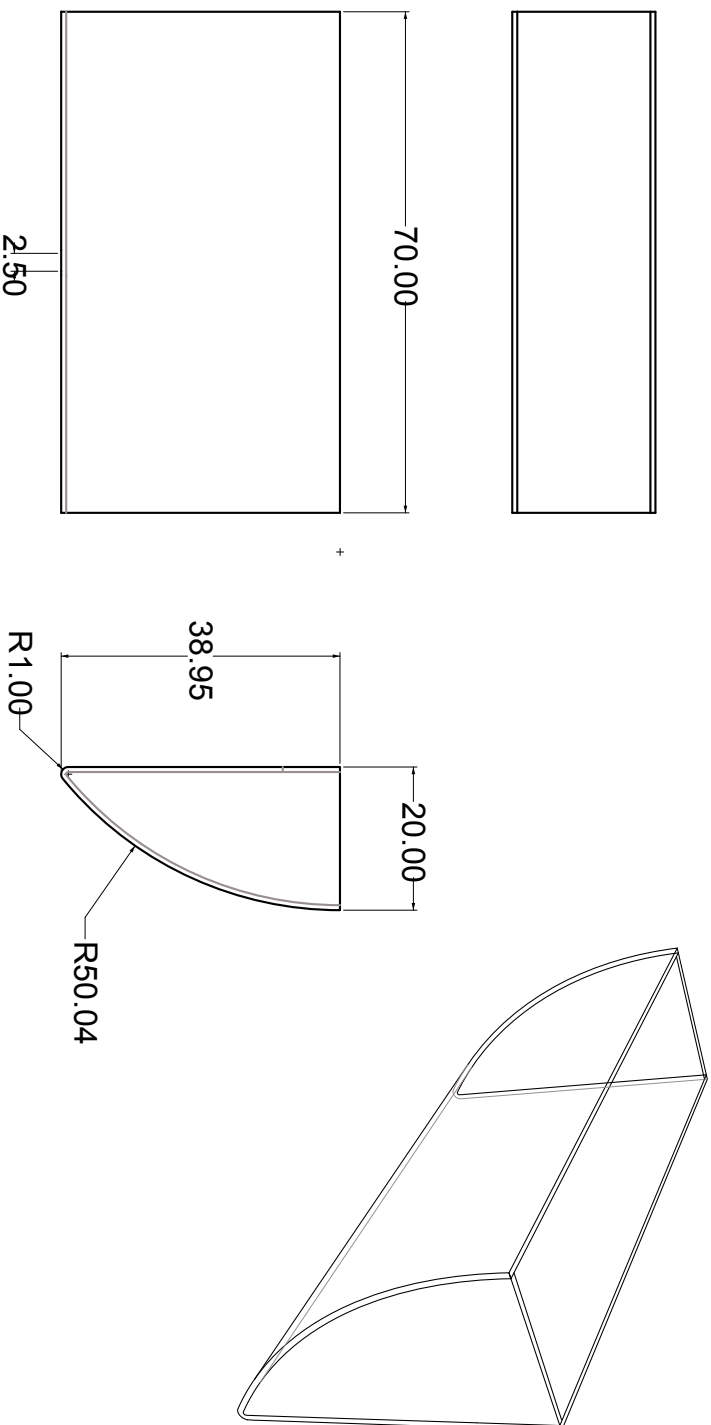


PIEZA:
PLANO DE PIEZA:
MATERIAL:
ESPESOR:
UNIDADES:

BIOFILTRO
1
Fibra de vidrio
5mm
cm

SISTEMA ACUAPONICO DE TRASPATIO

PIEZA 1
TANQUE



PIEZA: TANQUE
PLANO DE PIEZA: 1
MATERIAL: Fibra de vidrio
ESPESOR: 7mm
UNIDADES: cm

SISTEMA ACUAPONICO DE TRASPATIO

VII. CONCLUSIONES

La relevancia del diseño industrial en el presente trabajo se encuentra en la posibilidad de crear soluciones reales para las familias mexicanas, proporcionando alimentos orgánicos y saludables para su apropiado desarrollo. Con esto se comprueba que los sistemas de producción de alimentos también son susceptibles al Diseño Industrial. Adicionalmente, se demuestra que bajo un enfoque multidisciplinario, como lo son Biología, Ingeniería, Química, Ergonomía, Economía, entre otros; se puede lograr la consolidación de un producto de diseño íntegro y funcional.

Así mismo se promueve la generación de un nuevo tipo de consumidor, llamado “prosumidor”. El “prosumidor” es aquél que produce y consume de aquello producido (Bocanegra, 2009), creando valor cuando actúan como voluntarios. Entre otras aportaciones, los prosumidores aceleran la innovación, creando conocimiento y reproduciendo la fuerza de trabajo. Creando así una plataforma de innovación en la agricultura urbana.

VIII. REFERENCIAS

1. Alatorre-Jácome, O. (2007), “Calidad del Agua y Principios de Diseño en los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS)”, Tesina, Especialidad en Ingeniería de Invernaderos, Universidad Autónoma de Querétaro.
2. Al-Hafedh, Y. S., Alam A., Beltagi, M. S. (2008), “Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants”, *JWAS* 39 (4):510-520.
3. Bender J. (1984), “An integrated system of aquaculture, vegetable production and solar heating in an urban environment.”, *Aquacultural Engineering* 3(2):141-152.
4. Bijo, P. A. (2007), “Feasibility study of a recirculating aquaculture system”, Malaysian Fisheries Development Authority, The United Nations University.
5. Bishop, M., Bourke, S., Connolly, K., Trebic, T. (2009), “Baird’s village aquaponics project”, Sustainable Development Plans, AGRI 519/CIVE 519, McGill University.
6. Brander, K. M (2007); “Global fish production and climate change”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (50): 19709–19714
7. Boutwell, J. (2007), “Aztecs’ aquaponics revamped”, *Napa Valley Register*.
8. Bürdek, B. E. (1999), “Design”, 100 Wörter des Jahrhunderts, Frankfurt/Main. Tomado del libro “Design. History, theory and practice of product design”.
9. Bürdek, B. E. (2005), “Design. History, theory and practice of product

design”, Birkhäuser – Publishers for Architecture, ISBN 3-7643-7029-7.

10. Burgoon, P. S., Baum, C. (1984), “Year-round fish and vegetable production in a passive solar greenhouse”, Sixth international congress on soilless culture, Proceedings of a Conference, 29 ap-5 may, Lunteren, Holanda, p 139-144.

11. Clarkson, R., Lane, S. D. (1991), “Use of small-scale nutrient film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water”, Aquaculture and fisheries management 22:37-45.

12. Costa-Pierce, B. A. (1998), “Preliminary investigation of an integrated aquaculture-wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles Country, California.

13. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Estadísticas del Agua en México”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010.

14. Connolly, K. & Trebic, T. (2010), “Optimization of a backyard aquaponic food production system”, BREE 495, Design 3, Bioresource Engineering, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences – McGill University.

15. Diver, Steve (2006); “Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture”, ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service.

16. Energy Information Administration,

17. Food and Agriculture Organization (FAO), “Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia”, 2000.

18. Food and Agriculture Organization (FAO), “El estado mundial de la agricultura y la alimentación”, 2007.

19. Food and Agriculture Organization (FAO), “Crear ciudades más

verdes”, 2010 .

20. Garrido Hoyos, Dra. Sofía E., “Rescatando el agua del cielo para el uso doméstico en la tierra: Captación y tratamiento de agua de lluvia en Morelos”, *Hypatia*, Revista No. 14, 2005.

21. Graber, A. & R. Junge (2009), “Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production”, *Desalination* 246: 147-156.

22. González Escareño, Ma. Dolores (2008), “Captación y purificación de agua de lluvia recolectada en zonas urbanas”, Tesis Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

23. Goodman, E. R. (2011), “Aquaponics: Community and Economic Development”, Tesis, Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology.

24. Gröli, M., Schüpbach, S. S., Dauwalder, P., Amhof, R. (2007), “LOHAS: Lifestyle of Health and Sustainability”, *Consumer products retail & wholesale*, Ernst & Young.

25. Guterstam, B. (1996), “Demonstrating ecological engineering for wastewater treatment in a Nordic climate using aquaculture principles in a greenhouse mesocosm”, *Ecological Engineering* 6:73-97.

26. Hampwaye, G., Nel, E., & Ingombe, L. (2009), “The role of urban agriculture in addressing household poverty and food security: the case of Zambia”, India: Global Development Network.

27. Harmon, T. S. (2005), “The role of aquaponics in RAS”, *International Journal of Recirculating Aquaculture* 6:19-27.

28. Helfrich, L.A., Libey, G. (1991), "Fish farming in recirculating aquaculture systems (RAS)", Department of Fisheries and Wildlife Sciences Virginia Tech.

29. Hirdina, H. (1995), "Voraussetzungen postmodernen Design", Gestalten fur die Serie. Design in der DDR 1949–1985, Dresden. Tomado del libro "Design. History, theory and practice of product design".

30. Hutchinson, W., M. Jeffrey, D. O'Sullivan, D. Casement y S. Clarke. 2004. Recirculating Aquaculture Systems: Minimum Standards for Design, Construction and Management. Inland Aquaculture Association of South Australia, Inc.

31. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, 2002-2005.", Serie III, INEGI, 2005.

32. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "Censo Agrícola, ganadero y forestal", 2007.

33. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "El sector alimentario en México", 2011.

34. Internationales Design Zentrum Berlin (1973), "Design als Postulat am Beispiel Italien", Exhibition catalog. Berlin. Tomado del libro "Design. History, theory and practice of product design".

35. Koning, N.B.J, M.K. van Ittersum, G.A. Becx, M.A.J.S. van Boekel, W.A. Brandenburg, J.A. van den Broek, J. Goudriaan, G. van Hofwegen, R.A. Jongeneel, J.B. Schiere and M. Smies, "Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity?" NJAS Wageningen Journal of Life Sciences 55 (2008) 3, pp. 229-292.

36. Jensen, M. & Malter, A. (1995), "Protected Agriculture. World Bank

Technical Paper No 253". Washington. 157 p. Shive J.W. & Robbins, W.R. 1937.
Methods of growing plants in solution and sand cultures. New Jersey Agr. Expt. Sta.
Boletín 636.

37. Jones, Scott, "Evolution of aquaponics", *Aquaponics Journal*, volumen VI, No.1, 2002.

38. Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: "Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

39. Lehninger, A., Nelson, D., Cox, M., "Lehninger Principles of Biochemistry", Omega, 5ta edición, 2008.

40. McLarney, W. (1972), "Irrigation of garden vegetables with fertile fish pond water", *New Alchemy Agricultural Research Report*, No. 2.

41. McMurty, M. R., Sanders, D.C., Nelson, P.V. (1993), "Mineral nutrient concentration and uptake by tomato irrigated with recirculating aquaculture water as influenced by quantity of fish waste products supplied", *Journal of Plant Nutrition* 16(3):407-409.

42. Naegel, L.C.A. (1977), "Combined production of fish and plants in recirculating water", *Aquaculture*, Vol. 10, No. 1, p. 17–24.

43. Oehlke, H. (1978), "Der Funktionsbegriff in der industriellen

Formgestaltung”, 2. Kolloquium zu Fragen der Theorie und Methodik, Halle.

44. Pade, J.S. and Nelson, R.L. (2007), “Village aquaponics”, Acta Hort. (ISHS), 742:197-199

45. Prasad, R., (1998), “Fertilizer urea, food security, health and the environment”, Current Science, Vol. 75, no. 7.

46. Rakocy, J. E., Nair, A. (1987), “Integrating fish culture and vegetable hydroponics: Problems and prospects”, Virgin Islands Perspect., Agric. Res. Notes 2, 19-23.

47. Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., Bailey, D. S. (1989), “Effects of hydroponic vegetable production on water quality in a closed recirculating system”, J. World aquat. Soc. 20(1), 64A.

48. Rakocy, J. E. (1989), “Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system”, Univ. Virgin Island Agric. Esp. Station, Island perspectives 3, 4-10.

49. Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., Bailey, D. S. (1993), “Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable production”, Techniques for modern aquaculture.

50. Rakocy, J. E., R. C. Shultz & D. S. Bailey (2000); “Commercial aquaponics for the Caribbean”, Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute [Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.]. no. 51, pp. 353-364.

51. Rakocy, J. E. & Bailey, D. S. (2003); “Initial economic analysis of aquaponic systems”, Resumen en extenso presentado en la Conferencia Internacional Aquaculture Europe 2003 – “Beyond Monoculture”, Trondheim,

Noruega, Agosto 8-12, 2003 EAS Special Publication N° 33.

52. Rakocy, J., Shultz, R.C., Bailey, D.S. and Thoman, E.S (2004), "Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system", *Acta Hort.*, (ISHS) 648:63-69.

53. Rennert, B. and M. Drews (1989), "The possibility of combined fish and vegetable production in greenhouses", *Advanced Fish Science*, Vol. 8, p. 19–27.

54. Sanders, D., McMurty, M. R. (1988), "Fish increase greenhouse profits", *American Vegetable Grower*, Feb 32-33.

55. Savidov, N.A., Hutchings, E. and Rakocy, J.E. (2007), "Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada", *Acta Horticulturae* (ISHS).

56. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), *Anuario Agropecuario*, 2007.

57. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), *Anuario Agropecuario*, 2009.

58. Sethuraman, G.; Naidu, Srinivasa; (2008), "International Encyclopaedia Of Agricultural Science And Technology, Vol. 4, pp. 47 – 56.

59. Sfetcu, L.; Cristea, V.; Oprea, L. (2008), "Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating system for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production", *Lucrări Științifice - Zootehnie și Biotehnologii*, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului Timișoara 2008 Vol. 41 No. 2 pp. 137-143.

60. Sistema de Información Energética, "Balance Nacional de Energía 2010: Indicadores económicos y energéticos", Secretaría de Energía, 2010.

61. Sitton, Dov, "Development of Limited Water Resources: Historical and Technological Aspects", Israel Ministry of Foreign Affairs, 2000.
62. Sneed, K. (1975), "Fish farming and hydroponics", *Aqua-culture and the Fish Farmer*, Vol. 2, No.1, p. 11, 18–20.
63. Universidad de California-Los Angeles (1975), "Waste nutrient recycling using hydroponic and aquacultural methods", Institute of Evolutionary and Environmental Biology, Environmental Science and Engineering, University of California-Los Angeles, 177 p.
64. Veenhuizen, René van; Prieto-Cali, Matías; (2000), "Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en América Latina", *Zonas Áridas y Semiáridas*, no.13.
65. Wardlow, G. W., Johnson, D. M., Mueller, C. L., Hilgendorf, C. E. (2002), "Enhancing student interest in the agricultural sciences through aquaponics", *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education*, 31:55-58.
66. *Sci Educ* 31:55-58
67. Wheaton, F. W. (1982), "Acuacultura, diseño y construcción de sistemas", AGT Editor S.A., Mexico, D.F.
68. Wolfe, J.; Zweig, R. (1977), "Summary of fish culture techniques in solar aquatic ponds", *Journal of the New Alchemist*.
69. Zuckerman, Bert M.; M. Bess Dicklow, Gerald C. Coles, L Roberto Garcia-E, Y Nahum Marban-Mendoza (1989), "Suppression of plant parasitic nematodes in the chinampa agricultural soils", *Chemical Ecology*, Vol. 15, No. 6.