



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“DISEÑO DE SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO,
COMBINANDO ÁREAS DE CULTIVO VERTICAL Y HORIZONTAL”

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN DISEÑO

PRESENTA:
NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

DIRECTOR:
M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO
CO - DIRECTOR:
DR. ALBERTO ANTONIO GARCÍA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA.
MARZO DE 2019

DEDICATORIA

A mis papás, mis dos amigos de toda la vida, quiénes me han enseñado siempre a seguir sin rendirme, cada pequeña parte de lo que soy ahora es una pequeña parte de ustedes.

Mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye éste.

A mis hermanos que siempre han sabido animarme de no rendirme en las peores épocas.

A mi mejor amiga, con quién compartí mutuamente conocimientos, alegrías, tristezas, desesperaciones, tardes buenas y malas, animándonos a lograr este propósito bien hecho y con orgullo.

A mi prima que aunque estamos a km de distancia, nos sentimos juntas.

Y al amor de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mis directores de tesis M.T.A.M. Dulce María Clemente Guerrero, y Dr. Alberto Antonio García, por su amistad, dedicación, y las horas de trabajo para encauzar, pulir y concluir el proyecto.

También agradezco al M.T.A.M. Armando Rosas Gonzáles quién en diferentes momentos contribuyó al trabajo y a la Dra. Alejandra Velarde Galván, por su apoyo y sus consejos. Agradezco también, el apoyo, tiempo y la información provista por el Ing. Richard Ortega González y el Ing. Gianfranco Bevilacqua Rismondo.

También agradezco al Ing. Armando López Torres, por su apoyo, que aunque por diferentes causas no se logró darle seguimiento al proyecto inicial, me alentó a seguir adelante para redefinir el tema y concluirlo.

Finalmente agradezco a las participantes de las entrevistas quienes aportaron sus opiniones sobre el proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. ASPECTOS PRELIMINARES.....	17
<hr/> <hr/>	
1.1. INTRODUCCIÓN	17
1.2. ANTECEDENTES	19
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.4. JUSTIFICACIÓN	23
1.5. OBJETIVOS	25
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	25
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS	25
1.6. METODOLOGÍA	26
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	27
<hr/> <hr/>	
2.1. ACUAPONÍA	27
2.2. ACUARIO DE PECES	29
2.2.1. ACUARIO.....	29
2.2.2. ESPECIES ACUÁTICAS.....	31
2.2.3. AIREACIÓN	32
2.2.4. FILTRACIÓN	33
I. FILTRO MECÁNICO.....	34
II. FILTRO BIOLÓGICO	35
2.2.5. BOMBA.....	36
2.3. ÁREA HIDROPÓNICA.....	37
2.3.1. TÉCNICAS DE CULTIVO HIDROPÓNICO	37
I. TÉCNICA DE PELÍCULA DE NUTRIENTES	37
II. SUSTRATO SÓLIDO INERTE	38
III. RAÍZ FLOTANTE	39
2.3.2. CULTIVO VEGETAL.....	39

I. ILUMINACIÓN	40
II. SUSTRATO.....	41
III. CULTIVO VERTICAL	43
2.3.3. CONTENEDOR	45
I. CULTIVO NFT	45
II. SUSTRATO SÓLIDO.....	46
2.3.4. ESPECIES.....	47
2.3.5. PROPORCIONES ENTRE PECES Y PLANTAS.....	49
2.3.6. RIEGO Y DESAGÜE	50
2.4. DISEÑO	52
2.4.1. CONSUMIDOR.....	52
2.4.2. ANTROPOMETRÍA	54
2.4.3. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.	56
2.4.4. ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	58
2.4.5. MATRIZ PUGH	59
2.5. ANÁLISIS.....	60
2.5.1. SELECCIÓN DE LA BOMBA	61
2.5.2. POLÍMEROS.....	62
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	69
<hr/>	
3.1. ETAPA 1. "IDEACIÓN"	69
3.1.1. ESQUEMA GENERAL DE UN SA.....	69
3.1.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE MERCADO.....	71
3.1.3. PERFIL DE USUARIO	75
3.1.4. ASPECTOS ANTROPOMÉTRICOS.....	80
3.1.5. NECESIDADES DEL SISTEMA.....	81
I. VEGETALES.	81
II. PECES.....	83

3.1.6. REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO.....	84
3.2. ETAPA 2. "DESARROLLO CONCEPTUAL Y BÁSICO".....	94
3.2.1. DESCOMPOSICIÓN DEL SISTEMA	94
3.2.2. MATRIZ MORFOLÓGICA.....	95
3.2.3. PROPUESTAS DE CONCEPTOS	97
PROPUESTA 1: " <i>DISEÑO DESARMABLE - PARTE DEL HOGAR</i> ".....	97
PROPUESTA 2: " <i>DISEÑO INTEGRAL</i> ".....	102
PROPUESTA 3: " <i>DISEÑO COMPACTO</i> ".....	107
3.2.4. SELECCIÓN DEL CONCEPTO	111
3.3. ETAPA 3. "DESARROLLO AVANZADO"	113
3.3.1. DEFINICIÓN DE PIEZAS.....	114
I. ACUARIO	114
II. FILTRO.....	116
III. MÓDULOS DE SUSTRATO	119
IV. CONTENEDOR NFT.....	133
V. ILUMINACIÓN.....	145
VI. ZONIFICACIÓN DEL CULTIVO VEGETAL	147
VII. ESTRUCTURA	150
VIII. INSTALACIÓN HIDRÁULICA.....	162
IX. BOMBA	164
X. DISEÑO FINAL DEL SA.....	179
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN.....	182
<hr/> <hr/>	
4.1. OPTIMIZACIÓN DE ESPACIOS Y CAPACIDAD DE CULTIVO	182
4.2. MATRIZ COMPARATIVA DEL SA PROPUESTO/COMPETENCIA.....	184

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	186
<hr/> <hr/>	
5.1. APORTACIONES	189
5.2. BIBLIOGRAFÍA	191
ANEXOS.....	196
<hr/> <hr/>	
ANEXO A.	196
ENCUESTA PARA PRODUCTO PARA CULTIVAR PECES Y VEGETALES CON ACUAPONÍA.....	196
RESPUESTAS A ENCUESTA	199
ENTREVISTA A INVERNADERO.....	205
ENTREVISTA A EXPERTO.....	207
ANEXO B. PLANOS CONSTRUCTIVOS.....	211

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DIMENSIONES ESTÁNDARES COMERCIALES DE ACUARIOS.	31
TABLA 2. ESPECIES ADAPTADAS A LOS SISTEMAS DE RE-CIRCULACIÓN EN LA ACUAPONÍA.....	32
TABLA 3. NIVELES ÓPTIMOS EN LAS PROPIEDADES DEL SUSTRATO.	42
TABLA 4. ESPECIES DE PLANTAS APTAS PARA JARDINERÍA VERTICAL.....	44
TABLA 5. VERDURAS MÁS POPULARES PARA CULTIVAR MEDIANTE ACUAPONÍA.....	48
TABLA 6. CRITERIOS PARA SEGMENTAR UN MERCADO.	53
TABLA 7. UN CAMPO MORFOLÓGICO DE 6 PARÁMETROS.....	58
TABLA 8. MATRIZ DE PUGH PARA SELECCIÓN DE PROPUESTA FINAL	60
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE FORMADO Y MOLDEO PARA PLÁSTICOS.....	63
TABLA 10. ESQUEMA DE AGRUPACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMA EL SA.....	70
TABLA 11. PRODUCTOS "HIDROPÓNICOS" PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE MERCADO.	72
TABLA 12. PRODUCTOS "ACUAPÓNICOS" PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE MERCADO.....	73
TABLA 13. PORCENTAJES DE NSE REGISTRADOS A NIVEL ESTADO DE OAXACA.	75
TABLA 14. POBLACIÓN EXTRAPOLADA	75
TABLA 15. VALORES APLICADOS.....	76
TABLA 16. DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS DE LA POBLACIÓN MEXICANA.....	80
TABLA 17. ESPECIES VEGETALES A USAR EN EL SISTEMA.....	82
TABLA 18. ESPECIES DE PECES A USAR EN EL SISTEMA	83
TABLA 19. INFORMACIÓN RECOPIADA SEGÚN EL ESTUDIO REALIZADO.....	85
TABLA 20. VALORACIÓN DE NECESIDADES SEGÚN EL ESTUDIO APLICADO	86
TABLA 21. MATRIZ MORFOLÓGICA.	95
TABLA 22. PRIMERA CONFIGURACIÓN MORFOLÓGICA.....	97
TABLA 23. CAPACIDAD DE CULTIVO DE LA PROPUESTA 1: "DISEÑO PARTE DEL HOGAR"	100
TABLA 24. SEGUNDA CONFIGURACIÓN MORFOLÓGICA.....	102
TABLA 25. CAPACIDAD DE CULTIVO DE LA PROPUESTA 2: "DISEÑO INTEGRAL".....	105
TABLA 26. TERCERA CONFIGURACIÓN MORFOLÓGICA.....	107
TABLA 27. CAPACIDAD DE CULTIVO DE LA PROPUESTA 3: "DISEÑO COMPACTO".....	109

TABLA 28. MATRIZ PUGH PARA SELECCIÓN DE PROPUESTA FINAL.....	112
TABLA 29. SELECCIÓN DE MATERIAL PARA ACUARIO SEGÚN SUS NECESIDADES.....	114
TABLA 30. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL “ACUARIO”.....	116
TABLA 31. SELECCIÓN DE TIPO DE FILTRO SEGÚN SUS NECESIDADES.	117
TABLA 32. DIMENSIONES REQUERIDAS PARA CONTENEDOR DE SUSTRATO	120
TABLA 33. SELECCIÓN DEL CONCEPTO FINAL DE MÓDULO-SOPORTE.....	124
TABLA 34. SELECCIÓN DEL TIPO DE DRENADO	126
TABLA 35. SELECCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL.....	127
TABLA 36. PROPIEDADES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE).....	128
TABLA 37. CARGAS APLICADAS EN CADA MÓDULO.....	129
TABLA 38. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “MACETAS DE SUSTRATO”	133
TABLA 39. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “SOPORTE PARA MÓDULOS”	133
TABLA 40. CARGAS APLICADAS A CADA ENTRADA DEL CANAL.....	136
TABLA 41. CARGAS APLICADAS A LA BASE DEL CANAL	137
TABLA 42. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “CANAL DE RIEGO”	139
TABLA 43. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “CONTENEDOR NFT”	144
TABLA 44. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “FILTRO DE RETORNO”	145
TABLA 45. ZONIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS DE CULTIVO	148
TABLA 46. COMPARACIÓN DE MATERIALES PARA APLICAR EN LA ESTRUCTURA	152
TABLA 47. CARGAS CRÍTICAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA.....	155
TABLA 48. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA “ESTRUCTURA”.....	158
TABLA 49. SELECCIÓN DE MATERIAL PARA INSTALACIÓN HIDRÁULICA SEGÚN LAS NECESIDADES	163
TABLA 50. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE “BOMBA”	169
TABLA 51. TIEMPOS DE LLENADO.....	176
TABLA 52. DESPIECE Y LISTADO DE PIEZAS.....	177
TABLA 53. DESPIECE Y LISTADO DE PIEZAS.....	181
TABLA 54. PORCENTAJE DE OPTIMIZACIÓN DE ESPACIO.....	183
TABLA 55. MATRIZ COMPARATIVA DEL PRODUCTO PROPUESTO-PRODUCTO DE REFERENCIA.....	185

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO.	20
FIGURA 2. SISTEMA ACUAPÓNICO DE PRODUCCIÓN INTENSIVA.	20
FIGURA 4. SISTEMAS ACUAPÓNICOS. EN SU MODALIDAD; A) MODULARES; B) INTEGRAL.	21
FIGURA 3. MINI TANQUE ACUAPÓNICO WATER GARDEN.	21
FIGURA 5. SISTEMA ACUAPÓNICO CASERO.....	23
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA ADAPTADA AL CASO DE ESTUDIO.	26
FIGURA 7. ELEMENTOS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO.....	28
FIGURA 8. TIPOS DE AIREACIÓN	33
FIGURA 9. TIPOS DE AIREADORES DE CASCADA.	33
FIGURA 10. CLASIFICACIÓN DE FILTROS SEGÚN SU UBICACIÓN	35
FIGURA 11. CANASTILLA DE CULTIVO NFT	46
FIGURA 12. ZONAS DE CULTIVO CON SUSTRATO.....	47
FIGURA 13. PIRÁMIDE DE NIVELES SOCIO-ECONÓMICOS	54
FIGURA 14. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS DEL CUERPO.....	56
FIGURA 15. CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS SEGÚN SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO... ..	63
FIGURA 16. SOLDADO POR PLACA CALIENTE	65
FIGURA 17. SOLDADO ULTRASÓNICA	65
FIGURA 18. SOLDADO POR INDUCCIÓN.....	66
FIGURA 19. SOLDADO ESTACA POR CALOR.....	66
FIGURA 20. PERSONAS INTERESADAS EN CULTIVAR PLANTAS	77
FIGURA 21. CONOCEDORES DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO.....	77
FIGURA 22. RAZONES PARA CULTIVAR SUS PROPIOS ALIMENTOS.....	78
FIGURA 23. ESTADO CIVIL	78
FIGURA 24. ÁREA DISPONIBLE PARA COLOCAR EL PRODUCTO.....	79
FIGURA 25. UBICACIÓN DEL SISTEMA.....	79
FIGURA 26. ESPECIES VEGETALES POSIBLES DE CULTIVAR	80
FIGURA 27. ÁNGULOS DE VISIÓN DE PERFIL	81

FIGURA 28. MATRIZ DE LA CASA DE LA CALIDAD	88
FIGURA 29. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	94
FIGURA 30. PRIMERA PROPUESTA A MODO DE INFOGRAFÍA.	98
FIGURA 31. SEGUNDA PROPUESTA A MODO DE INFOGRAFÍA.	103
FIGURA 32. SUMINISTRO Y DRENADO DE AGUA.....	104
FIGURA 33. CAÍDA DE AGUA COMO VERTEDERO SIMPLE	105
FIGURA 34. TERCERA PROPUESTA A MODO DE INFOGRAFÍA.	108
FIGURA 35. ACUARIO Y DESPIECE.	115
FIGURA 36. PREFILTRO.....	118
FIGURA 37. DIMENSIONES PARA CONTENEDOR DE SUSTRATO	119
FIGURA 38. CONCEPTO 1-MÓDULO CONCÉNTRICO Y SOPORTE ESFÉRICO.....	121
FIGURA 39. CONCEPTO 1. ENSAMBLE.....	121
FIGURA 40. CONCEPTO 2-MÓDULO CONCÉNTRICO Y SOPORTE CILÍNDRICO.....	122
FIGURA 41. CONCEPTO 2. ENSAMBLE.....	122
FIGURA 42. ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO PREVIO A SOPORTE 1.....	123
FIGURA 43. ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO PREVIO A SOPORTE 2.....	123
FIGURA 44. DRENADO DE AGUA POR ORIFICIOS.....	125
FIGURA 45. DRENADO DE AGUA POR MANGUERAS.....	125
FIGURA 46. DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE CARGA Y DIRECCIÓN DE SUJECIÓN.....	129
FIGURA 47. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO PRELIMINAR DEL MÓDULO PARA SUSTRATO.....	130
FIGURA 48. FACTOR DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO PRELIMINAR DE MÓDULO PARA SUSTRATO.....	130
FIGURA 49. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO FINAL DEL MÓDULO PARA SUSTRATO.....	131
FIGURA 50. FACTOR DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO FINAL DE MÓDULO PARA SUSTRATO.....	132
FIGURA 51. CONTENEDOR NFT.....	134
FIGURA 52. CANASTILLA NFT.....	134
FIGURA 53. CANAL DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA	135
FIGURA 54. CANAL CON EXTREMIDADES PARA SU ENSAMBLE.....	135
FIGURA 55. DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE CARGAS AL CANAL DE RIEGO.....	137

FIGURA 56. ANÁLISIS DE CARGAS AL CANAL DE RIEGO	138
FIGURA 57. FACTOR DE SEGURIDAD EN EL CANAL DE RIEGO	138
FIGURA 58. DISEÑO PRELIMINAR DE CONTENEDOR NFT.....	139
FIGURA 59. DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE CARGAS AL CONTENEDOR NFT	140
FIGURA 60. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO PRELIMINAR DEL CONTENEDOR NFT	141
FIGURA 61. RETÍCULA EN LA BASE DEL CONTENEDOR.....	141
FIGURA 62. RETÍCULA EN LA TAPA DEL CONTENEDOR.....	142
FIGURA 63. REFUERZOS CÓNICOS EN LAS PAREDES.....	142
FIGURA 64. PROCESO AL APLICAR UNA EXTENSIÓN AL CONTENEDOR PARA UN FILTRO	143
FIGURA 65. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO FINAL DEL CONTENEDOR NFT	143
FIGURA 66. ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO FINAL DEL CONTENEDOR NFT	144
FIGURA 67. FILTRO DE RETORNO	145
FIGURA 69. ARNESES METÁLICOS Y PERNO DE OJO.....	146
FIGURA 68. LÁMPARA DE LEDS PARA CULTIVO INTERIOR	146
FIGURA 70. ALCANCES DE LÁMPARA DE LEDS PARA CULTIVO INTERIOR.....	147
FIGURA 71. ZONAS DE CULTIVO	149
FIGURA 72. ZONAS DE CULTIVO NFT.....	150
FIGURA 73. NECESIDADES DE LA ESTRUCTURA	151
FIGURA 74. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA	154
FIGURA 75. DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE CARGAS A LA ESTRUCTURA.....	156
FIGURA 76. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO PRELIMINAR DEL ÁREA SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA	157
FIGURA 77. ANÁLISIS DE CARGAS AL DISEÑO PRELIMINAR DEL ÁREA INFERIOR DE LA ESTRUCTURA..	157
FIGURA 78. LLANTAS.....	159
FIGURA 79. ORGANIZADOR CON HERRAJES.....	160
FIGURA 80. ORGANIZADOR.....	160
FIGURA 81. PROPORCIÓN HUMANA BASADA EN LA ESTATURA FEMENINA DEL PERCENTIL 50	161
FIGURA 82. ÁNGULOS DE VISIÓN DE PERFIL	162
FIGURA 83. TEOREMA DE TORRICELLI.....	165

FIGURA 84. DIAGRAMA PARA EL PROCESO DE IRRIGACIÓN DE SA	166
FIGURA 85. DIAGRAMA DE CAUDALES DE DESCARGA.....	166
FIGURA 86. BOMBA SELECCIONADA.....	169
FIGURA 87. DIAGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA MASA.....	170
FIGURA 88. DIAGRAMA DE CANAL Y TUBOS VERTICALES	171
FIGURA 89. DIAGRAMA DE CANALES.....	172
FIGURA 90. SISTEMA DE IRRIGACIÓN.....	178
FIGURA 91. SISTEMA ACUAPÓNICO.....	179
FIGURA 92. EXPLOSIVO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	180
FIGURA 93. DIAGRAMA DE DESPIECE DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	180
FIGURA 94. ÁREA OCUPADA EN PLANTA Y DE CULTIVO.	183
FIGURA 95. SISTEMA ACUAPÓNICO APLICADO EN UN COMEDOR	188
FIGURA 96. SISTEMA ACUAPÓNICO APLICADO EN UNA SALA.	188
FIGURA 97. SISTEMA ACUAPÓNICO APLICADO EN UNA RECÁMARA	189

CAPÍTULO 1. ASPECTOS PRELIMINARES

1.1. Introducción

En México la frontera productiva está muy limitada y los sistemas tradicionales de producción no alcanzan a cosechar lo que la población de nuestro país necesita de alimentos (Asociación Hidropónica Mexicana A.C., 2012). Ante ello, en todo el mundo, están surgiendo sistemas alternativos que pueden ayudar a cubrir el déficit en la producción de alimentos.

La acuaponía es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrado de agua, lo cual disminuye el recambio de agua en el estanque de peces que lo convierte en una alternativa moderna y sustentable (Coral, 2015).

Este sistema ha sido desarrollado en el mercado extranjero para cultivos a pequeña escala, sin embargo, uno de los problemas que se observa dentro en México es la ausencia de productos prefabricados de estos sistemas para el hogar, es decir, productos con elementos manufacturados previamente para que su armado final sea en el sitio de aplicación; en este caso, montado con menor dificultad por el usuario en el hogar. Ante esta carencia, aquellas personas interesadas en un sistema así, (ya sea a pequeña escala o a nivel comercial) optan por fabricarlo como "hágalo usted mismo" es decir, de manera improvisada empleando productos existentes como tinas, tubos PVC perforados, mesas, etc; y son adaptadas para la integración de un sistema acuapónico casero.

Ante esta problemática, el presente proyecto de investigación abarca el desarrollo de un sistema acuapónico prefabricado para interiores, combinando áreas de cultivo vertical y horizontal, es decir, proveerle al usuario de un sistema que contenga todas las piezas para únicamente ser ensambladas fácilmente para integrar el producto. Por medio de una investigación donde se analizan cuestiones funcionales, prácticas y estéticas; se propone un producto que se distingue por su combinación

de áreas de cultivo vertical y horizontal con la finalidad de optimizar espacios (tanto en el mismo producto como para los espacios muertos).

El Capítulo 1 presenta la problemática y muestra un preámbulo sobre el proceso que se desarrolló durante la investigación. El Capítulo 2 desglosa la información y conceptos necesarios para el desarrollo de un sistema acuapónico, especialmente sobre aspectos funcionales en materia de diseño y producción.

Se utilizó la metodología de Diseño concurrente de Riba y Molina (2006), la cual se desarrolla a partir del capítulo 3, que abarca las siguientes etapas: 1) Ideación; 2) Desarrollo conceptual y básico y 3) Desarrollo avanzado.

Durante la primera etapa, se interpretaron las necesidades técnicas y del usuario para ser traducidas a requerimientos del producto mediante la herramienta QFD (Quality Function Deployment ó Despliegue de la Función Calidad). Las necesidades se definieron en base a los siguientes cuatro análisis: de mercado, encuestas a un sector de usuario definido, entrevistas con expertos y la información teórica recopilada en el Capítulo 2. El proceso de diseño se desarrolla a partir de la segunda etapa, en donde, se generaron 3 conceptos de diseño con el fin de elegir el que mejor responda a los objetivos de la investigación y a los usuarios; la tercera etapa fue de vital importancia, ya que es donde se resolvió a detalle la configuración de cada una de las piezas del SA aplicando un Análisis de Elemento Finito (AEF) mediante un software CAE, con la finalidad de detectar sus puntos débiles y reforzarlos, lo cual proporcionó certeza de que la propuesta es factible y funcional siendo requerimientos esenciales para el desarrollo de productos.

Por último en el Capítulo 4 se realizó una evaluación del sistema propuesto frente a un producto de referencia (definido por su similitud con el proyecto) mediante una matriz comparativa.

1.2. Antecedentes

La cantidad de habitantes dentro de las grandes urbes está aumentando, se estima que para el año 2050 un 80% de las personas residirán en zonas urbanas (Díaz, 2017), al igual que han ido incrementando los retos referentes al abastecimiento de los alimentos, ya que se han convertido en un factor crítico en las ciudades. A menudo es difícil o imposible cultivar alimentos localmente y una tendencia global ha sido obtener alimentos cultivados lejos del punto de compra, sin embargo, estos productos han llevado un largo tiempo de transporte y por ende de deterioro, es por ello que se han desarrollado diferentes estrategias para una producción orgánica y sustentable dentro de las ciudades.

Una de estas alternativas es la acuaponía, un sistema cerrado que integra el cuidado de peces y la agricultura hidropónica basada en la recirculación del agua y el aprovechamiento de la materia orgánica de las excreciones de los peces y residuos de alimento (Bañuelos, 2017). De esta manera, se reutiliza el agua, los residuos metabólicos acumulados y la materia orgánica para no ser desperdiciados, ya que se canalizan hacia cultivos secundarios generando un valor económico, ya que estos actúan como un fertilizante con todos los nutrientes y minerales necesarios para el crecimiento de cultivos vegetales o de plantas aromáticas.

Un sistema de cultivo acuapónico es una técnica que combina la acuicultura (producción de peces) y la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo) que funciona en un circuito cerrado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015). Emplea una gran variedad de plantas y peces, tanto de consumo como ornamentales.

Según Colagrosso (2014), todos los sistemas acuapónicos están compuestos por elementos esenciales (Figura 1) como: un tanque de peces (acuario), un sistema de aireación para proveer oxígeno a los peces, la biofiltración (que puede ser tanto en un biofiltro especial o dentro del área de sustrato) para albergar las bacterias de nitrificación, un sumidero donde el agua tenga salida a las tuberías, una bomba de agua para dirigir el agua desde el acuario de los peces a los cultivos hidropónicos y regrese al origen en un sistema cerrado y una área de cultivo (camas, canales, mesas, etc.).

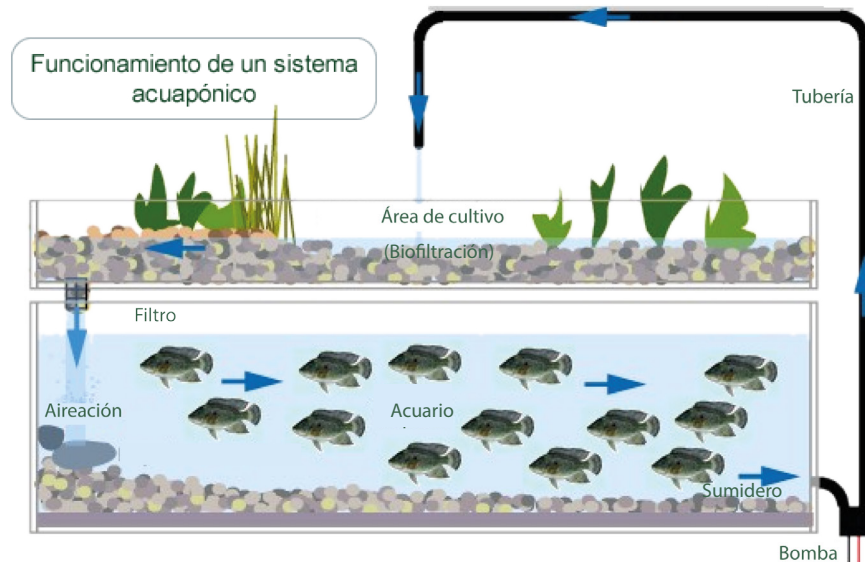


Figura 1. Funcionamiento de un sistema acuapónico.
Fuente: <http://acuaponiarte.com/index/acuaponia/que-es-la-acuaponia>

Estos sistemas se han desarrollado en producciones de manera intensiva (Figura 2), así como también a nivel traspatio como los que se observan en las Figuras 3 y 4.



Figura 2. Sistema acuapónico de producción intensiva.
Fuente: <http://www.telam.com.ar/>

La Figura 3 muestra una alternativa pequeña para principiantes en el hogar, retomando un concepto de auto consumo con la desventaja de poca producción y variedad tanto de peces como de plantas. Para un concepto de auto-consumo con una mayor producción o a nivel familiar, se requiere de un área de cultivo mayor, por lo que, para tener una mayor producción mediante estos pequeños sistemas sólo se puede lograr adquiriendo más de un producto.



Figura 3. Mini tanque acuapónico Water Garden.
Fuente: <https://www.theaquaponicsource.com>

Por otro lado, para una mayor producción también se han comercializado fuera del país, sistemas con áreas de cultivo más grandes, manteniendo los mismos componentes de un sistema acuapónico (SA) básico como se muestran dos productos de SA en la Figura 4, de tipo, a) modulares, que constan de una área de siembra con un acuario debajo o por separado e b) integral, un sistema que junta el acuario y el área de siembra en un mismo producto, agregando compartimientos para almacenamiento y organización como otra función alternativa.



Figura 4. Sistemas acuapónicos. En su modalidad; a) modulares; b) integral.
Fuente: <https://grovegrown.com/>

Estos productos mantienen la misma forma horizontal de cultivo y con dimensiones amplias, con pequeña capacidades de producción tanto de plantas como de peces.

1.3. Planteamiento del problema

Los SA se ha aplicado de distintas maneras variando el tamaño, capacidad, niveles técnicos, materiales, distribución, etc; dependiendo de las necesidades para las cuales haya sido establecido y ha sido empleado en su mayoría a nivel comercial en México. Además, no son producidos a pequeña escala como productos para el hogar o que optimicen espacios. Es por ello que los interesados en estos productos los han implementado de manera improvisada con elementos comerciales en azoteas de las casas, lo que se conoce como huertas urbanas, adaptadas a espacios reducidos. Esta optimización es definida por la RAE (s.f.) como "buscar la mejor manera de realizar una actividad". En general se debe buscar la generación de posibles mejoras a un elemento para una mayor eficiencia, es decir, "hacer más con menos".

Es por ello que dentro de este contexto, los cultivos acuapónicos se han usado en jardines verticales, ya que como menciona la empresa Espacio Vegetal (2016), los jardines verticales han mostrado ser una acertada opción tanto en espacios exteriores como interiores, de modo que permiten aprovechar cualquier espacio en terrazas, jardines, vallas, balcones, viviendas, hoteles, comercios, restaurantes, etc; sin importar los metros cuadrados con los que se disponga, puesto que pueden ser montados en cualquier pequeño espacio disponible, apoyándose de los diferentes diseños, mecanismos, ensambles, funciones, materiales y el tipo de montaje.

Por lo tanto, además de cultivos en camas horizontales, la acuaponía también ha empleado sistemas verticales ya que cumplen con las mismas características que los de tipo horizontal, teniendo la ventaja de un mejor aprovechamiento del área. Sin embargo, independientemente de la escala de producción que se pretenda generar la construcción de éstos sistemas son tardados y complejos.

Planteado lo anterior, se buscó generar el diseño de un Sistema Acuapónico prefabricado combinando áreas de cultivo vertical y horizontal para la optimización de espacios, considerando la relación hombre-objeto-entorno, es decir, teniendo en cuenta aspectos antropométricos, funcionales y de contexto, ya que dentro de las urbes los espacios son limitados. También es importante resaltar que el proceso de diseño hace uso de herramientas como CAD con la finalidad de generar un prototipo virtual que por medio de otra herramienta CAE se aseguró su funcionalidad y factibilidad de producción. Porque no basta con generar un diseño que solo sea estético, este tipo de SA contempla una mayor complejidad y responsabilidad del diseñador.

1.4. Justificación

A medida que aumenta la población, las tierras cultivables se limitan, desgastan y contaminan. Por ello es necesaria una renovación en las estrategias de producción de alimentos en urbes (McGuire y Popken, 2015) como la acuaponía, que ha sido implementada en huertos urbanos que contribuyen significativamente a las familias para darles acceso a alimentos. Esto llega a ser de interés de aquellos consumidores que presentan la preocupación por adquirir productos cuyo consumo no sea dañino para su salud.

El segmento de mayor consumo de estos productos se encuentra en los niveles de alto ingreso y alto nivel educativo, en los que existe mayor disposición a pagar precios Premium (Lobato et al, 2005). Estas personas son un tipo de consumidores que en mercadotecnia se conocen como idealistas, es decir, que pagan lo suficiente para mejorar su calidad de vida, invierten en su alimentación y adquieren este tipo de productos.

Un SA resulta ser un método extremadamente eficiente en el uso de recursos y es sostenible para producir cultivos a cualquier escala (Suits, 2010), es decir, se puede mantener durante largo tiempo sin agotar su flujo de agua en los cultivos a través del sistema de recirculación. Sin embargo, los interesados en sistemas acuapónicos a pequeña escala en México han tenido que implementarlos de manera improvisada adaptando productos existentes (Figura 5), ya que no son ofrecidos en el país con piezas prefabricadas para ser ensambladas en el lugar elegido por el usuario con piezas manufacturadas destinadas específicamente para un SA .



Figura 5. Sistema acuapónico casero

Fuente: <http://espores.org/es/ocio-verde/diy-un-hort-pecera.html>

Como solución al problema anterior desde un enfoque de diseño, se determinó desarrollar un SA con piezas prefabricadas combinando áreas de cultivo verticales y horizontales para la optimización de espacios, retomando las recomendaciones de Furlani & Fernández (2007) donde se menciona que un sistema vertical es viable para la obtención de mayores producciones por área y han mostrado ser una alternativa para la producción de alimentos en las urbes, por lo que para este proyecto se realizaron entrevistas a dos expertos y se recabó información de manera bibliográfica sobre las especies de plantas que sean adaptables a esta combinación de cultivos.

Es necesario no solo tener en cuenta las especificaciones funcionales; sino también las necesidades del usuario y consideraciones del contexto al que se destine el producto, ya que son piezas clave para las características en el diseño del producto propuesto.

Debido a la complejidad del SA para su funcionamiento, es indispensable según Rojas (2006) considerar en el proceso, realizar un prototipo virtual que permita la exhibición del producto, la generación de planos ortogonales y garantizar la factibilidad de cada una de la piezas analizando distintas geometrías con herramientas CAD/CAE.

El aporte académico en el presente trabajo de investigación consistió en desarrollar el proyecto desde una visión hombre-objeto-entorno. Para su desarrollo fueron importantes las contribuciones académicas adquiridas en la carrera de Ingeniería en Diseño, como la aplicación de la antropometría, los materiales, procesos, el diseño y desarrollo de productos, entre otros aspectos. Se buscó generar una alternativa a pequeña escala para hogares mediante un sistema con áreas de cultivo vertical y horizontal, de esta forma, los usuarios podrán obtener parte de sus alimentos sin salir de casa. Este SA desarrollado es único en su tipo, ya que hasta el momento no existe alguno que combine los sistemas vertical y horizontal de cultivo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema acuapónico prefabricado combinando áreas de cultivo vertical y horizontal para la optimización de espacios.

1.5.2. Objetivos específicos y metas

1. Identificar y analizar las características del contexto y productos existentes.
 - 1.1 Investigación bibliográfica de especificaciones y mecanismos un SA.
 - 1.2 Análisis de mercado de los sistemas acuapónicos existentes.
 - 1.3 Recopilación de datos antropométricos del estudio de Ávila, Prado & Gonzáles (2007) para su aplicación.
 - 1.4 Entrevista a dos especialistas para conocer especies con las características adecuadas.
 - 1.5 Definición de los requerimientos de diseño.

2. Desarrollar de manera conceptual y básica el SA.
 - 2.1. Descomposición funcional para determinar la estructura constructiva y obtener especificaciones técnicas.
 - 2.2. Generación de las propuestas del sistema mediante una matriz morfológica y bocetos.
 - 2.3. Selección de la propuesta final.

3. Desarrollar la propuesta seleccionada.
 - 3.1. Modelado 3D de cada una de las partes del sistema a través de un software CAD.
 - 3.2. Definición y descripción de las piezas de las piezas 3D del SA.
 - 3.3. Cálculos funcionales para la elección de elementos comerciales.
 - 3.4. Creación de los planos generales y a detalle finales del SA.

4. Evaluar el SA.
 - 4.1. Matriz comparativa del SA propuesto frente al producto de referencia.

1.6. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se empleó la metodología referida en Riba y Molina (2006) mostrada en la Figura 6, debido a su aplicación como una metodología integradora, que permite la participación (en las decisiones) de distintos enfoques sobre el producto (entorno de mercado, usuarios, diseñador, expertos) característica que comparte con la herramienta del QFD. Además de su relación con herramientas como: Diseño Asistido por Computadora (CAD) e Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) que permiten realizar un análisis mediante un prototipo virtual.

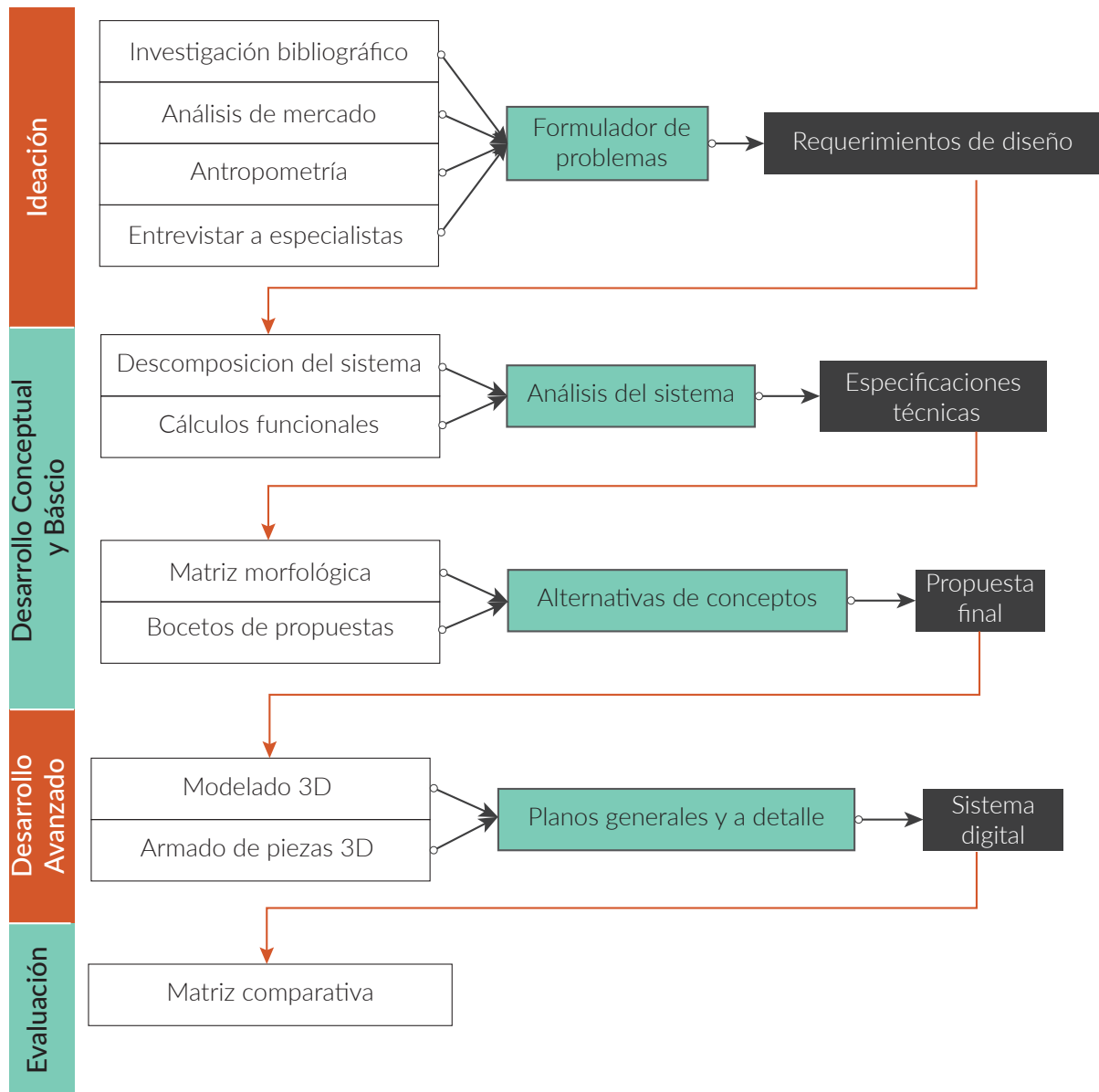


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología adaptada al caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El proyecto para generar un SA mediante la combinación de cultivos con orientaciones vertical y horizontal se fundamentó con una base teórica de datos que contribuyeron a proponer un sistema que responde a las necesidades técnicas. En este capítulo, se incluye la información de las características funcionales de cada una de las áreas dentro del sistema, en base a información de prácticas ya realizadas que sustentan el correcto funcionamiento del sistema.

Esta sección inicia exponiendo de manera general el concepto de Acuaponía, describiendo los elementos que constituyen el sistema para después dividir la información en dos secciones: el acuario de peces y el área hidropónica. También se maneja información con respecto al área de diseño en cuanto al usuario y herramientas que se utilizan durante el desarrollo del producto. Por último, se incluye información de la bomba y los materiales poliméricos que ayudaron a determinar parámetros y procesos para la propuesta.

2.1. Acuaponía

La acuaponía es un concepto relativamente nuevo en México, es un método que facilita la producción de alimentos más cerca de los centros urbanos. Esencialmente es un sistema que combina dos prácticas bien establecidas que son: la acuicultura recirculante y la hidroponía. Definiendo a la acuicultura como: el cultivo de peces, crustáceos o moluscos; y a la hidroponía como el cultivo de vegetales, flores y/o hierbas que son alimentadas por medio de soluciones acuosas.

Este modelo funcional de producción sostenible de alimentos, en primer orden, satisface una necesidad básica, que es la alimentación, a partir de un sistema en el que los desechos orgánicos producidos (por algún organismo acuático) funcionan como fuente de alimento para las plantas, es decir, proporciona una solución de nutrientes completamente natural para su crecimiento. Éstas a su

vez, toman los nitratos de los desechos acuáticos y limpian el agua para los peces, actuando como filtro biológico (FAO, 2014; Diver, 2000; Ramírez, et al. 2017).

Debido a la interacción entre ambos sistemas de producción (plantas y animales acuáticos), la rentabilidad se incrementa, al adquirir un mayor valor comercial por considerarse productos saludables, es decir, están libres de químicos como pesticidas, fertilizantes, etc.

Las unidades acuapónicas con un acuario de aproximadamente 1,000 litros y un espacio de cultivo de aproximadamente 3 metros cuadrados se consideran de pequeña escala; unidades de este tamaño han sido probadas con gran éxito y son apropiadas para la producción doméstica de un hogar familiar o de poca producción.

Todo diseño de un SA puede configurarse y dimensionarse siguiendo un patrón general (Figura 7), de manera que permita un correcto funcionamiento identificando los elementos esenciales y diseñando el sentido de circulación del flujo de agua (FAO, 2014; Rakocy et al., 2006).

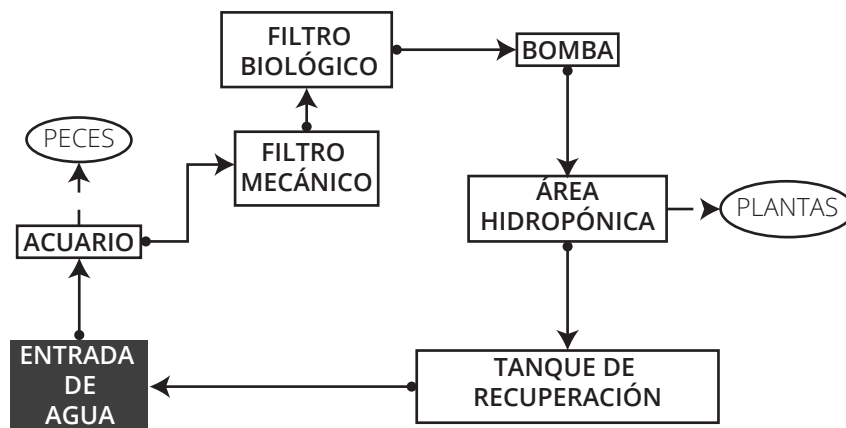


Figura 7. Elementos del funcionamiento de un sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El sistema inicia con la introducción de agua y peces al acuario, seguido de un contenedor que permita una filtración mecánica (o eliminación de sólidos) y posteriormente uno con área suficiente para el proceso de filtración biológica; éstos dos últimos vienen siendo unidades de tratamientos previos, para poder transportar el agua al área hidropónica del componente vegetal (o subsistema hidropónico). Inmediatamente después se coloca un tanque de recuperación de agua del sistema, que es un nivel más bajo para contener agua, donde generalmente es instalada la bomba que tiene la función de hacer circular el agua por el sistema.

2.2. Acuario de peces

Esta sección describe cada uno de los 5 elementos que conforman al área acuícola como lo son: el acuario (contenedor), las especies de peces, aireación, el método de filtración y la bomba; los cuales, intervienen para determinar parámetros y características en la planeación de diseño.

2.2.1. Acuario

Un acuario cumple la función de albergar los peces u otros organismos acuáticos a criar. El tipo y el tamaño a emplear depende del número y especies que va a contener (Yáñez, 2013). Al situarse dentro de una vivienda debe contribuir a la ornamentación de ella y sus dimensiones deben corresponder al espacio disponible.

Dentro de él los animales producen desechos metabólicos (heces y orina) y restos de comida, compuestos en su mayor parte por amoníaco (NH_3). Esta sustancia puede ser procesada por las plantas sin ningún problema, sin embargo, los nitratos son más fácilmente asimilados por las raíces y para poder obtenerlos se hace uso de bacterias nitrificantes (Carruthers, 2015).

Hay varios aspectos importantes a considerar dentro del proyecto, como: la forma, el material y el color. Por cuestiones de funcionalidad, se recomiendan acuarios redondos con fondos planos, ya que permiten que el agua circule de manera uniforme y transporte los desechos sólidos hacia el centro por la fuerza centrípeta. Por otro lado, aunque los acuarios cuadrados con fondos planos son perfectamente aceptables, la forma afecta en la circulación del agua y es bastante riesgoso tener mala circulación. Los acuarios de formas no geométricas y muchas curvas pueden crear puntos muertos en el agua sin circulación, lo que puede reunir desechos y crear condiciones peligrosas para los peces.

Si se va a usar uno con formas orgánicas, puede ser necesario agregar bombas de agua o bombas de aire para garantizar una circulación adecuada y eliminar los sólidos. Es importante elegir un acuario que se ajuste a las características de las especies acuáticas; ya que muchas especies de peces de fondo muestran un mejor crecimiento y menos estrés con un espacio horizontal adecuado (FAO, 2014).

Es recomendable usar un material fuerte, inerte, durable y de larga vida útil. Además el color también es una característica importante, ya que los colores blancos y claros por su transparencia permiten observar el comportamiento dentro del acuario.

Las dimensiones de un acuario difieren de acuerdo a las preferencias del usuario, sin embargo, no están restringidas a solo necesidades estéticas, sino a ciertas características que requieren los peces y el sistema en sí. Ciertas características pueden llegar a ser perjudiciales para los peces, por ejemplo, el área en el plano horizontal, ya que un acuario estrecho y largo reduce el espacio a ocupar dentro de la vivienda, pero puede llegar a provocar estrés en los peces al no tener área para moverse.

Existen ciertos aspectos de seguridad que se deben tomar en cuenta al diseñar acuarios, los cuales también fueron considerados en el proyecto para la generación de las propuestas de SA. Según Teton (2003) estos aspectos conciernen a:

1. La estabilidad y solidez de los apoyos. Se refiere a contemplar el peso en función de su capacidad en litros, tomando como referencia la relación de 1 litro equivalente a 1 kg. Además de ello, se debe considerar el peso específico de los materiales constituyentes del sistema en general.
2. La resistencia de los materiales. Referente a los espesores del material para el acuario. Los materiales preferentes para acuarios son el vidrio, acrílico o LDPE (Low Density Polyethylene o Polietileno de Baja Densidad). Entre estos tres, el mejor para cuestiones de forma, estética y de resistencia es el acrílico debido a su brillo, transparencia, resistencia y manipulación para termoformado, con la desventaja de ser el más costoso. Dichas características son muy similares al vidrio para el cual, actualmente se especifican las dimensiones empleadas por seguridad en el ámbito comercial mostradas en la Tabla 1. Esta tabla muestra las dimensiones que generalmente son aplicadas a los acuarios y el grosor (mm) del material, dependiendo de la capacidad en litros que puede resistir cada acuario.
3. Los dispositivos de distribución de la electricidad. Se refiere a toda la intervención eléctrica que va a alimentar a los aparatos que intervienen con el funcionamiento del sistema como: la bomba, el aireador, filtros e iluminación.

Tabla 1. Dimensiones estándares comerciales de acuarios.

Dimensiones de la pecera (cm)	Espesor del material (mm)	Capacidad (litros)
60x30x30	4	54
60x30x40	6	72
80x30x40	6	96
100x30x40	6	120
120x30x40	6	144
80x40x50	8	160
100x40x50	8	200
120x40x50	8	240
150x40x50	8	300
200x40x50	8	400
120x50x60	10	360
150x60x60	10	450
200x50x60	10	600
250x50x60	10	750

Fuente: Teton, 2003

El acuario contiene el elemento primordial de un SA, que es el agua; el medio de transporte para todos los nutrientes. El objetivo en general es mantener el sistema saludable con ciertos parámetros clave para una buena calidad del agua: oxígeno, pH, temperatura, nitrógeno y alcalinidad; pero los más importantes para equilibrar son: el pH y la temperatura. Para llevar un control de todos estos factores se requiere el conocimiento por parte del usuario para hacer las pruebas regulares, que se pueden realizar con ayuda de los kits de prueba de calidad del agua obtenidos de compañías de suministro de acuicultura (Connolly y Trebic, 2010).

2.2.2. Especies acuáticas

Según la FAO, existe una variedad de especies que están adaptadas a los sistemas de recirculación en la acuaponía, los cuales son necesarias para solicitar recomendaciones a expertos basadas en el

conocimiento previo de estas especies mostradas en la Tabla 2 la cual muestra:

- Los peces que son aptos para acuaponía;
- Especifica si la especie es de tipo comestible u ornamental;
- El rango de temperatura en el que cada especie prevalece;
- Su ritmo de crecimiento en una relación de gramos/meses.

Tabla 2. Especies adaptadas a los sistemas de re-circulación en la acuaponía

	Especie	Comestible/ Ornamental	Temperatura	Tasa de crecimiento (Etapas de crecimiento)
1	Tilapia (<i>Oreochromis</i>)	X	27 - 30 °C	600 gramos en 6-8 meses
2	Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>)	X	25 - 30 °C	600 gramos en 9-11 meses
3	Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	X	14 - 16 °C	1000 gramos en 14-16 meses
4	Bagre (<i>Ictalurus punctatus</i>)	X	24 - 30 °C	400 gramos en 9-10 meses
5	Mújol (<i>Micropterus salmoides</i>)	X	20 - 27 °C	750 gramos en 9-11 meses
6	Gamba de río gigante (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	X	26 - 32 °C	30 gramos en 4-5 meses
7	Barramundi (<i>Lates calcarifer</i>)	X	26 - 29 °C	400 gramos en 9-10 meses
8	Pez dorado (<i>Carassius auratus</i>)		X	-
9	Carpa dorada (<i>Carassius auratus</i>)		X	-
10	Langostinos (<i>Dendrobranchiata</i>)		X	21 - 31 °C

***Nota:** Los guiones significan que esa característica no se encontró en el análisis realizado.
Fuente: FAO, 2014

2.2.3. Aireación

El proceso de aireación se utiliza para mezclar, hacer circular o disolver aire dentro de un líquido u otra sustancia. El agua y el oxígeno, en contacto, están separados por una película de naturaleza particular que se opone al paso de los constituyentes de una fase a otra. Por lo que la agitación del gas y/o el líquido aumentan las posibilidades de disolución.

Los sistemas de aireación se pueden clasificar en los dos grupos mostrados en la Figura 8, que son aireación mecánica o por gravedad de los cuales se aplicó el más pertinente en el sistema:

Aireación	Mecánica	La aireación mecánica, se consigue utilizando la energía mecánica para provocar la ruptura del agua en gotas.
	Por gravedad	Comúnmente se les denomina aireadores de cascada o cataratas. Utilizan la energía liberada cuando el agua pierde altitud al aumentar el área superficial aire-agua, por lo tanto, se incrementa la concentración de oxígeno del agua.

Figura 8. Tipos de aireación
Fuente: Galli (2007).

Ya que la aireación por gravedad es ampliamente usada por su fácil diseño y economía, a continuación se describen los cuatro tipos mostrados en la Figura 9: vertedero simple (Figura 9A); con espumador (Figura 9B); plano inclinado corrugado con o sin orificios (Figura 9C y 9D) los cuales fueron considerados para las propuestas de diseño ya que se optó por la aireación por gravedad.

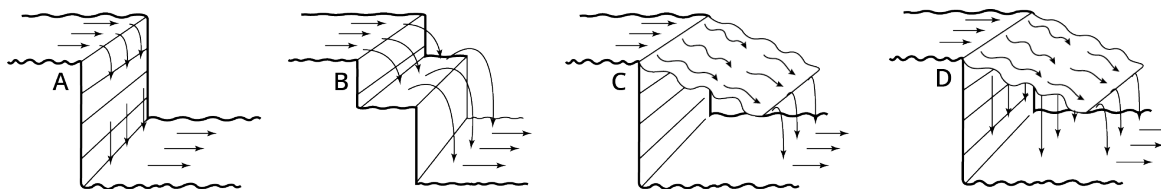


Figura 9. Tipos de aireadores de cascada.
Fuente: Lawson, 1995

Carruthers (2015) menciona que para sistemas acuapónicos a nivel intensivo la cantidad de oxígeno que se disuelve directamente desde la superficie del agua es insuficiente para satisfacer las demandas de los peces, plantas y bacterias. Sin embargo, en sistemas a pequeña escala es suficiente con el oxígeno provisto en la superficie del agua, además de tener vigilancia del comportamiento de los peces y el crecimiento de las plantas.

2.2.4. Filtración

Según la RAE (2018), un filtro es cualquier materia porosa, como el fieltro, el papel, la esponja, el carbón, arena, piedras menudas, etc., a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión. Su función es limpiar el agua de impurezas sólidas.

i. Filtro mecánico

Los filtros se sitúan inmediatamente después del acuario que contendrá los peces y su función es eliminar todas las partículas sólidas de mayor tamaño que genere el acuario. Si estos sólidos permanecieran dentro, en un corto plazo se interrumpiría el correcto funcionamiento del sistema ya que la acumulación de desechos sólidos causa bloqueos en las bombas y en los componentes de la tubería. Además, los desechos no filtrados son peligrosos debido a la descomposición de la materia orgánica, albergando bacterias que producen sulfuro de hidrógeno, que es un gas muy tóxico y letal para los peces.

Existen varios tipos de filtros mecánicos que primordialmente han surgido para sistemas a nivel intensivo, sin embargo, para la acuaponía a pequeña escala (que suele tener densidades de población inferiores) también es esencial algún nivel de filtración mecánica para tener sistemas acuapónicos sanos.

Para cultivos con camas de sustrato donde la densidad de cultivo es mínima, pudiera ser innecesario colocar un filtro mecánico. Sin embargo, cuando la densidad de carga excede 15kg/m^3 o si la tasa de alimentación es superior a 50 g/día por cada metro cuadrado de cama de cultivo, puede integrarse en el diseño un filtro.

Hay varias opciones para este filtro mecánico adicional, de manera que tenga la función de un filtro que pueda quitarse frecuentemente y enjuagarse, por lo que su aplicación en el diseño del proyecto debió considerar estos aspectos.

Estos filtros requieren una limpieza regular para reducir la acumulación de nitratos y favorecer la estabilidad del acuario. Según su ubicación en el acuario, los filtros comerciales se pueden generalizar dentro de la clasificación que se desglosa en la Figura 10.

Filtros	De cascada	Este sistema cuelga del tanque por el exterior y suele ofrecer mayor espacio para material filtrante que el filtro interno. Sin embargo, no se aplica a sistemas acuapónicos debido a que este tipo de filtros realizan la limpieza completa del agua, lo que en acuaponía, es tarea de las plantas.
	Interno	También llamado “sumergible”, es el sistema de filtrado que se coloca en el interior del tanque, ocupando un valioso espacio.
	Externo	Es el mejor y más eficiente, se trata de un contenedor más grande para el material filtrante. Mediante un tubo se introduce el agua, que atraviesa los filtros de abajo-arriba y una bomba la devuelve al acuario.

Figura 10. Clasificación de filtros según su ubicación
Fuente: Elaboración propia, 2018, con información de proveedores.

Si no se opta por un filtro que ya se comercialice como los de la figura anterior, Galli (2007) presenta algunos de fácil y básica manipulación que son:

1. Cribas. Consiste en una criba fija puesta perpendicularmente a la trayectoria del flujo del agua, generalmente las cribas se utilizan para partículas mayores a 1.5mm de diámetro.
2. Filtros de arena por gravedad. La sedimentación emplea la fuerza de gravedad sobre las partículas sólidas del filtro. Consiste en hacer entrar el fluido por la parte superior y pasa hacia abajo a través de las capas del filtro, de este modo las partículas grandes quedan atrapadas entre grano y grano de arena (la gravedad proporciona la energía necesaria para inducir el flujo a través del filtro). Los tamaños de partícula de arena varían de 2 a 0.02mm. Se puede utilizar también roca, carbón, grava o cualquier otro material para reducir el tamaño de las partículas que puedan ser atrapadas. El dispositivo de sedimentación más básico es un tanque rectangular, donde el agua entra por un extremo y sale por el contrario; los sólidos recolectados deben retirarse regularmente del tanque.

ii. Filtro biológico

La mayoría de los desechos acuáticos no son removidos por el filtro mecánico debido al pequeño tamaño de éstas partículas, para este caso se utiliza la biofiltración.

La biofiltración es esencial en acuaponía porque el amoníaco y el nitrito que se producen son tóxicos incluso en bajas concentraciones, mientras que las plantas necesitan nitratos para crecer. Por lo tanto, la tarea de una biofiltro es proporcionar un hábitat para que las bacterias nitrificantes que habitan dentro de él puedan convertir los desechos de peces en nutrientes accesibles para las plantas (FAO, 2014; Diver, 2000; Ramírez, et al. 2017).

De igual forma la FAO (2014) menciona que en el caso de cultivos con sustrato, todos los medios de crecimiento tienen una gran área superficial donde las bacterias nitrificantes pueden colonizar. Por lo tanto, los sustratos llegan a proveer una filtración biológica adecuada para producciones a pequeña escala.

2.2.5. Bomba.

La bomba es el motor del SA, el movimiento del agua es fundamental para mantener todos los organismos vivos, si el movimiento del agua se detiene, el efecto más inmediato será una reducción de oxígeno y habrá acumulación de desechos.

El agua fluye desde el acuario hasta el filtro mecánico que captura los desechos sólidos. Luego pasa a través de un biofiltro donde las bacterias residentes convierten los desechos en nutrientes útiles para el crecimiento de las plantas y entonces es dirigida al área hidropónica, para que las raíces reciban estos nutrientes mientras fluye el agua. Una vez que las áreas de cultivo limpian el agua, esta fluye hacia un sumidero que es utilizado para almacenar el agua antes de que se transfiera nuevamente al acuario de peces (Connolly y Trebic, 2010; Rakocy et al., 2006.)

El tanque de sumidero es donde normalmente es colocada otra bomba de agua. A pesar de su gran utilidad en un sistema, no es un componente esencial para unidades pequeñas, por ejemplo, con una capacidad de 200 litros de agua basta con ser bombeada desde donde el agua se filtra en el acuario de peces.

Una pauta para sistemas acuapónicos a bajas densidades (como lo que se plantea en el presente proyecto) es que el agua solo necesita ser ciclada una vez por hora.

En conclusión, la investigación de los aspectos relevantes del acuario permitió conocer los tipos de materiales que fueron considerados, así como su capacidad volumétrica que se relaciona con el espesor del material para su resistencia. Las especies acuáticas se aplicaron como base para solicitar recomendación a un experto sobre su selección.

Conocer los tipos de aireación y de filtración permitieron determinar que todo SA a pequeña escala puede omitir un aireador y un filtro biológico en su listado de piezas. Sin embargo, para mantener un hábitat más eficiente se determina el uso de una aireación por gravedad; y únicamente dos filtros mecánicos simples, uno para la salida de agua del acuario y el segundo para el retorno de agua al mismo para tener una mayor limpieza. Ambos fueron incluidos en el desarrollo de las propuestas de diseño y se seleccionaron en la Etapa 3: Desarrollo Avanzado de la metodología. Y por último, la integración de una bomba dentro del sistema debe permitir un buen ciclado del agua dentro del sistema, para lo cual es necesario el planteamiento del sistema de irrigación de las áreas de cultivo.

2.3. Área hidropónica.

La segunda área de todo SA es la de cultivo hidropónico, en la cual intervienen 6 aspectos esenciales: las técnicas de cultivo hidropónico; el cultivo vertical; el contenedor que se requiere dependiendo de la técnica; las especies; las proporciones entre peces/plantas y el riego-drenado de esta área. Dependiendo de la técnica que se aplique se deben tomar en cuenta sus diferentes condiciones para el diseño de los elementos que intervienen, como los contenedores y la instalación hidráulica.

2.3.1. Técnicas de cultivo hidropónico

Existen tres técnicas de cultivos hidropónicos: a) técnica de película de nutrientes (NFT, por su nombre en inglés, "Nutrient Film Technique"), b) sustrato sólido inerte y c) raíz flotante.

i. Técnica de película de nutrientes

En la técnica NFT (Nutrient Film Technique o Técnica de Película de Nutrientes) las raíces se encuentran expuestas a una lámina de agua circulante con nutrientes, el fluido solo cubre la parte

inferior de las raíces dejando al aire la parte superior, lo cual permite un buen suministro de oxígeno en las raíces (Connolly y Trebic, 2010; Carrasco e Izquierdo, 1996).

Según Bañuelos (2017), los sistemas acuapónicos que funcionan a partir de esta técnica requieren el uso de un biofiltro, ya que al no haber una gran superficie se pueden desarrollar bacterias y el biofiltro se encarga de eliminarlas. Es el método que utiliza el menor volumen de agua, por lo que las plantas deben ser contenidas en algún soporte individual de plástico ranurado suspendido sobre el canal, permitiendo que sus raíces alcancen el nivel del agua. Este sistema es muy utilizado para plantas pequeñas como las lechugas, perejil, albahaca u otras similares que no necesitan gran sostén (Caló, 2011).

Los componentes básicos de un método NFT (además de los principales que son el acuario de agua y la bomba) son los canales de cultivo, la red de distribución y la tubería recolectora.

ii. Sustrato sólido inerte

Para la técnica con sólido inerte la siembra es similar a la forma convencional, con la diferencia de que en lugar de tierra se emplea un “sustrato”. El sustrato es algún material sólido que sirva como medio de anclaje para las raíces y a su vez, atrapa los lodos y sólidos del acuario, ya que también funcionan como medios de biofiltro.

Para este medio, un pequeño chorrillo de agua entra en la parte superior de la bandeja, fluye a través del sustrato para mantenerlo húmedo y se descarga en un canal en el extremo inferior. Los sólidos deben eliminarse del agua antes de que entre en la bandeja del sustrato.

Para delimitar el diseño de un SA que debe emplear un medio, se debe considerar que sea el método más eficiente con respecto al proceso de nitrificación; por lo cual se vuelve innecesario el uso del filtro mecánico y un biofiltro para regresar el agua con los niveles suficientes de calidad para los peces (Connolly y Trebic, 2010, Candarle, s.f.).

Sin embargo, aunque este lecho proporcionaría una biofiltración adecuada, así como la captura y retención de desechos sólidos, a veces se recomienda colocar un dispositivo adicional de captura de sólidos; así se evita que el sustrato se obstruya con sólidos de residuos de pescado a largo plazo.

Por consiguiente, la cama necesitará enjuagarse periódicamente para eliminar los desechos sólidos.

Según Caló (2011) este método con un sustrato brinda soporte a las raíces de las plantas, por lo que se aconseja su uso para el caso de producciones de plantas frutales (que necesitan sostén por su peso) como los tomates, pimientos, etc., o deben emplearse en condiciones climáticas adversas, como los vientos. Además, proporcionan un excelente medio de cultivo para especies rastreras o con tubérculos como son las cebollas, remolachas, zanahorias, etc.

iii. Raíz flotante

Para la técnica de raíz flotante las plantas se cultivan flotando sobre placas de poliestireno con un espesor adecuado que va de los 4 a los 5 cm, con perforaciones de 2x2cm por donde se introducirán las plántulas a una distancia adecuada del cultivo. En estas perforaciones se colocan vasos plásticos ranurados de un material liviano que permiten que las raíces cuelgan libres en el agua para absorber los nutrientes.

Lo que lo diferencia con la NFT, es que en esta técnica el nivel del agua es de 10 a 20 pulgadas de profundidad. Al tener siempre en agua a las raíces, este método no tiene posibilidad de aireación, por lo que el agua en los contenedores debe ser aireada mediante burbujeo de manera continua (Caló, 2011).

2.3.2. Cultivo vegetal

Ya sea que se cultive en interior o en exterior, las plantas tienen las mismas necesidades. De acuerdo con Cervantes (2017) son seis factores los que influyen en el crecimiento y floración de las plantas: la luz, el aire, el agua, los nutrientes, el sustrato de cultivo y la temperatura.

Es indispensable que el espectro luminoso y la intensidad de la luz sean los adecuados; que el aire sea cálido y rico en dióxido de carbono; que el sustrato de cultivo esté aireado y contenga los nutrientes en cantidades suficientes; lo cual es resuelto con el método de cultivo adecuado y con la circulación del agua de los peces. Cuando todas las necesidades están cubiertas, el crecimiento de las plantas es óptimo.

i. Iluminación

Las plantas requieren la luz suficiente para la fotosíntesis, lo cual es algo natural en el caso del cultivo a cielo abierto, sin embargo, es un problema común para el cultivo en interiores.

Se le conoce como “luz de crecimiento” a los sistemas de iluminación empleados en los cultivos en interiores, son una fuente de luz artificial que simula la luz del sol natural y proporciona la luz adecuada para promover el crecimiento de la planta y flor.

De acuerdo con Gonzalías y Lasso (2016) este tipo de iluminación tiene tres propósitos:

- Proporcionar la luz que la planta necesita para crecer;
- Complementar la luz natural, sobre todo en los meses de invierno, donde las horas de luz día son cortas y;
- Aumentar el periodo de la luz de día con el fin de disparar el crecimiento y la floración.

Para el caso del cultivo vertical, cada capa de cultivo sombrea la capa inferior, por lo que es necesaria la colocación de lámparas en cada estante, es decir, no es conveniente utilizar este sistema de cultivo sólo con luz natural (Bures, 2018).

Las luminarias LED son la invención más significativa en la luminotecnia hortícola en las últimas décadas. Estos dispositivos pueden ser ubicados muy cerca de las plantas y pueden ser configurados para emitir un alto flujo de luz incluso a intensidades altas sin generar luz ultravioleta ni infrarroja. Su costo es relativamente bajo en comparación a su eficiencia, lo que indica que su consumo energético es más bajo que cualquier otra fuente de luz artificial.

Las plantas requieren luz a través de toda su vida útil, desde la germinación hasta la floración y la producción de frutos y/o semillas. Cuando se usa luz artificial como iluminación en plantas, conviene permitirles hacer la fotosíntesis utilizando aquella radiación llamada PAR ("Photosynthetically Active Radiation" o "Radiación Activa Fotosintéticamente").

Esta radiación es una combinación de luz roja y azul de LED que permite un buen desarrollo de las plantas debido a que se encuentra en las regiones de máxima capacidad de absorción fotosintética.

Sus longitudes de onda son 680nm comprendida por luz roja que tiene una fuerte influencia sobre el crecimiento vegetativo, la fotosíntesis, la floración y la germinación. Al igual que la de 460nm que es la luz azul. Debido a que los dispositivos azules son un 40% más eficientes que los rojos, la configuración y diseño para los paneles o lámparas consiste en ubicar por cada 2 LED rojos, 1 LED azul, lo que permite tener un patrón de iluminación casi homogéneo.

La distancia a la que se ubica la lámpara puede variar de acuerdo al tamaño, tipo de cultivo y a la intensidad de luz emitida por la misma, por lo que es preferible ubicar el sistema de iluminación aproximadamente a 30 centímetros del cultivo, de tal forma que abarque toda el área de cultivo.

ii. Sustrato

El sustrato es un material sólido distinto del suelo natural que es colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla que permite el anclaje de las plantas (Beltrano y Gimenez, 2015), está formado por tres fases:

- Fase sólida, constituida por las partículas del sustrato;
- Fase líquida, constituida por el agua o solución que contiene sustancias disueltas;
- Fase gaseosa, que es el aire en los poros del sustrato.

Los sustratos son materiales de gran importancia para un cultivo hidropónico, pueden ser de tipo natural o sintético, mineral u orgánico, pero estos deben de reunir las características de un buen sustrato. Las características físicas del sustrato están asociadas directamente con la capacidad de proveer agua y aire a las plantas, esto se logra a través de la porosidad del material.

Algunas de las propiedades físicas de los sustratos que tienen influencia dentro del proyecto retomadas de Martínez y Roca (2011) son descritas a continuación en la Tabla 3, se presentando los niveles óptimos que el sustrato debe tener.

Tabla 3. Niveles óptimos en las propiedades del sustrato.

Propiedad	Rango de valores
Tamaño de partícula (mm)	0.25 - 2.50
Densidad real (g/cm ³)	1.45 - 2.65
Densidad aparente (g/cm ³)	0.15
Porosidad total (% vol)	> 85
Capacidad de aireación (% vol)	20 - 30
Agua fácilmente disponible (% vol)	20 - 30
Agua de reserva (% vol)	4 - 10

Fuente: Boodt (1974, 1975); Bunt (1988); Abad et al. (1992); Baudoin et al. (2002)

1. Granulometría. La granulometría de un sustrato es el tamaño de las partículas; expresa la distribución de las partículas como porcentaje de su masa, en relación con la masa total seca al aire. Se consideran materiales gruesos aquellos cuyas partículas son mayores a 0.9 mm, son sustratos con buena aireación pero escasa retención de agua. Los materiales finos tienen partículas menores de 0.25 mm y retienen mucha agua pero su capacidad de aireación es muy pequeña.
2. Densidad real. La densidad real es la relación entre la masa del material seco y el volumen real que ocupa por las partículas sin incluir el espacio de poros. La densidad real de los materiales orgánicos ronda los 1.45 g/cm³ y la de los minerales es de alrededor de 2.65 g/cm³.
3. Densidad aparente. La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del material seco a 105°C y el volumen ocupado, incluido el espacio de poros intermedio. La densidad aparente representa la forma en que el sustrato se presenta en la realidad y por lo tanto indica su peso. Por cuestiones de estabilidad y viento para el cultivo de plantas en contenedores al aire libre se recomienda una densidad aparente de 0.50 a 0.75 g/cm³, mientras que si se cultivan en invernadero, puede ser menor de 0.15 g/cm³.
4. Porosidad total (PT). La porosidad total es el volumen total de sustrato no ocupado por partículas.

5. Agua fácilmente disponible (AFD). Es el volumen de agua que libera el sustrato lo que permite una buena disponibilidad de agua para la planta y un nivel de aireación suficiente para las raíces. Se considera como óptimo un rango de valores de agua fácilmente disponible entre 20 y 30% (en volumen).
6. Agua de reserva (AR). Es el volumen que se libera cuando la tensión de succión en el sustrato aumenta de 50 a 100 cm de c.a. El valor óptimo del agua de reserva se encuentra en el rango de 4 a 10% (en volumen), y se considera la suma de AFD y AR como agua disponible (AD) para la planta, con un rango óptimo entre el 24 y el 40% (en volumen).

iii. Cultivo Vertical

La jardinería vertical hace referencia al cultivo y crecimiento de plantas en un plano vertical. Nacen de la necesidad de introducir la “naturaleza” a los espacios cerrados, de los entornos urbanos; mejoran la estética de las ciudades, aprovechan los espacios laterales y en algunos de ellos se plantan vegetales comestibles llamadas huertas verticales.

Los jardines verticales están formados por los siguientes elementos principales (Molina, s.f.):

- Una estructura, que cumpla una función de soporte, y que permite colocarlo en vertical
- El sustrato utilizado como retenedor de agua.
- La selección de las plantas se hace de acuerdo con su aplicación y preferencias.
- De modo optativo, construir un sistema de riego de acuerdo con el tamaño del jardín.

Para un cultivo vertical se deben tener consideraciones como el peso, ya que también es un factor importante a la hora de instalarlo debido a que debe ser soportado por la estructura que se plantee, ya sea una pared para colocarlo, que puede ser tanto interior como exterior, o, si la estructura es autoportante no hace falta que sea sujetado en ningún muro, en cuyo caso se deben emplear materiales que sean livianos además de tener en cuenta el peso adicional como el sustrato, las plantas y el agua.

Actualmente los cultivos que más frecuentemente se cultivan en granjas verticales son las lechugas, plantas aromáticas y de condimento culinario. Es muy común el cultivo hidropónico, ya que tiene grandes ventajas para el desarrollo del cultivo, pues permite aportar nutrientes, adaptándolos a las necesidades de la planta.

Es por ello que se ha recopilado una lista de especies de plantas aptas para jardinería vertical debido a la experiencia y especificaciones de espacio y peso que emplean diversos proveedores de plantas (Tabla 4).

Tabla 4. Especies de plantas aptas para jardinería vertical

	Especie	Plantas por maceta	Forma de siembra	Soporte
1	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	3	Trasplante/Directo	NO
2	Tomates Cherry (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>)	1	Trasplante/Directo	SI
3	Fresa (<i>Fragaria</i>)	1	Trasplante	SI
4	Pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	1	Directa	SI
5	Aromáticas y Culinarias	5	Trasplante	NO
6	Rábano (<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>sativus</i>)	10-12	Trasplante/Directo	NO
7	Acelgas (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>)	3	Directa	NO
8	Chile (<i>Capsicum annuum</i>)	1	Trasplante	SI
9	Cebollín (<i>Allium schoenoprasum</i>)	2	Trasplante	NO

Fuente: Elaboración propia, 2018 con información de Martorell (2017).

Para cada especie se especifica el número de plantas que pueden coexistir en una misma maceta. La forma de siembra se refiere a la forma de colocar las semillas para germinar, en este caso se mencionan únicamente dos: la directa y de trasplante.

En la forma directa se colocan desde el principio en el terreno definitivo donde crecerán las plantas hasta el momento de la cosecha. La de trasplante es aquella donde se requiere tener protección de las semillas de condiciones meteorológicas adversas y poco propicias para la germinación, esto debido a que son muy pequeñas o demoran mucho en germinar y necesitan cuidados especiales, para después que se estabilizan ser trasplantarlas una vez estables al terreno definitivo.

La última columna de la tabla señala aquellas especies que requieren tener un soporte adicional, debido a la debilidad que poseen en el tallo y el requerimiento de apoyo para sostenerse y crecer.

2.3.3. Contenedor

Un cultivo normal en contenedor depende de las características de éste para el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción con las características del contenedor como lo es la altura, el diámetro, etc. Sin embargo, al tratarse de un cultivo acuapónico, se tienen en cuenta otros aspectos adicionales.

Al principio de la práctica del cultivo hidropónico y ante la falta de productos apropiados, se utilizaban alternativas improvisadas para los canales de cultivo. Estas improvisaciones presentaban deficiencias en cuanto a las restricciones que el cultivo requería como evitar la contaminación de sustancias tóxicas que podían presentar los materiales, considerar el peso del contenedor, así como del agua que circulaba, tener una buena ventilación y que el material evitara el calentamiento en épocas de calor, el color y el grosor de las paredes del contenedor debía impedir el paso de la luz para evitar más acumulación de algas en el sistema.

Por consiguiente, a continuación se describen las necesidades de los contenedores dependiendo de cada sistema de cultivo hidropónico

i. Cultivo NFT

Para el caso de un cultivo NFT, Carrasco (1996) considera que para asegurar la altura de la lámina de agua es importante proponer canales de sección rectangular, ya que permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo del canal. También se requiere que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el rápido desplazamiento de la solución a través del canal de cultivo, con un flujo requerido que no supere los 2 a 3 litros por minuto y normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada.

Los canales de cultivo para la producción de lechuga mediante este método debe ser mínimo de 6 cm de ancho, aunque normalmente son de 4 pulgadas de diámetro con perforaciones de 1 3/4".

La lámina que debe circular de forma permanente por el cultivo y no debe alcanzar una altura superior a los 4 ó 5 mm, para favorecer así la aireación del fluido y por ende la oxigenación de las raíces durante todo el período de cultivo. Pero para cuestiones de una combinación de cultivos

donde el agua estará circulando a modo de ciclos con bases empíricas, se recomienda hacer circular el agua mediante un TIMER con intervalos de tiempo y con una duración que por lo regular es de 3 minutos. Se recomienda programarlo de tal manera que solamente trabaje durante las horas de luz del día y no se debe dejar más de 4 horas durante el día sin que el sistema esté circulando.

Inmediatamente después de las tuberías de distribución debe colocarse una tubería colectora, que será la que se ocupe como su nombre lo indica, de recolectar el fluido proveniente de los canales para retornarlo al acuario de peces. Para el desarrollo de esta técnica es necesario el uso de soportes individuales para cada planta, que son las canastillas para hidroponía NFT.

Las canastillas son recipientes en forma de canasta elaborados a base de polipropileno que resisten a la humedad y la formación de micro organismos dentro de dicho sistema. Son diseñados exclusivamente para el desarrollo de cultivos en sistemas hidropónicos, con orificios alrededor del recipiente para poder deslizar las raíces y para que estas puedan entrar en contacto con la solución nutritiva que corre debajo de ellas. Normalmente cada canastilla cumple con las medidas mostradas en la Figura 11.

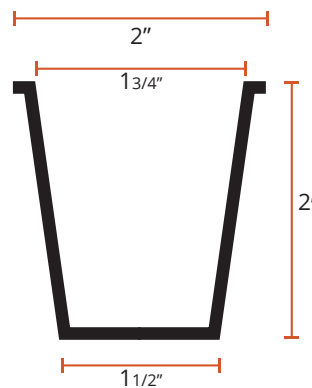


Figura 11. Canastilla de cultivo NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Sustrato sólido

Dentro de un contenedor para un cultivo de sustrato se deben contemplar las 3 zonas mostradas en la Figura 12: zona seca, zona seca / húmeda y zona húmeda.

La zona seca contempla los primeros 2-5 cm de arriba hacia abajo con el fin de evitar que la luz toque directamente el agua y de que crezcan hongos o bacterias dañinas en la base del tallo de la planta.

La zona húmeda y seca son los 10-20 cm de espacio posteriores, donde el lecho de sustrato se inunda y drena intermitentemente en caso de tratarse de técnicas de inundación y drenaje de agua. En caso de no usar esta técnica, esta zona será la ruta por la que el agua deberá fluir a través del sustrato.

La zona húmeda es la parte inferior de 3-5 cm de la cama, deberá de estar permanentemente húmeda.

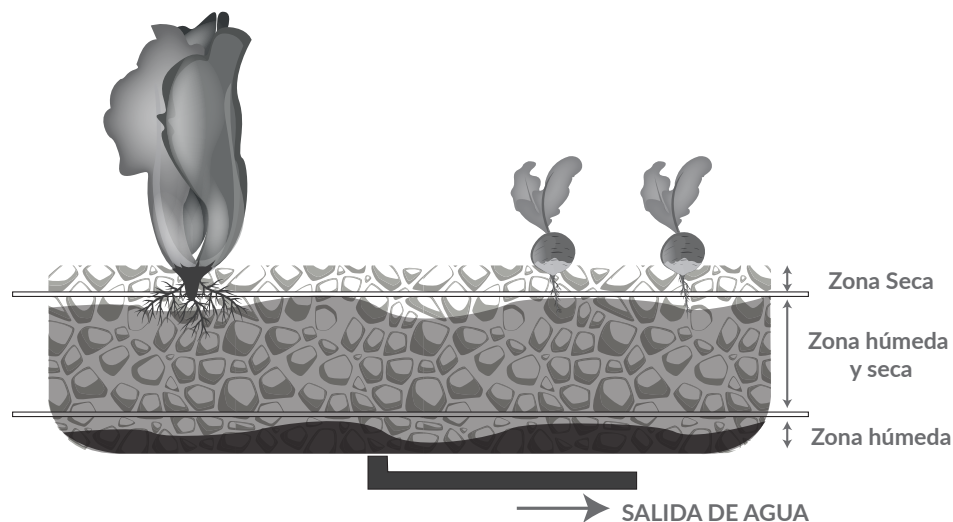


Figura 12. Zonas de cultivo con sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.3.4. Especies

Para un sistema acuapónico únicamente se deben considerar cierto tipo de especies de plantas. Las hortalizas preferentes son aquellas que tienen ciclos cortos. La FAO (2014) brinda información de 12 de las especies más populares para cultivar mediante acuaponía, las cuales se muestran en la Tabla 5 donde se indican las especificaciones de las especies más populares, entre las cuales se mencionan:

1. La distancia a la que deben ser sembradas una planta de otra para poder desarrollarse correctamente;
2. El tiempo en el que tarda cada una en madurar y poder cosecharse;
3. La temperatura ideal a la que crecen sin ningún problema;
4. Su necesidad de la luz solar, (el autor maneja dos opciones, pleno sol y soleado que es lo mismo

que de luz directa y de semisombra respectivamente);

- El método que recomienda emplear dependiendo de la necesidad de anclaje que requieren las raíces y por el tamaño de crecimiento. Esto es debido a que entre mayor sean ambos mayor es su necesidad de soporte en las raíces y en el tallo (si es pequeña la especie es suficiente el soporte que ofrece el método NFT o raíz flotante, pero si es más grande es preferente cultivar en sustrato).

Tabla 5. Verduras más populares para cultivar mediante acuaponía

Especie	Distancia (cm)	Maduración (semanas)	Temperatura	Exposición a la luz	Método
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)	15-25cm	5-6	18-30 °C,	Soleado o ligeramente protegido	Sustrato NFT Raíz flotante
Coliflor (<i>Brassica oleracea</i>)	45-60cm	4-8	20-25 °C	Pleno sol	Sustrato
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	18-30cm	4-5	15-22 °C	Pleno sol	Sustrato NFT Raíz flotante
Pepinos (<i>Cucumis sativus</i>)	30-60cm	8-10	22-28 °C	Pleno sol	Sustrato Raíz flotante
Fresa (<i>Fragaria</i>)	30-60cm	9-14	14-16°C	Pleno sol	Sustrato
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	40-60cm	8-10	13-16°C	Pleno sol	Sustrato Raíz flotante
Frijol Y Guisantes (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	10-30 cm	8-15	16-18°C	Pleno sol	Sustrato
Brócoli (<i>Brassica oleracea var. italica</i>)	40-70cm	9-15	13-18°C	Pleno sol	Sustrato
Acelga (<i>Beta vulgaris var. cicla</i>)	30-30cm	4-5	16-24°C	Pleno sol	Sustrato NFT Raíz flotante
Perejil (<i>Petroselinum crispum</i>)	15-30cm	3-5	15-25°C	Pleno sol	Sustrato NFT Raíz flotante
Berenjena (<i>Solanum melongena</i>)	40-60cm	13-18	15-18°C	Pleno sol	Sustrato

Fuente: FAO, 2014

2.3.5. Proporciones entre peces y plantas

La relación de tasa de alimentación es la cantidad de alimento para peces que se necesita en el sistema, esa proporción se relaciona con el área de cultivo.

Del mismo modo, la cantidad de desechos de peces producidos está directamente relacionada con la cantidad de alimento que los peces comen, por lo tanto, la cantidad (o número) de plantas que se pueden cultivar está directamente relacionada con la cantidad de alimento para peces que ingresa al sistema (Lennard, 2012). Por ello, uno de los factores más importantes en el diseño de los sistemas acuapónicos es saber cómo dimensionar los dos componentes principales del sistema: el componente pescado y el componente planta.

La cantidad de plantas a cultivar también define cuánto espacio o área se necesita, siempre y cuando se conozcan las especies de plantas y su densidad de siembra preferida o máxima.

Entonces, se puede afirmar que una vez que se conoce el peso total de peces se conocerá la cantidad de alimento a ingresar al sistema; debido a que es posible relacionar el peso de los peces con la comida que requieren. Por ejemplo, Lennard menciona que una relación posible a tomar es la siguiente: los peces mayores comen el 1% de su peso al día, es decir, 5 kilogramos de pescado comen 50 gr de alimento al día.

El hecho a tener en cuenta es que si los peces comen una cierta cantidad de alimentos, producen una cantidad asociada y predecible de desechos. En base a ello, hay razones de tasa de alimentación desarrolladas y científicamente probadas actualmente en existencia; la tasa de alimentación de Rakocy, y la FAO y la tasa de tasa de alimentación de Lennard (2012), pero la relación que plantea Rakocy y la de la FAO es aplicable a cualquier cultivo; la de Lennard solo aplica a peces Tilapia y lechuga, por lo cual, solo se analizarán las relaciones de alimentación de Rakocy y de la FAO.

Las proporciones de alimentación de Rakocy se expresan en un rango de 60 a 100 gramos de alimento para peces para 1 m² de área de cultivo por día (60 a 100 g / m² / día) para Tilapia. Esta relación de tasa de alimentación es para las plantas que se alimentan ligeramente como la lechuga, albahaca, etc. Pueden cultivarse con 60 g/m²/día y las plantas que son alimentadoras pesadas como tomate, pimientos, etc. se pueden cultivar con 100 g/m²/día.

La FAO (2014) presenta una relación de alimentación como una guía, especialmente para unidades de pequeña escala. Menciona que por cada metro cuadrado de espacio de cultivo se requiere 50 g de alimento para peces por día, por ejemplo; si se requieren 4 m² de cultivo se tendría la siguiente relación [Ec. 2.1].

$$4 \text{ m}^2 \times \frac{50 \text{ gr de comida / día}}{1 \text{ m}^2} = 200 \text{ gr de comida / día} \quad [\text{Ec. 2-1}]$$

Ahora, teniendo en cuenta que los peces (biomasa) en un sistema comen de 1% a 2% de su peso corporal por día, se tiene lo siguiente [Ec. 2.2]:

$$200 \text{ gr de comida / día} \times \frac{100 \text{ gr de peces}}{1 - 2 \text{ gr de comida / día}} = 10 - 20 \text{ kg de peces} \quad [\text{Ec. 2-2}]$$

La única variable en tal relación es el área de cultivo planteada, la cual proporciona directamente la cantidad de alimento diaria. A su vez, ésta da a conocer la capacidad (kg) de peces que el sistema puede mantener.

2.3.6. Riego y desagüe

Entre los tres sistemas de cultivo de un SA, los más recomendables de aplicar a pequeña escala por su practicidad son los sistemas NFT y los de cultivo en sustrato sólido inerte; por lo cual son los que se abordaron a mayor detalle en este proyecto.

Los sistemas NFT dentro de la acuaponía, son de los más difundidos debido a su instalación práctica y a su amplia versatilidad en cuanto al espacio, además de que el método permite que las plantas siempre estén bien oxigenadas. Por otro lado, se necesita la colocación de un filtro mecánico que remueva los sólidos en suspensión para evitar que penetren en los canales de agua y que obstruyan el paso entre las raíces, además de que también es necesaria la instalación del biofiltro al no tener espacio suficiente para el alojamiento de las bacterias nitrificantes.

En el caso del método de sustrato sólido, existen dos técnicas para suministrar agua a las camas

de sustrato; la primera de manera continua, donde permanentemente el nivel del agua dentro de la cama de crecimiento es siempre el mismo e ingresa por un extremo del sistema y egresa por el otro, ó directamente aplicando un goteo constante en la zona de las plantas. El segundo, es un sistema por pulso de inundación donde el lecho es inundado y vaciado de manera constante. Este último es cuando el sistema de plomería hace que las camas de cultivo se llenen de agua en el acuario de peces y luego vuelvan a drenar, estos sistemas pasan por el ciclo completo de 1 a 2 veces por hora (FAO, 2014).

Los sistemas de flujo constante son fáciles de instalar por su sencillez, pero son ineficientes a la hora de mantener el lecho de grava oxigenado, ya que el mismo estará permanentemente sumergido. Por su parte, los sistemas de flujo constante que aplican un goteo continuo en la zona de plantas tienden a taparse, dado que el agua que ingresa al componente hidropónico llega con muchos sólidos en suspensión que obstruye las finas salidas de agua.

Los sistemas por inundación de acuerdo con Caló (2011), puede realizarse de dos formas; la primera por sifones automáticos y la segunda, por control de tiempo. El sifón automático aplicado en acuaponía, es el conocido como "sifón campana". Es un mecanismo empleado por diferentes autores que permite que la cama de sustrato se inunde, drenandose de forma automática y periódicamente, sin un temporizador.

Por otro lado, para la utilización de controles de tiempo solo basta configurar la activación de una bomba de agua desde el acuario de peces hacia el lecho de sustrato, con la frecuencia necesaria. Estos sistemas, al mantener un período inundado y un período vacío, obligan a que todo el lecho del sustrato tenga contacto directo con el aire, generando así una oxigenación óptima del sistema; beneficiando tanto a las raíces de las plantas como a las bacterias alojadas en el sustrato (Caló, 2011).

En base a la información respecto a esta segunda área, se determinaron dos técnicas para ser aplicadas al proyecto que son mediante: NFT (Técnica de Película de Nutrientes) y sustrato sólido inerte, por su facilidad con que ambas pueden ser aplicadas a cultivos tanto verticales como horizontales. Esta información ayudo a identificar aspectos importantes para el diseño, como la iluminación (natural o artificial) y el sustrato empleado (peso referencia para la aplicación del CAE).

Conocer las especificaciones que deben tener los contenedores y las especies posibles a cultivar

permitieron determinar las dimensiones mínimas de estas áreas.

Para tener un sistema equilibrado, fue necesario basarse en la relación provista por la FAO que fue empleada para determinar el balance entre peces-plantas de cada una de las propuestas de diseño generadas igualmente en la sección 3.2.3.

2.4. Diseño

El diseño del producto se llevó a cabo retomando diferentes herramientas tales como: el QFD, un análisis morfológico y una Matriz Pug, de las cuales se muestra el procedimiento que se requiere en cada uno. Para realizar esto fue necesario detectar un sector de consumidores para perfilarlo y sobre ello, recurrir a un listado de dimensiones y alcances antropométricos.

2.4.1. Consumidor

Dentro de la generación de todo producto se busca el éxito y la aceptación del consumidor al que vaya dirigido. Los perfiles de usuario ayudan a entender para quién se está diseñando el producto, siendo clave a la hora de determinar las necesidades y especificar las actividades de uso.

Para tomar una decisión de compra, los consumidores tienen en cuenta aspectos culturales, sociales, personales y psicológicos para seleccionar, comprar, usar y desechar productos, servicios, experiencias o ideas que satisfacen necesidades (Galindo, 2010).

México posee un amplio mercado en necesidades y es ahí donde reside la inquietud de delimitarlo, ya que aunque cada consumidor es diferente e independiente de otro, es posible encontrar una serie de rasgos que los agrupan, de manera que se segmenta el mercado total y así es posible determinar un perfil de consumidor para una clasificación más clara y adecuada del producto que se propone.

El consumidor es descrito en función a los criterios de segmentación de mercado para un producto. Los más determinantes mostrados en la Tabla 6 son los aspectos geográficos, demográficos y psicográficos, que son los observables en una población.

Tabla 6. Criterios para segmentar un mercado.

Geográficos	Demográficos	Psicográficos
Regional	Edad	Edad
Urbana	Sexo	Personalidad
Rural	Ocupación	Beneficio del producto
Suburbana	Educación	Motivos de compra
Interurbana	Profesión	Conocimiento del producto
	Estado civil	
	Tamaño de la familia	
	Ingresos	
	Clase social	

Fuente: Stanto, 2007; Fischer y Espejo, 2011.

Los criterios geográficos son aquellos que los consumidores muestran en función del lugar en el que están localizados, son empleados para dividir el mercado en segmentos regionales, municipales o como zonas rurales y urbanas. Los criterios demográficos se emplean para dividir el mercado en segmentos más pequeños en base a rasgos determinados.

Y los criterios psicográficos tiene que ver con todo el estilo de vida y personalidad de la persona: aficiones, actividades, hobbies, que incluso llegan a ser determinados dependiendo de la edad del consumidor.

El consumidor es influenciado por actitudes aprendidas ó formadas de una idea (Stanton, 2007), para el caso del presente proyecto, se enfocó en el interés que ciertos consumidores han adoptado por el comer sano y la búsqueda de productos frescos que se han llegado a denominar “productos orgánicos”, lo cual es una actitud correspondiente a un mercado específico de lo ecológico o verde.

Esta tendencia es producto y expresión de sociedades que cuentan con altos niveles de ingreso, por lo que están en posibilidad de satisfacer sus nuevas necesidades (Gómez et al., 2003) lo cual representa tener un enfoque demográfico y psicográfico debido a los ingresos y a sus actitudes adquiridas.

Actualmente la AMAI (2018) (Asociación Mexicana de Agencias de Investigación y Opinión Pública) clasifica a los hogares utilizando la "Regla de NSE (Niveles Socioeconómicos)". Esto permite agrupar y clasificar a los hogares mexicanos en siete niveles, de acuerdo a su capacidad para satisfacer las necesidades de sus integrantes. La Figura 13 muestra la relación de los niveles socioeconómicos. La categoría "A/B" corresponde al nivel socioeconómico Alto; "C+" es el Medio Alto; "C" Medio Típico; "C-" Medio Bajo; "D+" Bajo Superior; "D" Bajo Inferior y "E" Marginal.

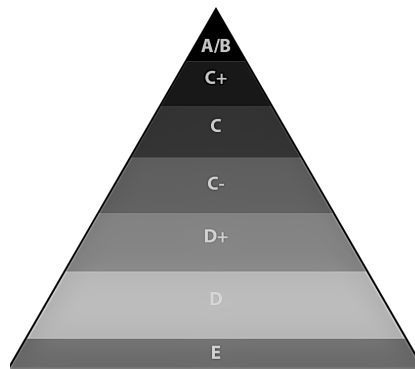


Figura 13. Pirámide de niveles Socio-económicos
Fuente: Elaboración propia, 2018 con información de la AMAI (2018).

2.4.2. Antropometría

En el entorno, compuesto por productos destinados al uso humano, existe una necesidad de diseñar basándose en las características físicas de los usuarios. El objetivo de dicha necesidad es lograr un mejoramiento en la relación hombre-objeto-entorno, para mantener principalmente según Pheasant (2016) una eficiencia funcional, facilidad de uso y comodidad.

Es por ello que el enfoque ergonómico del diseño consiste en que si un objeto o entorno está destinado al uso humano, su diseño debe basarse en las características de ese usuario. El objetivo es lograr la mejor combinación posible entre el producto y sus usuarios, en el entorno en que se realizará.

“Las dimensiones del cuerpo humano que influyen en el desempeño de las personas son de dos tipos esencialmente:

1) Dimensiones estructurales: Son las dimensiones de las distintas partes o elementos estructurales del cuerpo, por ejemplo: estatura, longitud del brazo, longitud de la mano,

perímetro de la cabeza, altura de la rodilla.

2) Dimensiones funcionales: Son dimensiones que incluyen el movimiento y la acción de segmentos corporales en el espacio de trabajo, por ejemplo: zona de alcance funcional máximo de la mano, zona de alcance de comodidad, zona de alcance mínimo” (Ávila y González, 2007).

Las medidas estáticas son indispensables al momento de diseñar un producto. Se deben considerar aspectos esenciales y sólo las medidas necesarias de las dimensiones estructurales del cuerpo del consumidor específico, las cuales se muestran en la Figura 14 y se describen a continuación.

1. Estatura (E). Considerando a los más altos. La postura natural es viendo ligeramente hacia abajo.
2. Altura de codo de pie (ACp). Se debe ajustar la superficie de trabajo normal inmediatamente debajo de la altura del codo. Para un trabajo preciso, se debe levantar la superficie arriba de la altura del codo y proporcionar descansos para los antebrazos.
3. Alcance de brazo frontal (ABf). Se debe considerar a los bajos de estatura cuando alcancen o saquen algún objeto de arriba. Se tiene que considerar a los altos cuando alcancen cosas abajo. Se debe mantener el trabajo frecuente dentro de la distancia del antebrazo. En caso de colocarse elementos en escalones a desnivel o a diferentes profundidades, nos da la restricción de la profundidad que puede haber en el total de la estructura.
4. Alcance vertical máximo (AVmax). Ayuda a determinar la altura máxima a la que pueden ser colocadas las plantas, sin que se requiera de escaleras o cualquier otro implemento para tener acceso a ellas.
5. Altura de ojos de pie (AOp). Para una buena visibilidad, permite colocar las plantas a alturas donde sean fácilmente visibles por el usuario. También está el rango de la imagen, que es el propio con la vista al frente.

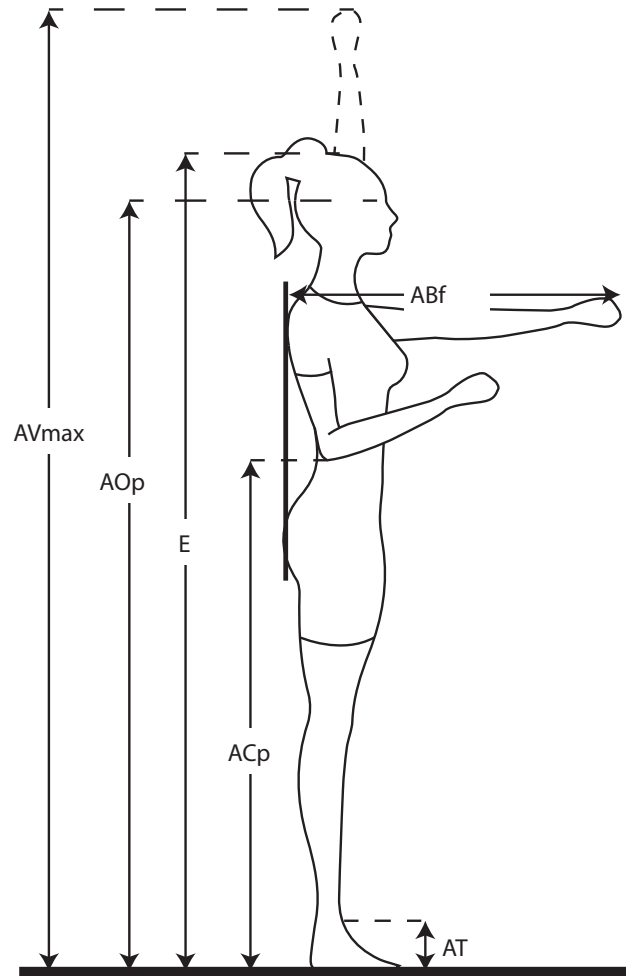


Figura 14. Medidas antropométricas del cuerpo

Fuente: Elaboración propia, 2018 con información de Ávila y González (2007).

2.4.3. Despliegue de la Función de Calidad.

El QFD (Quality Function Deployment ó Despliegue de la Función Calidad) es un sistema que permite hacer la traducción de las demandas del cliente en los requerimientos del producto (González, 2001). Su aplicación se divide en un proceso con dos partes, pero la que fue del interés en este proyecto es la matriz de QFD, la cual permite interrelacionar las demandas del consumidor con los requerimientos del producto.

El proceso inicia con la elaboración de la lista de demandas o los “Qué” que deben cumplirse y provienen de los gustos del consumidor, estos son el insumo principal de la Casa de la Calidad y a fin de cuentas, el objetivo a satisfacer (“Voz del Cliente”), las cuales serán por lo general, las

características cualitativas del producto.

Una vez teniendo bien definidos las demandas del consumidor se procede con la traducción de esas demandas en la lista de requerimientos técnicos, es decir, en transformar los “Qué” (algo abstracto) en los “Cómo” (algo tangible y mejorable). A cada uno de los “Qué” le corresponderá uno o más “Cómo”. Es posible que algunos estén relacionados más estrechamente que otros, por lo que es necesario considerar tres niveles de relación utilizando diferentes símbolos o una escala (1, 3 ó 9).

El próximo punto es el establecimiento de los “Cuánto” que representan medidas que definan el valor objetivo de los “Cómo”, es decir, su valor cuantificable. Para cada “Cómo” se obtiene un resultado numérico que da la importancia absoluta y relativa de cada característica. Este resultado se obtiene de sumar los valores de cada casilla que, a su vez se calcula del producto, de la importancia de los “Qué” por la intensidad de su interrelación (1,3 ó 9), con el “Cómo” (Asociación Española para la Calidad, 2007).

Todos los “Qué” del QFD son importantes, pero no todos lo son en el mismo grado. Para jerarquizarlos se utilizan unas escalas de pesos o valor. En el caso del proyecto al tomarse en cuenta cuatro análisis para analizar ésta importancia, se requirió hallar el promedio de los puntos adjudicados a cada “Qué” en cada análisis.

Para determinar el valor promedio de cada necesidad, se hizo uso de un “Matriz-L”, la cual sirvió para resumir la información de manera cuantitativa, de la importancia que las demandas presentan en cada evaluación para promediarlo y obtener el valor definitivo de cada necesidad.

Además de contener los valores definitivos de cada necesidad, la matriz también muestra las unidades de medida de cada “Cómo”. Según Ulrich y Eppinger (2009), por lo general las unidades de medida son unidades cuantificables como kilogramos, milímetros y segundos. Sin embargo, algunos “Cómo” no se prestan a valores numéricos y se traducen mejor en una especificación donde el valor es, o bien una lista de opciones, o una respuesta de selección de SI o NO. Para estos dos casos es conveniente introducir “Lista” o “Binaria” en la columna de unidades. Existe un tercer caso en donde la necesidad no se puede traducir fácilmente en un “Cómo” cuantificable, en tal caso la unidad será “subjetiva”, es decir, depende del criterio y evaluación del cliente (se indica esto al introducir “Subj”

en la columna de unidades.)

El resultado de un análisis con ayuda del QFD es una lista de requerimientos del producto que deben cumplirse para la realización del producto

2.4.4. Análisis morfológico

El término “morfología” se utiliza para referirse a las relaciones estructurales entre diferentes partes o aspectos de un objeto (Álvarez y Ritchey, 2015).

El Análisis Morfológico es una técnica combinatoria de ideación creativa consistente creado por Fritz Zwicky. Su objetivo es descomponer un concepto o problema en sus elementos esenciales o estructuras básicas. Con sus rasgos o atributos se construye una matriz que permite multiplicar las relaciones entre tales partes. Así pues, en su forma más básica, el Análisis Morfológico no es más que la generación de ideas por medio de una matriz.

El método comienza identificando y definiendo los elementos más importantes de un problema complejo a investigar y se asigna a cada uno un rango de rasgos o atributos más relevantes. Esto se hace principalmente en lenguaje natural para definir un parámetro, lo que crea una matriz de parámetros y sus respectivos rangos de condiciones (Tabla 7).

Tabla 7. Un campo morfológico de 6 parámetros.

Parámetro A	Parámetro B	Parámetro C	Parámetro D	Parámetro E	Parámetro F
Condición A1	Condición B1	Condición C1	Condición D1	Condición E1	Condición F1
Condición A2	Condición B2	Condición C2	Condición D2	Condición E2	Condición F2
Condición A3	Condición B3	Condición C3		Condición E3	Condición F3
	Condición B4			Condición E4	

***Nota:** Las celdas oscurecidas definen una de las posibles configuraciones
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El punto es examinar todas las configuraciones, para establecer cuáles de ellas son posibles,

viables, prácticas, interesantes, etc., y cuáles no (Álvarez y Ritchey, 2015). La solución de un campo morfológico consiste en el subconjunto de todas las configuraciones posibles que satisfacen algunos criterios.

2.4.5. Matriz Pugh

Una vez obtenida la lista de requerimientos y desarrollada una serie de propuestas de diseño que respondan a esos requerimientos, se procede a seleccionar el concepto definitivo, lo más usual es que se tenga que decidir entre cuál de las propuestas de diseños conceptuales se cumple mejor con los criterios de selección. Existen muchos métodos para la selección o evaluación de los conceptos que se logren generar para finalmente elegir la más adecuada.

Para tomar una decisión se debe tener presente los siguientes dos elementos (Romeva, 2002):

1. Propuestas. El número mínimo de propuestas son dos, aunque lo más adecuado es de 3 a 6, mientras cada una tenga características diferentes.
2. Criterios. Éstos son aspectos sobre los cuales las propuestas deben ser evaluadas, así como también la ponderación entre ellas.

La evaluación mediante la “*Matriz de Evaluación de Pugh*” es una de los métodos más utilizados en la selección de conceptos. Comienza con la elección de los criterios de evaluación para los conceptos, es decir, la lista de requerimientos (“*Cómo*”) que resultó del QFD.

Por un lado se sitúa la lista de requerimientos con su respectivo peso, que en esta matriz se le conoce como el grado de relevancia sobre 100 que tiene cada requerimiento. Al centro se colocan las columnas para cada propuesta, cada una se evalúa comparando las propuestas generadas con un producto de referencia (Tabla 8).

La evaluación consiste en colocar en cada casilla un valor entre -1 (peor en importancia), 0 (igual en importancia) ó 1 (mejor en importancia).

Luego de evaluar cada , se determina el peso final de cada propuesta. Por lo que el valor de cada

requerimiento, ya sea -1, 0 ó 1 se multiplica por su valor de relevancia y finalmente se suman todos (González, 2002). Además de esta suma, se hace otra de la misma manera pero considerando los pesos específicos (relevancia) de cada criterio, tal suma es la ponderación del valor de cada propuesta.

Tabla 8. Matriz de Pugh para selección de propuesta final

		Propuestas			Relevancia
		1	2	3	
Requerimientos	1				
	2				
	3				
	4				
TOTAL PONDERACIÓN					100

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5. Análisis

Existen dos posibles formas de encendido de la bomba para el riego de las áreas de cultivo hidropónico. La primera de forma manual y la segunda de forma automática, por medio de un TIMER que posibilite la programación del encendido y apagado del ciclo de irrigación. Sin embargo, la primera opción no es viable debido a que por recomendaciones bibliográficas los ciclos de irrigación deben realizarse de 1 a dos veces por hora.

Para la selección de la bomba y programación de los horarios del encendido y apagado fue necesario realizar un cálculo analítico que permitiera conocer la potencia necesaria de la irrigación de las áreas de cultivo y determinar la duración de cada encendido automático de la bomba.

Además, también fue necesario conocer los procesos de producción de los polímeros para determinar en el diseño con la definición de piezas en su mayoría de HDPE, planteada en la sección 3.3.1 de definición de piezas, ya que todas a excepción de la estructura fueron propuestas de plásticos.

2.5.1. Selección de la bomba

Se emplea la palabra *bomba* para designar a cualquier máquina hidráulica que añade energía a un fluido. Se usan algunos parámetros fundamentales para analizar el rendimiento de una bomba.

El flujo volumétrico o caudal (Q), es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo, y se calcula con la siguiente ecuación [Ec. 2-3]:

$$Q = Av \quad [\text{Ec. 2-3}]$$

Donde "A" es el área de la sección y "v" es la velocidad promedio del flujo, expresada en m^3/s .

Para el caso de éste proyecto, la selección de la bomba dependió de dos requisitos: 1) la altura a la que se debe de elevar el agua y 2) el caudal necesario que debe proporcionar la bomba. Para esto es necesario aplicar las ecuaciones de conservación de la masa, la ecuación de la energía y la ecuación de Bernoulli.

La ecuación de la conservación de la masa establece que la masa total del sistema permanece constante durante un proceso. En forma de ecuación, el balance de masa para un volumen de control se expresa [Ec. 2-4] como:

$$\frac{d}{dt} \int_{vc} \rho dV = \dot{m}_{ent} - \dot{m}_{sal} \quad [\text{Ec. 2-4}]$$

donde ρ es la densidad, V es el volumen, \dot{m} es el flujo másico o bien la cantidad de masa del fluido que circula en una superficie por unidad de tiempo. Éste flujo másico también se expresa [Ec. 2-5] como:

$$\dot{m}_{ent} = \rho v A \quad [\text{Ec. 2-5}]$$

donde v es la velocidad del fluido y A la sección transversal que atraviesa el fluido.

La primera ley de la termodinámica, también conocida como el principio de *conservación de la energía*, expresa que la energía no se puede crear ni destruir en el transcurso de un proceso; solo puede cambiar de forma. Una aplicación común se encuentra en el flujo de fluidos en tuberías, donde

pueden considerarse las bombas.

La ecuación de la conservación de la energía se expresa como [Ec. 2-6]:

$$\left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{ent} = \left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{sal} + h_f - h_b + h_t \quad [\text{Ec. 2-6}]$$

Todos los términos de ésta ecuación tienen unidades en términos de altura. El término p/γ se denomina carga o altura de presión, el término $V^2/2g$ se denomina carga o altura de velocidad y el término z es la carga de elevación. Por su parte h_f es la pérdida de carga por fricción, h_b es la pérdida al aumento de carga de la bomba y h_t es la pérdida por la extracción de carga de una turbina.

Un caso especial es cuando no se consideran pérdidas por fricción en las tuberías y no existen dispositivos extras de trabajo mecánico como bombas o turbinas. Entonces, la ecuación de la energía se reduce a [Ec. 2-7]:

$$\left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{ent} = \left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{sal} \quad [\text{Ec. 2-7}]$$

Esta es la conocida Ecuación de Bernoulli.

2.5.2. Polímeros

Para la planeación de algunas piezas dentro del SA propuesto fue necesario conocer las especificaciones que deben ser consideradas del material a usar, el cual fue elegido dentro de los plásticos por su facilidad de moldear, fundir, formar y maquinar con formas complejas con pocas operaciones, de manera fácil y a tasas de producción elevadas.

Los polímeros se clasifican de diferentes formas, una de ellas es en función de su comportamiento mecánico y térmico. Su clasificación y descripción de acuerdo a Askeland (1998) se muestran en la Figura 15.

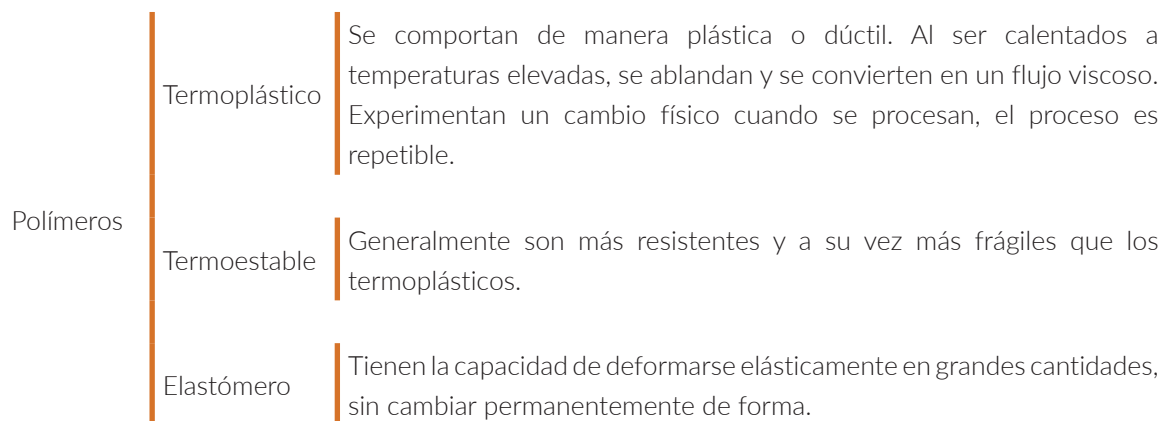


Figura 15. Clasificación de polímeros según su comportamiento mecánico y térmico.

Fuente: Anguita (1975).

Según Anguita (1975), las piezas de plástico deben diseñarse de modo que puedan ser rápidos y la extracción de la pieza del molde, por lo que a continuación se describen los principales procesos de transformación de polímeros termoplásticos para la fabricación de piezas plásticas las cuales posiblemente serían aplicables al proyecto de investigación, se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de los procesos de formado y moldeo para plásticos.

Proceso	Características
Extrusión	Secciones transversales continuas, uniformemente sólidas o huecas.
Moldeo por inyección	Formas complejas de diversos tamaños; paredes delgadas.
Moldeo por soplado	Partes huecas de pared delgada y botellas de varios tamaños.
Rotomoldeo	Accesorios grandes, huecos, de forma relativamente simple.
Termoformado	Cavidades huecas o relativamente profundas.
Moldeo por compresión	Para moldear piezas grandes con diseños complejo.
Fundición	Formas simples fabricadas con moldes rígidos o flexibles de bajo costo.

Fuente: Kalpakjian (2008).

1. Moldeo por inyección. El proceso de moldeo por inyección es el proceso más común para

producir piezas termoplásticas económicas y automatizadas. Comúnmente requiere el uso de moldes de acero, maquinaria de moldeo por inyección y equipo auxiliar (BASF, 2007). El termoplástico es calentado y forzado a entrar en el molde cerrado para producir una pieza.

2. Moldeo por soplado. Una forma hueca de termoplásticos introducida en un molde y mediante la presión de un gas se expande hacia las paredes del molde.
3. Rotomoldeo: Para este proceso se fabrican moldes de dos piezas para piezas huecas, de modo que al adentrarse al horno, el molde se gira en forma continua para que el termoplástico sea lanzado contra él.
4. Termoformado. Es un proceso para el formado de láminas o películas de termoplástico sobre un molde mediante la aplicación de calor y presión.
5. Moldeo por compresión. En este proceso, el plástico es vertido en los moldes, este cierra, se aplica calor, es comprimido entre las dos partes del molde mediante la presión de una prensa en los moldes que contienen la forma de la pieza a fabricar.

Siguiendo con los termoplásticos, éstos se pueden unir mediante los siguiente métodos: medios térmicos, unión con adhesivos, unión por solventes y sujeción mecánica (Kalpakjian, 2008). Cabe mencionar que al tratarse de un sistema en el cual se tiene circulación de agua, se requiere una unión de manera permanente, por lo que a continuación de ahonda más en el tema de la unión por medios térmicos.

El proceso consiste en ablandar y fundir las piezas plásticas al aumentar la temperatura. El calor ablanda el termoplástico, pasa a un estado viscoso o fundido y asegura una buena unión con la aplicación de presión. La elección de un método u otro depende de la compatibilidad de los polímeros a unir.

Los siguientes procesos de unión son descritos y retomados de Kalpakjian (2008), BASF (2007) y Maier (2009):

1. Soldadura en placa caliente (Figura 16). Utiliza una placa plana caliente para fundir las superficies

de las juntas, es decir, las partes se ponen en contacto con la placa caliente hasta que las superficies de unión se funden. Luego la placa caliente se retira y las superficies fundidas se presionan entre sí para crear una soldadura que se mantiene bajo presión hasta que se enfríe lo suficiente para permanecer estable.

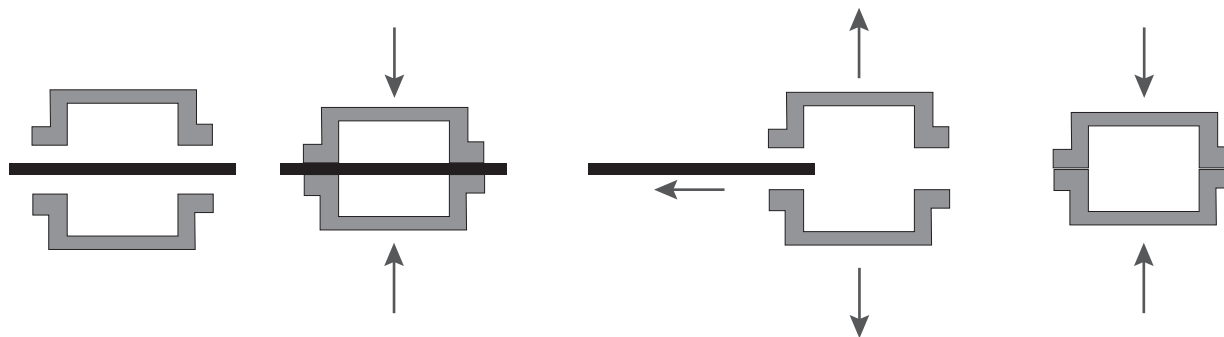


Figura 16. Soldado por placa caliente
Fuente: Elaboración propia, 2018.

2. Soldadura ultrasónica (Figura 17). Es una manera rápida y confiable de ensamblar piezas termoplásticas iguales o muy similares. La energía eléctrica se convierte en vibraciones mecánicas que causan calor por fricción entre las partes acopladas, fundiendo así el plástico.

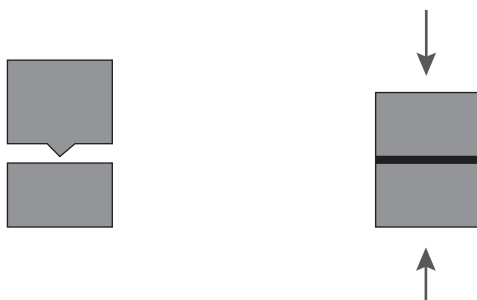


Figura 17. Soldado ultrasónica
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3. Soldadura electromagnética o por inducción (Figura 18). Proporciona una técnica de montaje simple, rápida y confiable para producir una junta fuerte y hermética. Un cordón especial se coloca entre las dos partes a soldar. Se expone luego a un campo de calor de inducción que funde la hebra y el plástico para formar una unión fuerte en el lugar.

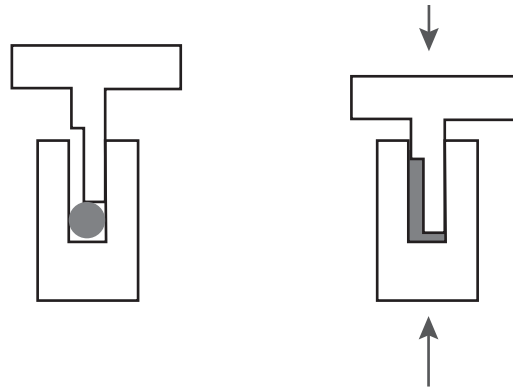


Figura 18. Soldado por inducción
Fuente: Elaboración propia, 2018.

4. Estaca por calor (Figura 19). Se aplica a la mayoría de las molduras de plástico de hoy forman parte de un conjunto y donde existe la necesidad de asegurar una moldura a otra o de unir otros componentes. Es una alternativa atractiva a los tornillos de formación de roscas, ajustes a presión y ajustes a presión para termoplásticos es el replanteo térmico.

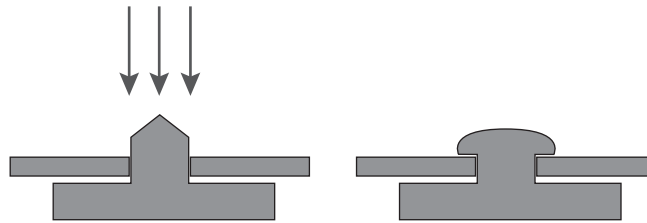


Figura 19. Soldado estaca por calor
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Implica ablandar térmicamente una estaca que forma parte integral de la moldura y luego formar un cabezal de retención similar a un remache bajo la presión de una herramienta fría.

Las piezas de plástico no se prestan a formas sólidas porque los plásticos con secciones gruesas que tardan mucho tiempo en enfriarse, por lo que son costosas de hacer. Esto se hace ahuecando o “sacando” partes gruesas para que se quede con un componente que, independientemente de la complejidad, esté compuesto esencialmente por paredes relativamente delgadas unidas por curvas, ángulos, esquinas, costillas y escalones (Maier, 2009).

El mismo autor menciona que en la medida de lo posible, todas estas paredes deben ser del mismo espesor. Como guía general, los espesores de pared para materiales reforzados deben ser de 0.75

mm a 3 mm, y los de materiales sin relleno deben ser de 0.5 mm a 5 mm.

Cuando el grosor de la pared no es lo suficientemente rígido o lo suficientemente fuerte como para soportar las condiciones que la pieza requiere, debe fortalecerse agregando nervios en lugar de hacer que toda la pared sea más gruesa para añadir suficiente rigidez con un pequeño aumento en el peso, tiempo de fabricación o costo. El diseño adecuado de un nervio involucra principalmente el espesor y altura.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A continuación, se presenta y detalla cada una de las etapas de la metodología de Riba y Molina (2006) aplicada a esta investigación. Se seleccionó esta metodología para el desarrollo del producto debido a que integra el diseño concurrente, adecuado en éste caso por la necesidad de tomar en cuenta a los usuarios, diseñador, expertos en el tema, entorno y fabricación. Además de que, la metodología permite relacionarse con las herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD).

3.1. Etapa 1. "Ideación"

La primera etapa: "Ideación", se centra en la interpretación de las necesidades del usuario y del sistema traducidas a requerimientos. Para esto, se plantearon las siguientes preguntas:

¿Cómo funcionan los diferentes sistemas hidropónicos y acuapónicos actuales en el mercado?

¿Cuál es el perfil de mercado meta al que se puede dirigir el producto?

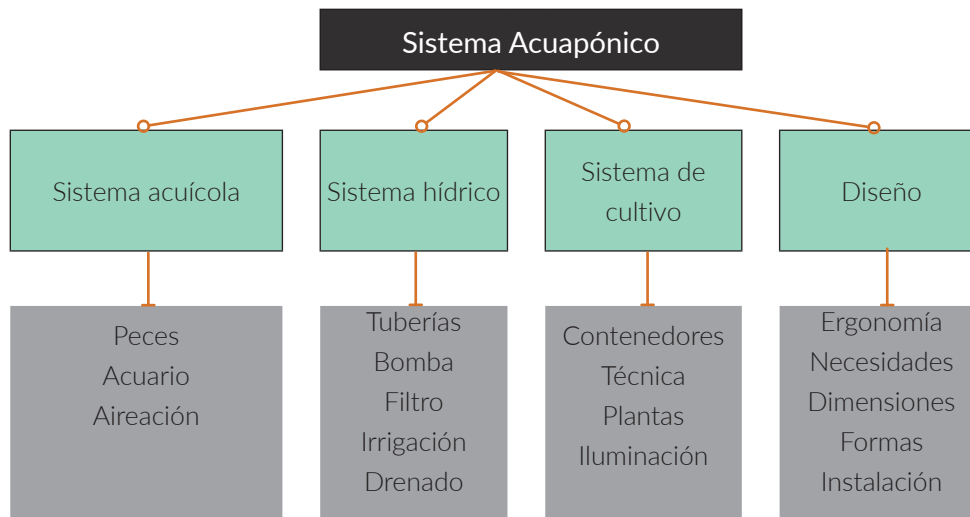
¿Qué plantas y peces se pueden usar en el SA a diseñar y sus necesidades?

Estas preguntas fueron respondidas al realizar los siguientes puntos: un análisis de mercado; encuestas a una muestra de usuarios según el perfil seleccionado; entrevistas con expertos; además de otras revisiones bibliográficas.

3.1.1. Esquema general de un SA

Se inició determinando un esquema general de un SA con la finalidad de conocer y organizar los elementos (Tabla 10) del sistema en el que giran los análisis realizados posteriormente. Este esquema se generó en base a la información del Capítulo 2.

Tabla 10. Esquema de agrupación de elementos que conforma el SA.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Este esquema proporciona 4 agrupaciones de los factores que fueron tomados en cuenta durante los análisis realizados para conocer los “Requerimientos del Producto” y que permitió generar la propuesta de diseño del SA.

En el Sistema acuícola (producción de peces), intervienen tres aspectos básicos: los peces (tanto las especies admisibles como sus necesidades), el acuario y la aireación que necesitan los peces.

En el Sistema hídrico intervienen las tuberías, la bomba, el filtro de materia orgánica, además de los sistemas de irrigación a las zonas de cultivo vegetal y del drenado del agua sobrante.

El Sistema de cultivo está delimitado por los contenedores, las técnicas de cultivo, las plantas (tanto las especies admisibles como sus necesidades) y el hecho de proveer o no iluminación.

El diseño, no es uno de los subsistemas dentro del SA, sin embargo, dentro del proyecto de investigación (retomando el Diseño Concurrente) se agregó como parte de los aspectos sobre los que se indagó en los análisis realizados, los cuales son: Ergonomía; necesidades dentro de cada sistema; dimensiones necesarias; a su vez, estas necesidades y dimensiones son indispensables para la generación de formas; y finalmente la forma de instalación de todo el sistema en conjunto.

3.1.2. Análisis comparativo de mercado




Para el siguiente análisis se realizó un análisis comparativo de mercado de sistemas con un funcionamiento similar. Se analizaron 8 productos; 5 de ellos son sistemas acuapónicos y los 3 restantes manejan cultivos hidropónicos verticales, los cuales fueron seleccionados debido a su capacidad de producción a pequeña escala. La información se obtuvo de productos que se encuentran en el mercado hechos por distintos proveedores. Cabe mencionar que no se encontró ningún producto similar en el país.

Uno de los sistemas analizados pertenece a la FAO, quien no es precisamente un proveedor dentro del mercado, sin embargo, brinda especificaciones para la construcción DIY de un sistema acuapónico a pequeña escala; por lo cual fue retomado para el estudio.

En las Tablas 11 y 12 se describen las características que fueron analizadas y comparadas en cada uno de los productos seleccionados:

1. La imagen del producto.
2. El tipo de sistema (acuapónico o hidropónico).
3. La técnica de cultivo (NFT, de sustrato, raíz flotante, panel vertical o aeroponía).
4. La capacidad, considerando la relación entre el volumen de agua y la cantidad de cultivo.
5. Tipo de contenedores de agua (tanque, bandejas o acuario).
6. El tipo de contenedor para plantas (módulos, panel, bandeja o caja), mencionando su orientación (vertical u horizontal).
7. Irrigación, considerando el método de riego que usa, ya sea de activación manual (requiere intervención del usuario para activarse) o mediante un "TIMER" programable (irriga en cierto periodo de tiempo de manera automática)
8. Instalación, ya sea "*hágalo usted mismo*" con piezas al alcance ó el prefabricado (el proveedor brinda las piezas y el usuario las ensambla).
9. Luz artificial: el proveedor brinda la opción de instalarla (si, no).
10. Tipo de drenado del agua sobrante (por gravedad ó mediante sifón campana).
11. Materiales.

Tabla 11. Productos "hidropónicos" para el análisis comparativo de mercado.

	Citysens	Tower system	Herbert
Producto			
Tipo de sistema	Jardín hidropónico	Sistema hidropónico	Huerto hidropónico
Técnica de cultivo	Sustrato	Aeroponía	Sustrato
Capacidad	7 lts. para 8 plantas	20 plantas	15 plantas
Contenedor de agua	Tanque	Tanque	--
Contenedor de cultivo	Módulos verticales 13 cm de diámetro y 33 cm de alto	Módulos con perforaciones	Panel
Irrigación	Mediante TIMER	Mediante TIMER	Activación manual
Instalación	Prefabricado	Prefabricado, modular	Prefabricado
Luz artificial	NO	NO	SI
Tipo de drenado	Gravedad	Gravedad	Gravedad
Materiales	Polipropileno, madera, silicona y acero inoxidable	--	Madera, metal

***Nota:** Las líneas indican que esos aspectos no fueron descritos por el proveedor.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 12. Productos "acuapónicos" para el análisis comparativo de mercado.

	Paivert	FAO	Grove	Malthus	River Plant Aquarium
Producto					
Tipo de sistema	Jardín acuapónico	Sistema acuapónico	Sistema acuapónico	Sistema acuapónico	Ecosistema acuapónico
Técnica de cultivo	Sustrato y panel vertical	Sustrato y raíz flotante	Sustrato	Sustrato	Sustrato
Capacidad	90 lts. para 1.00 m ² vegetal	1.5 kg de pescado por 1000 lts. de agua	--	2 kg de pescado en 40 lts. de agua	300 lts.
Contenedor de agua	Bandeja de plástico Bandeja horizontal 0.50 m x 0.35 m Panel Vertical 0.50 m x 1.20 cm	Bandejas de plástico	Acuario de acrílico	Acuario de cristal	Acuario de cristal
Contenedor de cultivo		--	Caja horizontal de cultivo de 0.30 m x 0.60 m	Bandejas de plástico	Módulos 29 x 18 x 36 pulgadas
Irrigación	Activación manual	Mediante TIMER	Mediante TIMER	Mediante TIMER	Activación manual
Instalación	DIY	DIY	Prefabricado	DIY	Prefabricado
Luz artificial	NO	NO	SI	SI	SI
Tipo de drenado	Sifón campana Bandeja de plástico.	Sifón campana	Sifón campana	Gravedad	Gravedad
Materiales	Panel de fibras plásticas y lanas minerales	--	Bambú ambarino, aluminio, vidrio	Aluminio, plástico, vidrio	Vidrio Termo-formado y soplado

Este análisis comparativo de mercado muestra, que algunos productos se enfocan únicamente en la cuestión funcional, otros consideran la estética y la funcionalidad.

En el caso de los productos que contemplan sólo aspectos funcionales están: *Malthus*, *la FAO* y *Paivert*. Y aquellos como: *Citysens*, *Tower system*, *Herbert*, *Grove* o *River Plant Aquarium* son sistemas que desarrollan el aspecto estético y es importante destacar que sólo *River Plant Aquarium* y *Grove* son sistemas acuapónicos. Sin embargo, el primero contiene un valor estético más desarrollado descuidando la funcionalidad, siendo la cantidad de cultivo muy pequeña. Dejando a *Grove* como el SA de referencia para el proyecto de investigación como "Competidor 1" que se retomará dentro de la lista de especificaciones de la Figura 29, ya que integra valor estético, funcionalidad, facilidad de instalación y producción a pequeña escala.

La técnica de cultivo con sustrato es la más utilizada por su facilidad de manejo, mínimo mantenimiento y por adaptarse a diferentes formas de contenedores. Además, sirve para el filtrado de materia orgánica y al mismo tiempo brinda un buen soporte a las plantas.

Los 5 sistemas acuapónicos considerados en la Tabla 12 presentan en su mayoría una construcción DIY, por consiguiente, una ventaja frente a ellos será proporcionar al usuario piezas prefabricadas facilitando la instalación y estandarizando las piezas, asegurando así la funcionalidad, lo cual debe ser una característica del producto a diseñar con el fin de competir con productos similares como lo es el caso de *Grove*, *Citysens* y *Tower system* debido al grado de diseño estético que ofrecen, así como la facilidad de instalación que los caracteriza .

La irrigación dentro de un SA debe ser constante o periódica, con un buen control de los horarios y la duración de los riegos. Es por ello, que la mayoría de los productos mostrados emplean un sistema TIMER para irrigar las áreas de cultivo de manera correcta, evitando que el usuario se preocupe por ello.

La luz artificial y el tipo de drenado son seleccionados de manera arbitraria, ya que no impacta de alguna manera el uso de uno u otro, pero son necesarias para el funcionamiento del sistema.

3.1.3. Perfil de usuario

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos, a pesar de que se ha venido implementando desde hace varios años en diversos países, aún no es tan reconocida en México. Esta técnica de cultivo, tanto de peces como de hortalizas o plantas de ornato, puede ser implementada incluso en viviendas debido a que se adapta a espacios reducidos, es por ello que existe un mercado definido interesado en el tema, que es descrito a continuación.

Se seleccionó a personas de nivel socio-económico C+, siendo el grupo que tiene un mayor poder adquisitivo, sin tomar en cuenta el precio como determinante para su compra (Lobato et al, 2005).

Con el fin de delimitar el mercado de forma cuantitativa y obtener aproximaciones de consumidores, se decidió limitar el área geográfica a la región de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León. El tamaño de la muestra fue calculado mediante un muestreo probabilístico estratificado. Se dividió a toda la población de Huajuapán de León con respecto a los porcentajes que se observan en la Tabla 13 referente, a los diferentes grupos de clases sociales del estado de Oaxaca.

Tabla 13. Porcentajes de NSE registrados a nivel estado de Oaxaca.

NSE Entidad	A/B	C+	C	C-	D+	D	E	TOTAL
OAXACA	2%	4%	6%	7%	10%	42%	28%	100%

Fuente: Elaboración propia, 2018, con información de NSE/AMAI, (2016).

El grupo de usuarios que interesó para el presente proyecto de investigación es el nivel medio alto (C+), cuyo porcentaje es de 4% para el estado de Oaxaca. Se extrapoló este porcentaje para el municipio de estudio representado en la Tabla 14.

Tabla 14. Población extrapolada

Población de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León	Población perteneciente al nivel socioeconómico C+
77,547 personas.	3,102 personas.

Fuente: Elaboración propia, 2018 con información de INEGI (2015).

Para este caso se utilizó la fórmula 3-1 para poblaciones finitas o conocidas (Castejón, Lafuente & Faura, 2015) para determinar el tamaño de la muestra, tomando en cuenta una población de 3,102, siendo la cantidad personas que viven en la Ciudad de Huajuapán de León con un nivel socioeconómico C+.

La fórmula [Ec. 3-1] para el cálculo de poblaciones finitas es:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{e^2(N-1) + (Z^2 \times P \times Q)} \quad [\text{Ec. 3-1}]$$

Donde "n" representa el número de personas a encuestar; "N" es el número de personas de nivel socio-económico C+ en la ciudad seleccionada (3,102 personas); "e" el error permitido (oscila entre 5% y 10%), se tomó el mínimo de 5%; Z es el grado de confianza, elegido de un 95% (también expresado como: $\alpha = 0.05$), para el que corresponde $Z = 1.96$ sigmas o errores típicos; y "P,Q" es el porcentaje de cuántos usuarios van a decir que sí y cuántos van a decir que no dentro de la población; para esto se tomó como referencia el 5% de la producción de productos orgánicos que se venden y consumen dentro del país (Gómez, 2007), es decir, al menos el 5% de la población selecta van a aceptar el producto. Por lo tanto, los valores aplicados en la ecuación 3-2 son los mostrados en la Tabla 15:

Tabla 15. Valores aplicados

Z=	1.96
P=	0.05
Q=	0.95
N=	3,102
e=	0.05

La sustitución de valores en la ecuación se muestran en la [Ec. 3-2] :

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.05 \times 0.95 \times 3,102}{0.05^2(3,102 - 1) + (1.96^2 \times 0.05 \times 0.95)} \quad [\text{Ec. 3-2}]$$

Con estos valores el tamaño de la muestra necesaria es de 72.6039, sin embargo, al tratarse de personas, se redondea el valor a 73 personas, como se observa en el resultado de la fórmula [Ec. 3-3].

$$n = 72.6039 \approx 73$$

[Ec. 3-3]

Una vez obtenido el número de personas representativas de usuarios al que se dirige el proyecto, se aplicó una encuesta con el fin de obtener información de tipo personal, preferencial e informativa acerca de un SA a pequeña escala, con el fin de detectar necesidades del usuario para convertirlos más adelante en requerimientos.

Los resultados muestran que en la población de personas de nivel socioeconómico C+ en la población de Huajuapán de León, un 90% (67 personas) tiene interés en cultivar plantas, de las 75 personas entrevistadas (Figura 20).

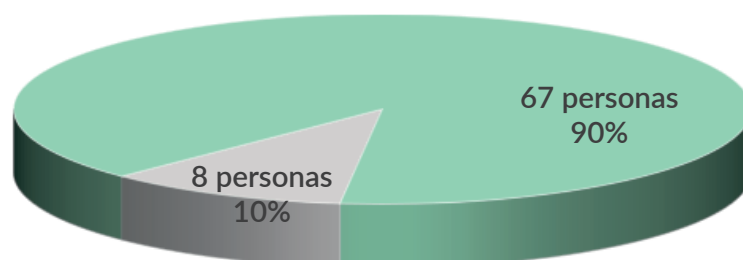


Figura 20. Personas interesadas en cultivar plantas
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Del 90% de los encuestados interesados en cultivar plantas, un 46% conocen el funcionamiento del sistema y el otro 54% lo desconocen (Figura 21); sin embargo, existe un interés en el método de cultivo acuapónico, debido a las características de reciclado de agua y aprovechamiento de las sustancias que normalmente se desechan (heces de pescado y alimento sobrante).

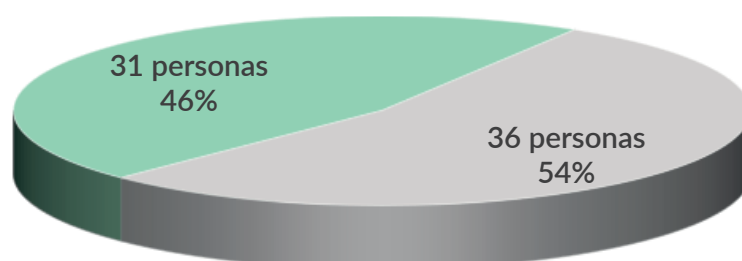


Figura 21. Conocedores de un sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Figura 22 responde a la pregunta ¿por que les interesaría un producto de éste tipo?, los resultados reflejan el interés de 30 personas por cultivar sus propios alimentos; 18 más se inclinan

por ser una opción sustentable; a 10 les gusta el cuidado del medio ambiente; a 8 es por el gusto de cultivar y sólo 1 persona le interesa reducir gastos.

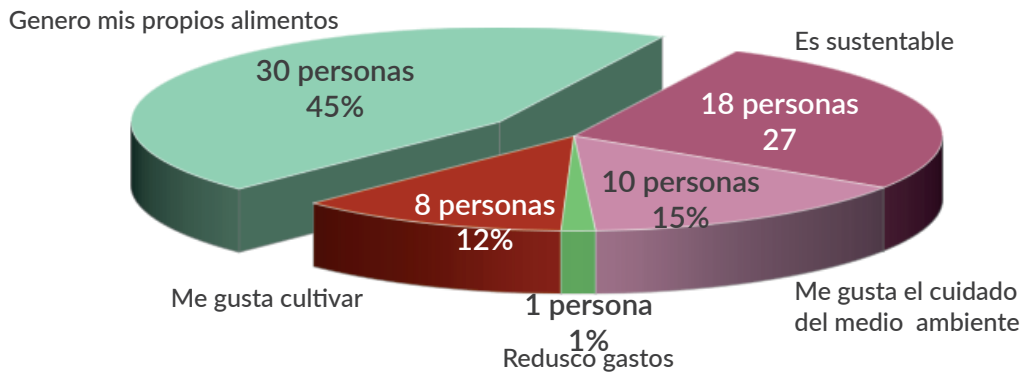


Figura 22. Razones para cultivar sus propios alimentos
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Esto reafirma que los usuarios se interesan por consumir productos sin sustancias tóxicas, más limpios y frescos, seguido de una conciencia sustentable que responda al cuidado del medio ambiente.

Además del NSE establecido, la familia y el estado civil de un individuo son otras variables demográficas importantes; ya que tienen un fuerte efecto en los gastos prioritarios de los consumidores y en este caso representan el interés que las personas muestran para la alimentación de su familia con alimentos saludables.

El 58% de la población encuestada fueron personas casadas con hijos; un 33% son personas solteras interesadas en llevar una vida saludable y con una alimentación sana; y un 9% son personas casadas sin hijos (Figura 23).

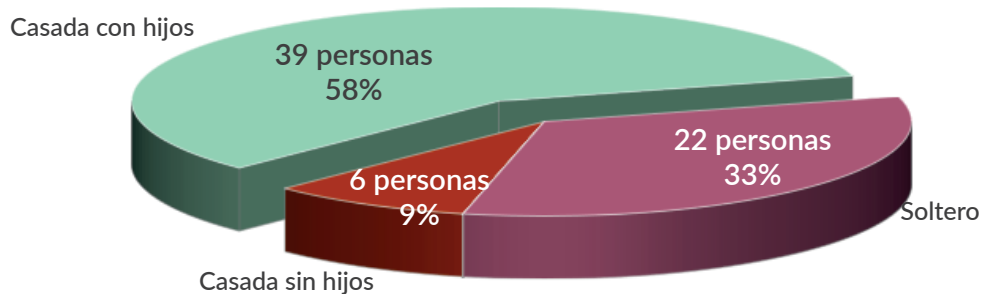


Figura 23. Estado civil
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Otro punto importante fue conocer el espacio del que disponen para colocar el producto. En la Figura 24 se muestra que el 70% personas tienen como máximo 4m² en donde podrían colocar el producto.

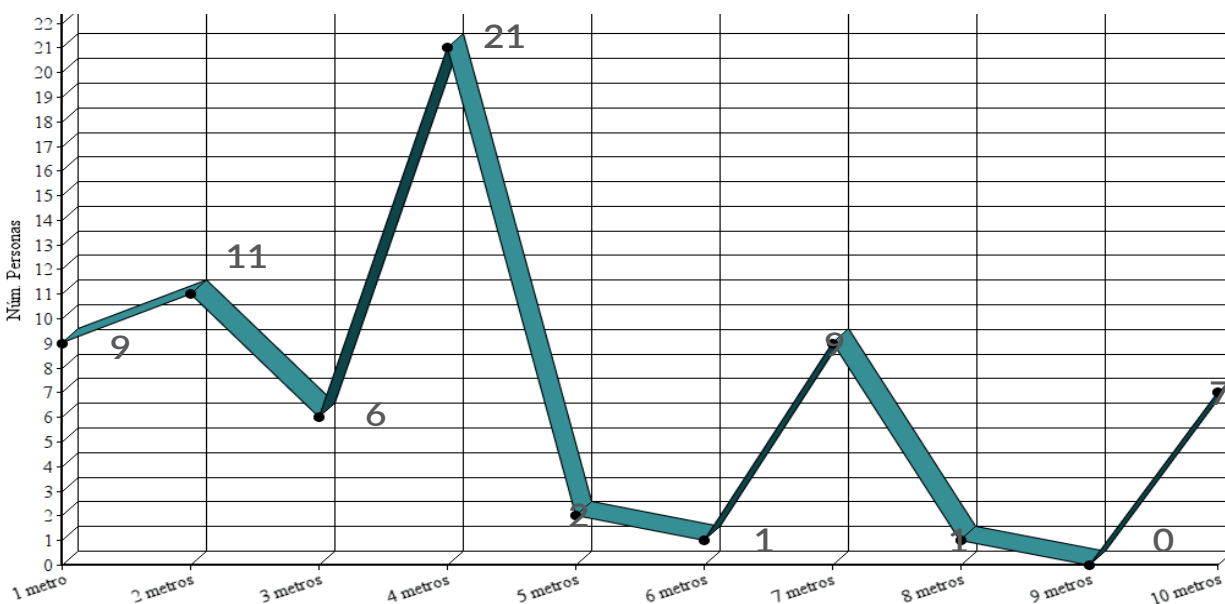


Figura 24. Área disponible para colocar el producto
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El 63% (42 personas) prefiere mantener el sistema en espacios interiores como: sala, cocina, comedor o vestíbulo y el 37% en espacios exteriores como el patio (Figura 25).

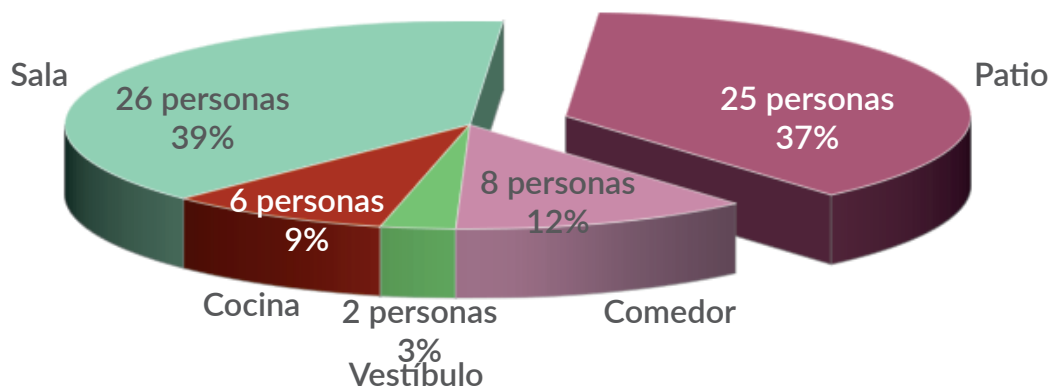


Figura 25. Ubicación del sistema
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En cuanto a las especies vegetales que prefieren cultivar (Figura 26) eligieron: lechuga, fresa, tomate, cilantro, hierbabuena, espinacas, orégano, chile, acelgas y perejil; en ese orden, de mayor a menor preferencia. De este modo se delimitaron las 10 especies a retomar en el proyecto.

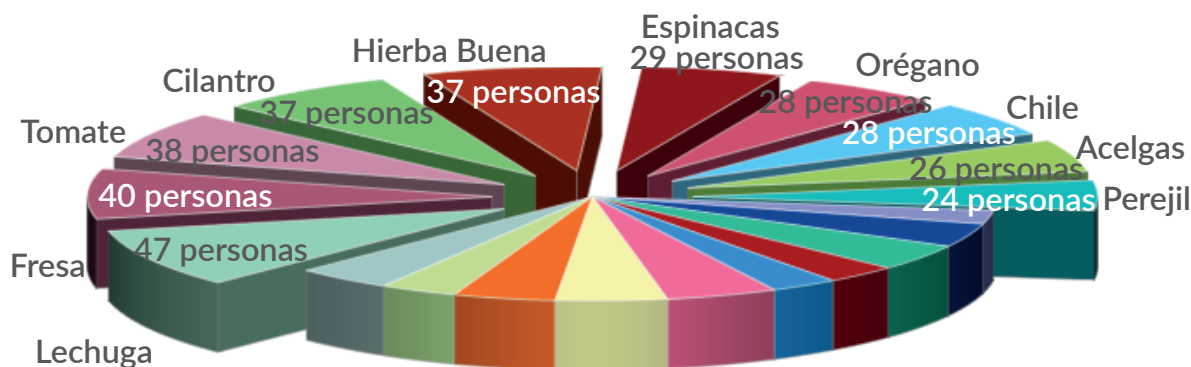


Figura 26. Especies vegetales posibles de cultivar
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.1.4. Aspectos antropométricos

Una vez establecido y conocido el sector de mercado interesado, fue necesario adecuar las dimensiones del producto para la población mexicana. Para esto, se retomaron los datos de las dimensiones antropométricas de la población brindada por Ávila (2007), en un rango de edad de 18 a 65 años, el cual contempló al grupo de usuarios de interés para el proyecto.

Las medidas antropométricas consideradas (Tabla 16) para desarrollar las propuestas de diseño fueron: la estatura, el alcance vertical máximo y los rangos de visión, debido a que no basta contemplar que el usuario tenga accesibilidad al punto más alto, sino que también es necesaria la facilidad de observar. Para esto, se contempló usar los ángulos de visión en el plano sagital (Figura 27), es decir, desde una vista lateral.

Tabla 16. Dimensiones antropométricas de la población mexicana

Dimensiones (mm)		Edad	Percentil 5		Percentil 50		Percentil 95	
			F	M	F	M	F	M
E	Estatura	18 a 65 años	1471	1576	1570	1668	1658	1780
AVmax	Alcance vertical máximo		1761	1900	1899	2043	2026	2200
ABf	Alcance de brazo frontal		631	590	684	648	741	810

***Nota:** Dimensiones en milímetros. F: Femenino; M: Masculino.
Fuente: Ávila, 2007.

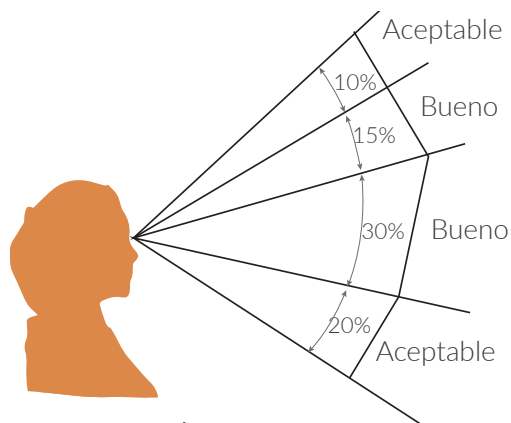


Figura 27. Ángulos de visión de perfil
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El proyecto está fundamentado en el aprovechamiento del área de cultivo, tanto en dirección vertical como horizontal, por lo tanto, la altura máxima a la que se podría tener acceso es importante. Se consideró el percentil 50 para contemplar el alcance vertical máximo al que se puedan colocar los objetos más altos.

3.1.5. Necesidades del sistema

Durante una investigación bibliográfica realizada en el Capítulo 2 se identificaron especies de peces y vegetales que pueden ser usadas en el SA, las cuales fueron sugeridas en las encuestas aplicadas, con el fin de establecer las que son preferidas por el usuario.

Se entrevistó a un técnico del invernadero de la Universidad Tecnológica de la Mixteca para recabar los requerimientos funcionales referentes a las condiciones que debe cumplir el SA respecto a las plantas. Después se hizo una segunda entrevista a dos especialistas en el tema de Acuaponía para definir los requerimientos biológicos en general, tanto hidropónicos como de acuicultura.

i. Vegetales.

La Tabla 17 presenta las 10 especies que fueron seleccionadas para ser plantadas en el sistema, con sus respectivos requerimientos biológicos. Estos requerimientos indispensables son: el espacio que necesita de manera individual para su crecimiento entre cada planta; la altura a la que crece cada una; la profundidad recomendada que necesitan las raíces; si la planta requiere de luz directa o indirecta; la humedad necesaria para cada una, ya sea abundante o moderada y el método de cultivo

en el que es recomendado crecer cada especie (NFT o sustrato).

Con los datos de las columnas 2, 3 y 4 se pudo dimensionar los contenedores de cultivo y la distancia de separación vertical necesaria para la planta; la columna de luz determinó la necesidad de aplicar una fuente de luz artificial; las últimas dos columnas fueron la base para decidir en qué sub-área dentro del área hidropónica se podría plantar cada especie, dependiendo de la cantidad de humedad requerida y el método de cultivo.

Tabla 17. Especies vegetales a usar en el sistema

Especie	Distancia entre plantas (cm)	Altura (cm)	Profundidad del contenedor (cm)	Luz	Humedad	Método de cultivo
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	20-25	20-30	10	Directa	Abundante	NFT
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	30	--	30	Indirecta	Abundante	Sustrato
Fresa (<i>Fragaria</i>)	15-20	20	20	Indirecta	Moderado	Sustrato
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	15	30	10	Directa	Moderado	Sustrato
Acelgas (<i>Beta vulgaris var. cicla</i>)	25	18	20	Directa	Moderado	NFT ó Sustrato
Chile (<i>Capsicum annuum</i>)	25	30-40	30	Indirecta	Moderado	Sustrato
Perejil (<i>Petroselinum crispum</i>)	15	20	20	Directa	Abundante	Sustrato
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	15	15	25	Directa	Moderado	NFT ó Sustrato
Hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>)	10	20	10	Indirecta	Abundante	Sustrato
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	15	20	10	Directa	Moderado	NFT ó Sustrato

Fuente: Tabla de información resumida proporcionada por expertos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Peces

Una vez determinadas las características biológicas de las plantas, fue importante determinar la especie de peces y sus variables involucradas. La selección se determinó por aquellas especies que podrían coexistir en condiciones similares, con el fin de tener diversidad de peces en el SA. La Tabla 18 presenta información de diferentes especies de peces con algunas observaciones, retomadas de la FAO y complementadas con las recomendaciones del experto entrevistado.

Tabla 18. Especies de peces a usar en el sistema

Especie	Tipo	Observación
Tilapia (<i>Oreochromis</i>)	Comestible	Temperatura: 27-30°C, Buena oxigenación
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	Comestible	Temperatura: 25-30°C, Buena oxigenación
Ovovivíparos	Ornamental	Temperatura: 20°C, Buena oxigenación

Fuente: Ing. Richard Ortega González; FAO, 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las especies pertinentes para emplear en el SA son: la tilapia, carpa y los peces que pertenecen a la clasificación de ovovivíparos (guppies, endlers, mollies, portadores de espada y platys). La selección de peces tuvo la intención de juntar diferentes especies que compartirían las mismas condiciones térmicas, para poder sobrevivir en el mismo hábitat.

En una entrevista hecha al Ing. Richard Ortega comentó, que las características del criadero de peces de consumo depende de la oxigenación del agua y su filtración. Estos peces de consumo presentan una resistencia a rangos más amplios de temperatura (20-35°C). Sin embargo, no se debe descuidar su control adecuado. Cuando no existe un balance entre plantas y peces (más plantas que peces) no se generan los suficientes nutrientes para los cultivos y es necesario tener tanques adicionales con soluciones nutritivas para balancear la relación de la carga orgánica (deshechos de peces) y los cultivos (absorción de nutrientes).

3.1.6. Requerimientos del producto

Identificar las necesidades del cliente requiere de un proceso de investigación para la recopilación y análisis de datos. La recopilación de datos en el presente proyecto se hizo mediante entrevistas a expertos en plantas y en sistemas acuapónicos, un análisis de mercado, observación de productos similares en uso y encuestas a personas que fueron incluidas en un perfil socioeconómico que se define en el siguiente capítulo. El listado de información sirvió para poder traducir las necesidades del cliente en requerimientos de diseño, las cuales indican las características, funciones y contenido que se espera en el producto y cómo deben los usuarios interactuar con él.

Una vez conociendo las necesidades del usuario y del sistema, se prosiguió a transformarlas en requerimientos técnicos con el fin de integrarlos en el desarrollo del diseño. Durante esta fase se utilizó como apoyo la herramienta del QFD, limitándose a su primera fase para generar los requerimientos en base a las necesidades.

La Tabla 19 muestra de forma general la información recopilada por medio de entrevistas a expertos, encuestas al público, revisión bibliográfica y un análisis comparativo de mercado (análisis) para determinar las necesidades; en la segunda columna se encuentran los puntos recopilados en cada análisis, seguido de las necesidades detectadas y mencionando el propósito de la información en cuanto al tipo de requerimientos.

Una vez determinadas las necesidades que el sistema debe satisfacer se presenta el desarrollo de la primera matriz del QFD en donde fue necesario valorar el peso de importancia de cada necesidad detectada mediante una escala de 1 a 5 (donde 1 es de menor importancia y 5 de mayor importancia), evaluadas en cada uno de los análisis realizados. Se presentan 17 necesidades (Tabla 20) retomadas de la Tabla 18 las cuales fueron evaluadas de manera particular dentro cada uno de los cuatro análisis realizados previamente, obteniendo un valor promedio.

Una vez determinadas y ordenadas las necesidades de acuerdo a su importancia, el siguiente paso consistió en generar el QFD. Cabe mencionar que la herramienta se utilizó con el fin de generar los requerimientos de diseño, conocer su relación con cada necesidad y tener un panorama de la competencia (en base al sistema-competidor de referencia), es por ello que se omitieron algunos puntos que no fueron requeridos para el proyecto de investigación.

Tabla 19. Información recopilada según el análisis realizado

Análisis	Datos recopilados	Necesidades	Propósito de la información
Entrevistas a expertos	<ul style="list-style-type: none"> Selección de peces Forma de siembra Tipo de cultivo idóneo 	<ul style="list-style-type: none"> El SA provee iluminación adecuada El acuario permanece oxigenado El filtro permite su fácil limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> Requerimientos funcionales
Encuestas al público	<ul style="list-style-type: none"> Interés en el cultivo Perfil de mercado Productos de mayor interés a cultivar Optar por el cuidado en interiores Tamaño máx. del producto 	<ul style="list-style-type: none"> El SA es seguro para el usuario (adultos y niños) El SA es estético El SA permite guardar instrumentos y alimento El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas El SA ocupa un espacio máximo de 4m² 	<ul style="list-style-type: none"> Requerimientos del usuario
Revisión bibliográfica	<ul style="list-style-type: none"> Proporción humana Organización Especies de plantas y peces Fluidos 	<ul style="list-style-type: none"> El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo El SA es mecánicamente resistente El SA no permite el estancamiento de agua El SA tiene un caudal propicio El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo El SA filtra el agua para retener materia orgánica Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies 	<ul style="list-style-type: none"> Requerimientos funcionales
Análisis comparativo de mercado	<ul style="list-style-type: none"> Oportunidad de mercado en México Tipo de cultivo Características necesarias para el cultivo en interiores 	<ul style="list-style-type: none"> El SA es fácil de instalar El SA optimiza espacios El SA provee exposición lumínica El SA combina cultivo vertical y horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> Requerimientos de mercado

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 20. Valoración de necesidades según el análisis aplicado

Núm.	Necesidad	ANÁLISIS				Valor Promedio
		I	II	III	IV	
1	El filtro permite su fácil limpieza	2	4	-	0.6	2.2
2	El SA optimiza espacios	3	5	4	5	4.25
3	El SA es mecánicamente resistente	5	5	5	3.2	4.55
4	El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)	5	2.6	-	3.2	3.6
5	El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	5	2	3	4.4	3.6
6	El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo	3	4	-	4.5	3.83
7	El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	-	5	2	4.4	3.8
8	El SA es fácil de instalar	5	4	-	2.8	3.93
9	El SA provee iluminación adecuada	3	4	5	2.5	3.63
10	El SA combina cultivo vertical y horizontal	5	4	-	-	4.5
11	El SA no permite el estancamiento de agua	5	3	4	0.6	3.15
12	El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo	5	3	4	2	3.5
13	El SA filtra el agua para retener materia orgánica	2	3	4	3	3
14	El SA tiene un caudal propio	5	2	4	4	3.75
15	El SA es estético	4	5	3	5	4.25
16	El SA permite guardar instrumentos y alimento	2	5	-	3.2	3.4
17	Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	2	2	5	4.4	3.35

***Nota:** I: Entrevistas a expertos; II: Encuestas al público; III: Información bibliográfica; IV: Análisis de mercado. Escala empleada: del 1-5, donde 1 es poca importancia y 5 es mucha importancia. Fuente: Elaboración propia, 2018.

En las tres primeras columnas de la matriz (Figura 28), se muestran ordenadas las 17 necesidades (de mayor a menor importancia). Estas necesidades plasmadas en el QFD son retomadas de la Tabla 20.

Las cuatro primeras filas muestran los 20 requerimientos técnicos que fueron pertinentes para el proyecto, junto con las unidades de medida y su valor de importancia de cada uno. Esto puede ser: una "Lista" de opciones, una selección "Binaria" (Sí o No) ó una "Subjetiva" (depende del criterio del cliente).

Posterior a estas primeras filas se encuentra el área de relaciones, donde cada necesidad es relacionada con aquellos requerimientos que pueden solucionarla. La relación es mediante una escala (Relación Fuerte = 9, Relación Media = 3 y Relación débil = 1) que son explicadas más adelante.

Importancia	Necesidades del producto		Requerimientos		Importancia		Unidades		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
									Contenedores para sustrato	Canales de cultivo NFT	Dimensiones	Iluminación artificial	Piezas ensamblables	Estructura	Factores ergonómicos	Estantes adicionales	Bomba	Pendiente de contenedores y acuario	Protección en esquinas	Aireación extra	Capacidad volumétrica de agua	Forma del sistema	Tipo de filtro	Número de contenedores de cultivo	Fluido por gravedad	Materiales	Mecanismos de ensambles	Herrajes y soportes
									12.4	8.5	8.3	1.7	1.9	6.6	0.6	2.3	3.3	3.3	1.7	1.7	0.6	15.9	2.5	3.8	3.2	4.2	7.7	9.6
									Binaria	Binaria	mm	Binaria	Subj.	Subj.	Lista	Subj.	Subj.	Subj.	Binaria	min.	Litros	Subj.	Binaria	núm.	Subj.	Subj.	Lista	Lista
1	4.6	El SA es mecánicamente resistente			9			9														9			9	9	9	
2	4.5	El SA combina cultivo vertical y horizontal	9	9																		9		9				
3	4.3	El SA optimiza espacios	9	9	9			3		3												9				9	9	
4	4.3	El SA es estético	9	1																		9			9		1	
5	3.9	El SA es fácil de instalar	3	3			9	9	3													9				9	9	
6	3.8	El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo																				3		3				
7	3.8	El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	9	1	3																							
8	3.8	El SA tiene un caudal propicio			9											9	9											
9	3.6	El SA provee iluminación adecuada				9																9					9	
10	3.6	El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)						9										9				1						
11	3.6	El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	9	9	9			1														9		3				
12	3.5	El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo																				9			9			
13	3.4	El SA permite guardar instrumentos y alimento														9										9	9	
14	3.4	Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	9	9																		3		3				
15	3.2	El SA no permite el estancamiento de agua															9	9				9			9			
16	3.0	El SA filtra el agua para retener materia orgánica	3																				9					
17	2.2	El filtro permite su fácil limpieza																					9					

Figura 28. Matriz de la Casa de la Calidad

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Siguiendo el orden de importancia de las necesidades, se explica a continuación su relación con cada uno de los requerimientos.

1. El SA es mecánicamente resistente, los requerimientos a considerar son:

- Dimensiones (relación alta), se consideran aquellas que intervienen para lograr resistencia a la tensión y compresión. Algunos ejemplos son: el material de la estructura, el espesor del material del acuario, el grosor de los contenedores de cultivo, etc.;
- Estructura (relación alta), puesto que es la que soportará todo el SA;
- Forma del sistema (relación alta), para mantener el equilibrio de cargas y mantenerlo estable;
- Materiales (relación alta) ya que es necesario conocer sus propiedades, tanto mecánicas como de filtración de cada material a emplear;
- Mecanismos de ensambles, herrajes y soportes (relación alta), son importantes ya que se pretende sea prefabricado considerando que sea fácil de instalar, evitar su desgaste, ruptura, deformación y que tenga estabilidad. Por ello, todas las uniones de las partes deben ser analizadas.

2. El SA combina cultivo vertical y horizontal, siendo la característica con mayor relevancia en el proyecto y estuvo relacionada con:

- Contenedores para sustrato (relación alta) y canales de NFT (relación alta), ya que son las principales técnicas de cultivo consideradas para la combinación de la orientación vertical y horizontal;
- Forma del sistema (relación alta), este punto determinará la combinación de cultivo horizontal y vertical, que a su vez definirá el diseño de cada área;
- Número de contenedores de cultivo (relación alta), la combinación de cultivo horizontal y vertical ayudará al aprovechamiento del área optimizando el número de contenedores (mayor número de contenedores en el mismo espacio).

3. El SA optimiza espacios, se considera como el aprovechamiento de espacios y mejorar el uso de las partes se relacionó con:

- Ambas técnicas (sustrato y NFT), tienen una relación alta ya que permitió dimensionar adecuadamente los diferentes contenedores y por ende, las áreas;
- Las dimensiones (relación alta) de cada pieza del sistema delimitarán espacios, por lo cual

se requieren establecer dimensiones con el fin de optimizar los espacios;

- Estructura, tiene una relación media, ya que no es el aspecto que soluciona la optimización de espacios, pero es la que define el espacio total y la relación entre áreas del SA;
- Estantes adicionales, igualmente tiene una relación media, ya que es una necesidad solicitada por el usuario y podría estar oculta;
- Forma del sistema (relación alta), está estrechamente relacionada con la distribución de los elementos del sistema;
- Mecanismos de ensambles, herrajes y soportes (relación alta), estos puntos permitirán ocultar áreas como los estantes y aprovechar espacios verticales o muertos.

4. El SA es estético surge como una necesidad por parte para los usuarios de dar un aporte estético al hogar, se relacionó con:

- Los contenedores para sustrato, ya que pueden tener una variedad de formas, por lo cual tiene una relación alta; caso contrario con los canales NFT, ya que su forma está establecida y difícilmente se puede modificar;
- Forma del sistema (relación alta), ya que a través del concepto (forma) se puede obtener un aceptable aspecto estético;
- Materiales (relación alta), por lo que junto con la forma de cada pieza, proveen una agradable apariencia estética dependiendo de la textura o color que el material ofrezca;
- Herrajes y soportes, tienen una relación mínima, ya que no soluciona dicha necesidad, pero si puede hacer que ciertos herrajes sean discretos.

5. El SA es fácil de instalar, esta necesidad se origina al analizar el mercado y percatarse de que éste aspecto es complicado. Se relacionó con los siguientes requerimientos:

- Ambas técnicas de cultivo deben anular o disminuir esta complejidad de instalación, por lo tanto tienen una relación media, ya que no es posible solucionar la necesidad en su totalidad, pero si en una parte significativa;
- Las piezas ensamblables (relación alta), facilitarán un rápido armado de la estructura, la transportación y manipulación;
- La estructura (relación alta), debe permitir que las demás partes como los contenedores, estantes, tuberías y el acuario se ensamblen en él;
- Los factores ergonómicos, deben estar presentes para dimensionar el sistema al perfil del usuario y generar una óptima interacción del producto y el usuario;

- La forma del sistema (relación alta), debe permitir una instalación intuitiva;
 - Mecanismos de ensambles, herrajes y soportes (relación alta), determinarán la facilidad o complejidad de las uniones del SA.
6. El acuario debe contener la correcta cantidad de agua, de lo contrario el SA tendría un mal funcionamiento y esto depende de que exista un correcto equilibrio entre la capacidad volumétrica de agua y el área de los contenedores de cultivo, puesto que están directamente relacionados.
7. El SA debe poder cultivar 10 especies diferentes de plantas. Esta necesidad será relacionada con los siguientes puntos:
- El cultivo con sustrato tiene una relación alta y los canales de NFT tienen una relación media, ya que el primero permite una diversidad de especies mayor que el segundo;
 - Las dimensiones de los contenedores (relación media), se debe realizar contemplando las necesidades de cada especie.
8. El SA tiene un caudal propicio para irrigar las áreas de cultivo, se relacionó con:
- Las dimensiones de los diámetros de salidas de agua, afectan y determinan el caudal de salida y la duración exacta de riego que debe generar la bomba, es indispensable para el funcionamiento del sistema.
 - La bomba tiene una relación alta porque es la que va a generar el caudal del agua adecuado.
 - Ya que el sistema no debe permitir estancamientos de agua se toman en cuenta las pendientes de los contenedores y del acuario (relación alta).
9. El sistema provee iluminación, es una necesidad que toda planta requiere para su buen crecimiento. Para esta necesidad se tomaron en cuenta tres aspectos:
- Hay dos formas de proveer iluminación al sistema; 1) si el SA es colocado en un sitio donde se tiene acceso a la luz natural mediante ventanas o ventanales, ó 2) de no ser posible tener acceso a la luz natural, es necesario aplicar una fuente de luz artificial. Para la segunda opción, el sistema debe permitir una instalación extra de una fuente de iluminación artificial.
 - La forma del sistema debe aprovechar la luz solar.

10. El SA es seguro para el usuario (niños y adultos) surgió porque las encuestas mostraron que un buen porcentaje de los interesados son padres de familia con niños en el hogar. Entonces, esta necesidad se relacionó con:

- La estructura (relación alta) debe generar estabilidad en todo el sistema.
- La protección (relación alta) en las esquinas puede ser con protectores o curvaturas en la forma del acuario, contenedores, etc.

11. El SA debe ocupar un espacio máximo de 4m^2 , se relacionó con:

- El cultivo por sustrato (relación baja), ya que necesita cierta cantidad de espacio a diferencia del NFT (relación alta), en la cual no se consideró al sustrato ni el área que utilizaría, esto lo hizo más compacto.
- Las dimensiones (relación alta) y el número de contenedores (relación media), se deben adaptar a un espacio máximo de 4m^2 .
- La forma del sistema debe de aprovechar el espacio de 4m^2 .

12. El SA debe brindar aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo depende exclusivamente de la aireación extra (relación alta), ya sea con un aireador comercial o mediante la caída del agua (relación alta) por gravedad.

13. La necesidad de guardar instrumentos de uso para el sistema o de alimento para los peces es una petición del usuario. Para esto se relacionó con:

- La opción de instalar estantes adicionales (relación alta) para dicho fin, con ayuda de mecanismos de ensamble (relación alta) o herrajes y soportes.

14. Las áreas de cultivo deben seccionarse dependiendo de las necesidades de las diferentes especies, con la finalidad de tener áreas específicas y según sus características. Para esto se consideró:

- Los dos tipos de técnicas de cultivo tienen una relación alta (sustrato y NFT), ya que algunas plantas pueden cultivarse y organizarse mediante una técnica u otra;
- La forma del sistema en general tiene una relación media porque influye en esta necesidad, ya que se pueden sombrear algunas áreas de cultivo que serían aprovechadas

para colocar especies que no requieren tanta iluminación;

- El número de contenedores (relación media) se puede adaptar a la agrupación de diferentes especies en secciones.

15. El SA no debe permitir estancamientos de agua porque es sumamente perjudicial, se relacionó con:

- La bomba (relación alta) es una de las herramientas esenciales para evitar estancamientos, así como las pendientes (relación alta) y la forma del sistema (relación alta), que en conjunto deben generar un fluido por gravedad (relación alta).

16. El SA filtra el agua para retener materia orgánica antes de que el agua ingrese al área de cultivo. Para lo cual se relacionó con:

- El cultivo por sustrato (relación media), cumple la función de filtrar materia orgánica;
- El tipo de filtro (relación alta) tiene la tarea de retener la materia orgánica de los peces en el agua antes de pasar al área de cultivo. Se decidirá el tipo de filtro más pertinente, ya sea: exterior, por criba, sedimentación o uno comercial.

17. El filtro debe permitir su fácil manipulación para su limpieza constante. Por ello se relacionó con los siguientes puntos:

- Las dimensiones (relación alta) deben de ser las adecuadas para su fácil acceso a la hora de la limpieza, considerando factores ergonómicos (relación alta);
- Los materiales (relación alta), se refiere a los que componen el filtro, por lo cual, se debe de tomar en cuenta ya que algunos son más fáciles que limpiar;
- Los mecanismos de ensamble (relación media) permitirán la accesibilidad a esta necesidad.

3.2. Etapa 2. "Desarrollo Conceptual y Básico"

Según la metodología aplicada, en esta fase se desarrollaron tres propuestas de sistemas acuapónicos tomando en cuenta conceptos (estética, ergonomía, funcionalidad) y elementos (mecanismos, materiales, dimensiones, distribución, etc.). Para lograr esto, se llevó a cabo una descomposición del sistema agrupando sus elementos, con los cuales se hizo una matriz morfológica con la finalidad de hacer combinaciones para generar las alternativas conceptuales. Esta etapa concluyó al evaluar las alternativas generadas y seleccionar la mejor.

3.2.1. Descomposición del sistema

Se inició realizando una descomposición del sistema en un diagrama esquemático lineal que se observa en la Figura 29 (arquitectura del producto), en el cual se muestran los elementos indispensables del SA para su buen funcionamiento identificando el recorrido de la red hídrica por el sistema, con línea punteada se representan las divisiones del cultivo y por último con puntos continuos las uniones. Cabe mencionar que su relación entre ellos fue definida en los Capítulos (2) y (3.1).

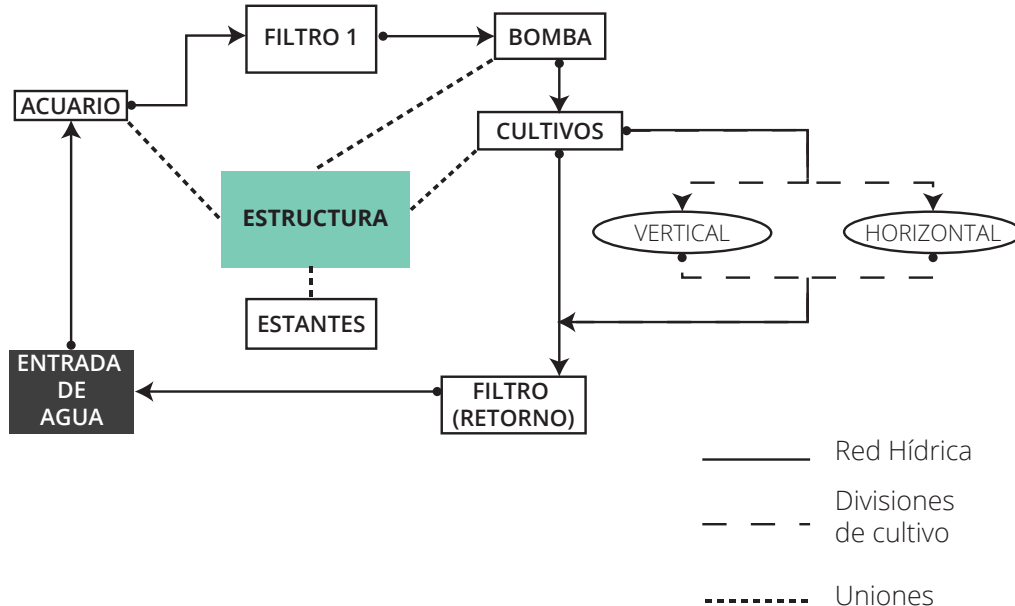


Figura 29. Arquitectura del producto
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Figura 30 representa también el proceso que lleva a cabo dentro del SA en el siguiente orden: se inicia con la entrada de agua al acuario, pasando en seguida por un filtro, después por medio

de la bomba el agua es dirigida a los cultivos, tanto verticales y horizontales sin importar el orden finalizando con un segundo filtro para volver a iniciar el ciclo. También se observa que la estructura debe permitir integrar el acuario, estantes y cultivos, sin embargo, los filtros no se consideran ya que se tiene la opción de ser independientes o ajenos a la estructura. Todas las propuestas planteadas, deben cumplir con la arquitectura del producto.

3.2.2. Matriz Morfológica

En el desarrollo del análisis morfológico fue aplicada la arquitectura del producto (Figura 30) y se desglosaron sus posibles rasgos o atributos en una matriz. Para esto se identificaron y definieron los atributos pertinentes colocados en las entradas de cada columna de la matriz como alternativas de soluciones de diseño derivados del análisis del funcionamiento y relación entre todos los elementos del SA, además de tener en cuenta al usuario y su contexto.

La Tabla 21 llamada matriz morfológica presenta 7 áreas a contemplar en el SA: contenedores, canales, acuario, estantes, filtro, estructura y aireación. Cada una con sus diferentes entradas, para realizar combinaciones que den como resultado, propuestas de conceptos de diseño.

Tabla 21. Matriz morfológica.

Contenedores vertical/horiz.	Canales vertical/horiz. NFT	Acuario	Estantes adicionales	Filtro	Estructura	Aireación
En torres	Bandeja con canales incluidos	Circular	Deslizables	Comercial	Personalizable	Caídas de agua
Panel vertical	Canales independientes	Escalonado	Modular	Criba	Integral	Cortina de burbujas
Maceta (módulo):		Bajo y extendido a lo horizontal			Compacto	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Columna 1. Se refiere a los contenedores de sustrato vertical/horizontal, dando como entradas: torres (para un cultivo mediante macetas horizontales, colocadas de manera vertical); paneles giratorios (respecto a un eje que servirá como conducto de riego); y módulos de macetas.

Columna 2. Presenta canales de NFT vertical/horizontal y sus entradas son: bandejas con

canaletas incluidas (como un mismo contenedor); y canaletas independientes (con salidas de agua independientes).

Columna 3. Para el caso del acuario las entradas son: redondeado (para evitar esquinas peligrosas); escalonado (con más de un nivel de agua para tener una buena circulación y colocar el primer filtro junto con la bomba en el nivel más bajo); y bajo extendido a lo horizontal (para darles mayor espacio horizontal a los peces).

Columna 4. Los estantes adicionales tienen como entradas las alternativas: deslizables o estantes modulares, sin embargo cada una responderá de diferente manera dependiendo del diseño general del sistema y de los mecanismos a los que sean adaptados, es decir, no está sujeto a la misma forma o mecanismo.

Columna 5. Para el filtro se tienen dos entradas y ambas son indispensables en todas las propuestas para una buena limpieza del sistema. Estas son: un filtro comercial, para evitar que la materia orgánica del acuario entre a las áreas de cultivo; y la segunda es mediante una criba colocada inmediatamente después de la última sección de cultivo para evitar que restos de raíces o sustrato entren al acuario.

Columna 6. La estructura tiene tres entradas básicas: personalizable (puede ser personalizable en un mayor porcentaje); integral (para una fácil instalación, es decir, que la estructura sea fija y que solo los demás componentes puedan ser ensamblados); y compacto, es decir, ser comprimido mediante mecanismos para ahorrar espacio tanto en su transporte como en su modo funcional.

Columna 7. Para la cuestión de la aireación, también se tienen dos entradas a considerar: caída de agua (cascada) y cortina de burbujas (introducción de burbujas al agua).

Las propuestas de concepto se forman al combinar entradas de cada columna de la matriz morfológica. Se generaron tres configuraciones morfológicas para la obtención de conceptos definidos principalmente por la estructura que a continuación se detallan.

3.2.3. Propuestas de conceptos

A continuación se describen de manera detallada 3 propuestas de conceptos de SA por medio de bocetos y en base a una configuración con respecto a la matriz morfológica generada en la sección 3.2.2. Los conceptos son ideas que se formalizan de manera general, por ello, no se presentan algunos aspectos (tolerancias, tipos de ensamble, materiales, mecanismos) de manera detallada. Sin embargo, se toman en cuenta todos los elementos necesarios para su funcionamiento investigados en las etapas anteriores.

- **Propuesta 1: "Diseño desarmable - parte del hogar".**

La primera propuesta se integra por tres elementos mostrados en la Figura 31a (acuario, cultivo NFT y panel vertical), está enfocada en generar un sistema que permita la optimización de espacios con la alternativa de tener movilidad de cada uno de estos tres elementos por separado, para que el usuario pueda distribuirlas de acuerdo a los espacios disponibles dentro del hogar. Además, el acuario de dimensiones consideradas (dimensiones) se aprovecha como sillón para dos personas como se puede observar en la Figura 30.

La Tabla 22 presenta la configuración morfológica para esta propuesta representada por celdas grises que seleccionan una o dos entradas de cada área. La propuesta es presentada en la Figura 30.

Tabla 22. Primera configuración morfológica.

Contenedores vertical/horiz.	Canales vertical/horiz. NFT	Acuario	Estantes adicionales	Filtro	Estructura	Aireación
En torres	Bandeja con canales incluidos	Circular	Deslizables	Comercial	Personalizable	Caídas de agua
Panel vertical	Canales independientes	Escalonado	Modular	Criba	Integral	Cortina de burbujas
Maceta (módulo)		Bajo y extendido a lo horizontal			Compacto	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El primer elemento a describir es el panel vertical que cuenta con módulos (macetas mostradas en la Figura 30c) insertados, los cuales pueden ser desmontables en ambas caras para su fácil

mantenimiento o configuración personalizada al gusto del usuario. Si se pretende sembrar una planta de crecimiento mayor como chile, puede quitarse el contenedor superior para liberar espacio en el eje vertical y solo se deberá colocar un tapón en la tubería para evitar regar esa área. El número de módulos posibles a colocar en el panel por lado es de 18 así que en total pueden colocarse 36 módulos.

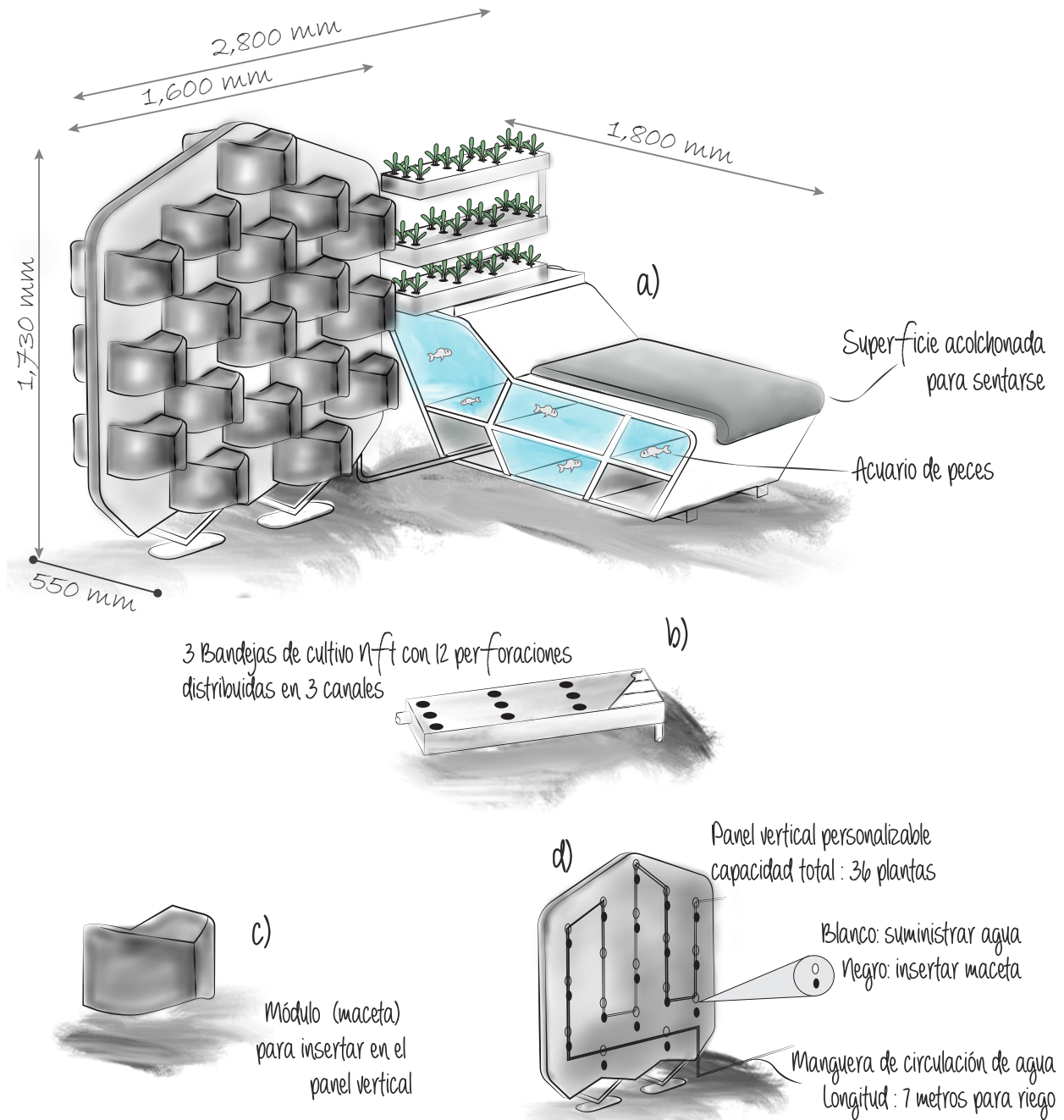


Figura 30. Primera propuesta a modo de infografía.
a) Isométrico general; b) Contenedor de NFT; c) Módulo para sustrato; d) Panel vertical con línea de circulación de agua.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Además, el panel cuenta con la opción de acercarse o alejarse hasta un máximo de 500mm lejos del acuario y con ángulo de giro disponible de 325° para poder colocar y orientar al panel de cultivo en dirección a la luz natural.

Otro de los elementos son las bandejas con canales para cultivo NFT (Figura 30b), las cuales están en la parte superior y sujetas a la estructura del acuario girando en el mismo sentido al que gira el panel vertical según sea el caso.

El acuario cuenta con distintos desniveles con el fin de que los peces tengan un espacio adecuado y así evitar el estrés que les genera un área limitada. También cuenta con dos estantes en los extremos inferiores generados por los desniveles del acuario donde guardar instrumentos de medición y manipulación del sistema o para alimento de los peces.

El sistema considera dos filtros aplicados: uno para retener la materia orgánica de los peces, el cual se encuentra en el nivel más bajo del acuario; y otro para retener raíces durante el retorno del agua, después de haber pasado por las áreas de cultivo.

Con lo que respecta a la generación de aireación son consideradas las caídas de agua generadas al ir descendiendo entre las bandejas de cultivo NFT hasta llenar al acuario; y también se propone agregar una cortina de burbujas extra dentro del acuario.

La secuencia de esta propuesta comienza en el acuario dentro del cual deberá situarse en su nivel más bajo el primer filtro de agua para llegar a la bomba libre de materia orgánica siendo impulsada hacia la parte inferior del panel vertical, de 50mm de espesor donde se encuentra la manguera (7 metros) para la circulación de agua con el fin de distribuirla a cada uno de los módulos de cultivo con sustrato; el circuito dentro del panel se muestra en la Figura 30d. Terminado el recorrido dentro del panel, la tubería sale por un extremo superior que se conecta al área de cultivo NFT con 3 contenedores (uno debajo de otro), de 830mm de largo, 240mm de ancho y 80mm de alto cada uno y con 200mm de separación.

Cada contenedor está dividido en tres canales, con 12 perforaciones ($1\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro) en la tapa superior, con una separación de 250mm de centro a centro con un total de 36 perforaciones. Las bandejas tienen una inclinación de 2° para permitir un escurrimiento por gravedad del agua y

desembocar en un tubo que conduce a la última que tiene una criba en su interior para recolectar algunos restos orgánicos.

Las dimensiones generales del acuario presentadas en la Figura 30a son: 1800mm de largo (de extremo a extremo, contemplando las inclinaciones), por 800mm de ancho, 690mm en el nivel más alto y sobre el tanque está situada una superficie plana usada como sillón fijo, tapizado sin respaldo como mueble complementario al hogar considerando una altura ergonómica de 410mm correspondiente al percentil 50 femenino de personas de entre 18 a 65 años de edad.

La capacidad de área de cultivo se calcula en la Tabla 23, donde se obtuvo que cada módulo del panel vertical tiene un área de 0.06m², y cuenta con 36 módulos, por lo tanto el área en conjunto es de 1.98m². En la siguiente columna se muestra el área de cultivo NFT, la cual consta de 3 contenedores que juntos hacen un total de 0.60m². Por lo tanto, el área total de cultivo de esta propuesta es de 2.56m², pero por practicidad para los cálculos, se ha redondeado a 2.60m².

Tabla 23. Capacidad de cultivo de la propuesta 1: "Diseño parte del hogar"

	PANEL	NFT	
	Área por módulo= 0.06 m ²	Área por bandeja= 0.1992 m ² ≈ 0.20 m ²	Área de cultivo total A.T=2.56 m² ≈ 2.60 m²
Área sub-total	(36 módulos) Área total del panel= 1.98 m ²	(3 bandejas) Área total de NFT= 0.60 m ²	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez obtenida el área total de cultivo para la propuesta, se determinó la capacidad necesaria de agua, la cantidad de peces (kg) y la proporción de comida necesaria para ellos, mediante las siguientes relaciones que establece la FAO, siendo las adecuadas para la investigación:

La primera relación se refiere a que "para 1m² de cultivo se requiere proporcionar 50 gr de comida para los peces al día." En ésta primera propuesta se tiene 2.60m² de área de cultivo la cual se sustituye en la [Ec. 3-4] dando como resultado que la cantidad de comida necesaria es de 130gr de comida al día:

$$2.60m^2 \times \frac{50gr \text{ de comida / día}}{1m^2} = 130gr \text{ de comida / día} \quad [\text{Ec. 3-4}]$$

La siguiente relación es que "a cada 100gr de peces les corresponde de 1 a 2 gr de comida al día". Se sabe que al día es necesario ingresar 130gr de comida, dato que se sustituye en la [Ec. 3-5], obteniendo como resultado que es necesario considerar de 6.5 a 13kg de peces para esa cantidad de comida:

$$130gr \text{ de comida / día} \times \frac{100gr \text{ de peces}}{1-2gr \text{ de comida / día}} = 6.5-13kg \text{ de peces} \quad [\text{Ec. 3-5}]$$

La última relación se refiere a la cantidad de agua con relación al peso total de peces y es la siguiente: "para 20kg de peces se requieren 1, 000 litros de agua". Una vez obtenida la cantidad de peces necesaria (6.5-13kg) se requiere conocer la capacidad de agua para tener un buen equilibrio dentro del SA:

$$6.5-13kg \text{ de peces} \times \frac{1,000 \text{ litros de agua}}{20kg \text{ de peces}} = 325-650 \text{ litros de agua} \quad [\text{Ec. 3-6}]$$

Una vez sustituido el dato de la cantidad de peces en la [Ec. 3-6] se obtiene que el sistema propuesto requiere un acuario con capacidad de 325 a 650 litros de agua.

- **Propuesta 2: "Diseño integral".**

La segunda propuesta está enfocada en un diseño integral donde se consideran todos sus elementos y partes como un todo con la finalidad de crear un equilibrio estético y funcional en conjunto.

La Tabla 24 presenta la configuración morfológica establecida para esta propuesta, en donde las celdas grises representan las entradas seleccionadas para cada área.

Tabla 24. Segunda configuración morfológica.

Contenedores vertical/horiz.	Canales vertical/horiz. NFT	Acuario	Estantes adicionales	Filtro	Estructura	Aireación
En torres	Bandeja con canales incluidos	Circular	Deslizables	Comercial	Personalizable	Caidas de agua
Panel vertical	Canales independientes	Escalonado	Modular	Criba	Integral	Cortina de burbujas
Maceta (módulo)		Bajo y extendido a lo horizontal			Compacto	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La secuencia de esta propuesta comienza con un acuario de baja altura y extendida en el plano horizontal para permitir un mayor espacio a los peces evitando el estrés ocasionado por un área reducida. El acuario tiene una forma rectangular con dos esquinas redondeadas, con la intención de evitar riesgos de accidentes por esquinas expuestas y se encuentra ubicado en la parte inferior del SA.

El acuario tiene dos niveles, con una separación de 15 cm de diferencia entre uno y otro, y tiene dos espacios para tener acceso directo al agua (uno en cada extremo). Por el lado izquierdo se coloca la tubería de succión para la bomba y por el lado derecho del tanque el agua retorna al acuario.

Justo antes de que el agua del acuario entre a la bomba se encuentra el primer filtro para evitar que la materia orgánica de mayor tamaño de los peces sea enviada al área de cultivo.

En la Figura 31 se observa esta segunda propuesta del SA con sus elementos.

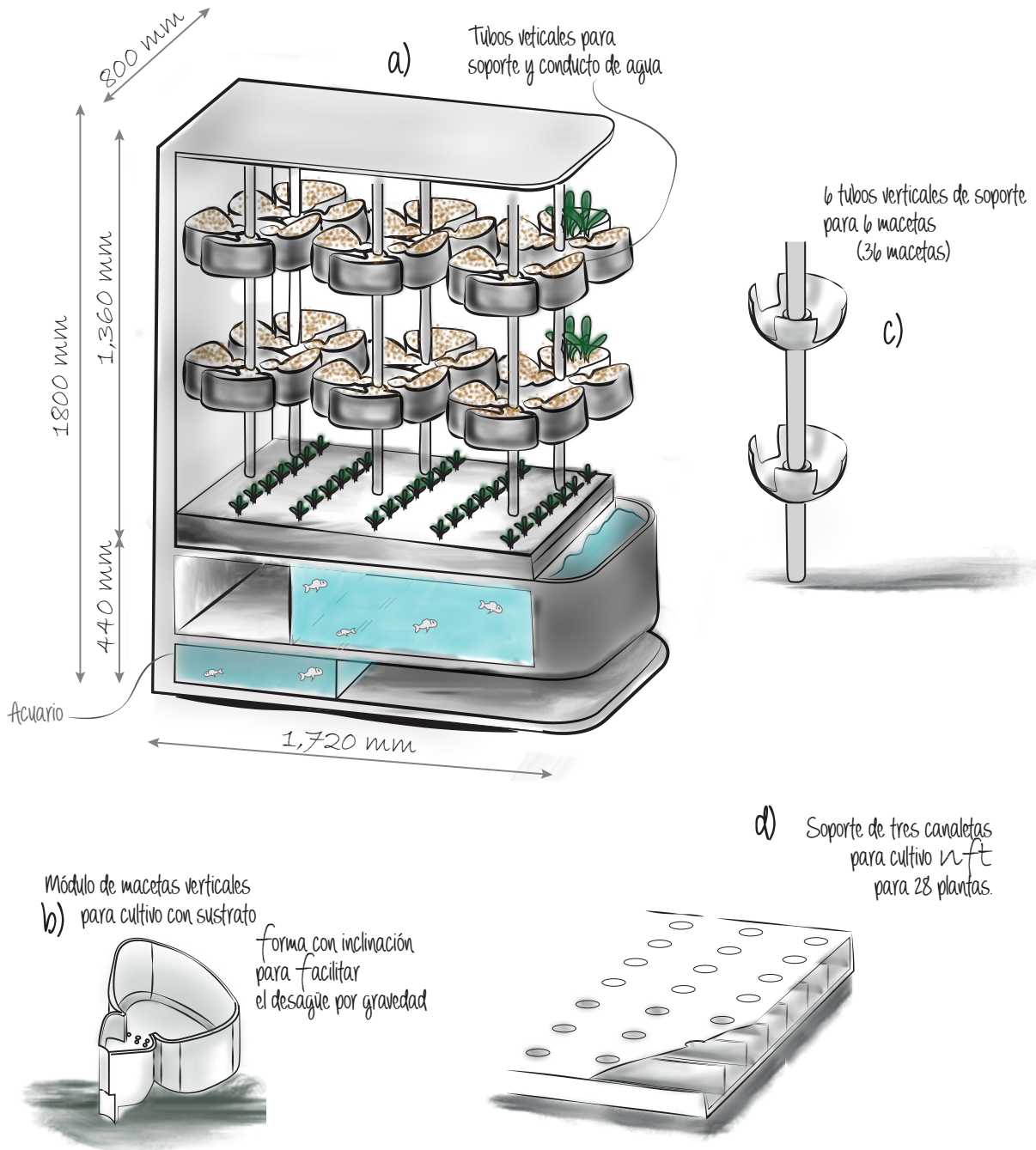


Figura 31. Segunda propuesta a modo de infografía.

a) Isométrico general; b) Módulo de maceta para sustrato; c) soporte para tres módulos; d) Contenedor para NFT; e) Patas de soporte.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La bomba, hace subir el agua hasta una altura de 1800mm, donde está una plataforma (que forma parte de la estructura) para distribuir el agua por seis salidas que suministran a los tubos verticales (Figura 31c), cada uno de ellos tiene dos niveles de cultivo con tres módulos (macetas) para sustrato que son insertados a un soporte fijo al eje vertical. Entre cada nivel se considera una altura suficiente

para el crecimiento de las plantas. Un tubo vertical es capaz de contener 6 módulos, y se consideran 6 tubos verticales, por lo tanto, hay un total de 36 módulos. Los módulos se distribuyen en forma de una matriz circular, donde el centro es cilíndrico (tubo vertical) y posee un soporte principal (Figura 32c), considerando el área adecuada en cada módulo.

El tubo vertical (Figura 32), conduce el flujo de agua por el cultivo de sustrato y está compuesto por dos soportes fijos para colocar los módulos de cada nivel; tiene 3 perforaciones para suministrar agua a los módulos, considerando otras tres abajo para drenar el agua y pueda regresar al tubo.

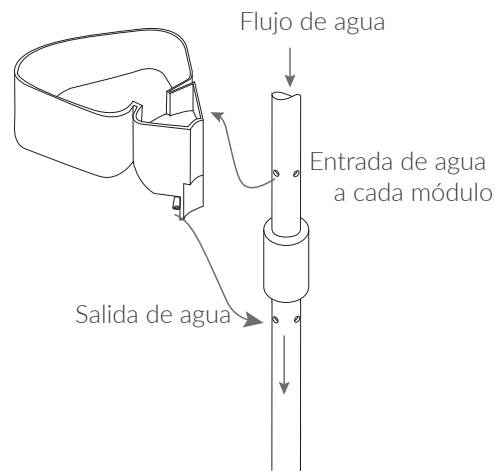


Figura 32. Suministro y drenado de agua
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cada módulo debe tener una inclinación para facilitar la circulación del agua y una vez absorbida la necesaria, el resto será drenada.

El tubo vertical se sujeta de la parte superior del SA donde se conecta con la instalación de distribución de agua y se fija en la parte inferior al área de cultivo NFT que está ubicado sobre el acuario. El agua que baja a este contenedor llega a 3 canales de riego transversales que distribuyen el agua en los 7 canales del área de cultivo. Finalmente, el agua retorna al acuario mediante una cascada (desde el contenedor de cultivo NFT) para permitir aireación por caída de agua. Cabe mencionar que en el extremo del contenedor se encuentra un segundo filtro para evitar que cualquier residuo de raíces caiga en el acuario como caída por gravedad como vertedero simple (Figura 33).

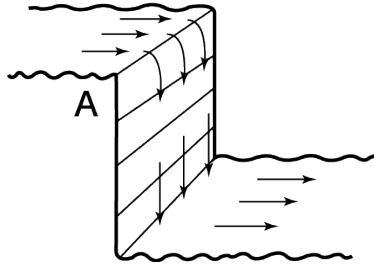


Figura 33. Caída de agua como vertedero simple
Fuente: Lawson, 1995

Por último, la capacidad de área de cultivo de esta segunda propuesta se describe en la Tabla 25, donde se muestra el área de cultivo vertical, de manera individual (por módulo) y teniendo en cuenta que se trata de 6 módulos por tubo, es decir, 36 módulos en total obteniendo como resultado una área de 1.116m^2 con respecto al cultivo por sustrato. También se calcula el área de cultivo NFT que sumado con el área de cultivo por sustrato resultó un total de 2.216m^2 (por practicidad, se ha redondeado el valor a 2.30m^2).

Tabla 25. Capacidad de cultivo de la propuesta 2: "Diseño integral".

	Torres	NFT	
	Área por módulo= 0.031 m^2	Área de placa= 1.10 m^2	Área de cultivo total $A.T=2.216\text{ m}^2 \approx 2.30\text{ m}^2$
Área sub-total	(6 torres de 3 módulos con dos niveles) = 36 módulos Área total= 1.116 m^2	Área de placa= 1.10 m^2	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez obtenida el área total de cultivo para la propuesta, se determinó la capacidad necesaria de agua, la cantidad de peces (kg) y la proporción de comida necesaria para ellos, mediante las siguientes relaciones que establece la FAO, siendo las adecuadas a la investigación:

La primera relación establece que "con 1m^2 de cultivo se necesitan suministrar 50 gr de comida para los peces al día." Teniendo en cuenta que el área total de cultivo que se calculó es de 2.30m^2 sustituyéndola en la [Ec. 3-7] se determinaron 115gr de comida al día:

$$2.30\text{m}^2 \times \frac{50\text{gr de comida / día}}{1\text{m}^2} = 115\text{gr de comida / día} \quad [\text{Ec. 3-7}]$$

La segunda relación establece que "a cada 100gr de peces le corresponden 1 a 2 gr de comida al día". Por lo que el resultado de la ecuación anterior es sustituido en la [Ec. 3-8], y se obtuvo como resultado que se necesitan de 5.75 a 11.5kg de peces para esa cantidad de comida:

$$115\text{gr de comida / día} \times \frac{100\text{gr de peces}}{1-2\text{gr de comida / día}} = 5.75-11.5\text{kg de peces} \quad [\text{Ec. 3-8}]$$

La última relación establece que "para 20kg de peces se necesitan 1, 000 litros de agua". Una vez obtenida la cantidad de peces requerida para un buen equilibrio dentro del SA, fue posible conocer la capacidad de agua que el sistema requiere:

$$5.75-11.5\text{kg de peces} \times \frac{1,000 \text{ litros de agua}}{20\text{kg de peces}} = 287.5-575 \text{ litros de agua} \quad [\text{Ec. 3-9}]$$

El resultado de la [Ec. 3-9] se generó al sustituir la cantidad de peces con la relación a la cantidad de agua, obteniendo así que el acuario debe tener una capacidad de 287.5 a 575 litros de agua.

- **Propuesta 3: "Diseño compacto".**

El tercer concepto está basado en la configuración morfológica presentada en la Tabla 26 para un SA. Es un diseño compacto integrado por 4 niveles: el nivel inferior, es el acuario; el siguiente nivel es un área de cultivo NFT y el cuarto y quinto nivel son bandejas para sustrato (a diferencia de los módulos en las propuestas anteriores); el último nivel ofrece la alternativa de utilizarse también como cultivo NFT ya que consta de un segundo contenedor de canales para cultivo NFT que se despliega para tener una cuarta área de cultivo.

Tabla 26. Tercera configuración morfológica.

Contenedores vertical/horiz.	Canales vertical/horiz. NFT	Acuario	Estantes adicionales	Filtro	Estructura	Aireación
En torres	Bandeja con canales incluidos	Circular	Deslizables	Comercial	Personalizable	Caidas de agua
Panel vertical	Canales independientes	Escalonado	Modular	Criba	Integral	Cortina de burbujas
Maceta (módulo)		Bajo y extendido a lo horizontal			Compacto	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El tercer concepto de propuesta de un sistema acuapónico (Figura 34) comienza con un acuario, en donde en su nivel más bajo se sitúa un primer filtro que permita la retención de materia orgánica en el agua para llegar a la bomba y sea impulsada hasta la parte superior del SA; el agua es elevada hasta una altura de 1,800mm ingresando al contenedor vertical (Figura 34a). El contenedor es al mismo tiempo la tapa del contenedor horizontal, al cual está fijado mediante bisagras que le permiten cambiar de dirección (vertical u horizontal).

El contenedor vertical NFT tiene 14 perforaciones de 1 3/4" a cada 280mm (Figura 34b). Una vez recorridos los canales dentro de este contenedor, el agua cae a la siguiente bandeja horizontal (contener sustrato). Éste a su vez comunica el agua al contenedor inmediato inferior que también es para cultivo con sustrato (ambos de las mismas dimensiones). Ambas con una altura de 150mm, dimensión indispensable para una óptima absorción de agua y soporte de las raíces.

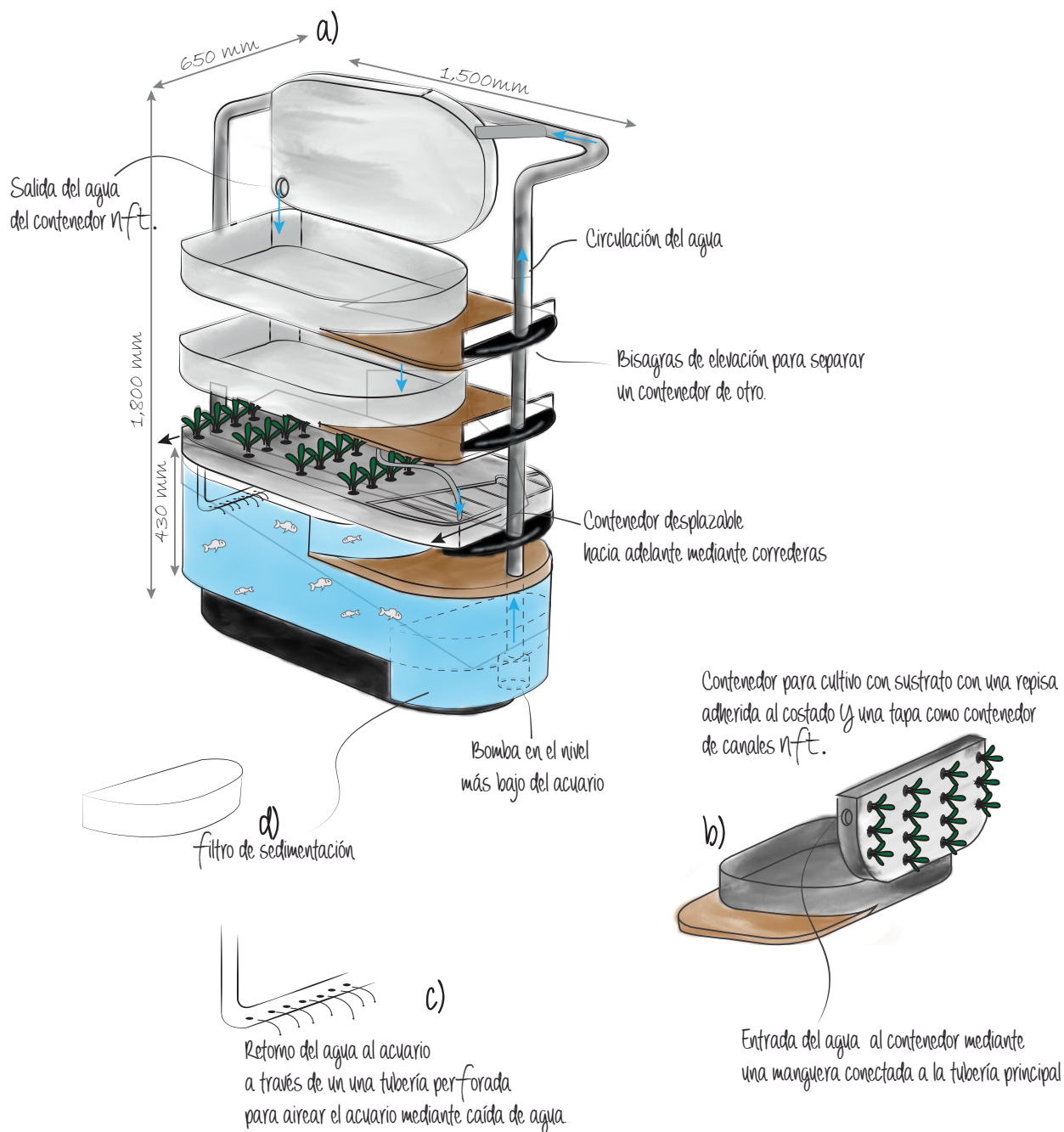


Figura 34. Tercera propuesta a modo de infografía.

a) Isométrico general; b) Contenedor para sustrato y adherido a uno vertical de NFT; c) Retorno de agua; d) Filtro.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación se encuentra el contenedor para cultivo NFT de 7 canales al interior, cada uno con 5 perforaciones que genera una capacidad de 35 plantas. El diseño de la forma para ambos contenedores para cultivo NFT posee una inclinación del 2% que evita el estancamiento de agua.

Una vez recorrido todas las áreas de cultivo, el agua desemboca en una tubería de 2 pulgadas con perforaciones generando una caída (Figura 34c) que proporcione oxígeno al acuario.

La capacidad de área de cultivo de esta propuesta se describe en la Tabla 27, donde se cuantifica el área de cultivo de manera individual y en conjunto, dando un total de 1.20m².

También se muestra el área de cultivo por NFT por contenedor y en conjunto. Sumando ambas áreas de cultivo resultó un total de 2.38m².

Tabla 27. Capacidad de cultivo de la propuesta 3: "Diseño compacto".

	Sustrato	NFT	
	Área por bandeja= 0.60 m ²	Área contenedor 1 = 0.35 m ² Área contenedor 2 = 0.83 m ²	Área de cultivo total A.T=2.38 m ²
Área sub-total	(2 bandejas idénticas) Área total= 1.20 m ²	Área total= 1.18 m ²	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez obtenida el área total de cultivo para la propuesta, se determinó la capacidad necesaria de agua, la cantidad de peces (kg) y la proporción de comida necesaria para ellos, mediante las siguientes relaciones que establece la FAO, siendo las adecuadas a la investigación:

La primera relación establece que "para 1m² de cultivo se requieren ingresar 50 gr de comida para los peces al día." Teniendo en cuenta que el área total de cultivo es de 2.38m² se sustituye en la [Ec. 3-10] y se obtuvo que es necesario 119gr de comida al día:

$$2.38m^2 \times \frac{50gr \text{ de comida / día}}{1m^2} = 119gr \text{ de comida / día} \quad [\text{Ec. 3-10}]$$

Otra relación es que "a cada 100gr de peces les corresponde 1 a 2 gr de comida al día". Por lo que el resultado de la ecuación anterior es sustituido en la [Ec. 3-11], y se obtuvo como resultado que se necesitan de 5.95 a 11.9kg de peces para esa cantidad de comida:

$$119 \text{ gr de comida / día} \times \frac{100 \text{ gr de peces}}{1 - 2 \text{ gr de comida / día}} = 5.95 - 11.9 \text{ kg de peces} \quad [\text{Ec. 3-11}]$$

La última relación dice que "20kg de peces se deben mantener en 1, 000 litros de agua". Una vez obtenida la cantidad de peces necesarios para tener un buen equilibrio dentro del SA, fue posible conocer la capacidad de agua que el sistema requiere:

$$5.95 - 11.9 \text{ kg de peces} \times \frac{1,000 \text{ litros de agua}}{20 \text{ kg de peces}} = 297 - 595 \text{ litros de agua} \quad [\text{Ec. 3-12}]$$

El resultado que la [Ec. 3-12] genera al sustituir la cantidad de peces es que el sistema propuesto debe de tener un acuario con capacidad de 297 a 595 litros de agua.

A diferencia de las propuestas anteriores, se eliminó el segundo filtro, la cantidad de contenedores es menor; y el área de cultivo es mayor.

3.2.4. Selección del concepto

La selección del concepto a desarrollar fue evaluada mediante una matriz de Pugh considerando cada uno de los requerimientos de diseño determinados y establecidos por medio del QFD (Figura 28). En la tercera columna de la Tabla 28 se nombran los requerimientos de diseño, seguidos de tres columnas que evalúan cada propuesta comparándolas con el producto de referencia. Por último, debido a que la matriz requiere introducir el valor de "importancia" de cada requerimiento, se retoma el valor, con el mismo nombre, anteriormente generado en el QFD.

Durante el análisis de mercado se determinó un producto de referencia llamado Grove, el cual, servirá para determinar la calificación de las casillas donde se evalúa a cada propuesta (columna 4, 5 y 6). Para esta evaluación es colocado uno de los tres valores siguientes: si el cumplimiento que cada propuesta le da al requerimiento es menor a la del producto de referencia, se coloca un -1. Si el cumplimiento es igual al del producto de referencia, se coloca un 0. Y, si el cumplimiento es mayor al que le da el producto de referencia, se coloca un 1.

Luego de evaluar cada propuesta se suman todos sus valores (penúltima fila). Obteniendo que la propuesta 1 genera 9 puntos como resultado; la propuesta 2 genera 15 puntos; y la tercer propuesta 12 puntos, con Esta sumatoria se obtuvo que la segunda propuesta podría ser la más acertada para el proyecto considerando que cada requerimiento tiene la misma importancia. Sin embargo, en la última fila se toma en cuenta el grado de importancia de cada uno de los requerimientos, valores de la última columna, y se genera una ponderación de valores.

Esta ponderación consiste en atribuirle a cada valor de la evaluación (-1, 0 o 1) un peso correspondiente al grado de importancia que cada requerimiento representa para el sistema. Por lo tanto, cada valor es multiplicado por su respectiva importancia y se suma o resta con el siguiente valor (en caso de ser cero el valor es nulo). La sumatoria de estos valores multiplicados determina el peso exacto que cada propuesta tiene en relación al peso de cada requerimiento. La propuesta 1 tuvo un peso final de 55.73; la segunda de 90.8 y la tercera de 68.4. Así se concluyó que la "Propuesta 2" fue la más acertada para el proyecto, ya que en los dos resultados tuvo el valor más alto.

Tabla 28. Matriz de Pugh para selección de propuesta final

		Propuestas			Importancia	
		1	2	3		
Requerimientos	1	Contenedores para sustrato	1	1	1	12.4
	2	Canales de cultivo NFT	1	1	1	8.5
	3	Dimensiones	-1	1	1	8.3
	4	Iluminación artificial	-1	-1	-1	1.7
	5	Piezas ensamblables	1	1	1	1.9
	6	Estructura	0	1	1	6.6
	7	Factores ergonómicos	1	1	1	0.6
	8	Estantes adicionales	0	1	0	2.3
	9	Bomba	0	0	0	3.3
	10	Pendiente de contenedores y tanque	1	1	1	3.3
	11	Protección en esquinas	1	1	1	1.7
	12	Aireación	0	0	0	1.7
	13	Capacidad volumétrica de agua	0	0	0	0.6
	14	Forma del sistema	1	1	0	15.9
	15	Tipo de filtro	1	1	1	2.5
	16	Número de contenedores de cultivo	1	1	1	3.8
	17	Fluido por gravedad	1	1	1	3.2
	18	Materiales	1	1	0	4.2
	19	Mecanismos de ensambles	1	1	1	7.7
	20	Herrajes y soportes	0	1	1	9.6
TOTAL		9	15	12	100%	
PONDERACIÓN		55.73	90.8	68.4		

***Nota:** Escala: -1 (menor importancia); 0 (igual en importancia); 1 (mayor importancia) comparado con el producto de referencia.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.3. Etapa 3. "Desarrollo Avanzado"

Una vez definida la propuesta, se inició con la tercera etapa que describe el desarrollo de la propuesta seleccionada mediante el modelado virtual de cada una de las partes del sistema a través de un software CAD y realizar el armado de las piezas 3D del SA, finalizando con la creación de los planos generales y a detalle finales del SA

Para ello se analizó el diseño de cada una de las piezas y secciones de manera detallada, generando una serie de alternativas con el fin de seleccionar la que mejor respondiera a las necesidades de los usuarios y requerimientos técnicos.

El desarrollo avanzado del sistema requirió el uso de algunas piezas como: la bomba, el prefiltro, tuberías, correderas, ruedas, lámparas, canastillas, abrazaderas, jaladera, el TIMER y pernos; las cuales son piezas comerciales cuyo funcionamiento ya ha sido probado por los proveedores previamente, por lo que no se requirió corroborar su resistencia y eficacia dentro del proyecto.

Por otro lado, algunas otras piezas como los módulos de sustrato, los soportes para los módulos, los canales horizontales de riego, el contenedor NFT y la estructura; después de haber determinado sus características geométricas de diseño, se sometieron a un análisis de ingeniería con la finalidad de comprobar o evaluar la factibilidad de producción y funcionamiento del SA.

Esta evaluación consistió en examinar primeramente los resultados de los esfuerzos de Von Mises en base al límite elástico del material y posteriormente el F.S. mínimo que soportaría la pieza evaluada, es decir, el número de veces que soporta la carga que fue aplicada durante el análisis. Para esto se tomó en cuenta que las fuerzas serán aplicadas en la práctica en la pieza, las cuales pueden crear deformaciones permanentes o rupturas.

Este análisis de deformación por cargas se realizó mediante un AEF de cargas estáticas, que al introducir las propiedades de los materiales seleccionados se pudo calcular y conocer los puntos donde se deformará permanentemente bajo ciertas cargas. Durante el proceso de desarrollo del diseño de cada pieza, se realizaron modificaciones para asegurar un mejor desempeño en base a las fallas que resultaron y se reforzaron puntos críticos donde la pieza podría fallar por la aplicación de cargas.

3.3.1. Definición de piezas

En esta sección se determinaron las especificaciones de las piezas, para definir el diseño preliminar, materiales a aplicar, mecanismos pertinentes, capacidades volumétricas, cargas a soportar, uniones entre una pieza y otra, considerando sus requerimientos, necesidades, ubicación y funciones de cada elemento. Con el objetivo de definir concretamente cada una de las piezas y sus características finales, se aplicó un Análisis de Elemento Finito (AEF) para cada una de las piezas diseñadas del SA mediante un software CAD/CAE. A continuación, se definirán las siguientes partes: acuario, filtro, módulos de sustrato, contenedor NFT, zonificación de cultivo vegetal, estructura, estantes, instalación hidráulica y la bomba.

i. Acuario

El acuario es el contenedor que alberga los peces, un filtro y la mayor capacidad de agua que circulará por el SA. Existen 3 alternativas de materiales establecidas en el marco teórico como referencias de opciones a usar dentro de un SA, las cuales son: vidrio, acrílico o tanques de LDPE, de las cuales se presentan sus características (apariencia, densidad, resistencia a impacto, método de producción, facilidad de formas) en la matriz comparativa (Tabla 29) con el fin de seleccionar la mejor respecto al caso de estudio.

Tabla 29. Selección de material para acuario según sus necesidades.

Necesidad:	Alternativas		
	Vidrio	Acrílico	LDPE
Apariencia	3	3	1
Densidad	2,500 kg/m ³	1,200 kg/m ³	kg/m ³
Resistencia al impacto	2	3	3
Método de producción	Pegado con silicona	Termoformado	Inyectado
Facilidad de esquinas curvas	3	3	3
Facilidad de producción	3	1	1
Total	11	10	8

***Nota:** Los datos evaluados son información proporcionada por los proveedores. Escala empleada: 1 Malo; 2 Medio; 3 Bueno.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En conclusión, la matriz comparativa determinó que el material pertinente para el acuario es el vidrio, el cual puede proveer una excelente apariencia (estética) ya que se pueden generar las curvas deseadas mediante moldes y la aplicación de calor, y su mayor facilidad de producción en comparación con los otros materiales.

Se tienen espesores del vidrio para diferentes capacidades de agua provistas como dimensiones estándares por seguridad para diseñar acuarios por Teton (2003), presentadas en el Capítulo 2.2.1. Su construcción se propone a base de 6 piezas (Figura 35b) que se unirán mediante pegado UV (adhesivo para soldado de alta resistencia mediante lámparas láser/ultravioleta) para producir el acuario mostrado en la Figura 35a.

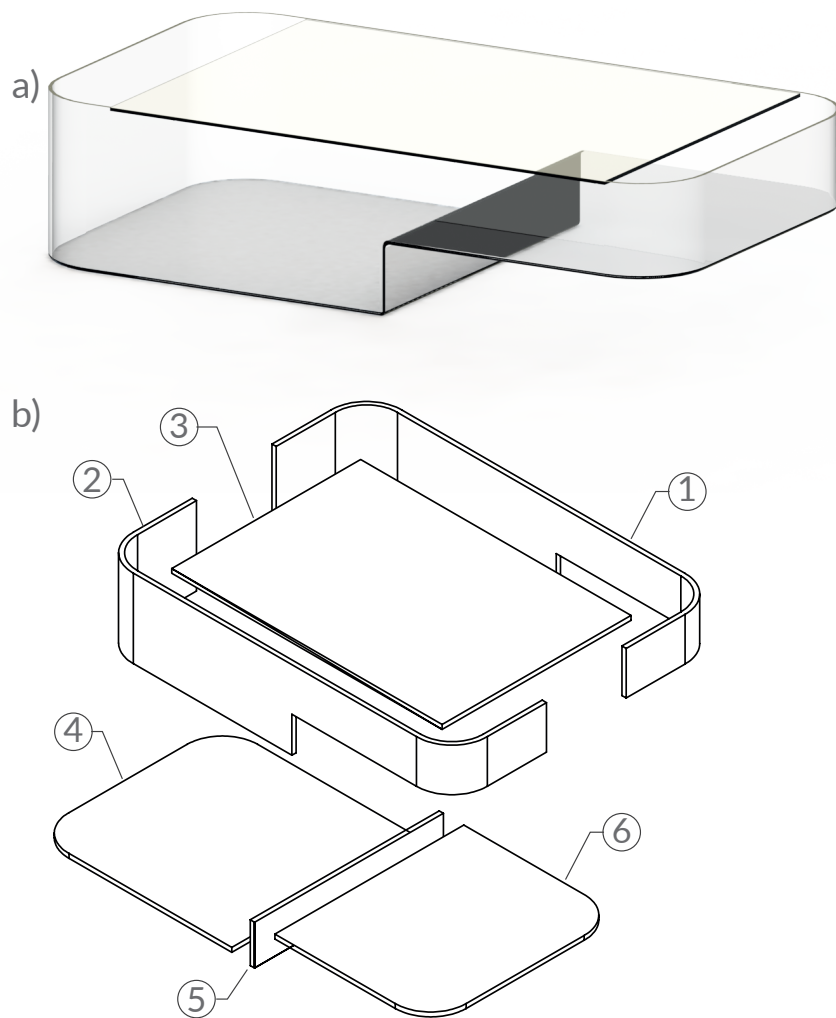


Figura 35. Acuario y despiece.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 30 presenta las características requeridas para el acuario en base a la información anteriormente mencionada y el análisis de esta sección. Esta información se compone de: las dimensiones del acuario, su peso, la capacidad en litros que soporta y densidad del material.

Tabla 30. Especificaciones técnicas del "Acuario"

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	1,500 mm*800 mm*400 mm (59.06 in * 31.5 in * 15.75 in)
Peso	88600 gr (82.60 kg)
Capacidad del contenedor	330 litros
Material	Vidrio 10 mm Densidad= 2457.6 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Filtro

Debido a la combinación de dos métodos de cultivo hidropónico (por sustrato y NFT) fue necesaria la ubicación de dos filtros en el sistema: el "Filtro 1" entre el acuario y la bomba de impulso y el "Filtro 2" justo antes de que el agua retorne al acuario.

El primero comienza con la captación y retención de materia orgánica, como comida o desechos de los peces, para evitar bloqueos en la bomba y en las tuberías, ya que los desechos no filtrados pueden crear peligros debido a la descomposición de la materia orgánica albergando bacterias que producen sulfuro de hidrógeno, que es un gas muy tóxico y letal para los peces y las pequeñas partículas que logren traspasar este filtro serán retenidas en el área de cultivo por el sustrato.

Por lo tanto, este filtro requiere una limpieza más constante a comparación del segundo que se encuentra entre el contenedor NFT y el acuario. Este segundo filtro requerirá una limpieza más esporádica, ya que su tarea es retener algunas pequeñas raíces que logren desprenderse del área de cultivo NFT.

Para esto se tuvieron tres alternativas: filtros mediante sedimentación, filtros mediante cribas y filtros comerciales. En la siguiente matriz de selección (Tabla 31) se analizaron estas tres opciones

en relación a las necesidades específicas que debe de cubrir el filtro dentro del SA propuesto considerando tanto para el Filtro 1 como el Filtro 2.

La selección dependió de cómo respondió a las siguientes necesidades: fácil instalación; limpieza práctica, ya que debe realizarse de manera constante; el tamaño no debe ser excesivo y la ubicación es fundamental debido a que necesita tener un área de accesibilidad para su manipulación constante.

Tabla 31. Selección de tipo de filtro según sus necesidades.

Necesidad	Alternativas					
	Sedimentación		Cribas		Filtros comerciales	
	Filtro1	Filtro2	Filtro1	Filtro2	Filtro1	Filtro2
Fácil instalación	1	1	2	2	3	3
Limpieza práctica	1	1	3	3	3	3
Tamaño	1	1	3	3	3	1
Ubicación accesible	3	3	2	3	3	2
Total	6	6	10	11	12	9

***Nota:** Los datos evaluados son información proporcionada por los proveedores. Escala empleada: 1 Malo; 2 Medio; 3 Bueno.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1. Los filtros de sedimentación son fáciles de instalar; requieren tener un contenedor cerrado con entrada y salida de agua, además de una válvula de cierre para impedir la entrada de agua mientras se limpie, pero su instalación y limpieza es más difícil en comparación a las demás debido a que se requiere un contenedor interior extra para sacarlo y limpiar las partículas sólidas que se empleen para sedimentar; su contenedor es de mayor tamaño que las otras dos alternativas, requiere de espacio extra entre el acuario y la bomba para manipulación.
2. Una criba como filtro es una opción con una media facilidad de instalación, ya que requiere de un soporte que se posicione entre el acuario y la bomba en la parte inferior del acuario para permitir que el agua pase por ella por efecto de gravedad. Brinda una gran facilidad de limpieza al ser pequeña y práctica, sin embargo, su ubicación es poco accesible. Por otro lado,

se presenta como una opción más apta para la filtración de retorno por su practicidad, tamaño y su ubicación es más accesible.

3. Los filtros comerciales responden de mejor manera a las necesidades de fácil instalación y limpieza práctica: en cuanto al tamaño, existe una diversidad de presentaciones para escoger y adaptarlo. Debido a que existen opciones para el interior o exterior, cumple de manera idónea con una ubicación accesible.

Para el caso del primer filtro, la matriz comparativa muestra el valor más alto para considerar un filtro comercial que se ha seleccionado de modo que cumpla con las necesidades del sistema. Algunos filtros comerciales están fabricados de modo que logren eliminar materia orgánica y todo tipo de bacterias en un acuario convencional, además de purificar el agua. Sin embargo, un sistema acuapónico realiza la purificación del agua, por lo que al elegir un filtro tan completo bloquea el buen funcionamiento del sistema reteniendo los nutrientes que requieren las plantas, por lo tanto para este caso se requirió el más sencillo.

Por lo tanto, la selección de un filtro comercial nombrado Prefiltro mostrado en la Figura 36, es colocado en la tubería de succión de agua, está compuesto por un contenedor cilíndrico con esponja dentro para retener toda la materia orgánica para que no logre llegar a la bomba.



Figura 36. Prefiltro
Fuente: EHEIM

Para el caso del segundo filtro, la matriz comparativa muestra a una criba como la alternativa más adecuada, ya que es una malla delgada que por su tamaño puede adaptarse a cualquier tipo de pieza. Además Es fácil de instalar, y puede ser retirada cada que requiera limpieza.

iii. Módulos de sustrato

Los módulos de sustrato son aquellos contenedores, individuales para cada planta cuyas características dependen de requerimientos específicos adecuados para el tipo de vegetación (análisis bibliográfico de vegetación) y manipulación.

Las dimensiones que se consideraron para determinar el tamaño del contenedor se muestran en la Figura 37 son: la altura que logran alcanzar las plantas (H); la altura de los contenedores que es determinada por el espacio necesario que requieren las plantas para desarrollar sus raíces dentro (A) y el diámetro del contenedor, que es determinado por las distancias entre plantas (\emptyset).

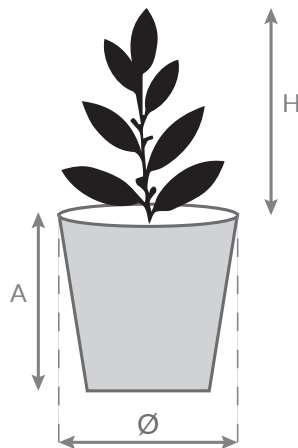


Figura 37. Dimensiones para contenedor de sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Estos parámetros se retoman de la Tabla 16 "Especies vegetales a usar en el sistema" del punto 3.1.5. La Tabla 32 enlista en las columnas 1, 3 y 5 el número de plantas de las 10 opciones que se pueden utilizar en el SA y sus columnas correspondientes referentes a las dimensiones (H, Ø, A), con la finalidad de determinar las dimensiones que permitan adecuarse a cualquiera de las 10 especies posibles.

Tabla 32. Dimensiones requeridas para contenedor de sustrato

H		Ø		A	
Plantas	Espacio	Plantas	Espacio	Plantas	Espacio
3/10	30 cm	2/10	25 cm	2/10	30 cm
5/10	20 cm	2/10	20 cm	1/10	25 cm
2/10	15 cm	5/10	15 cm	3/10	20 cm
		1/10	10 cm	4/10	10 cm
25 cm		20 cm		20 cm	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la dimensión "H" se consideró 25 cm para permitir un correcto crecimiento, ya que 7 de las 10 especies requieren una dimensión menor y las 3 restantes se alejan de esa medida por 5 cm, lo cual no impide su crecimiento. Además, se tiene la opción de ser podadas o cosechadas antes de llegar a su altura máxima y algunas de estas plantas pueden colgar. Para la dimensión Ø se consideró 20 cm, ya que 8 de las 10 plantas requieren la misma medida o menos y las 2 restantes se alejan por 5 cm para llegar a su diámetro necesario. Para la dimensión A se consideró la misma dimensión por las mismas razones que se definieron para la dimensión Ø.

Se tomaron en cuenta las dimensiones anteriores para el diseño del contenedor y el soporte basados en una forma circular, concéntrica y orgánica. El soporte sirve para sostener los tres módulos y fijar de manera fácil a los tubos verticales que conducen el agua para irrigar las áreas de cultivo.

El módulo para el cultivo vertical fue definido en base a dos propuestas de diseño tanto del soporte como del módulo, con el fin de determinar la forma más estable para que el peso se concentre en el soporte y así evitar deformaciones significativas o puntos críticos por el peso.

El primer concepto está compuesto por un soporte esférico (Figura 38b), con tres ranuras cuadradas donde se insertan los módulos (Figura 38a) mediante un ensamble de ajuste a presión, al mismo tiempo de ser guiado por un canal que permite un deslizamiento lineal (Figura 39), dejando montar y desmontar cada módulo, darle mantenimiento oportuno y limpieza a la planta.

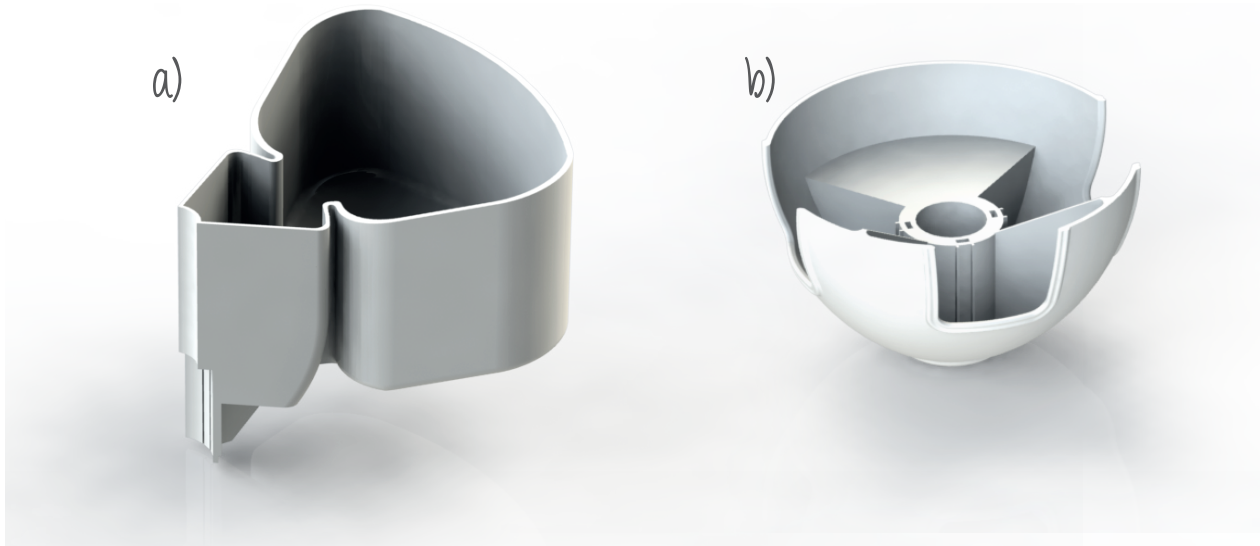


Figura 38. Concepto 1-Módulo concéntrico y soporte esférico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

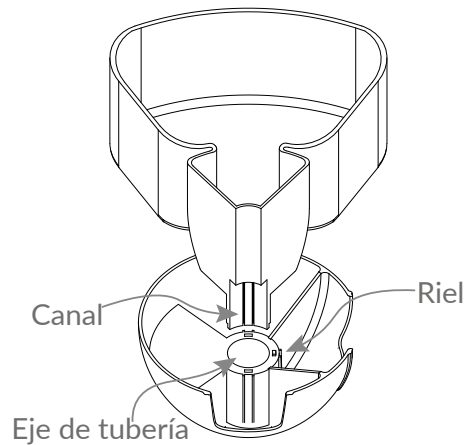


Figura 39. Concepto 1. Ensamble
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El diseño de la segunda alternativa está compuesta por un módulo concéntrico (Figura 40a) y un soporte cilíndrico (Figura 40b).

El soporte tiene tres ejes para permitir un deslizamiento lineal y ensamblar el módulo en cada eje (Figura 41), este diseño también permite montar y desmontar cada módulo para darle cuidados y limpieza a las plantas. El soporte a su vez debe fijarse al tubo vertical por medio de una abrazadera en la parte inferior.

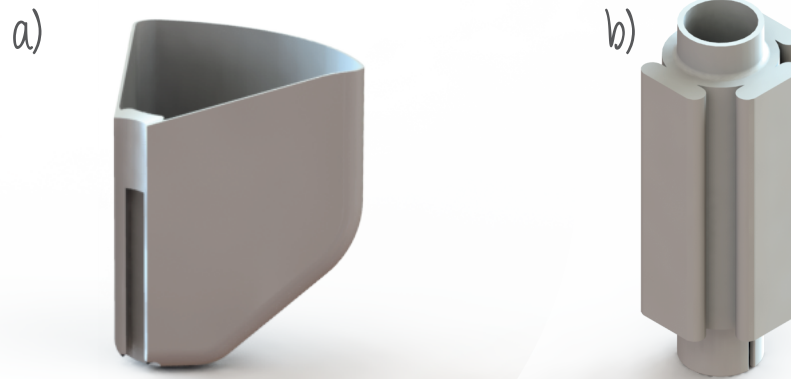


Figura 40. Concepto 2-Módulo concéntrico y soporte cilíndrico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

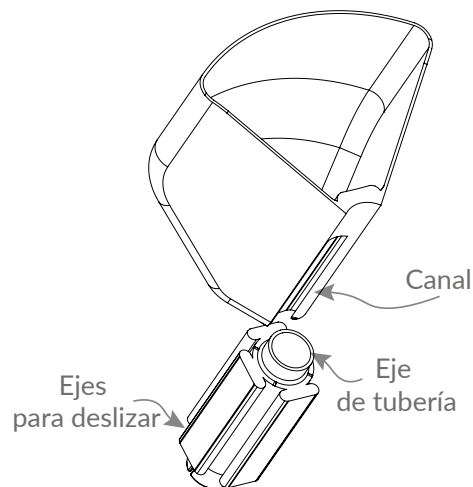


Figura 41. Concepto 2. Ensamble
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Estas propuestas de diseño fueron evaluadas primero mediante un AEF previo para comparar su resistencia y estabilidad de cargas de los soportes en cada alternativa. Las cargas aplicadas en los soportes fueron el peso de cada módulo y el sustrato mojado que contendrá cada uno.

Los resultados de esfuerzos de Von Mises (criterio de tensiones para materiales dúctiles) y del factor de seguridad (F.S.) del soporte de la alternativa 1 son mostrados en la Figura 42, la cual muestra una tensión severa donde son soportados los módulos y el F.S. está al límite de su capacidad de cargas con un 0.92. Se puede interpretar de la siguiente manera: en la Figura 42a se observan los puntos que sufrirán la mayor tensión en la pieza, marcados con color amarillo y rojo; y en la Figura 42b se observa el color rojo donde se encuentra el valor mínimo de F.S. de 0.9 que al ser <1 significa que en esa zona el material fallará, es decir, sufrirá una deformación permanente.

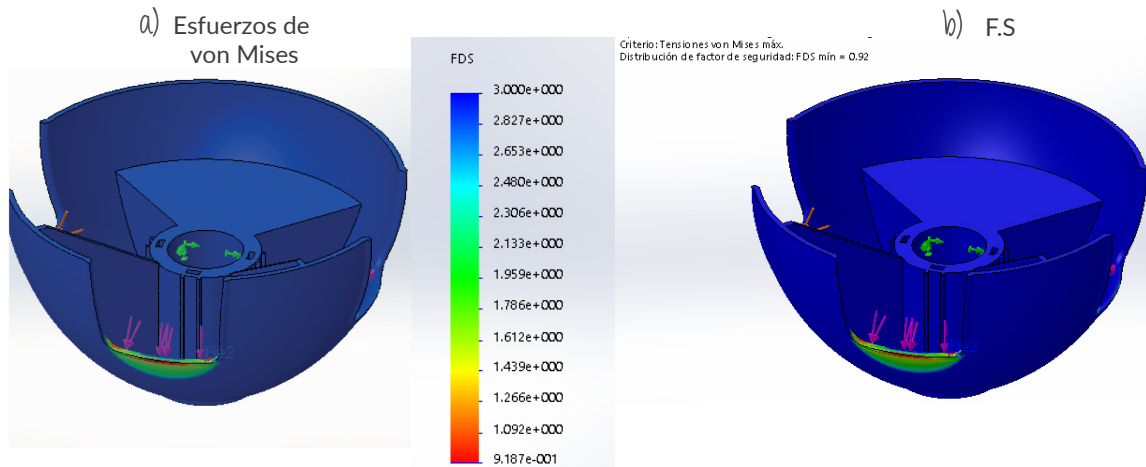


Figura 42. Análisis de Elemento Finito previo a soporte 1
Fuente: Elaboración propia, 2018.

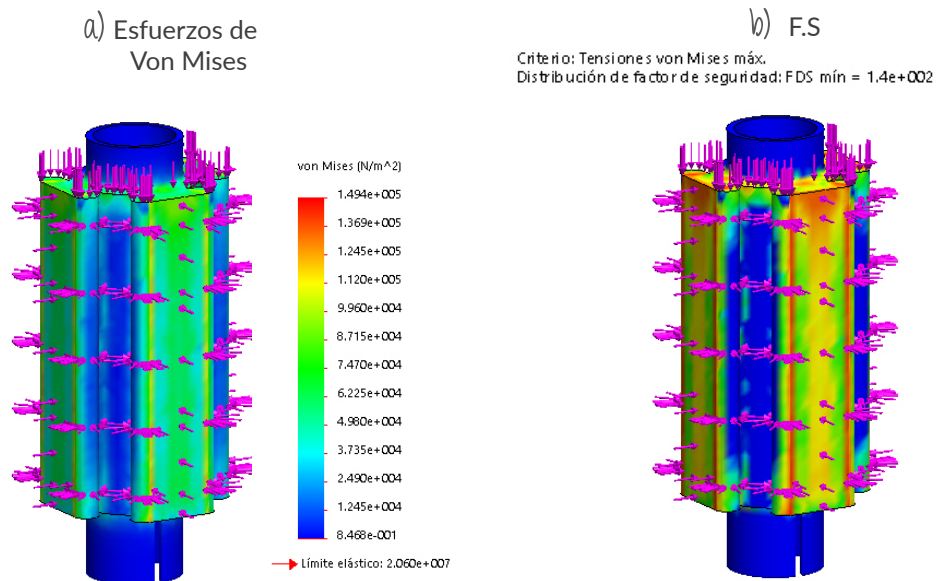


Figura 43. Análisis de Elemento Finito previo a soporte 2
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los resultados de las esfuerzos de Von Mises y del F.S. del soporte de la alternativa 2 son mostrados en la Figura 43, resultando una tensión mínima ya que predominan los tonos azules (no existe deformación), en el área de soporte de los módulos de la Figura 43a; el F.S. mínimo en la Figura 43b es de 140, lo que representa que tiene la posibilidad de aguantar 140 veces el peso que fue aplicado.

Una vez evaluadas las dos alternativas, se generó una matriz de selección (Tabla 33) donde se evaluó la forma en cómo responde cada alternativa a las siguientes necesidades: optimización de

espacio; estabilidad de cargas; facilidad de montaje y buena resistencia a la tensión, en una escala de, 1 como malo, 2 como medio y 3 como bueno.

Tabla 33. Selección del concepto final de módulo-soporte

Necesidad:	Soporte 1	Soporte 2
Optimización de espacio	2	3
Estabilidad de cargas	3	3
Facilidad de montaje	3	3
Buena resistencia a la tensión	2	3
Total	8	12

***Nota:** Los datos evaluados son información proporcionada por los proveedores. Escala empleada: 1 Malo; 2 Medio; 3 Bueno.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La optimización de espacio es mejor en el Soporte 2, ya que por su diseño cilíndrico permite que los módulos logren retener una mayor cantidad de sustrato y no contiene espacios muertos como sucede con el soporte esférico que requiere un módulo con área desperdiciada. La estabilidad de cargas, busca que las cargas aplicadas se concentren en el soporte con una mínima cantidad en el módulo, esta necesidad es buena en ambas alternativas. Ambas propuestas responden de manera correcta a la facilidad de montaje. Por último, la resistencia a la deformación es más favorable en el Soporte 2; éste valor está determinado mediante la evaluación del AEF.

Por lo tanto, se determinó que el Soporte 2 se seleccionaría para continuar con el proceso de diseño y solucionar los retornos de agua al circuito del sistema de circulación proponiendo dos alternativas:

Para la Propuesta 1, los orificios (Figura 44) se considera colocar los orificios en la parte inferior como comúnmente funciona el drenado de agua de las macetas, mediante gravedad. Cada módulo drenaría el agua hacia el nivel de abajo, por lo cual, fue necesario colocar un recipiente extra fijo al tubo vertical para captación de agua e integrarla al sistema de circulación mediante una manguera extra.



Figura 44. Drenado de agua por orificios
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Otra propuesta, fueron las mangueras ensambladas (Figura 45a), donde el agua fluye por el tubo vertical hasta llegar a un orificio (Figura 45) desde donde por medio de un chorro de agua cae en el módulo, el cual en su parte inferior posee una manguera conectada al tubo vertical sellado de manera hermética mediante unos empaques a presión, para dirigir el exceso de agua nuevamente al sistema de circulación (de la parte inferior de los módulos) conectado al tubo vertical igualmente mediante empaques a presión (Figura 45b). Cabe mencionar, que a su vez, cada soporte es fijado a los tubos verticales mediante abrazaderas mostradas en la Figura 45c.

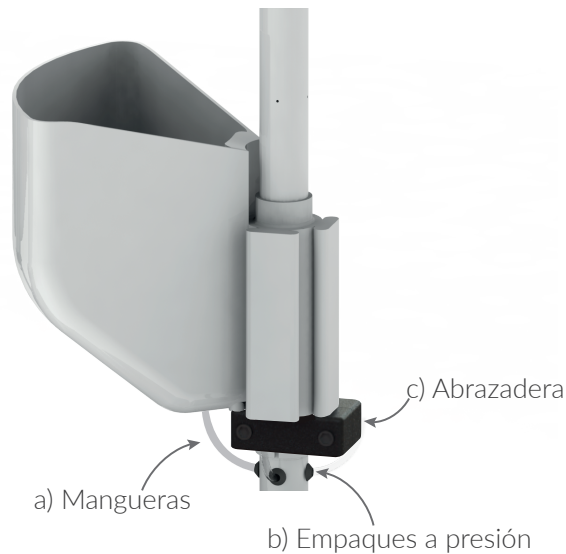


Figura 45. Drenado de agua por mangueras
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La matriz de selección contó con cuatro criterios, contemplados para escoger la mejor alternativa, que fueron: el número de piezas; la facilidad de montaje; mantenimiento (cambio de pieza) y limpieza (Tabla 34).

Tabla 34. Selección del tipo de drenado

Necesidad:	Drenado con orificios	Drenado con mangueras
Número de piezas	1	3
Facilidad de montaje	1	3
Mantenimiento	3	2
Limpieza	3	2
Total	8	10

***Nota:** Escala empleada: 1 Malo; 2 Medio; 3 Bueno.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En cuanto al número de piezas, la Propuesta 1 (drenado con orificios) fue calificada con el valor de 1, ya que sería necesario contemplar un mayor número de piezas (como una charola para recolectar el agua y manguera para redirigir el agua al sistema de circulación), para redirigir el agua y evitar un desgaste por el goteo en otras de piezas. Con lo que respecta a la Propuesta 2 (drenado con mangueras), solo se necesitaría una manguera por módulo, por esa razón tuvo la puntuación más alta. La facilidad de montaje tuvo un valor de 1 para la primera propuesta debido a que los elementos extra como la charola para recolectar el exceso de agua, requiere mover el tubo vertical para su instalación, a diferencia de la Propuesta 2 que no requiere el movimiento de otros elementos, por lo tanto, se le dio un valor de 3.

Para el mantenimiento de la Propuesta 1 se le dieron un valor de 3, ya que no es necesaria esta opción, sin embargo, la Propuesta 2 contempla el cambio de manguera por obstrucción o por finalizar su vida útil, recibiendo así un valor de 2.

En la Propuesta 1 los orificios son fáciles de limpiar, ya que si ocurre alguna obstrucción basta con empujar el sustrato, por ello recibió una calificación de 3. Sin embargo, la Propuesta 2 requiere desmontar las mangueras para su limpieza, por eso recibió un valor de 2.

Se seleccionó la Propuesta 2 que obtuvo un valor mayor de 10 en la Tabla 34, además presenta la ventaja de que por medio de las mangueras se tiene el control del fluido del agua, para volver a

integrarlo al sistema de circulación y asegura su hermeticidad mediante empaque a presión.

Un producto industrial, además de la forma, también es importante la correcta elección de los materiales. Actualmente, se tiene una gran variedad de materiales, cada uno con sus características, aplicaciones, ventajas y limitaciones (Kalpakjian, 2008). El siguiente paso fue la elección del material para la propuesta del módulo y soporte seleccionado.

Fueron seleccionados tres tipos de polímeros para ser evaluados mediante una matriz de selección de material (Tabla 35) con el que se propone fabricar algunas partes del SA (módulo de sustrato y el soporte). Estos materiales son: el polietileno de alta densidad (HDPE); el polipropileno (PP) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), por ser los más empleados en la industria del plástico.

En lo que respecta a las condiciones que los materiales deben cumplir para los módulos y soporte se encuentran: ser de grado alimenticio para no contaminar plantas y peces; el proceso de inyección se considera el adecuado debido a la forma propuesta en el diseño, ya que cuenta con cavidades y paredes delgadas; ser resistente, para evitar rupturas en caso de haber caídas; tener una nula absorción de agua para evitar filtraciones; y por último, se mencionan sus aplicaciones en diferentes productos.

Tabla 35. Selección del tipo de material

	HDPE Polietileno de alta densidad	PP Polipropileno	ABS Acrilonitrilo butadieno estireno
Necesidad:			
Grado alimenticio:	Si	Si	No
Proceso de inyección:	Si	Si	Si
Resistencia al Impacto:	Media	Alta	Alto
Absorción de agua:	0.01%	0.01-0.03%	0.2 - 0.45%
Usos	Charolas, vasos, platos, botellas, globos, juguetes, barreras contra la humedad.	Platos térmicos, accesorios para lavadoras, aislante para alambres, cajas de batería, película y hojas para empaquetar.	Tubos, ruedas, cascos de futbol, cubiertas de baterías, gabinetes de radios, patinetas, cajas de carga.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El polietileno es uno de los plásticos de mayor uso en el mundo y está muy extendido en todas las industrias, segmentos y aplicaciones.

Dentro de la variedad de este material se encuentra el polietileno de alta densidad (HDPE), elegido por tener certificación alimenticia, por lo tanto, se usa en la fabricación de charolas, vasos, platos, botellas, globos, juguetes, barreras contra la humedad. Es idóneo para el proceso de inyección, posee una resistencia media al impacto, no absorbe humedad.

Fue necesario realizar un AEF para cada una de las piezas, con el fin de comprobar su resistencia, por medio de ciertos valores mecánicos y físicos del HDPE presentados en la Tabla 36. Por lo tanto, es importante la selección del material para definir los valores del polímero que se utilizará más adelante.

Tabla 36. *Propiedades de polietileno de alta densidad (HDPE)*

Propiedades	
Densidad	952 kg/m ³
Módulo elástico	1,070 N/mm ²
Límite elástico	20.6 MPa
Coefficiente de Poisson	0.46
Absorción de agua	<0.01%
Límite de tracción	22.1 MPa
Calor específico	1900 J/(kh*K)

***Nota:** Lo valores son proporcionados por el proveedor.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Por recomendaciones de un experto, el Ing. Gianfranco Bevilacqua Rismondo, el sustrato contemplado fue la arlita, llamada también arcilla expandida, un sustrato con una buena capacidad de drenaje libre y que proporciona una buena aireación a la planta, con una densidad de oscila entre los 0.325-0.75 g/cm³ (Martínez, 2011). Por lo que se ha tomado su máximo valor para considerarlo como el peso que se puede obtener con el sustrato de mayor densidad en el mercado.

Una vez determinada la pieza se realizó un AEF al diseño del módulo de sustrato, es decir, se consideró que cada uno debe soportar cargas (Tabla 37), como el peso propio del sustrato seco y el peso de la maceta con sustrato mojado (como su máxima capacidad).

Tabla 37. Cargas aplicadas en cada módulo

Peso de sustrato seco (Densidad de 0.75 g/cm ³)	Peso de sustrato húmedo (Capacidad máxima del módulo)
3.00 kg = 29.43 N	4.00 Kg = 39.24 N

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El análisis inició con el diseño preliminar que consistió únicamente en la forma básica de la pieza mostrada en la Figura 46, con la carga más extrema que cada módulo soportará de 39.24 N, la cual está representada por las flechas verdes y las flechas rojas que se encuentran en el área de sujeción, la cual fue colocada en el canal del centro ya que es ahí donde va anclado a los soportes, es decir, es la zona que lo hace permanecer fijo.

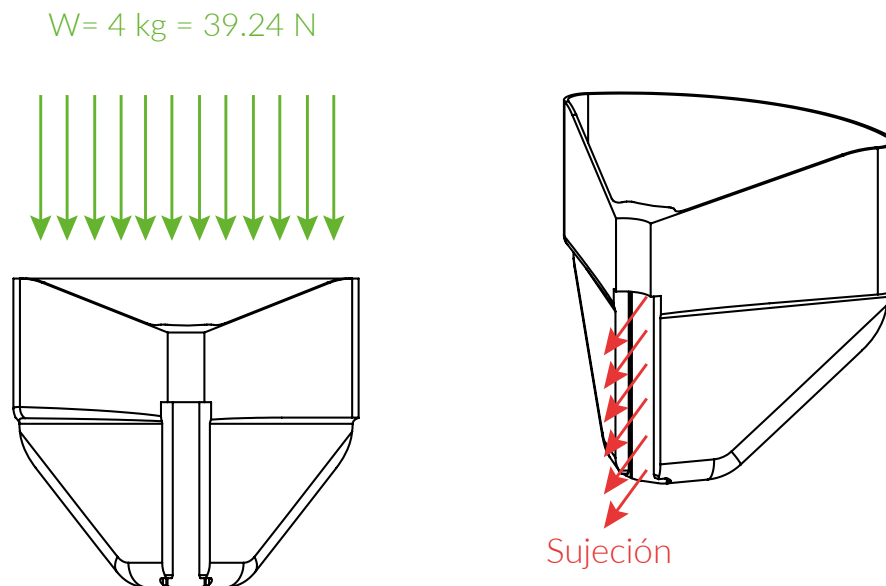


Figura 46. Diagrama de aplicación de carga y dirección de sujeción
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Sin embargo, el diseño tiene áreas verdes en su mayoría y tres áreas en el diagrama de distribución de tensiones de Von Mises que se acercan demasiado al límite elástico (Figura 47, "Zona 1 y 2 cerca la límite elástico").

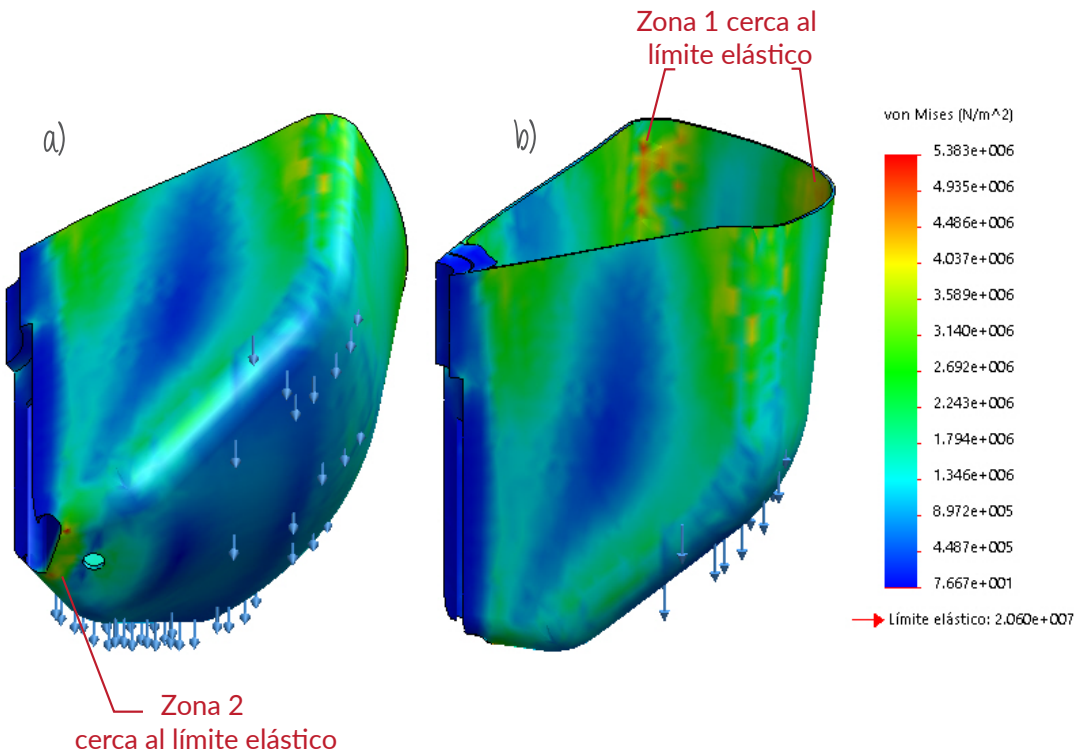


Figura 47. Análisis de cargas al diseño preliminar del módulo para sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Esto lo corrobora la Figura 48 que describe gráficamente la distribución del F.S. con un valor de 3.2 indicado de color rojo. Por lo tanto, se decidió mejorar el diseño para aumentar la resistencia a la tensión de la pieza y a su vez aumentar el F.S. para darle a la pieza una mayor tolerancia en caso de ser empleado algún otro sustrato de mayor densidad.

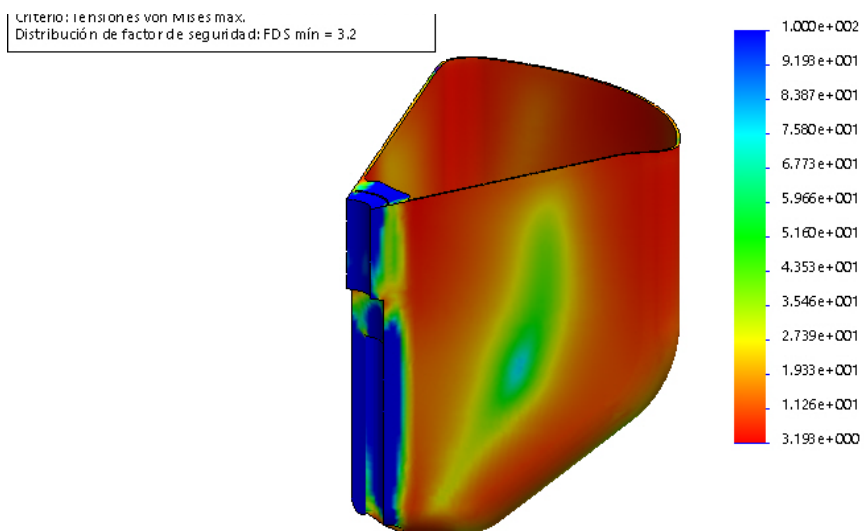


Figura 48. Factor de Seguridad en el diseño preliminar de módulo para sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la zona 1 (Figura 47b) la solución fue colocar un pequeño escalón de 10 mm de diferencia y se aumentaron 5° más en la revolución de la figura, para reforzarla y reducir el tensiones de las esquinas.

Para la zona 2 (Figura 47a) se colocaron 3 nervios radiales y 2 concéntricos para reforzar la base y así impedir que la carga aplicada en el extremo cuelgue la pieza.

Estos refuerzos descritos son el resultado de una serie de modificaciones que se incluyeron en el diseño final sometiéndolo nuevamente al AEF mostrado en la Figura 49, aplicando la misma carga de 39.24 N y la misma sujeción.

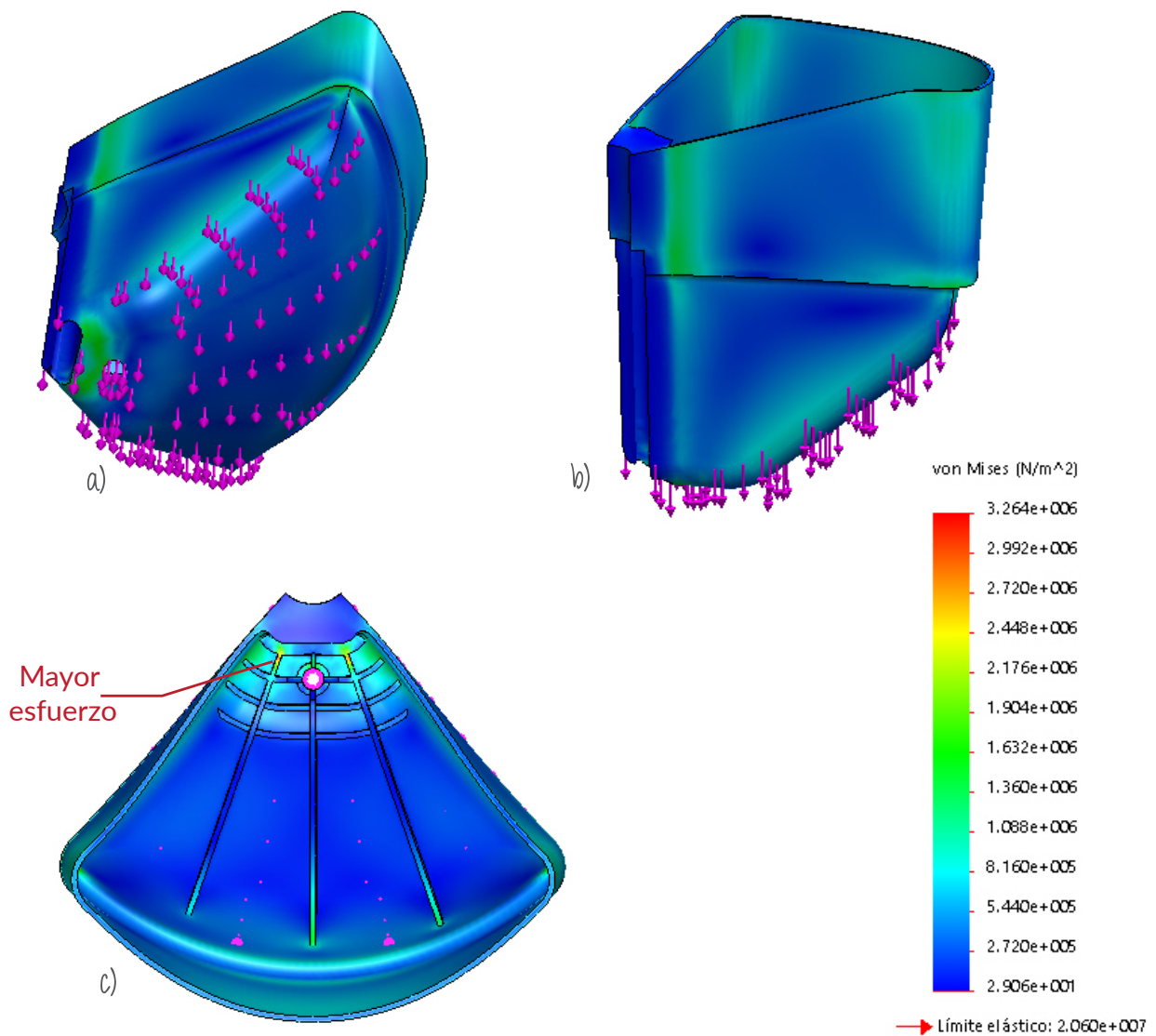


Figura 49. Análisis de cargas al diseño final del módulo para sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Con los nuevos resultados al análisis, se demostró el aumento de resistencia en las dos zonas afectadas en el diseño preliminar.

Ahora bien, solucionadas estas zonas, el estudio también mostró que la mayor cantidad de tensiones la reciben dos pequeñas zonas en los nervios (Figura 49c) esto es normal, ya que los nervios proporcionan un medio para aumentar la rigidez y la resistencia de las piezas moldeadas.

Lo mismo sucedió con el F.S. para este diseño reforzado, se visualiza en la Figura 50 una mejor distribución de las zonas verdes, azules y amarillas, con un F.S. mínimo de 6.3; que solo puede apreciarse en los extremos del módulo.

Criterio: Tensiones von Mises máx.

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6.3

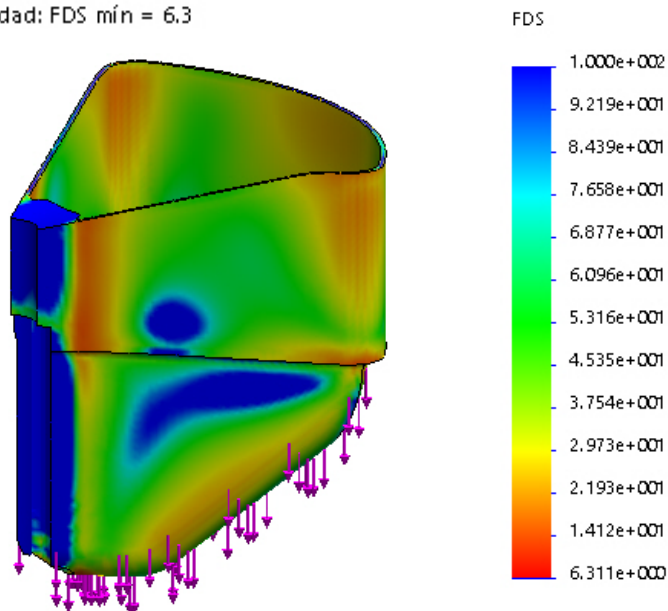


Figura 50. Factor de seguridad en el diseño final de módulo para sustrato
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez concluido con el diseño final de la pieza, se muestra finalmente la Tabla 38 con las especificaciones finales del módulo y en la Tabla 39 se muestran las especificaciones finales del soporte seleccionado.

Tabla 38. Especificaciones técnicas de "Macetas de sustrato"

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (D*h)	280 mm*250 mm
Peso sin carga	550 gr (0.55 kg)
Capacidad del contenedor	4,000 cm ³
Material	Polietileno de alta densidad (HDPE) Densidad= 952 kg/m ³
Densidad del sustrato	0.325-0.75 g/cm ³
Peso de sustrato	3.00 kg seco
Peso de sustrato	4.00 kg mojado
Peso total	3.55 kg - 4.55 kg
Proceso de formado	Moldeo por compresión

***Nota:** Los valores considerados son tomados de los cálculos del software CAD/CAM donde se modelaron las piezas
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 39. Especificaciones técnicas de "Soporte para módulos"

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	80 mm*70 mm*205 mm
Peso propio	452 g (0.452 kg)
Material	Polietileno de alta densidad (HDPE) Densidad= 952 kg/m ³
Carga total	3.55 kg - 4.55 kg
Proceso de formado	Inyección

***Nota:** Los valores considerados son tomados de los cálculos en el software CAD/CAM donde se modelaron las piezas
Fuente: Elaboración propia, 2018.

iv. Contenedor NFT

Los canales para cultivo de NFT se integraron como un solo contenedor (Figura 51), partiendo del ancho del mueble que es de 80 cm y de acuerdo al análisis bibliográfico, se debe tener canales con un ancho de 4 pulgadas para cultivar lechugas, acelgas, chile, orégano y espinacas.

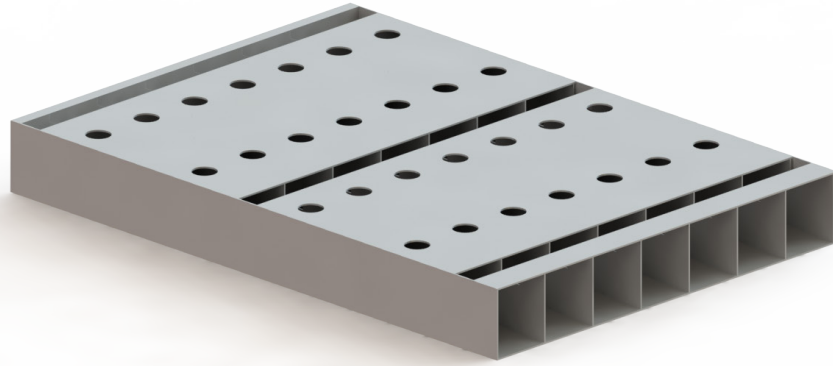


Figura 51. Contenedor NFT

Estas dimensiones permiten tener 7 canales incluidos dentro del contenedor, con perforaciones a lo largo de cada canal con un diámetro de 1 3/4", y con una distancia de 25 cm entre uno y otro, resultando 4 perforaciones por cada canal.

La función de estas perforaciones es sujetar unas canastillas (Figura 52) para colocar las plantas. Este diseño es exclusivo para sistemas de cultivo hidropónicos, cuenta con un orificio en la parte central de la canastilla para que las raíces puedan entrar en contacto con la solución nutritiva que corre debajo de ellas sin dificultad en un sistema NFT.



Figura 52. Canastilla NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cada canastilla estaría elaborada a base de polipropileno el cual es resistente a la humedad y evita la formación de microorganismos, además pueden contener sustrato para otorgarle mayor sostén a la planta.

El cultivo horizontal recibirá el agua proveniente de los tubos verticales en el contenedor NFT, para lo cual cuenta con una pieza llamada canal, presentada en la Figura 53. Esta pieza permite conectar dentro del contenedor NFT dos tubos verticales por la cara superior de la pieza, por la cara inferior es necesario tener 7 perforaciones, una para irrigar cada canal de contenedor NFT. Por lo tanto el contenedor NFT contempla espacio para tres canales de captación y distribución de agua.

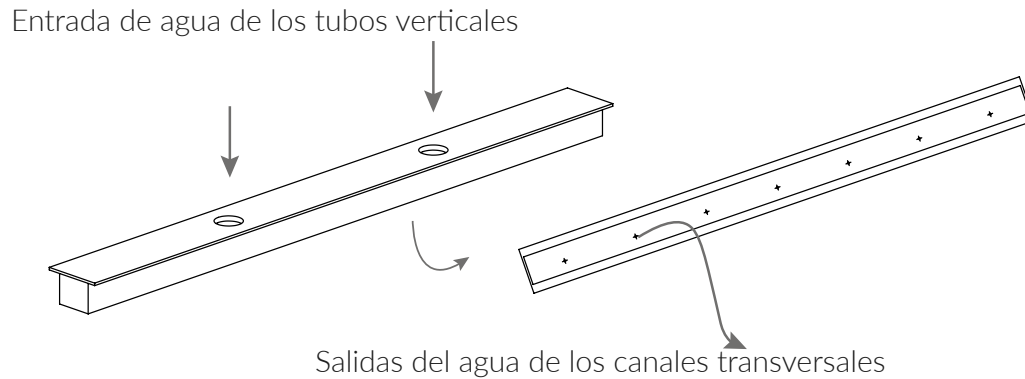


Figura 53. Canal de captación y distribución de agua
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las entradas superiores de estos canales donde se ensamblan los tubos verticales, requieren unas extremidades con campana soldadas a los canales de forma permanente para así evitar fugas de agua (Figura 54).

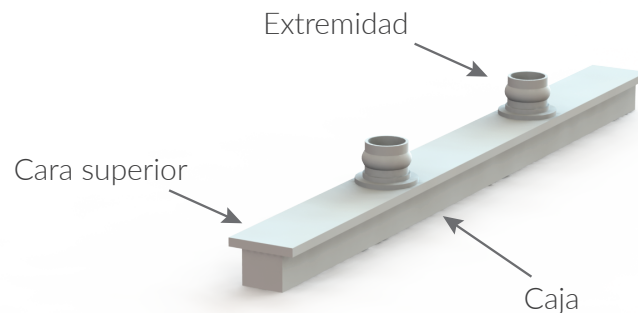


Figura 54. Canal con extremidades para su ensamble
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El proceso de soldado que se definió para la unión del canal con las dos extremidades es el usado para tuberías que combinan PVC con polietileno donde funden las caras a soldar. El proceso de soldado en placa caliente (Kalpakjian, 2008) funciona del mismo modo, por lo cual fue el seleccionado para el soldado de estas piezas y así conseguir un canal en una sola pieza.

En lo que respecta a las condiciones que el material debe cumplir para el contenedor, los canales y las extremidades se encuentran: su proceso de producción es por inyección, ideal para generar la forma del diseño por la forma del diseño; ser de grado alimenticio, y además se pueden soldar para unir la cara superior con la caja y con las bridas para así volverlo una sola pieza. Por lo tanto, se retomará el mismo material que se propone para los módulos de sustrato y para el soporte, que es el HDPE para los canales y para las extremidades se desglosa más adelante, donde se explica la instalación hidráulica.

Una vez determinada la pieza se realizó un AEF al diseño primero del canal de riego. Para ello, la descripción de las cargas aplicadas al canal de riego horizontal han sido acumuladas por las piezas anteriormente evaluadas y de las cuales se han obtenido sus pesos correspondientes descritos en la Tabla 40.

El canal cuenta con dos perforaciones en la tapa superior a las cuales se les agregó una extremidad con campana soldadas de forma permanente, para así evitar fugas de agua; dos de las cargas son aplicadas en el interior de la extremidad en dirección vertical.

La Tabla 40 muestra únicamente las cargas aplicadas en una extremidad, éstas incluyen: los 6 módulos con sus respectivos contenidos máximos, el peso de dos soportes y el peso propio del tubo. La suma de todas éstas cargas son 29.1 kg o lo que es igual a 285.47 N aplicados como se muestra en la Figura 55a en flechas de colores rojo y verde.

Tabla 40. Cargas aplicadas a cada entrada del canal

	Cargas	N° Piezas	Peso total
Peso propio del módulo	0.55 kg = 5.40 N	6	3.3 kg = 32.373 N
Contenido máxima del módulo	4.00 kg = 39.24 N	6	24 kg = 235.44 N
Peso de soporte	0.452 kg = 4.434 N	2	0.904 kg = 8.868 N
Peso del tubo vertical (PVC) (0.75kg/metro lineal)	0.8955 kg = 8.785 N	1	0.8955 kg = 8.785 N
		W = 29.1 kg = 285.47 N	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Además de las cargas mostradas, fue necesario contemplar la carga que ejerce el agua en el canal cuando el sistema de irrigación está encendido, que se desglosó en la Tabla 41. El peso ejercido por el volumen de agua con un total de 2.98 kg o 29.24 N, que es aplicado a la cara inferior interna del canal, como se muestra en la Figura 55b con flechas de color azul.

Tabla 41. Cargas aplicadas a la base del canal

	Cargas	N° Piezas	Peso total
Volumen de agua en el canal (1.04l)	1.04 kg = 10.22 N	1	1.04 kg = 10.20 N
Volumen de agua en cada tubo (0.97l)	0.97 kg = 9.516 N	2	1.94 kg = 19.04 N
			W = 2.98 kg = 29.24 N

Fuente: Elaboración propia, 2018.

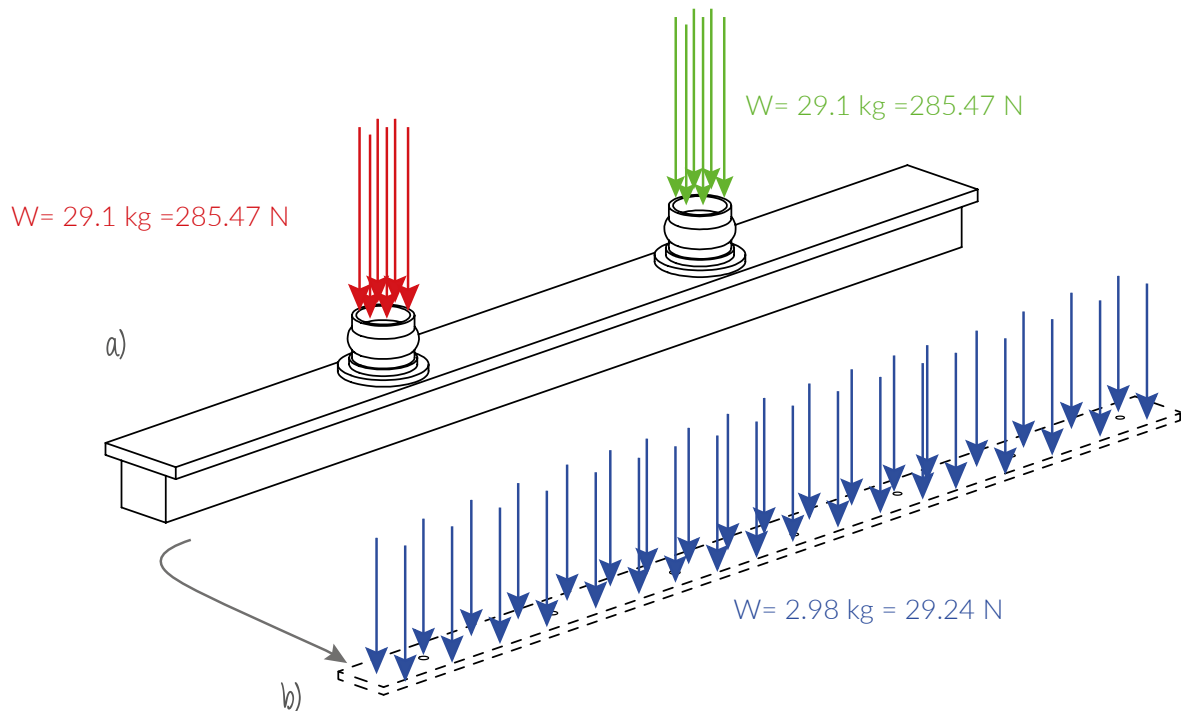


Figura 55. Diagrama de aplicación de cargas al canal de riego
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez obtenidas las cargas necesarias y contemplando que cada canal estará incrustado en una sección del contenedor NFT que se describe más adelante, se desarrolló el AEF cuyos resultados se muestran en la Figura 56.

El mayor esfuerzo de von Mises que la pieza completa mostró en el análisis estar muy por debajo del límite elástico del material, ya que el color predominante en la imagen es azul y que el FS mínimo de la Figura 57 es de 21, mostrado con color rojo predominante en toda la pieza.

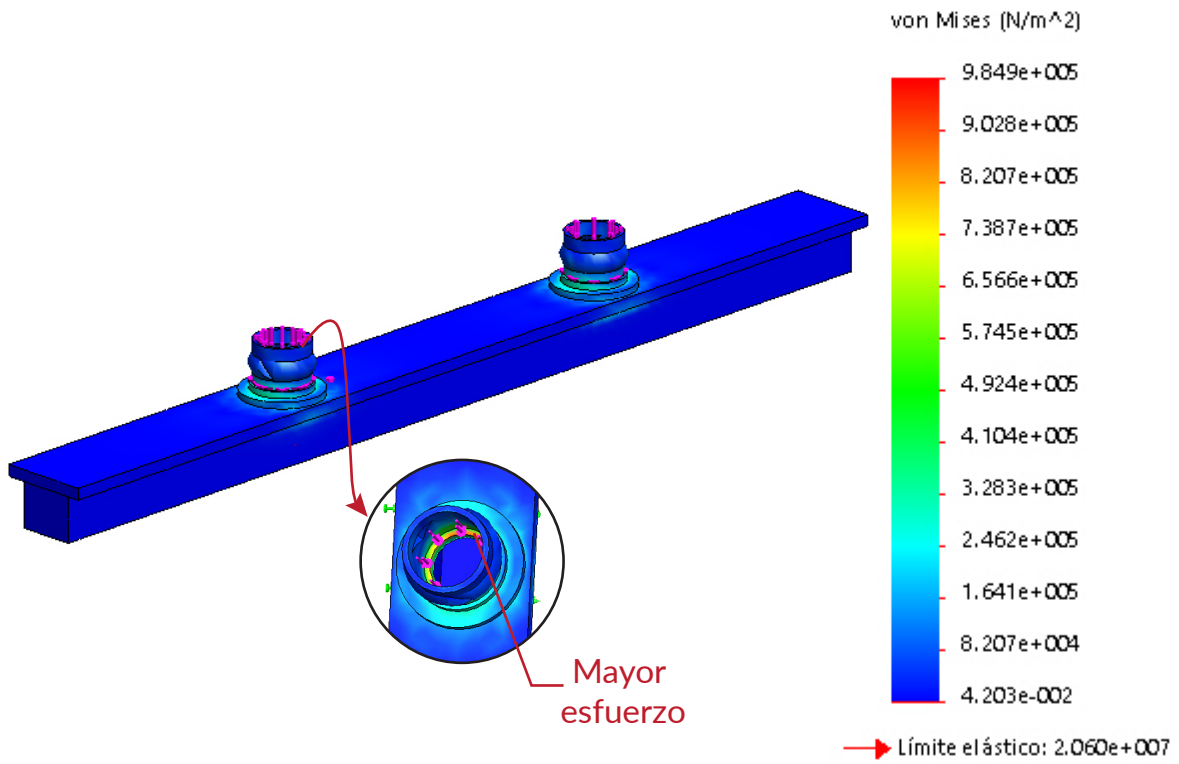


Figura 56. Análisis de cargas al canal de riego
Fuente: Elaboración propia, 2018.

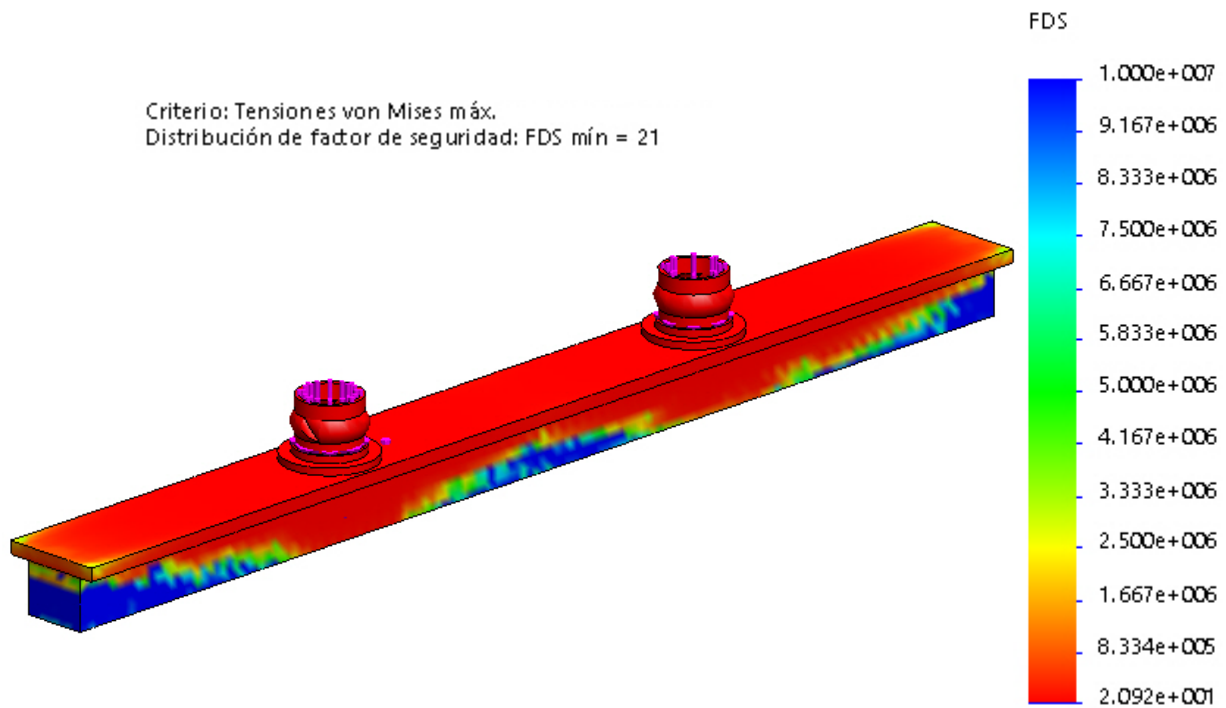


Figura 57. Factor de seguridad en el canal de riego
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Lo anterior, comprueba que toda la superficie de la pieza muestra un mínimo F.S. no tendrá

problemas, ya que su valor es lo suficientemente grande como para aguantar 21 veces ese mismo peso.

Así se definió el diseño de la pieza preliminar, el cual no presentó ningún problema de deformación o fractura. La Tabla 42 especifica los detalles finales del canal de riego.

Tabla 42. Especificaciones técnicas de “canal de riego”

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	800 mm*70 mm*46 mm
Peso sin carga	780.05 g (0.780 kg)
Capacidad del contenedor	1.04 litros
Material	Polietileno de alta densidad (HDPE) Densidad= 952 kg/m ³ Policloruro de vinilo (PVC) Peso = 0.75 kg/metro lineal
Proceso de formado	Rotomoldeo
Proceso de soldado	Soldado placa caliente

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La segunda pieza determinada fue el Contenedor NFT al cual también se le realizó un AEF. El primer diseño preliminar tenía una pendiente de 2° en la base (Figura 58).

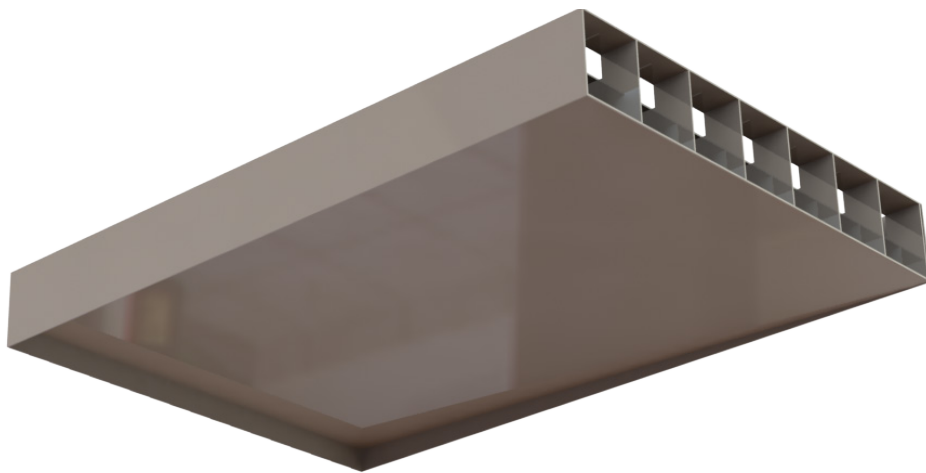


Figura 58. Diseño preliminar de contenedor NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La pendiente es necesaria para todo sistema de riego con el fin de no generar estancamientos de agua. Tal pendiente generó que su base se inclinara generando un hundimiento de un lado quedando hueca con paredes de 3 mm de grosor.

La descripción de las cargas aplicadas al contenedor son la suma de las piezas anteriormente evaluadas, como fue para el caso del canal y de las cuales se han obtenido sus pesos correspondientes.

El AEF que se realizó al contenedor NFT siguió una aplicación diferente de cargas, debido a su interacción directa de cargas con el canal anteriormente descrito. Por lo tanto, el análisis requirió el ensamble del contenedor con los tres canales.

Las cargas que fueron aplicadas son las mismas descritas en la Tabla 40 y 41 que son 29.1 kg en cada extremidad, más 2.98 kg de agua representada con flechas azules en la Figura 59. También se considero la carga del peso del canal de riego de 0.780 kg (7.6518 N) representada en la Figura 59 con flechas rojas.

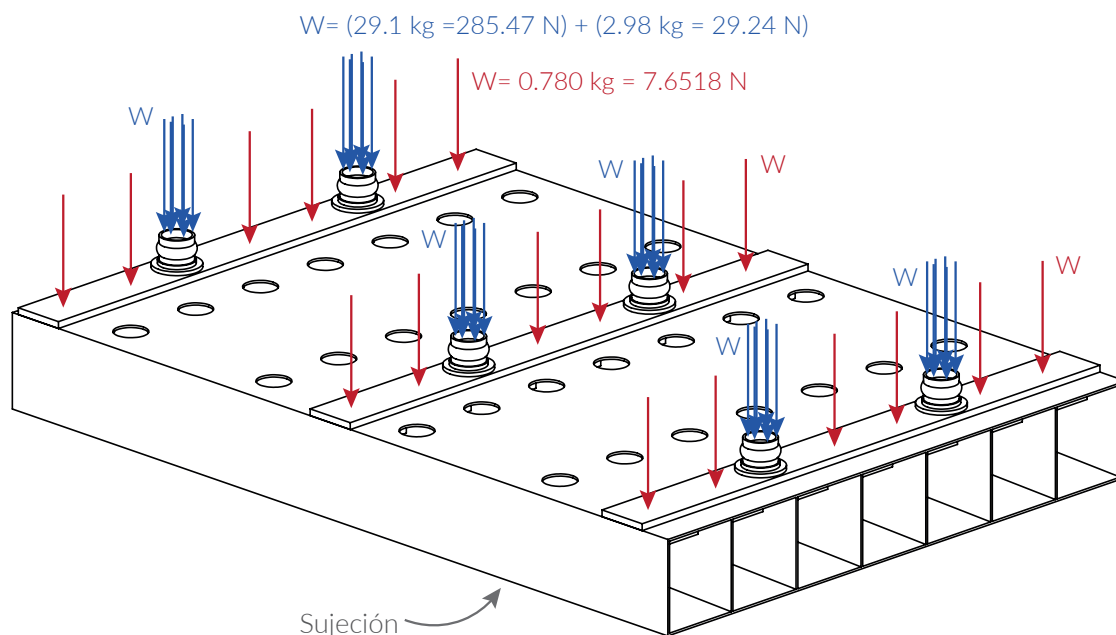


Figura 59. Diagrama de aplicación de cargas al contenedor NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez definidas las cargas a aplicar en el ensamble mostrado en la Figura 59, se aplico un AEF obteniendo los resultados mostrados en la Figura 60.

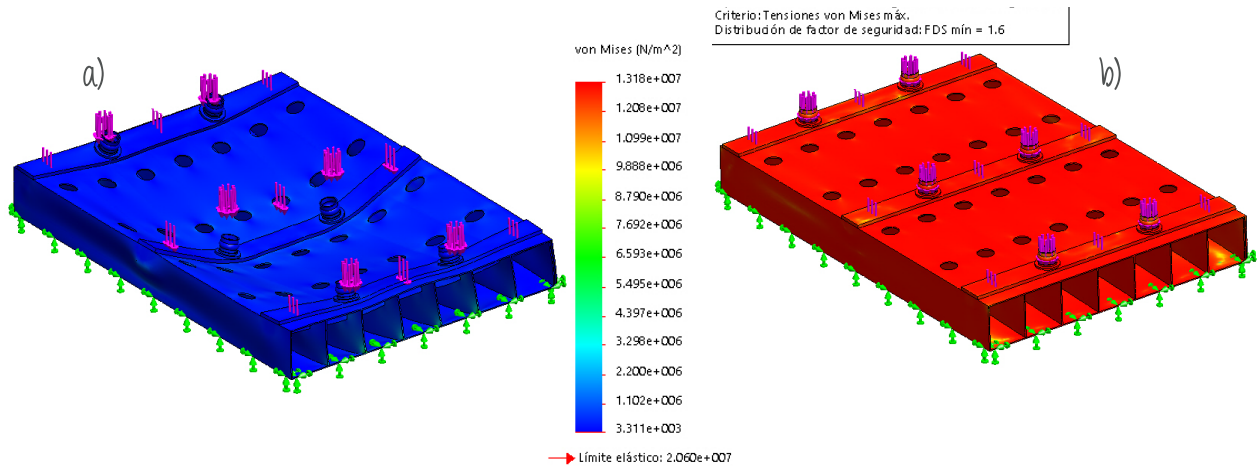


Figura 60. Análisis de cargas al diseño preliminar del contenedor NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la barra de los resultados de esfuerzos de von Mises de la Figura 60a, se muestra que el valor máximo de deformación se acercó demasiado al límite elástico del material. La Figura 60b también muestra que el F.S. fue de 1.6, el cual, es predominante en toda la pieza, indicando que las cargas aplicadas están al límite. Además, muestra el lugar donde se necesitaron hacer grandes refuerzos al diseño preliminar; para evitar flexiones excesivas y por ende, un acercamiento extremo al límite elástico.

El proceso de modificaciones para reforzar las flexiones por cargas se describen a continuación: se reforzó la base del contenedor con nervios en retícula para evitar la flexión en la zona céntrica (Figura 61).

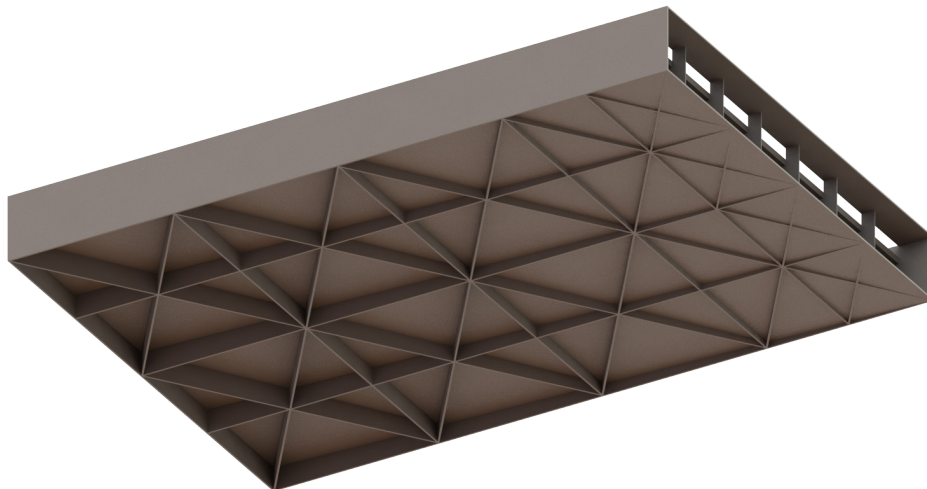


Figura 61. Retícula en la base del contenedor
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A partir de la misma retícula aplicada a la base del contenedor, se reforzó de la misma manera la tapa superior; igualmente, para evitar flexiones (Figura 62); y fueron colocados refuerzos cónicos en las paredes intermedias de los canales interiores; para hacerle frente a las cargas verticales (Figura 63).



Figura 62. Retícula en la tapa del contenedor
Fuente: Elaboración propia, 2018.

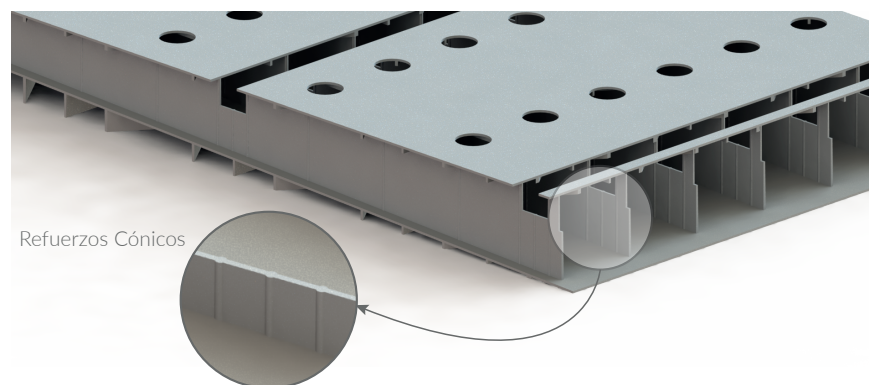


Figura 63. Refuerzos cónicos en las paredes
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A la pieza también le fue agregada una extensión para colocar un filtro de retorno. Sin embargo, ya que la intención es que el agua caiga en forma de cascada al acuario, se redujo el espacio de salida del agua para evitar que cayera fuera del acuario, reducida con un ángulo de 60° hacia el centro del contenedor NFT (Figura 64a).

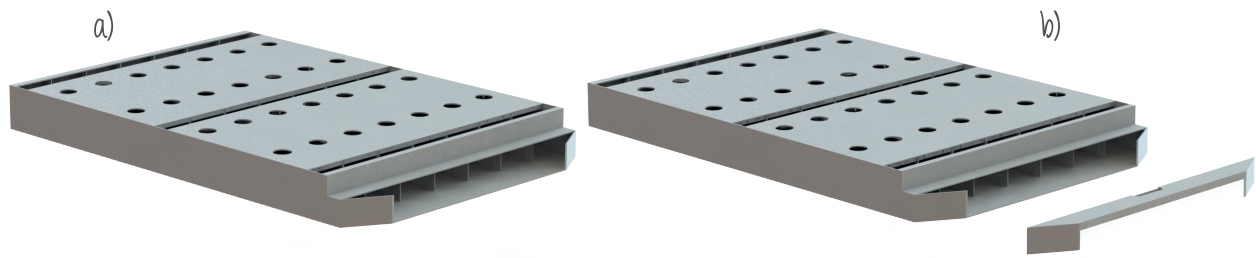


Figura 64. Proceso al aplicar una extensión al contenedor para un filtro
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A esta salida de agua se le colocó un filtro de retorno, que también permitirá al usuario una fácil limpieza. Razón por la cual, se diseñó una tapa desmontable para que sea colocada una malla plástica de recolección de raíces o cualquier sólido y evitar que entren en el acuario (Figura 64b). Este filtro también tiene la forma con un ángulo de 60° para ser perfectamente colocada en el contenedor NFT.

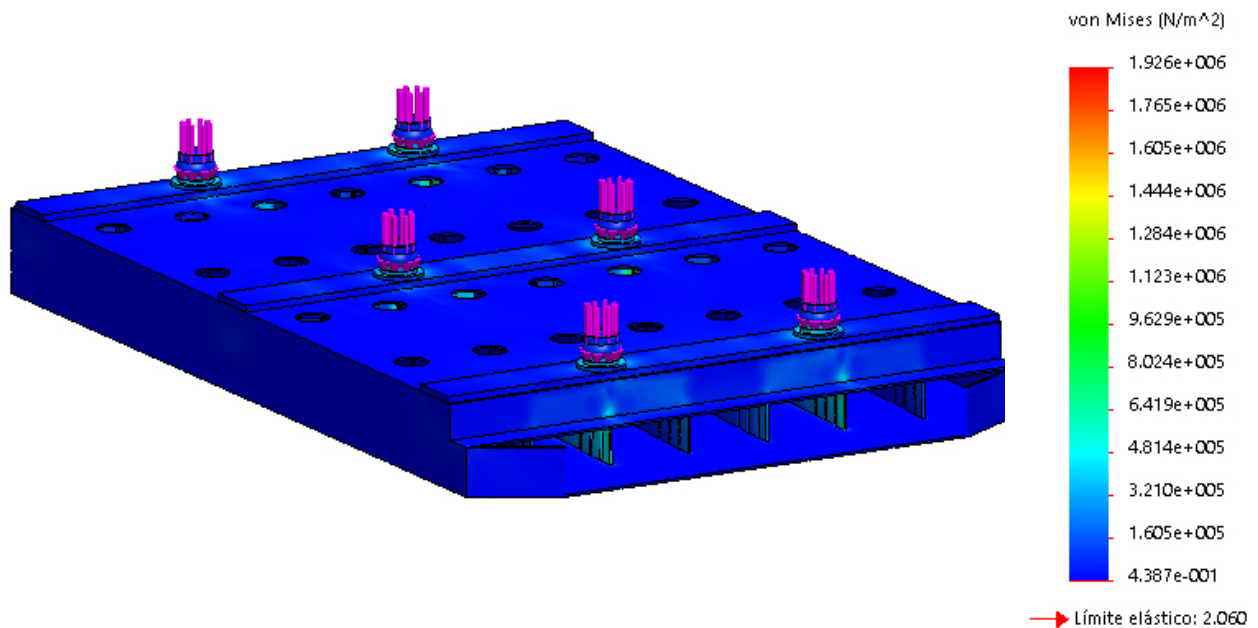


Figura 65. Análisis de cargas al diseño final del contenedor NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una vez definidos estos puntos en el diseño del contenedor, fue aplicado el segundo AEF cuyos resultados son mostrados en la Figura 65, lo cual demostró que la pieza es mucho más resistente a las cargas aplicadas con los refuerzos aplicados. Esta conclusión fue tomada en base a la deformación máxima de la pieza.

Además se obtuvo un F.S. mínimo de 11, el cuál es únicamente mostrado en la pequeña zona

ampliada en la Figura 66. En el resto de la pieza predominan los colores azules.

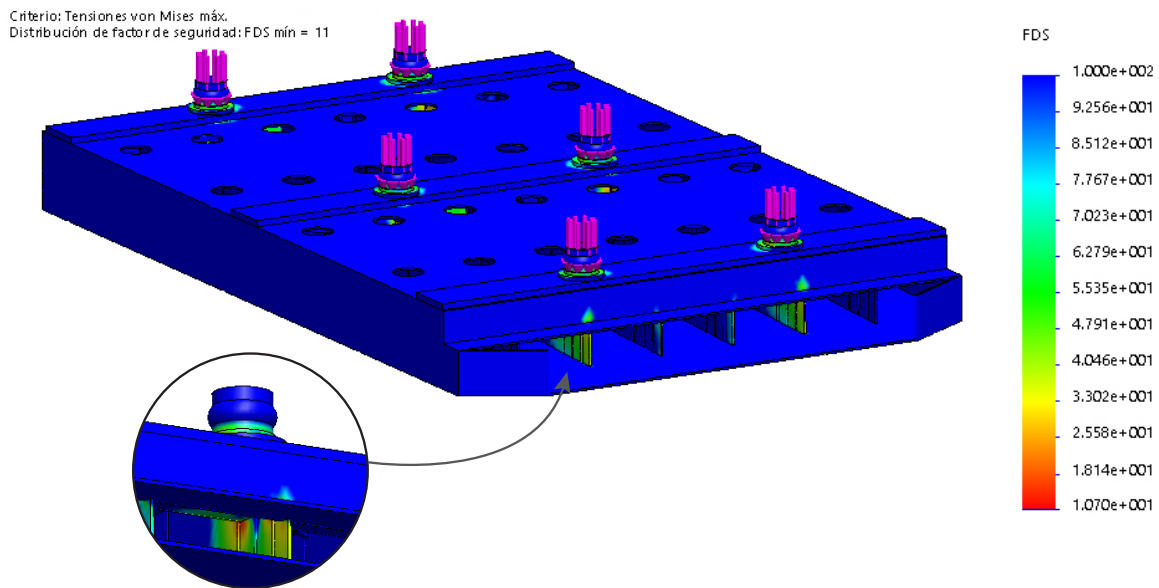


Figura 66. Análisis del factor de seguridad del diseño final del contenedor NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego de establecer la eficiencia del diseño de la pieza, en la Tabla 43 se presentan las especificaciones técnicas finales del contenedor NFT.

Tabla 43. Especificaciones técnicas de "Contenedor NFT"

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	1,205.40 mm*800 mm*112.14 mm
Peso sin carga	8,970g (8.97 kg)
Capacidad del contenedor	28 plantas
Material	Polietileno de alta densidad (HDPE) Densidad= 952 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia, 2018.

También se presenta la Figura 67 con la imagen del filtro de retorno, al cual no se le realizó un análisis de cargas ya que no es sometido a alguna.

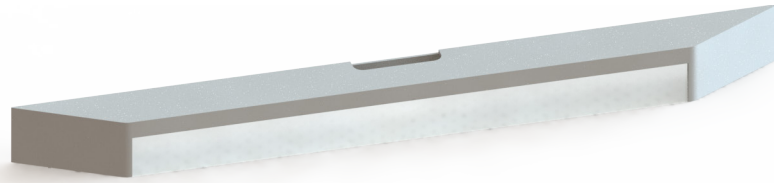


Figura 67. Filtro de retorno
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Tabla 44 se muestran las especificaciones del filtro.

Tabla 44. Especificaciones técnicas de "Filtro de retorno"

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	783.85 mm*60 mm*62 mm
Peso sin carga	210.74 g (0.21 kg)
Material de la tapa	Polietileno de alta densidad (HDPE) Densidad= 952 kg/m ³
Material de la malla	Tela de nylon suave

Fuente: Elaboración propia, 2018.

v. Iluminación

Las plantas requieren la luz suficiente para realizar la fotosíntesis, lo cual resulta natural en el caso del cultivo a cielo abierto, sin embargo, es un problema común para el cultivo en interiores.

De acuerdo con Gonzalías y Lasso (2016), este tipo de iluminación tiene tres propósitos:

- Proporcionar la luz que la planta necesita para crecer;
- Complementar la luz natural, sobre todo en los meses de invierno, donde las horas de luz día son cortas y;
- Aumentar el periodo de la luz de día con el fin de disparar el crecimiento y la floración.

Considerando que los espacios disponibles para colocar un sistema de este tipo en cada casa serán diferentes, es indispensable incluir 2 lámparas LED para cultivo interior. La iluminación puede estar disponible mediante luz solar si existe alguna ventana. Sin embargo, para los espacios cerrados se da la alternativa de colocar dos lámparas por medio de pernos de ojos fijos, lo que da la opción de colocarlos si es necesario.

Se analizaron distintos tipos de lámparas como focos, tiras de LEDs y paneles de distintos tamaños, con el fin de elegir una lámpara que satisficiera las siguientes características:

1. Un área de cobertura aproximadamente de 1 m²
2. Tener un alcance de 1.10 m de altura
3. Instalación directa sin necesidad de hacer cableado extra para poder montarse solo en caso de ser necesario.

La lámpara seleccionada mostrada en la Figura 68 es un panel de 25x18x6 cm. Tienen incluido un cable de alimentación y cuatro arneses metálicos (Figura 69) para anclarlos a los pernos de ojo (Figura 69) que tiene el SA, para que solo sean colocados sin ninguna instalación extra.

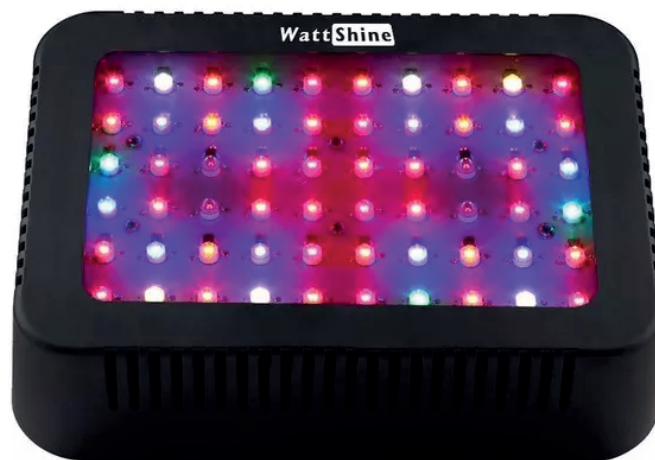


Figura 68. Lámpara de LEDs para cultivo interior
Fuente: Wattshine



Figura 69. Arnases metálicos y perno de ojo
Fuente: Wattshine

Tiene alcances respecto a las distancias verticales mostradas en la Figura 70, según el proveedor para plantas, en etapa de floración no debe estar a una distancia mayor a 1.2 m, la cual se ajustó a la distancia máxima en el SA propuesto.

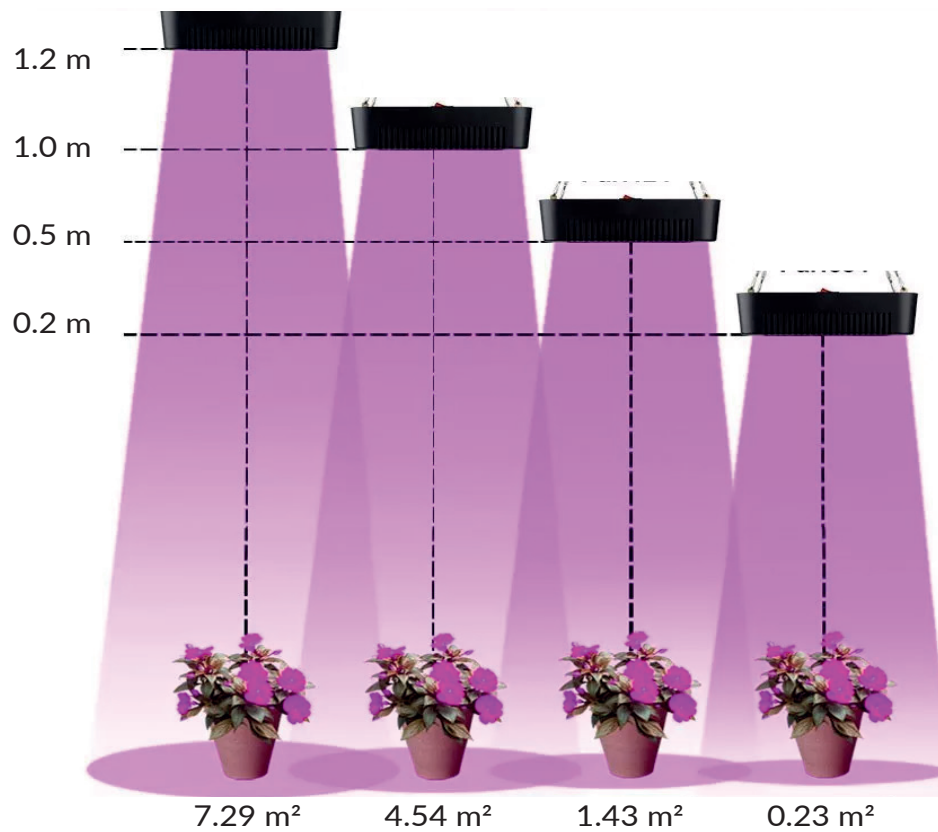


Figura 70. Alcances de lámpara de LEDs para cultivo interior
Fuente: Wattshine

vi. Zonificación del cultivo vegetal

Para un sistema de cultivo vegetal donde se presenta la oportunidad de cultivar 10 especies diferentes según lo desee el usuario, es necesario proveer de cierta información del producto para lograr un cultivo sano, ya que el éxito también depende de la constante interacción entre el usuario y el producto.

Por parte del producto, queda informar la manera en que se han seccionado las áreas de cultivo. A simple vista pueden ser observables solo dos zonas (vertical y horizontal), sin embargo, el diseño del SA ha seccionado las áreas de cultivo además del tipo de cultivo (por sustrato o NFT), ya que al tratarse de diferentes especies se determinaron zonas según las siguientes características para el cuidado de cada planta:

1. **Según el método de cultivo.** Como ya es conocido, el proyecto mantiene una combinación de los métodos de cultivo vertical por sustrato y horizontal por NFT que se relaciona con el método de soporte de la planta, hay ciertas especies de plantas que son preferentemente cultivadas en un método específico, lo que también genera una división.
2. **Según la cantidad de iluminación necesaria.** Las diferentes especies nuevamente son preferentemente cultivadas con cierto grado de iluminación, no es perjudicial si no tienen luz, pero algunas crecen mucho mejor con ella. Es por ello que se analizó la forma de satisfacer esta necesidad y existen dos maneras.

La Tabla 45 clasifica las 10 especies contempladas para el SA considerando las siguientes características: métodos de cultivo, cantidad de iluminación y la zona adecuada para la planta habiendo algunas que pueden estar en dos zonas según se requiera.

Tabla 45. Zonificación de los espacios de cultivo

Espece	Método de cultivo	Iluminación (Directa/sombra)		Zona
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	NFT	X		Zona D
Tomate/Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Sustrato		X	Zona B
Fresa (<i>Fragaria</i>)	Sustrato		X	Zona B
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	Sustrato		X	Zona B
Acelgas (<i>Beta vulgaris var. cicla</i>)	NFT	X		Zona A
	Sustrato			Zona D
Chile (<i>Capsicum annuum</i>)	NFT		X	Zona B
	Sustrato			Zona C
Perejil (<i>Petroselinum crispum</i>)	Sustrato	X		Zona B
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	NFT	X	X	Zona A
	Sustrato			Zona C
Hierba Buena (<i>Mentha spicata</i>)	Sustrato	X		Zona A
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	NFT		X	Zona B
	Sustrato			Zona C

***Nota:** Los datos fueron analizados en base a la información provista por expertos.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se determinaron 4 zonas representadas en la Figura 71. Iniciando de arriba hacia abajo, se encuentra la zona A que son los 18 módulos de sustrato a una mayor altura y la más cercana a las lámparas LEDs, por lo tanto se tiene mayor intensidad en su iluminación.

La zona B se encuentra en los siguientes 18 módulos de cultivo por sustrato intermedios, los cuales, reciben una menor intensidad de iluminación debido a la sombra que generan los módulos de la zona A.

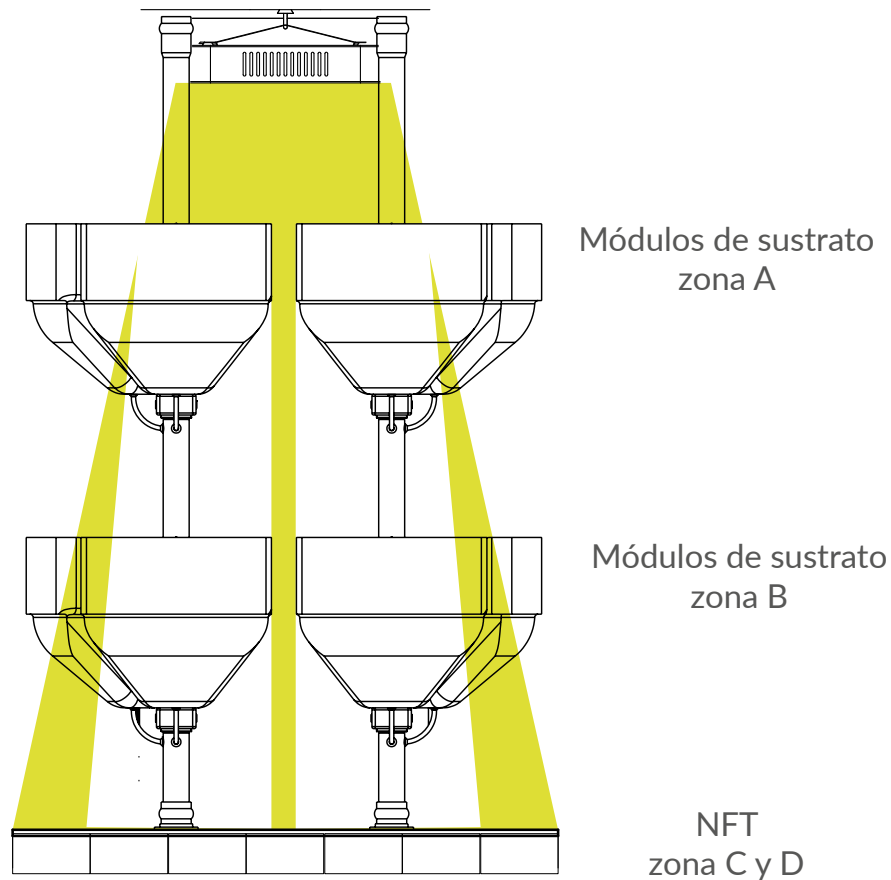


Figura 71. Zonas de cultivo

***Nota:** Proyección de luz en base a la información del proveedor
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Figura 72 muestra la forma en que se seccionó el contenedor NFT en 2 zonas, donde, la zona D son 8 orificios de cultivo NFT, es la que recibe mayor iluminación y la zona C son 16 perforaciones del contenedor de cultivo NFT donde los módulos somborean, es decir, la luz es con menor intensidad.

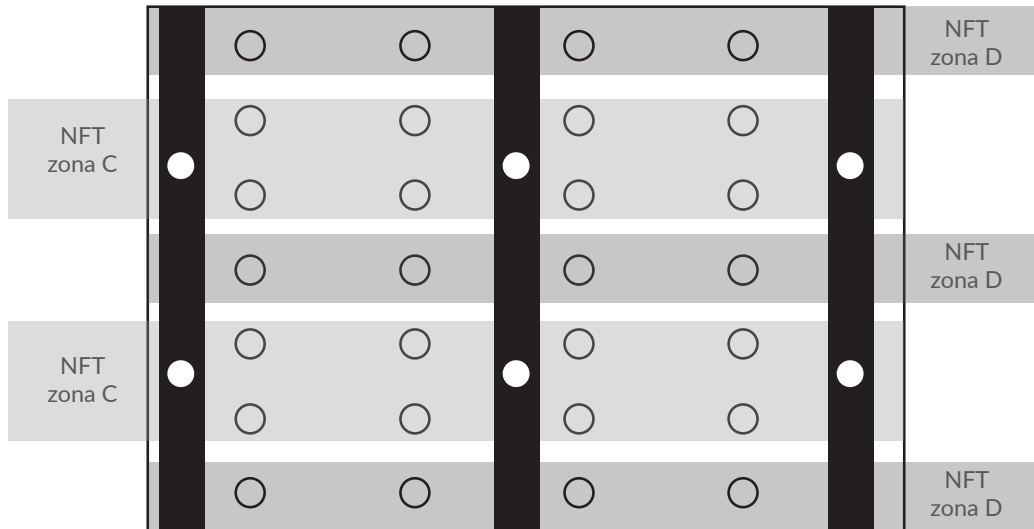


Figura 72. Zonas de cultivo NFT
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Esta información sirvió para saber el lugar idóneo dónde colocar cada especie dentro del SA, dependiendo de sus necesidades.

vii. Estructura

La estructura es el elemento que debe soportar al SA propuesto, ya que integra todos los elementos en una sola unidad. Para el diseño de la estructura fue necesario analizar los materiales a utilizar, las medidas antropométricas para una adecuada relación objeto-usuario y su conformación. Además, se consideraron las características mostradas en la Figura 73 y descritas a continuación:

1. Resistencia estructural: Soportar el acuario de modo que se evite alguna carga diferente a la de su peso propio y del agua; servir como un soporte para colocar el contenedor de cultivo NFT, concentrando en él la mayor cantidad de peso (del cultivo vertical); además de otros elementos que componen el sistema, como lo son tubos verticales, soportes de módulos, los módulos con sustrato y el flujo de agua.

2. Recubrimiento: Cubrir (carcasa) la instalación hidráulica interior que conduce al agua desde el acuario hasta el extremo superior del SA, con la finalidad de proteger y esconder las tuberías internas.

3. Áreas accesibles: es necesario considerar 3 áreas en específico con accesibilidad para su

mantenimiento y supervisión, principalmente para la bomba y los Filtros 1 y 2. Tener un espacio para colocar la bomba en la parte superior del acuario con accesibilidad para su mantenimiento si fuese necesario. Permitir dos áreas de accesibilidad al acuario para colocar el Filtro 1 y que pueda ser removido para limpiarlo. Después de pasar por los canales del contenedor NFT se encuentra el segundo espacio dejando caer el agua al acuario en forma de cascada.

4. Material: Debe ser resistente a la humedad constante.

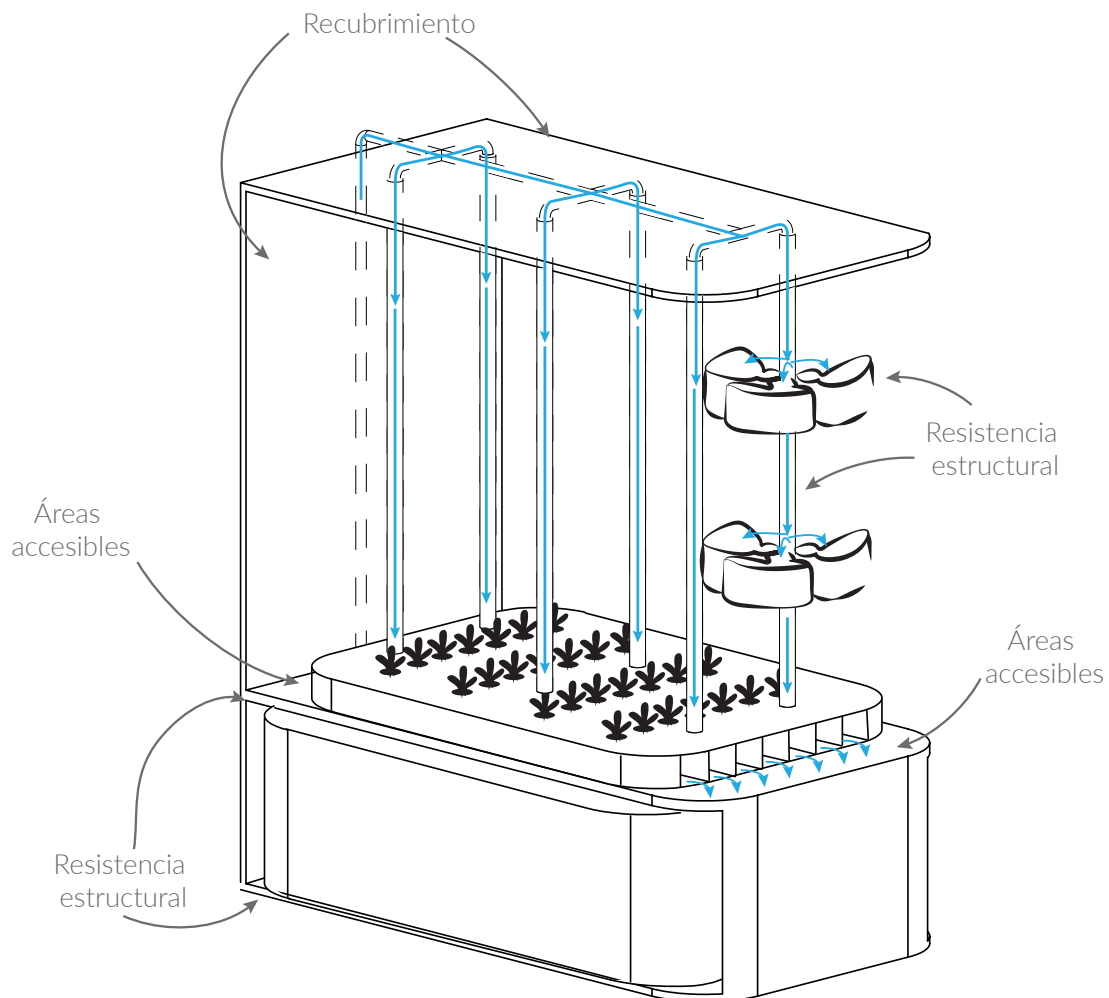


Figura 73. Necesidades de la estructura
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura 73 también se puede observar el flujo de agua que sube inicialmente por el tubo, el cual dirige el agua desde la bomba hasta el nivel más alto para distribuirse por los tubos verticales y así suministrar los módulos de sustrato y del cultivo NFT; finalmente pasa por el filtro 2 para caer en el acuario e iniciar de nuevo el ciclo.

La Tabla 46 representa la comparación de diferentes propuestas de materiales para utilizar en la estructura, considerando las características y requerimientos para el SA que son las siguientes: resistencia estructural considerando N/mm²; impermeabilidad (humedad), factor relevante debido al contacto directo y continuo con el agua que requiere el SA; y la facilidad de producción, que se refiere a la complejidad de los procesos de fabricación.

Tabla 46. Comparación de materiales para aplicar en la estructura

Necesidad	Alternativas			
	Plástico HDPE	Madera	Acero Inoxidable	Perfil tubular acero al carbón
Resistencia estructural	3601.22 N/mm ² 2	30 N/mm ² 1	585.657 N/mm ² 3	440.140 N/mm ² 3
Impermeabilidad (Humedad)	Placa/Opcional 3	Melamina 1	Lámina/Natural 3	Lámina/Cromado o electropintado 3
Facilidad de producción	1	3	2	3
Total	6	5	8	9

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fuente: Información recabada de diversos proveedores

Los cuatro materiales son buenas opciones para aplicar diversas formas, desde planas hasta curvas con las técnicas de fabricación adecuadas, pero difieren en los siguientes requisitos:

El plástico maneja una gran diversidad de presentaciones y acabados, que incluso puede soportar grandes cargas dependiendo de su método de producción, de su grosor y sus refuerzos internos; pero implica una gran dificultad de producción comparado, con las otras tres alternativas. Para un diseño en donde las partes deben cargar peso considerable se sugiere el uso de nervaduras y retículas para aminorar el grosor del material y que resista igual, además el proceso de inyección está considerado para una producción en masa y el producto desarrollado dentro de esta investigación no responde a esa característica.

Además, al tener algunas piezas de más de un metro de largo, se tendrían que fabricar (las piezas

y a su vez los moldes) por partes para después ser ensambladas. Sin embargo, esta característica no fue adecuada al proyecto, ya que un sistema acuapónico una vez que es instalado no se recomienda desinstalarse puesto que genera un desequilibrio en el buen funcionamiento del sistema.

La madera se descarta debido a su baja resistencia a la humedad, lo que generaría que se hinche, se deforme, se abra y se puedan generar hongos o moho. Además, sus acabados tampoco evita este riesgo al estar en contacto frecuente con agua.

El acero inoxidable y el perfil tubular de acero al carbón, son materiales muy similares que cumplen del mismo modo las primeras dos características (la resistencia estructural y la impermeabilidad).

Tanto para el acero inoxidable y el acero al carbón, las presentaciones a utilizar serían en forma de lámina y perfil tubular, con procesos similares como la unión que podría ser por medio de elementos de sujeción o soldadura, para cualquiera de los dos materiales.

La diferencia entre éstos es el acabado, ya que de este dependerá la variabilidad que puedan tener en colores. En el caso del acero inoxidable, por la naturaleza es impermeable, no se necesita recubrimiento pero su apariencia es única y no es posible modificarse. A diferencia del acero al carbón, donde es necesario un recubrimiento generado con un electropintado, el cual es impermeable, durable y con diferentes posibilidades. Además, el acero al carbono tiene una mayor facilidad de producción en comparación con el acero inoxidable.

Es por ello que en la matriz de selección se eligió al acero al carbón como el material de mayor pertinencia para la fabricación de la estructura utilizando procesos tales como el corte y doblado del perfil y de la lámina, soldado y pintado.

La Figura 74 presenta la evolución de la estructura, donde primeramente se desarrolló el contorno de las dimensiones exteriores que se requieren (Figura 74a), cabe destacar que el acuario definió el largo y ancho generales de la estructura. Para su diseño se incluyeron las siguientes partes: 1) el centro donde se coloca el contenedor NFT; 2) por un costado la instalación hidráulica y; 3) en la parte superior el espacio para las lámparas de iluminación y salidas de agua.

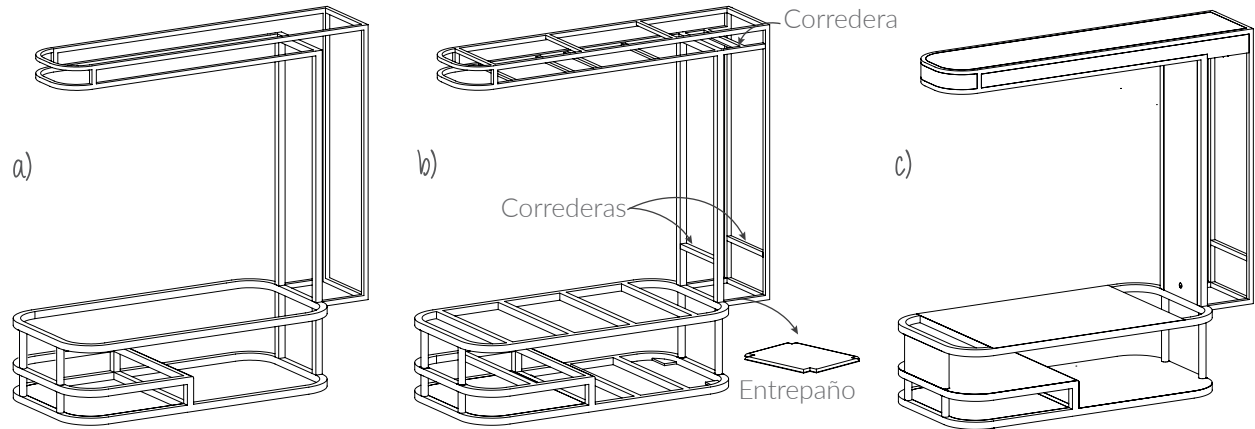


Figura 74. Evolución de la estructura
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Figura 74b muestra los refuerzos en los claros grandes de las secciones más largas de la estructura, la parte inferior será para soportar el entrepaño extra para la bomba y dos entrepaños intermedios donde se deben colocar las correderas para el organizador.

En la Figura 74c se presenta la versión final de la estructura con su recubrimiento de lámina igualmente de acero al carbón, para después ser electropintado.

Una vez determinada la pieza se realizó un AEF al diseño primero del canal de riego. Para ello, la descripción de las cargas aplicadas que son aplicadas a la estructura de todas las piezas son mostradas en la Tabla 47.

En la primera y segunda columna se muestran las piezas con sus respectivos pesos. La tercer columna muestra el número de piezas dentro del sistema. La última columna presenta el peso total, multiplicando el peso por pieza por el número de esas piezas dentro del SA.

Tabla 47. Cargas críticas aplicadas a la estructura.

	Peso	N° Pzs.	Peso total
Acuario	82.6 kg + 330 kg	1	W= 412.6 kg
Módulos	4.55 kg	36	163.80 kg
Soporte	0.452 kg	12	5.424 kg
Tubos verticales	0.8955 kg	6	5.373 kg
Canales de riego	0.780 kg	3	2.34 kg
Contenedor NFT	8.97 kg	1	8.97 kg
Filtro de retorno	0.21 kg	1	0.21 kg
Agua contenida a irrigar	2.98 kg	3	8.94 kg
			W= 195.057 kg
Organizador	8.085 kg	1	8.085 kg
Lámparas	5.0 kg	2	10.0 kg

Fuente: Elaboración propia, 2018,

La estructura tendrá 4 áreas de cargas mostradas en la Figura 75 con flechas color verde. La carga mayor (Figura 75a) es la del acuario con un peso de 412.6 kg como suma de su peso propio y de la carga de agua.

La segunda carga (Figura 75b con flechas color negras) es la que engloba el peso de los módulos, con su peso propio y la carga que soportan dando un total de 4.55 kg por módulo; los 36 módulos que contiene el SA, resulta un peso total de 163.80 kg de éstas piezas. Se consideran, 12 soportes, cada uno pesa 0.452 kg lo que genera un peso total de 5.42 kg para éstas piezas. Por los 6 tubos verticales se tiene un peso de 5.373 kg. Los canales de riego son 3 que juntos pesan 2.34 kg. El contenedor de NFT es una pieza única con el mayor tamaño de todas con un peso de 8.97 kg. Dentro del contenedor está insertado el filtro de retorno que pesa 0.21 kg. También se considera el peso extra del agua que cada hora irriga las áreas de cultivo. Se toma el volumen del canal con dos tubos

para un peso unitario, y multiplicado por tres se obtiene un peso de 8.94 kg. Se hizo una sumatoria para obtener el peso total de todos estos valores, el cual será aplicado en la sección intermedia de la estructura dando un total de 195.057 kg.

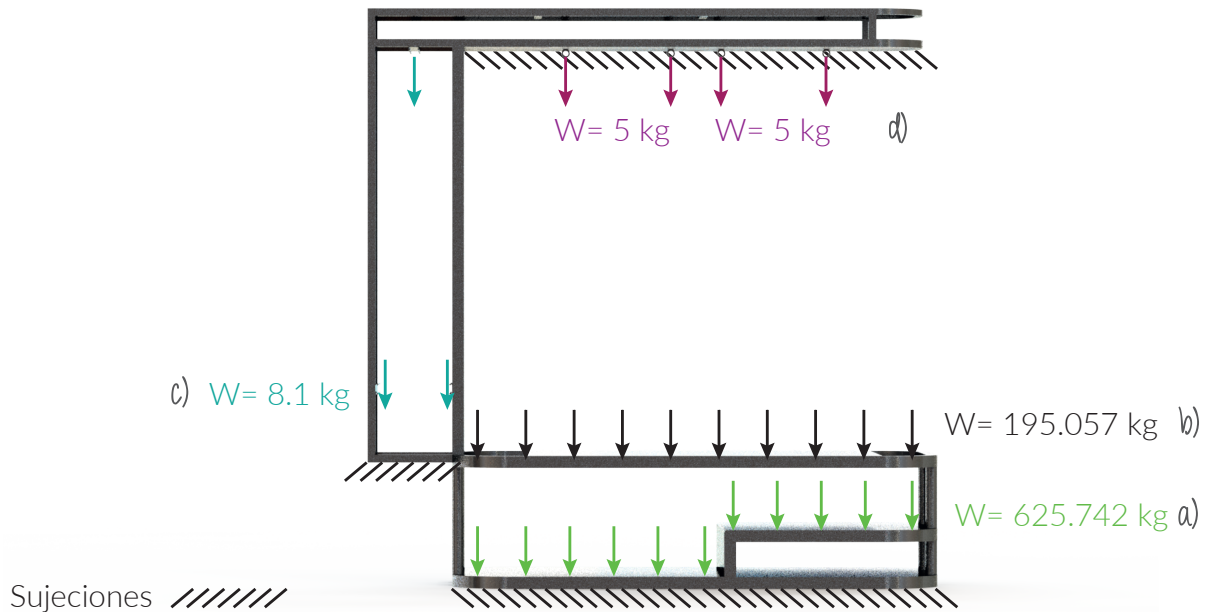


Figura 75. Diagrama de aplicación de cargas a la estructura
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La tercera carga aplicada a la estructura se muestra en la Figura 75c con flechas color azules, es la carga del peso propio del organizador con un peso de 8.085 kg.

Y por último, la carga de la Figura 76d con flechas color morado son las dos lámparas LEDs que pueden ser colocadas en el SA, cada una con un peso de 5 kg.

Una vez definidas las cargas a aplicar en la estructura se realizó el AEF. Este análisis fue desarrollado en dos partes.

El primer AEF se realizó a la parte superior de la estructura que muestra las cargas mostradas en la Figura 75d y 75c correspondiente al organizador y a las lámparas. Los resultados se muestran en la Figura 76, en la barra de los resultados de esfuerzo de Von Mises, se muestra que el valor máximo de esfuerzo que está muy por debajo del límite elástico del material.

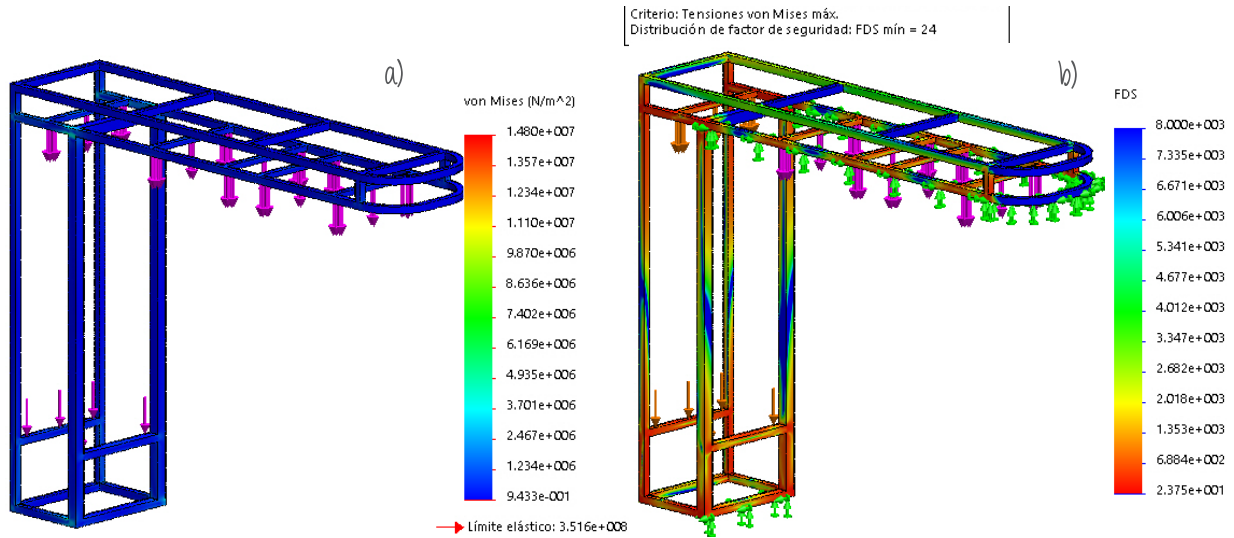


Figura 76. Análisis de cargas al diseño preliminar del área superior de la estructura
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Figura 76b también muestra que el F.S. mínimo fue de 24, el cual es predominante en las zonas de unión de la pieza, indicando que las cargas aplicadas son mayores en esas áreas, pero aún así son capaces de soportar 24 veces esas cargas. Así se definió el diseño preliminar de la estructura, quedando definido como el diseño final al no presentar ningún problema de deformación permanente.

El segundo AEF se realizó a la parte inferior de la estructura que muestra las cargas mostradas en la Figura 75a (acuario) y 75b (los módulos, soportes, tubos verticales, canales de riego, contenedor de NFT, el filtro de retorno y el peso extra del agua). En la barra de los resultados esfuerzos de von Mises de la Figura 77a, se muestra que el valor máximo de esfuerzos de von Mises está muy por debajo del límite elástico del material en los nodos.

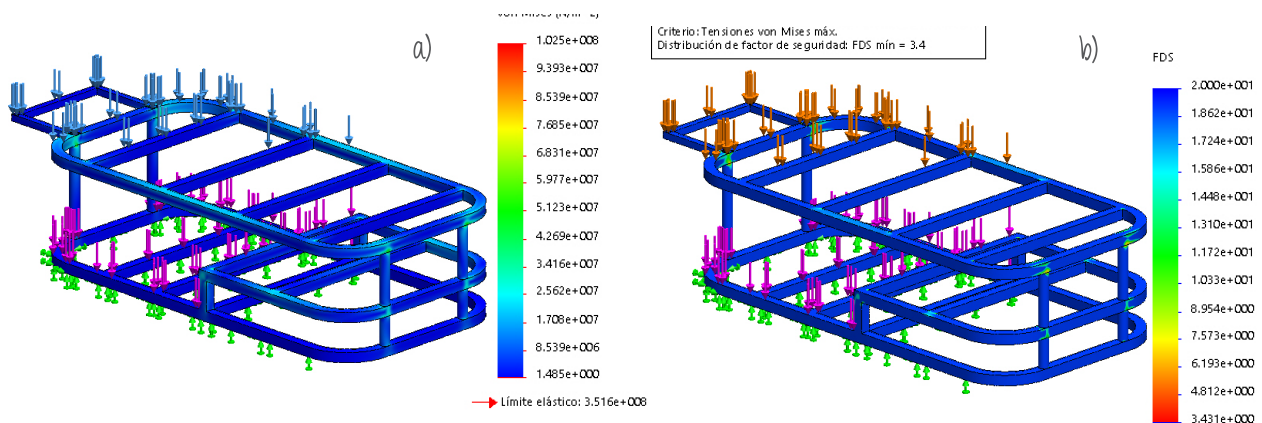


Figura 77. Análisis de cargas al diseño preliminar del área inferior de la estructura
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Y la Figura 77b también muestra que el F.S. mínimo fue de 5.4, en las zonas de unión de la pieza, indicando que las cargas aplicadas son mayores en esas áreas, pero aún así son capaces de soportar 5.4 veces esas cargas.

Así el diseño preliminar de la estructura quedó definido como el diseño final, al no presentar ningún problema de deformación permanente.

La Tabla 48 especifica los detalles finales de la estructura.

Tabla 48. Especificaciones técnicas de la “estructura”

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	1851.2 mm*800 mm*1962.96 mm
Peso sin carga	34806.52 g (34.81 kg)
Peso total aplicado	625.742 kg
Material	Acero al carbono Densidad= 7,900 kg/m ³
	Recubierta de lámina galvanizada
Proceso de formado	Soldadura

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El peso total aplicado y el peso propio de la estructura dan un total de 660.55 kg que deben ser soportados por las 4 llantas que fueron colocadas en los extremos inferiores de la estructura, es decir, cada una debe soportar un mínimo de 165 kg.

Las llantas escogidas se presentan en la Figura 78. Las necesidades que debieron cubrir estas llantas son simples: soportar todo el peso y tener unos frenos incluidos para poder trasladar el SA de manera sencilla a distancias cortas únicamente dentro del hogar. Sin embargo, una vez instalado no es recomendable desarmar el sistema para trasladarlo a grandes distancias debido a que desestabilizaría el equilibrio del mismo, lo cual ocasionaría un mal funcionamiento y la muerte de los peces.



Figura 78. Llantas
Fuente: DELEX-Rollen

- **Organizador deslizable**

Fue desarrollado para el resguardo de material y alimento, con la intención de formar parte de un organizador dentro del hogar, optimizando el espacio disponible que la estructura permite. Sus dimensiones estuvieron determinadas en base a las características de otros elementos que conforman el SA, para ello fueron analizados y determinados los siguientes aspectos: la forma de la pieza, el material a emplear y su mecanismo de resguardo.

Ya que la instalación hidráulica debe permanecer en el mismo sitio de manera permanente, no puede ser incluida en el espacio destinado para el organizador, se requiere un estante independiente extra bajo el organizador para colocar ahí la bomba, para que el organizador pueda cubrir esta zona mientras permanezca cerrada y permita tener acceso a la bomba si se requiere.

Debido a que se trata de un diseño destinado a un sector en específico, se buscó un material con el que se pudiera ofrecer una gama de colores neutrales con textura lisa. Aquel material que facilitó esto es el MDF (fibras de densidad media) ya que puede adecuarse a mobiliarios, como los organizadores recubiertos con melamina color negro, blanco y gris.

Una vez definida la forma, se eligieron los herrajes para acceder a los estantes o resguardarlos, que son las tres correderas (Figura 79) que evitarán que cuelgue en su mayor deslizamiento y dado que se trata de un organizador pequeño, el peso se distribuirá en las tres correderas.

Se seleccionaron 2 herrajes con la menor capacidad de carga (16 kg) (CYMISA, s.f.), con la ventaja

de que se eliminó el requisito de espacio lateral para su colocación. Esto permitirá acceder a los estantes y evitará que cuelgue, ya que se trata de un organizador pequeño, pero alto. Además, se seleccionó una jaladera grande por su extensión alargada, cilíndrica y cromada (MALLE y EGOKI, s.f.).

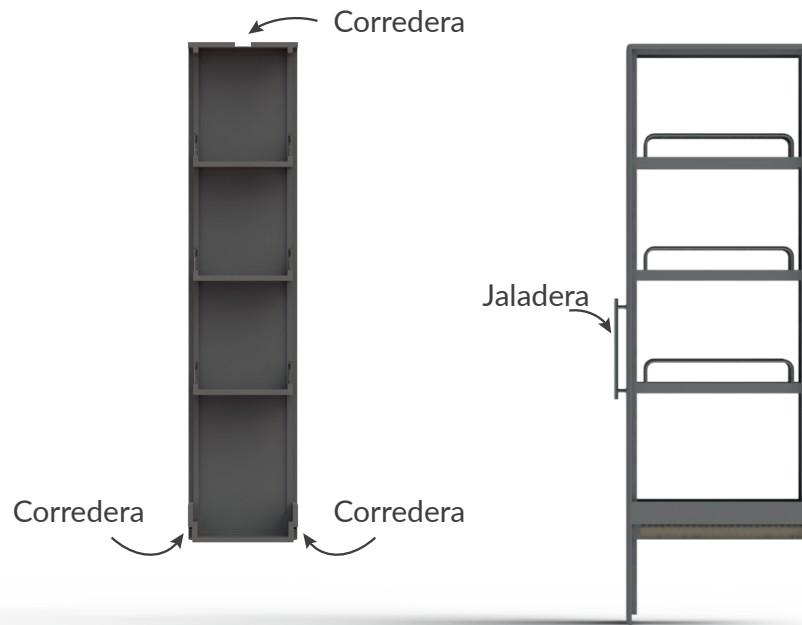


Figura 79. Organizador con herrajes.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura 80 se puede observar la forma del organizador con las divisiones de los estantes, jaladera e indicando sus dos correderas. También se muestra que la cara frontal está alargada hacia abajo, para así cubrir el estante adicional donde será colocada la bomba.



Figura 80. Organizador.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Y así una vez establecidos el acuario, los módulos de sustrato, el contenedor de cultivo NFT el organizador y los materiales; se definieron las medidas generales de modo que las alturas de sus partes sean ergonómicas para el usuario.

El SA responde a los requerimientos del usuario para su adecuada interacción considerando tres puntos importantes para la facilidad de llevar a cabo las actividades necesarias.

En la Figura 83 se refleja la proporción del diseño frente a la del usuario, en donde se consideró su estatura promedio (percentil 50) femenina con la finalidad de verificar una correcta manipulación de la agarradera y alcances (Figura 81a) e igualmente para sujetar los objetos (Figura 81b); y también para darles mantenimiento se consideró el ángulo de visión explicado anteriormente (Figura 81c).

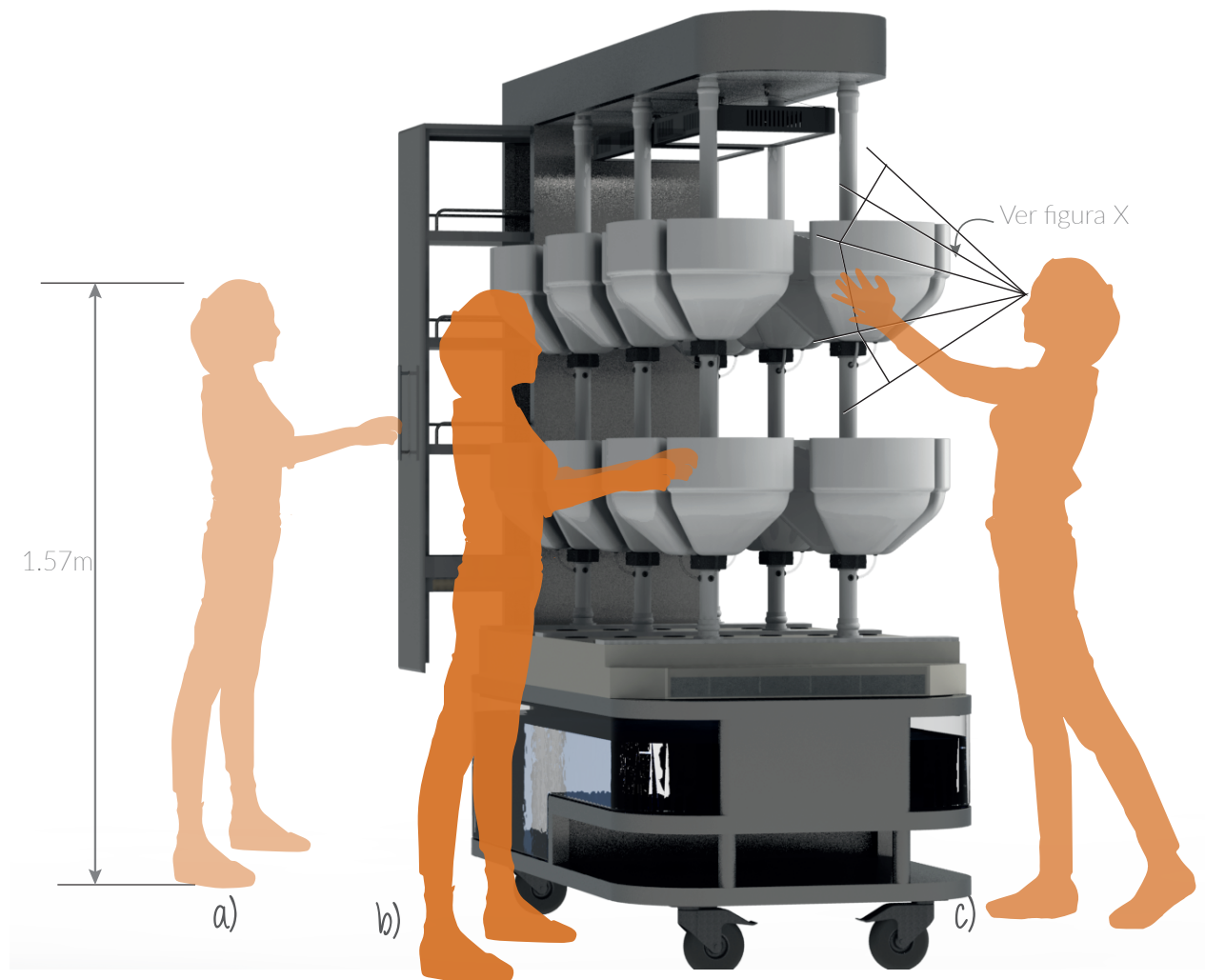


Figura 81. Proporción humana basada en la estatura femenina del percentil 50
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las actividades implicadas en el sistema son: alimentar a los peces, desmontar el filtro para su limpieza, deslizar el organizador que al ser alto debe permitir una cómoda posición del brazo; supervisar las áreas de cultivo y darles mantenimiento como limpieza, sembrar y podarlas; que en ocasiones será necesario desmontar uno u otro módulo para esto, de no ser necesario desmontarlas deben estar a una altura correcta para tener una visión buena y aceptable para supervisar las plantas de los módulos superiores.

Según Mondelo (2004), toda actividad realizada por una persona tiene una implicación alta con el campo de visión, esto lleva a que se tenga que analizar la posición de la cabeza y los ojos con la actividad que se deba desarrollar. Por lo tanto, la Figura 82 fue considerada para determinar que el usuario tenga una visión adecuada durante la interacción y actividades entre el usuario y el producto.

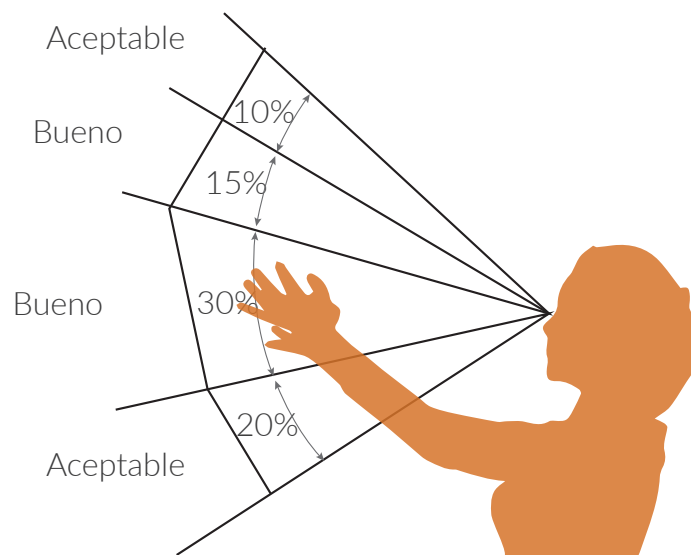


Figura 82. Ángulos de visión de perfil
Fuente: Elaboración propia, 2018.

viii. Instalación hidráulica

La definición de la instalación hidráulica partió de las necesidades dentro del sistema. Se proponen 4 alternativas de materiales tomando en cuenta su apariencia (estética), su densidad (peso), su propensión a fugas y la facilidad del proceso de unión, descritas en la matriz de selección para un buen funcionamiento.

La Tabla 49 presenta una matriz de selección que se hizo para evaluar las características del material con los requerimientos y el grado de satisfacción.

Tabla 49. Selección de material para instalación hidráulica según las necesidades

Necesidad	Alternativas			
	Tubo PVC p/cementar	Tubo PVC junta plástica	Tubo-plus PP-R	Tubo PP
Apariencia:	1	3	1	3
Densidad:	1,420 kg/m ³	1,400 kg/m ³	--	910 kg/m ³
Evitar fugas:	3	3	3	2
Facilidad de unión:	3	3	2	1
Total	7	9	6	6

***Nota:** Los datos evaluados son información provista por los proveedores. Escala empleada: 1 Malo; 2 Medio; 3 Bueno.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1. Tubo PVC para cementar (Policloruro de vinilo) es el comúnmente usado para todo tipo de instalaciones domésticas, pero presenta deficiencias dentro del proyecto, ya que no es estético su método de unión. Además tiene cierto grado de complejidad por los adhesivos empleados, por ello esta propuesta tuvo un total de 7 puntos;
2. Tubo PVC con junta elástica, estéticamente es mejor ya que genera una unión discreta, funciona mediante una unión hermética gracias a un aro de goma montado con el tubo o las extremidades también necesarias, no necesita de bridas ni tornillos, por lo que es fácil su instalación, este material obtuvo 11 puntos;
3. Tubo-plus (PP-R polipropileno copolímero random) la apariencia de este material es limitada ya que se encuentra solamente en color verde, el cual no combina con la estructura. Además, la densidad es mayor, por ende también su peso, en cuanto a la instalación requiere de equipo especial por lo tanto recibe una calificación de 6;
4. Tubo PP (polipropileno) tiene una apariencia agradable por su acabado liso y brillante, no obstante, su unión entre piezas tiene un mayor riesgo de fugas en comparación con los demás.

También requiere de equipo especial para instalarse, por lo tanto, su puntuación fue de 6.

Así, se concluyó que el material conveniente para la instalación hidráulica en el sistema que estará oculta son los tubos de PVC cementados, ya que su instalación estará incluida desde que se adquiera el producto.

Mientras que para los tubos verticales que son exteriores a la estructura y son visibles, además de las extremidades que permitirán los ensamblajes superiores e inferiores, serán de PVC con junta plástica por su sellado hermético, facilidad de ensamble, buena apariencia y un costo intermedio, en comparación con los demás, debido a que su instalación será tarea del usuario y debe ser más fácil de instalarse, pero con la capacidad de ensamblarse con la instalación interior también.

ix. Bomba

Para calcular el caudal (definido en el Capítulo 2, como el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo) que debe proporcionar la bomba al sistema, es necesario conocer el caudal total que descarga el sistema en litros por minuto (lpm) cuando el sistema de irrigación está lleno.

En este caso, dos partes del caudal del sistema abastecerán a las plantas de los módulos verticales (36 módulos) y la otra parte desembocará en 3 canales de riego secundario que esparcirán el agua por los 7 canales de la siguiente sección de cultivo (NFT), para después retornar el agua al acuario. Se partió de la ecuación de Bernoulli (Ec. 3.13),

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + 0 \quad [\text{Ec. 3-13}]$$

y ya que, el método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de tuberías cerradas depende del principio de continuidad (Ec. 3.14):

$$\rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 \quad [\text{Ec. 3-14}]$$

Al despejar V_1 para sustituirla en la ecuación de Bernoulli y dejarla en términos de V_2 , se obtuvo la aplicación directa del *teorema de Torricelli*, para el cálculo de la velocidad con que el agua fluye por un orificio (Figura 83), esto depende de la altura a la que se encuentre el orificio de la superficie superior del líquido respecto a la posición del orificio de salida del agua:

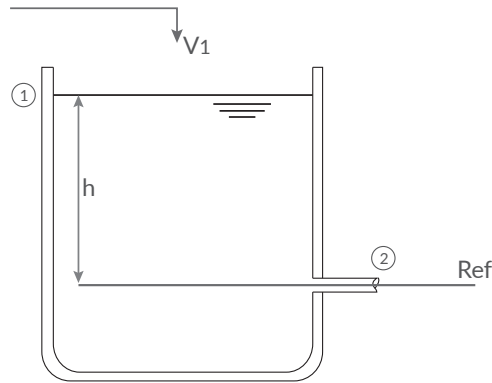


Figura 83. Teorema De Torricelli
Fuente: Elaboración propia, 2018.

$$V = \sqrt{2gh}$$

[Ec. 3-15]

Los siguientes cálculos se hicieron en base al sistema de riego para el SA propuesto (Figura 84), el cual inicia con una bomba que dirige al agua a un proceso de llenado dentro de 3 canales horizontales y 6 tubos verticales para suministrar agua a las macetas modulares (cultivo vertical) y al cultivo de NFT (cultivo horizontal).

La Figura 85 refuerza la información necesaria para los siguientes cálculos, donde se presenta la ubicación de la bomba, las entradas de agua a las tuberías verticales y las salidas de abastecimiento, con sus distancias respectivas.

Primero, se encontraron los caudales que el agua presentará en cada salida que están a diferentes alturas para irrigar las áreas de cultivo.

Se tienen 3 alturas diferentes para riego: los orificios de la parte inferior de los canales (Figura 85a); los orificios intermedios de los tubos verticales para irrigar los módulos intermedios (Figura 85b); los orificios de la parte superior de los tubos verticales (Figura 85c).

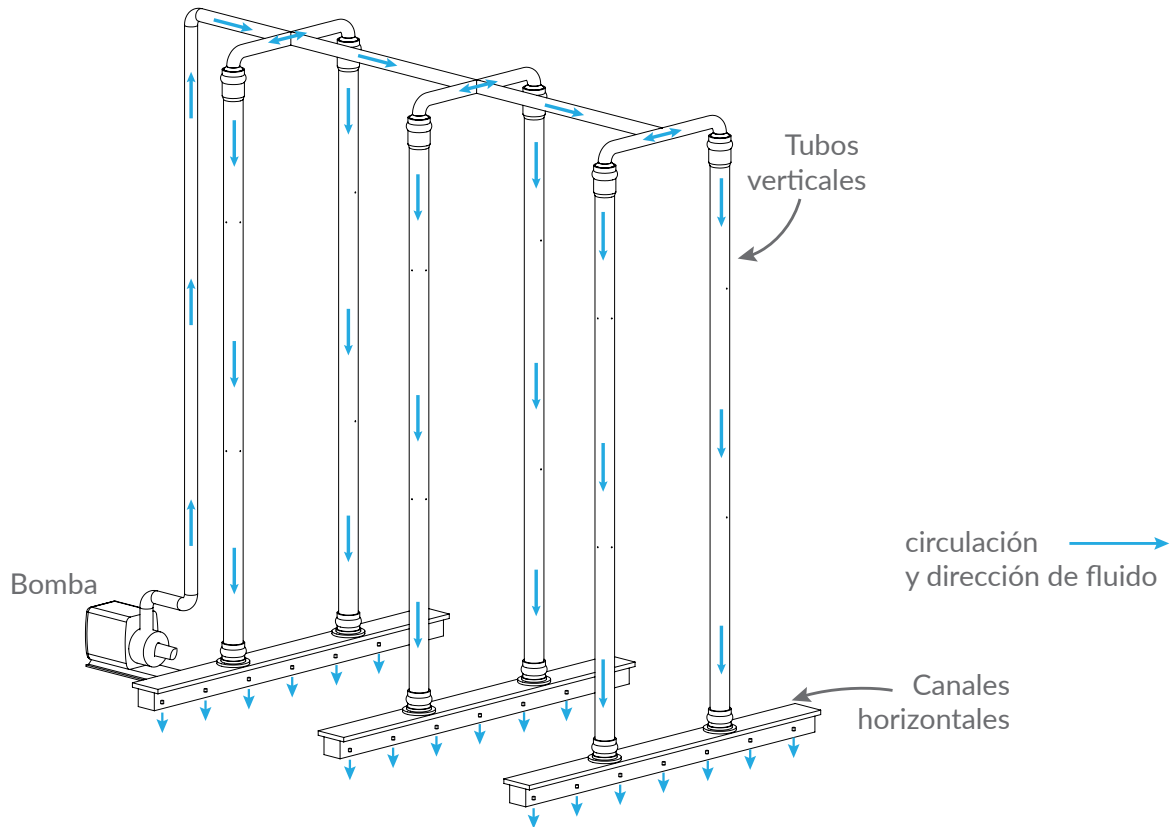


Figura 84. Diagrama para el proceso de irrigación de SA
Fuente: Elaboración propia, 2018.

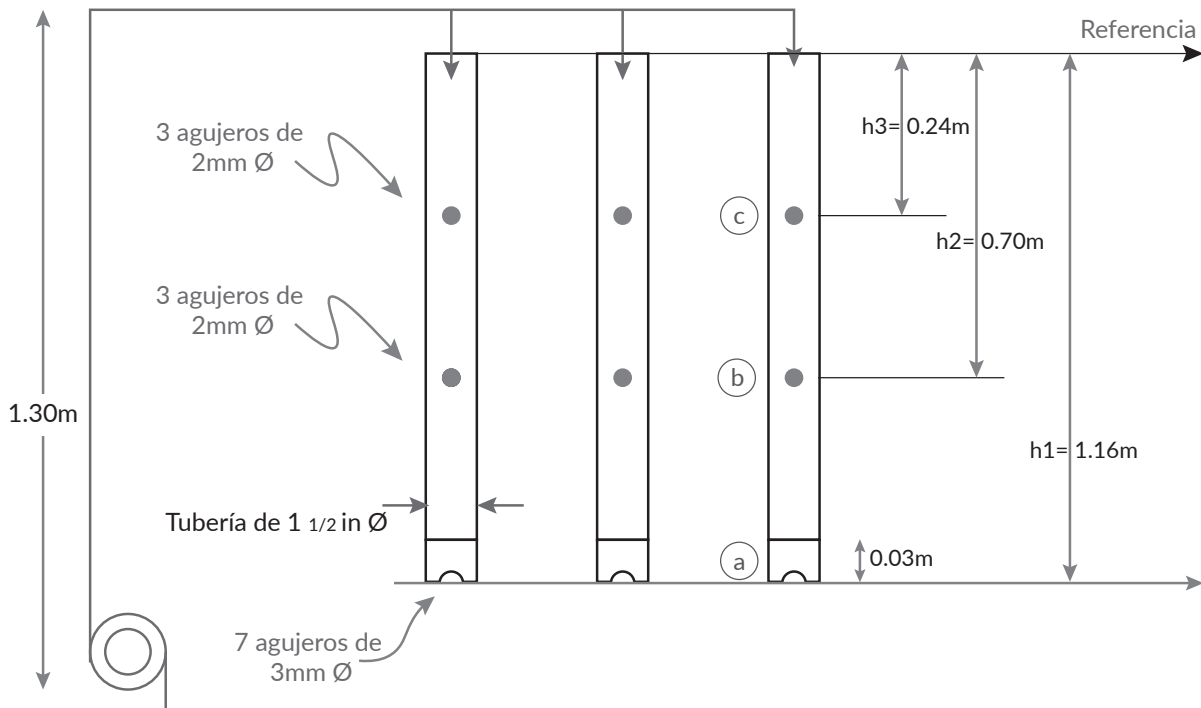


Figura 85. Diagrama de caudales de descarga
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La primera salida está a una distancia de 1.16 m (respecto a las entradas de agua a los tubos verticales), para lo cual se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.81)(1.16)} = 4.771 \text{ m/s} \quad [\text{Ec. 3-16}]$$

$$Q_1 = A_1 v_1 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{3}{1,000} \right)^2 (4.771) = 3.3724 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{Ec. 3-17}]$$

$$Q_1 = 2.0234 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-18}]$$

En este primer nivel se tienen 3 canales, cada uno con 7 perforaciones para la salida de agua, por lo que Q_1 (caudal por cada perforación) es multiplicado por 3 y por 7 obteniendo así, que estas salidas de agua en conjunto generan un caudal mostrado en la Ec. 3-19:

$$Q_{T \text{ canales}} = 3 (7Q_1) = 42.4925 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-19}]$$

En el segundo nivel está a una distancia de 0.70 m (respecto a las entradas de agua a los tubos verticales) en 6 tuberías verticales que con los canales anteriores, forman un solo contenedor:

$$v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.81)(0.70)} = 3.7059 \text{ m/s} \quad [\text{Ec. 3-20}]$$

$$Q_2 = A_2 v_2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2}{1,000} \right)^2 (3.7059) = 1.1642 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{Ec. 3-21}]$$

$$Q_2 = 0.6985 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-22}]$$

Este Q_2 (caudal por cada perforación) es multiplicado por los 6 tubos verticales y por cada una de las 3 perforaciones para la salida de agua en este nivel, lo que dio como resultado el caudal total para este nivel mostrado en la Ec. 3-23:

$$Q_{T1 \text{ agujeros}} = 3 (6Q_2) = 12.5738 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-23}]$$

Y en el tercer nivel se tienen nuevamente 3 perforaciones en cada uno de las 6 tuberías verticales a una distancia de 0.24 m (respecto a las entradas de agua a los tubos verticales):

$$v_3 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.81)(0.24)} = 2.1699 \text{ m/s} \quad [\text{Ec. 3-24}]$$

$$Q_3 = A_3 v_3 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{3}{1,000} \right)^2 (2.1699) = 6.8172 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{Ec. 3-25}]$$

$$Q_3 = 0.4090 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-26}]$$

Este Q_3 (caudal por cada perforación) igualmente fue multiplicado por los 6 tubos verticales, cada uno con 3 perforaciones para la salida de agua en este nivel, lo que generó un caudal total presentado en la Ec. 3-27:

$$Q_{T2 \text{ agujeros}} = 3 (6Q_3) = 7.3625 \text{ lpm} \quad [\text{Ec. 3-27}]$$

Una vez que se obtuvieron los caudales de estas 3 diferentes salidas de agua se procedió a sumar todos los caudales totales suministrados (Ec. 3-29):

$$Q_{T \text{ descargas}} = Q_{T \text{ canales}} + Q_{T1 \text{ agujeros}} + Q_{T2 \text{ agujeros}} \quad [\text{Ec. 3-28}]$$

$$Q_{T \text{ descargas}} = 62.4288 \text{ lpm} = 3,745 \text{ l/h} \quad [\text{Ec. 3-29}]$$

Se obtuvo un caudal total descargado ($Q_{T \text{ descargas}}$) con un total de 62.4288 litros por minuto o lo que es igual a 3,745 litros por hora, es el mismo que se requiere para ser suministrado al sistema de irrigación siguiendo el principio de continuidad (Ec. 3-30).

$$Q_1 = Q_2 \quad [\text{Ec. 3-30}]$$

Es por ello que se procedió a buscar una bomba que proveyera este caudal. La bomba más adecuada que se eligió para aplicar al sistema es una bomba externa presentada en la Figura 86, que es una bomba de fácil manipulación ya que puede adaptarse a una instalación interior o exterior del acuario, logra elevar el fluido a una altura máxima, con un flujo máximo de 4,300 l/h o 71.66 lpm (Tabla 50).

Tabla 50. Especificaciones técnicas de “Bomba”

Parámetros	Especificaciones
Dimensiones (L*A*h)	220 mm*60 mm*105 mm (6.6929 in * 2.3622 in * 3.5433 in)
Flujo de agua máxima	4,300 l/h ($1.1944 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)
Aplicación	Interna-Externa
Altura máxima	3,200 mm (3.2 m)
Entrada/Salida	1 in / 1 in
Voltaje	110-120 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	100 Watts

Fuente: Información obtenida de proveedor.
Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 86. Bomba seleccionada
Fuente: LOMAS

Durante el proceso de irrigación, los canales y los tubos se llenarán gracias al impulso del agua de la bomba seleccionada, de modo que permanecerá cierto tiempo encendida hasta que los canales y tubos se llenen, una vez llenos la bomba se apagará automáticamente mediante un TIMER para que el contenedor pueda drenarse poco a poco para irrigar las áreas de cultivo.

Durante este proceso se lleva a cabo lo que en Física se llama *conservación de la masa* (Figura 87),

que establece que la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo (flujo másico) es el mismo a través de un sistema de flujo estable mientras entra un caudal (Q_{ent}) generado por la bomba seleccionada a través del área del contenedor (A_t) y se libera fluido por un orificio con un área (A_s) con un caudal de salida (Q_{sal}) que depende de la altura a la que se encuentre.

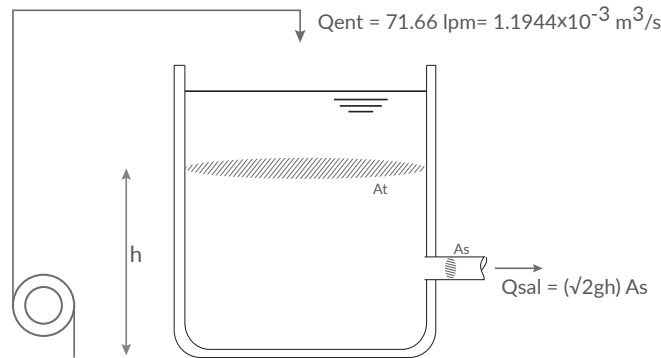


Figura 87. Diagrama de conservación de la masa
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Este proceso se describe mediante la siguiente ecuación de la conservación de la masa (Ec. 3-31), en términos del flujo volumétrico (Q):

$$\frac{d}{dt} \int dv = Q_{ent} - Q_{sal} \quad [\text{Ec. 3-31}]$$

Donde la velocidad es el área por la diferencia de alturas respecto al tiempo (Ec. 3-32) y el caudal de salida es igual al área de salida de agua por la velocidad de Torricelli (Ec. 3-33):

$$dv = A_t \frac{dh}{dt} \quad [\text{Ec. 3-32}]$$

$$Q_{sal} = A_s(\sqrt{2gh}) \quad [\text{Ec. 3-33}]$$

De modo que al sustituirlo en la Ec. 3-31, resultó la Ec. 3-34 y se pudo reducir a la Ec. 3-35.

$$A_t \frac{dh}{dt} = Q_{ent} - A_s(\sqrt{2gh}) \quad [\text{Ec. 3-34}]$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{ent}}{A_t} - \frac{A_s}{A_t} \sqrt{2gh} \quad [\text{Ec. 3-35}]$$

Y despejando dt ; se obtuvo la siguiente Ec 3-36:

$$\frac{dh}{\frac{Q_{ent}}{At} - \frac{As}{At} \sqrt{2gh}} = dt$$

[Ec. 3-36]

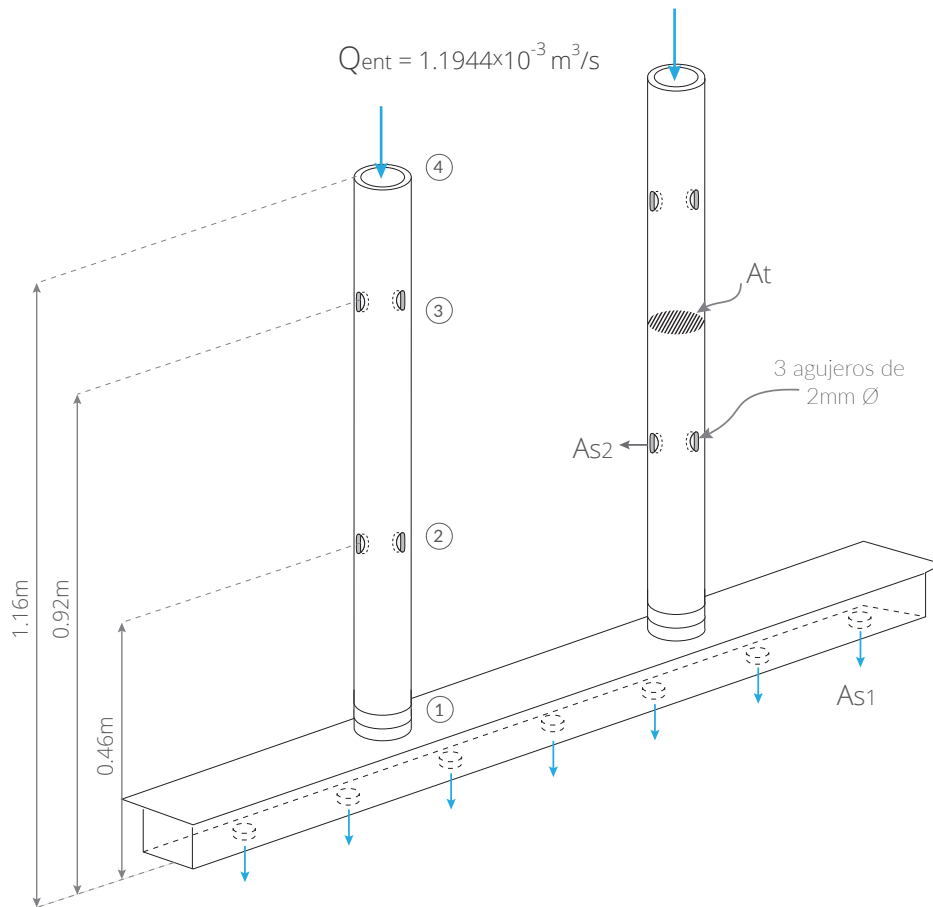


Figura 88. Diagrama de canal y tubos verticales
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El diagrama de la Figura 88 muestra un canal y los dos tubos verticales que deben ser llenados de agua para irrigar las áreas de cultivo. Este diagrama tiene 3 niveles y fue necesario conocer el tiempo que le toma al agua llegar a cada nivel, para conocer el tiempo que la bomba necesita estar encendida.

A continuación se describe el proceso que se siguió para obtener el tiempo en que se llenó: primero el canal, después hasta los niveles 2, 3 y 4.

Determinación del tiempo de llenado hasta el nivel 1 (Figura 85)

En la Figura 89 se muestra la primera entrada y salida de agua por cada canal con 7 orificios con sus dimensiones que serán útiles para conocer el área de la superficie y su volumen.

La ecuación Ec.3-36 requirió conocer el área de los canales (A_t) y el área de los orificios de la primera salida de agua (A_{s1}) para determinar el tiempo que tomará en llenarse los 3 canales.

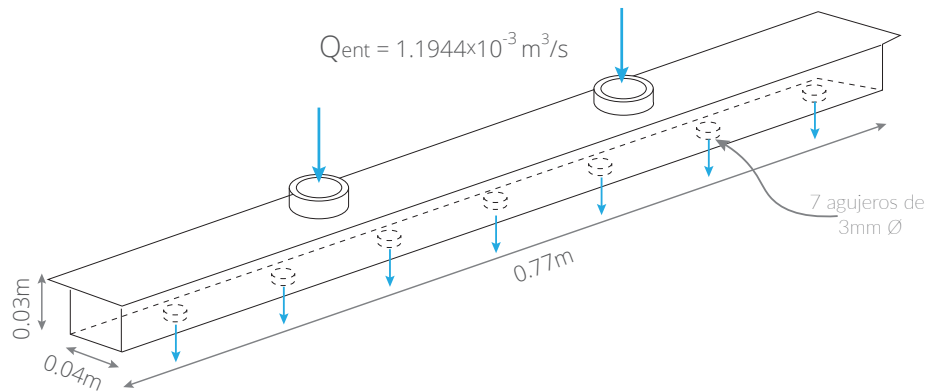


Figura 89. Diagrama de canales
Fuente: Elaboración propia, 2018.

$A_t = (\text{largo}) (\text{ancho}) (\text{Número de canales})$

$$A_t = (0.77) (0.04) 3 = 0.0924 \text{ m}^2 \quad [\text{Ec. 3-37}]$$

$A_{s1} = (\text{área del círculo}) (\text{Número de orificios}) (\text{Número de canales})$

$$A_{s1} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{3}{1,000} \right)^2 (7) (3) = 1.4844 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad [\text{Ec. 3-38}]$$

Estos valores resultantes de A_t y A_{s1} se aplicaron en la Ec 3-36, a la cual se aplica la integral, para así obtener el tiempo que tomará llenar el volumen de los canales, resultando la Ec 3-39. El límite considerado para la diferencia de "h" es la altura del canal, la cual es de 0.03 m. El límite inferior para la diferencia de "t" es cero y el superior, es el tiempo que se desea encontrar:

$$\int_0^{0.03} \frac{dh}{0.012926 - 7.1159 \times 10^{-3} \sqrt{h}} = \int_0^t dt$$

[Ec. 3-39]

$$t = 2.479 \text{ seg}$$

Por lo tanto, tomará 2.479 segundos llenar en nivel 1 mientras el agua permanece drenándose por los 7 orificios inferiores.

Determinación del tiempo de llenado hasta el nivel 2 (Figura 85)

Para calcular el tiempo de llenado hasta el nivel 2 se requirió conocer el área (A_t) y el área de salida (A_{s_1}) para determinar el tiempo que tomará llenarse hasta éste nivel.

Mediante la Ec. 3-40 se determinó el área A_t de cada tubo vertical (la cual se muestra en el diagrama de la Figura 88), multiplicada por los 6 tubos que contiene el SA.

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{32.1}{1,000} \right)^2 (6) = 4.8557 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

[Ec. 3-40]

Para este segundo cálculo se consideró nuevamente la salida de agua de los 3 canales A_{s_1} , ya que de manera simultánea el agua se drena por los 7 orificios de los canales.

Estos valores resultantes de A_t y A_{s_1} se aplicará en la Ec 3-36, a la cual se aplicó la integral, para así obtener el tiempo que tomará llenar hasta el nivel 2, resultando la Ec 3-42. El límite inferior considerado para la diferencia de "h" es la altura del nivel 1 (0.03 m) y el límite superior es la altura donde finaliza el nivel 2 que es 0.46 m. El límite inferior para la diferencia de "t" es el tiempo obtenido en la Ec. 3-39 y el superior, es el tiempo que se deseó encontrar.

$$\int_{0.03}^{0.46} \frac{dh}{0.2459 - 0.1354\sqrt{h}} = \int_{2.479}^t dt \quad [\text{Ec. 3-42}]$$

$$t - 2.479 = 2.3934$$

$$t = 4.872 \text{ seg.} \quad [\text{Ec. 3-41}]$$

Tardará 4.872 segundos para que el agua llene los 3 canales horizontales, mientras el agua permanece drenándose por los orificios inferiores.

Determinación del tiempo de llenado hasta el nivel 3 (Figura 85).

El tercer punto a calcular fue el tiempo que le tomaría al agua llegar al nivel 3. Para este caso, la Ec 3-36 requirió la sumatoria de los caudales de las salidas anteriores ($\sum Q_{sal}$) concluyendo en la Ec. 3-43.

$$\frac{dh}{\frac{Q_{ent}}{At} - \frac{\sum Q_{sal}}{At}} = dt \quad [\text{Ec. 3-43}]$$

donde:

$$\sum Q_{sal} = As_1 \sqrt{2gh} + As_2 \sqrt{2g(h-0.46)} \quad [\text{Ec. 3-44}]$$

Para determinar este tiempo de llenado se siguen requiriendo, el área At de los tubos (Ec. 3-40) y el área de salida As_1 de la Ec. 3-38, ya que de manera simultánea el agua se drenará por los 7 orificios de los canales. Otro valor necesario fue el área de los orificios del nivel 2 (As_2) que fue multiplicada por los 6 tubos y en cada uno hay 3 perforaciones en el nivel, por lo que se obtuvo la Ec. 3-45.

$$As_2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2}{1,000} \right)^2 (3)(6) = 5.6547 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad [\text{Ec. 3-45}]$$

Estos valores At de los tubos; As_1 y As_2 se aplicarán en la Ec 3-43, a la cual se aplicó la integral, para así obtener el tiempo que tomaría llenar hasta el nivel 3, resultando la Ec 3-46. El límite inferior

considerado para la diferencia de "h" es la altura del nivel 2 (0.46 m) y el límite superior es la altura donde finaliza el nivel 3 (0.92 m). El límite inferior para la diferencia de "t" es el tiempo obtenido en la Ec. 3-41 y el superior, es el tiempo que se desea encontrar.

$$\int_{0.46}^{0.92} \frac{dh}{0.2459 - 0.1354\sqrt{h} - 0.0516\sqrt{h-0.46}} = \int_{4.872}^t dt \quad [\text{Ec. 3-46}]$$

$$t - 4.872 = 4.27957s \text{ eg} \quad [\text{Ec. 3-47}]$$

$$t = 9.151 \text{ seg} \quad [\text{Ec. 3-48}]$$

Por lo tanto tardará 9.151 segundos para que el agua llene el volumen del contenedor hasta este nivel mientras el agua permanece drenándose por los orificios inferiores.

Determinación del tiempo de llenado hasta el nivel 4 (Figura 85)

El cuarto punto a calcular fue el tiempo que le tomaría al agua llegar al nivel 4. Para este caso, se requirió agregar un valor más a la sumatoria de los caudales de salida de la Ec. 3-44 ($\sum Q_{sal}$) donde:

$$\sum Q_{sal} = As_1\sqrt{2gh} + As_2\sqrt{2g(h-0.46)} + As_3\sqrt{2g(h-0.92)} \quad [\text{Ec. 3-49}]$$

Para determinar este tiempo de llenado se siguen requiriendo, el área At de los tubos (Ec. 3-40) y el área de salida As_1 de la Ec. 3-38 y As_2 ya que de manera simultánea el agua se drena por los 7 orificios de los canales y de los 18 orificios del nivel 2. Otro valor necesario fue el área de los orificios del nivel 3 (As_3), de modo que son exactamente igual al nivel dos se determinó que $As_2 = As_3$.

Estos valores At de los tubos; As_1 , As_2 y As_3 se aplicaron en la Ec 3-43, a la cual se aplicó la integral, para así obtener el tiempo que tomaría llenar hasta el nivel 3, resultando la Ec 3-50. El límite inferior considerado para la diferencia de "h" es la altura del nivel 3 (0.92 m) y el límite superior es la altura donde finaliza el nivel 4 (1.16 m). El límite inferior para la diferencia de "t" es el tiempo obtenido en la Ec. 3-48 y el superior, es el tiempo que se desea encontrar.

$$\int_{0.92}^{1.16} \frac{dh}{0.2459 - 0.1354\sqrt{h} - 0.056\sqrt{h-0.46} - 0.0516\sqrt{h-0.92}} = \int_{9.151}^t dt \quad [\text{Ec. 3-50}]$$

$$t - 9.151 = 4.932 \text{ seg} \quad [\text{Ec. 3-51}]$$

$$t = 14.0 \text{ seg} \quad [\text{Ec. 3-52}]$$

Estos valores obtenidos se muestran en la Tabla 51 como un resumen del proceso realizado. Finalmente, los datos obtenidos permitieron conocer el caudal necesario para irrigar las áreas de cultivo obteniendo un total de 14.0 segundos para que el agua llene completamente el contenedor desde los canales hasta la parte más alta de los tubos verticales, mientras el agua permanece drenándose por los orificios de los canales y de los tubos.

Tabla 51. *Tiempos de llenado.*

Nivel	Tiempo de un nivel a otro (segundos)	Suma de tiempos (segundos)
0-1	2.479	
1-2	2.3934	4.872
2-3	4.27957	9.151
3-4	4.932	14.0

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Este dato fue necesario para la colocación de un TIMER digital (temporizador) para controlar el encendido y apagado del impulso de la bomba para la irrigación. Normalmente se programan durante 3 minutos cada 2 horas. Basándose en los cálculos anteriores y consejos de un experto de no permitir que el sistema NFT no se irrigue por mucho tiempo; se retomó una pauta para sistemas acuapónicos a bajas densidades de carga (que sugiere que el ciclado de agua solo necesita hacerse una vez por hora).

Así, el TIMER permitirá que la bomba permanezca encendida por 14 segundos cada hora (Tabla 52).

Tabla 52. Despiece y listado de piezas

Tiempo	Encendido-Apagado (horarios)	Tiempo	Encendido-Apagado (horarios)
1	08:00 - 08:14	13	20:00 - 20:14
2	09:00 - 09:14	14	21:00 - 21:14
3	10:00 - 10:14	15	22:00 - 22:14
4	11:00 - 11:14	16	23:00 - 23:14
5	12:00 - 12:14	17	24:00 - 24:14
6	13:00 - 13:14	18	01:00 - 01:14
7	14:00 - 14:14	19	02:00 - 02:14
8	15:00 - 15:14	20	03:00 - 03:14
9	16:00 - 16:14	21	04:00 - 04:14
10	17:00 - 17:14	22	05:00 - 05:14
11	18:00 - 18:14	23	06:00 - 06:14
12	19:00 - 19:14	24	07:00 - 07:14

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Teniendo estos valores aún quedó por confirmar el tiempo en que el sistema de irrigación (Figura 70) tardaría en vaciarse, que al mismo tiempo es el tiempo total en que circularía agua por los canales de NFT.

Cada uno de los tubos verticales tiene una capacidad volumétrica de 0.97 litros y ya que se trata de 6 tubos (Figura 70) se concentrarían 5.82 litros de agua en los tubos; Cada uno de los canales horizontales tienen una capacidad volumétrica de 1.04 litros y con tres de ellos se tendrán 3.12 litros en los canales. Es decir, el sistema de irrigación permite almacenar 8.94 litros de agua para irrigar las áreas de cultivo.

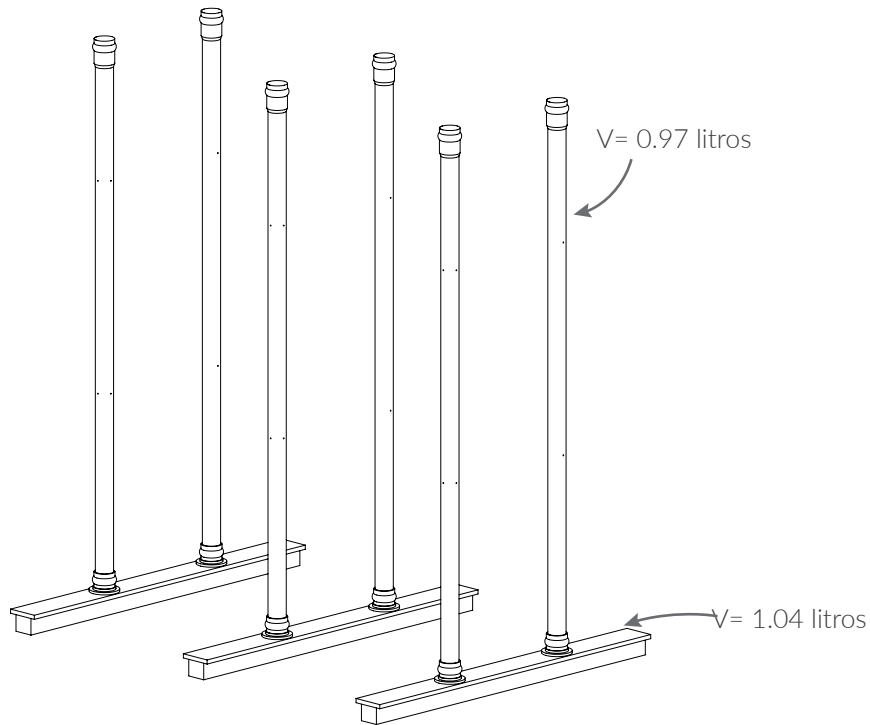


Figura 90. Sistema de irrigación

***Nota:** Los volúmenes de agua fueron calculados por medio del software

Al inicio de esta sección (Bomba) se calculó el caudal total que descarga el sistema en litros por minuto (lpm) cuando el sistema de irrigación está lleno, siendo:

$$Q_{T \text{ descargas}} = 62.4288 \text{ lpm}$$

Sin embargo, este valor no fue de ayuda para el problema, ya que las descargas de agua para los módulos verticales retornarán nuevamente a los tubos verticales. Por lo tanto, el caudal indicado para emplear es el de salida de los canales horizontales que es:

$$Q_{T \text{ canales}} = 3 (7Q_1) = 42.4925 \text{ lpm}$$

[Ec. 3-52]

En conclusión, teniendo el volumen almacenado en el sistema de irrigación y la cantidad de agua que se descarga por unidad de tiempo (minutos) de los canales, se necesitan 13 segundos para que se descargue, más los 14 segundos que tardó en llenarse se tiene un total de 27 segundos en los que el agua permanecerá circulando por los canales de cultivo NFT.

x. Diseño final del SA

Una vez diseñados y determinados cada uno de los elementos del SA propuesto, se presenta la integración de todo el sistema en la Figura 91. Para representar el producto, fue necesario emplear un software especializado de diseño donde primero, se modelaron cada una de las piezas para después integrarlas en un sistema ensamblado que cumple con los objetivos de esta investigación.

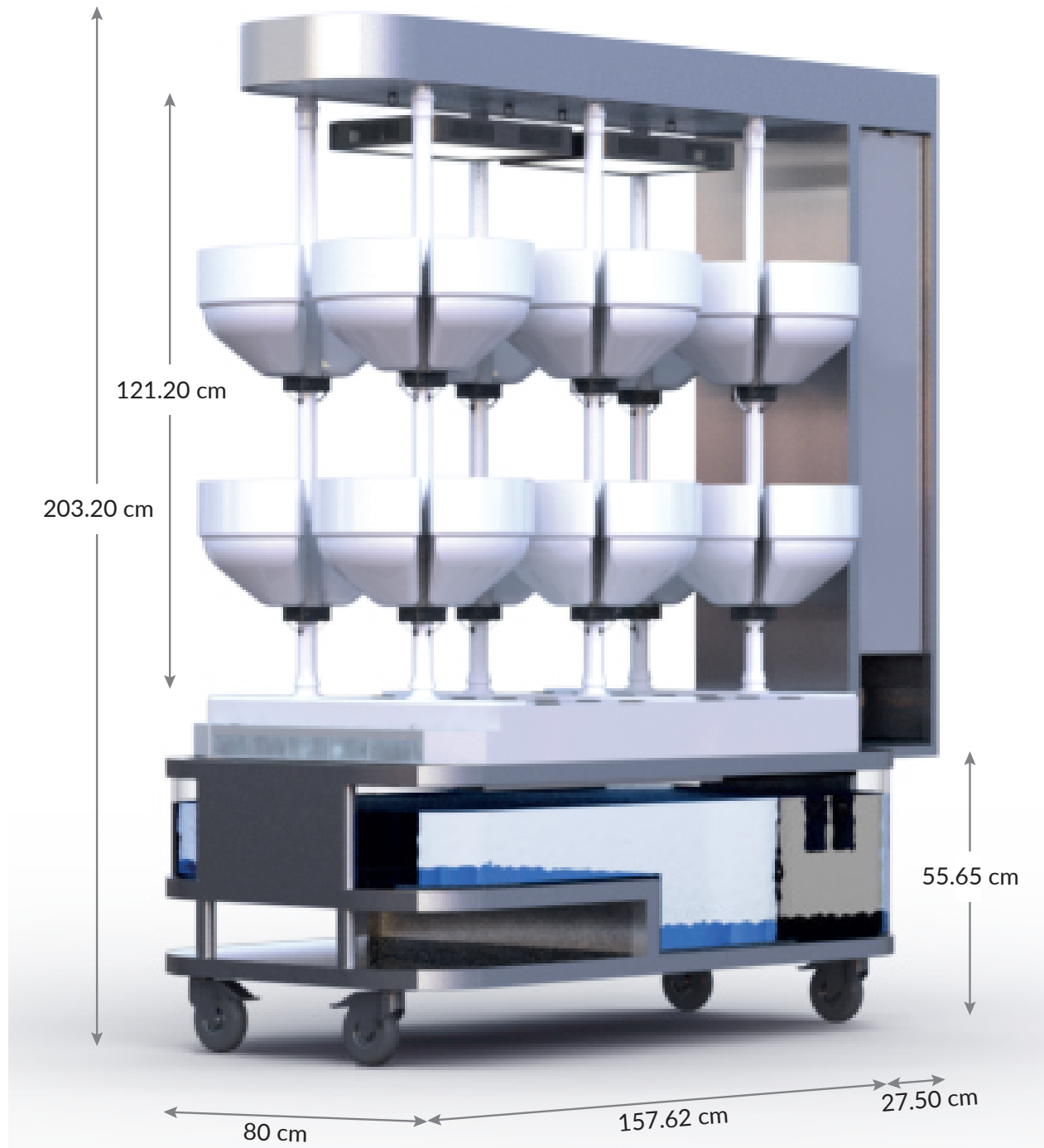


Figura 91. Sistema acuapónico.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura 92 se muestra un explosivo del diseño de la propuesta del sistema acuapónico, donde se presentan todas las partes que lo componen. En la Figura 93 se presenta un diagrama lateral de las piezas enumeradas, mostrando en la Tabla 53 el despiece donde se denominan, describen, y se denota el número de las pieza en el sistema.

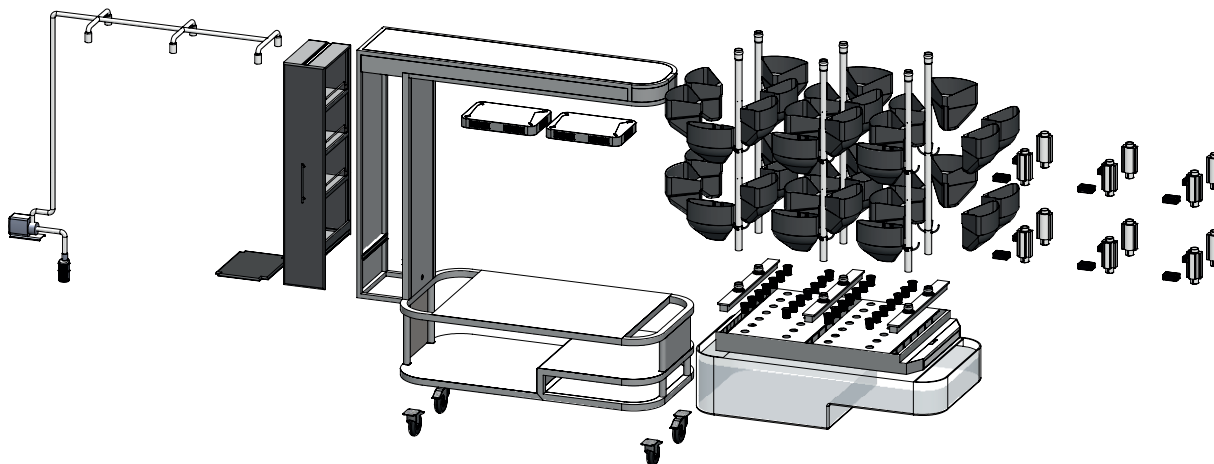


Figura 92. Explosivo del sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

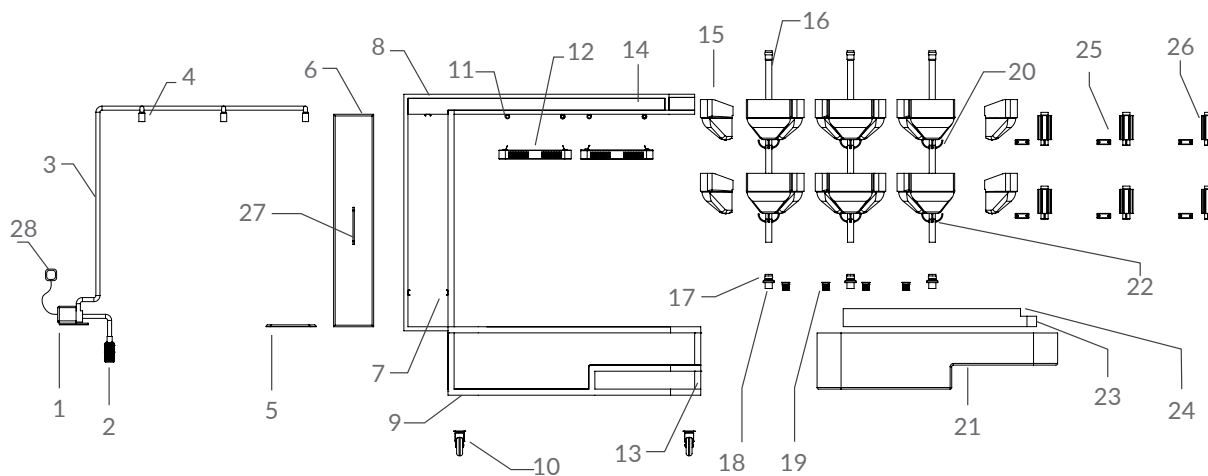


Figura 93. Diagrama de despiece del sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 53. Despiece y listado de piezas

Pieza	Denominación	Cant.	Pieza	Denominación	Cant.
1	Bomba	1	15	Módulo de sustrato de HDPE	36
2	Prefiltro	1	16	Tubo vertical	6
3	Tubería de PVC	--	17	Extremidad c/campana hidráulica 1 1/2"	6
4	Reducción c/campana hidráulica 1 1/2"x1"	6	18	Canal horiz/riego/NFT de HDPE	3
5	Entrepáño para bomba	1	19	Canastilla p/cultivo NFT	28
6	Organizador	1	20	Manguera transparente	36
7	Corredera 400 mm de largo	3	21	Acuario de vidrio 10 mm	1
8	Cuadrado 1" acero al carbón	--	22	Tapones de caucho	72
9	Cuadrado 1 1/2" acero al carbón	--	23	Filtro/tapa del contenedor NFT de HDPE	1
10	Rueda con pernos para 120 kg con freno	4	24	Contenedor NFT de HDPE	1
11	Perno de ojo de 9 mm Ø	4	25	Abrazadera	12
12	Lámpara LED para cultivo interior	2	26	Soporte p/módulos de HDPE	12
13	Redondo 1 1/2" acero al carbón	--	27	Jaladera de aluminio	1
14	Lámina galvanizada 0.8 mm	--	28	TIMER digital	1

***Nota:** Las cantidades de algunas piezas marcadas con guiones es por ser dimensionado en metros y no en cantidad.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN

El objetivo principal del SA diseñado fue la optimización de espacios considerando formas y distribuciones que permiten ahorrar centímetros entre cada pieza y hasta metros a nivel general. Así se podría aprovechar espacios sin uso dentro de alguna edificación.

El Capítulo 4 tiene la finalidad de evaluar y comprobar el cumplimiento del objetivo y para ello se retomaron los requerimientos presentados en la herramienta del "QFD" frente al producto de referencia (GROVE) mediante una matriz comparativa. Además se calcula el porcentaje del área de aprovechamiento.

4.1. Optimización de espacios y capacidad de cultivo

Durante la sección 3.1.2 en un "Análisis comparativo de mercado" se definió a GROVE como el producto de referencia debido a la mayor similitud con la propuesta de las siguientes características:

1. Ser un sistema acuapónico
2. Ser de producción a pequeña escala
3. Mantener el concepto de cultivo para consumo
4. Ser para el hogar
5. Instalarse en interiores

La Tabla 54 contiene información de cada uno de los productos que ayudó a identificar la mejora del sistema propuesto. En la primera columna se hace referencia al producto, seguido de la capacidad de plantas que cada uno puede cultivar. A continuación, en la tercera y cuarta columna se muestra el área ocupada, dividida en el espacio requerido por el acuario y el área de cultivo que el sistema permite generar.

La quinta es la sumatoria del área total requerida, valor considerado como el 100% de área necesaria para un sistema distribuido de manera horizontal, sin embargo, la sexta columna contiene el valor en m^2 y el porcentaje que el sistema realmente ocupa en planta (base), sin tomar en cuenta su distribución de manera vertical (altura) representados en la Figura 94.



Figura 94. Área ocupada en planta y de cultivo.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Una vez conocido el espacio en planta se determinó el área en orientación vertical, considerándolo como el espacio optimizado de la séptima columna.

Tabla 54. Porcentaje de optimización de espacio.

Producto	Capacidad de plantas	Área de acuario (m^2)	Área de cultivo (m^2)	Área total (m^2)	Área ocupada en planta ($m^2 / \%$)	Espacio optimizado ($m^2 / \%$)
Referencia	8	0.32	0.18	0.50 = 100%	0.32 / 64%	0.18 / 36%
Propuesto	64	1.20	2.30	3.50 = 100%	1.35 / 38.5%	2.15 / 61.5%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El SA de referencia, puede cultivar 8 plantas, tiene un acuario que ocupa un área máxima de $0.32 m^2$ y un área de cultivo de $0.18 m^2$; en total, se requiere de $0.50 m^2$. Sin embargo, en planta solamente ocupa $0.32 m^2$ (64%), con un espacio optimizado de $0.18 m^2$ el SA propuesto considera 36%.

En el SA propuesto, se pueden cultivar 64 plantas y tiene un acuario que ocupa un área máxima de 1.20 m² y un área de cultivo de 2.30 m²; en total, se requiere de 3.50 m². Sin embargo, en planta solamente ocupa 1.35 m² (38.5%) con un espacio optimizado de 2.15 m² (61.5%).

En conclusión, el SA de referencia ahorra 36% de su área, la cual se encuentra distribuida de manera vertical (altura), en comparación con el SA propuesto que permite optimizar 25.5% más, siendo la diferencia de ambos porcentajes.

Además, el SA propuesto considera un área en planta de 1.35 m², para igualarla se requieren 4 SA de referencia con un cultivo de 32 plantas sumando 8 por cada uno, siendo la mitad de la capacidad de plantas que permite el SA propuesto de 64 plantas.



4.2. Matriz comparativa del SA propuesto/competencia

En la Tabla 55 se presenta una matriz comparativa que evalúa cómo responden (0 cumple peor que el otro, 2.5 si cumple y 5 cumple mejor) a los requerimientos (columna 1) tanto del producto propuesto (columna 2) como de referencia (columna 3) acompañado de una gráfica lineal (columna 4) y la diferencia de los valores comparados (columna 5).

Existen 4 principales requerimientos que muestran una mayor fortaleza para el SA propuesto y son los siguientes: no existe la combinación de cultivo vertical y horizontal en el SA de referencia en comparación con el SA propuesto que tuvo como uno de los principales objetivos la combinación de estas dos orientaciones de cultivo; la optimización de espacios del SA propuesto es mejor en un 50%; el SA propuesto permite guardar instrumentos y alimentos mejor, integrando un organizador en el sistema; por último, el requerimiento de "las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies" no se considera en el SA de referencia, sin embargo tal requerimiento fue considerado en el diseño de la propuesta.

Para los demás requerimientos, se observa que ambos productos cumplen a excepción de ocupar un espacio máximo de 4m² con una diferencia mínima entre uno y otro.

Tabla 55. Matriz comparativa del producto propuesto-producto de referencia.

Requerimientos	PRODUCTO PROPUESTO	PRODUCTO DE REFERENCIA	Responde						DIFERENCIA
			0 = Peor 2.5 = Cumple 5 = Mejor Producto Propuesto  Producto de referencia 						
			0	1	2	3	4	5	
El SA es mecánicamente resistente	5	4							1
El SA combina cultivo vertical y horizontal	5	0							5
El SA optimiza espacios	5	1							4
El SA es estético	2.5	2.5							0
El SA es fácil de instalar	2.5	2.5							0
El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo	2.5	2.5							0
El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	2.5	2.5							0
El SA tiene un caudal propio	2.5	2.5							0
El SA provee iluminación adecuada	2.5	2.5							0
El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)	2.5	2.5							0
El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	3	2							1
El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo	2.5	2.5							0
El SA permite guardar instrumentos y alimento	4	1							3
Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	5	0							5
El SA no permite el estancamiento de agua	2.5	2.5							0
El SA filtra el agua para retener materia orgánica	2.5	2.5							0
El filtro permite su fácil limpieza	2.5	2.5							0

Fuente: Elaboración propia, 2019.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Al final de ésta investigación, se cumplió con el objetivo general de diseñar un SA prefabricado combinando áreas de cultivo vertical y horizontal para la optimización de espacios. La estrategia fue integrar piezas existentes y diseñar otras para ser fabricadas con el fin de evitar adaptar elementos convencionales en la instalación, sin descuidar el concepto de optimizar el espacio que normalmente no se considera al emplear productos que se tienen al alcance.

La tesis tiene un soporte de cuatro análisis realizados para su cimentación que son: una investigación bibliográfica; un análisis de productos con producciones a pequeña escala similares dentro del mercado; algunas aportaciones de expertos en el tema de cultivos mediante acuaponía y encuestas a un sector de usuario establecido. Esto cumplió el primer objetivo específico planteado como: "identificar y analizar las características del contexto y productos existentes." Lo cual dio a conocer necesidades, las cuales fueron traducidas a requerimientos que el sistema debió satisfacer en medida de su importancia dentro del proyecto.

Los requerimientos que cumple el sistema propuesto muestra (además de las funciones básicas de un cultivo acuapónico), ventajas ofrecidas frente a los productos encontrados en el mercado como: permitir una producción a pequeña escala para interiores que optimiza el área en el espacio ocupado mediante una combinación de cultivo vertical por sustrato y posteriormente un cultivo horizontal con la técnica de NFT.

Con lo mencionado anteriormente, se desarrolló de manera conceptual y básica el SA determinando la estructura constructiva, identificando especificaciones técnicas para así generar tres propuestas de SA en base a una matriz morfológica y bocetos. Esto cumplió el segundo objetivo específico planteado como: "desarrollar de manera conceptual y básica el SA" que permitió seleccionar la propuesta final del proyecto.

También, fueron diseñadas cada una de las piezas, como el caso del acuario, que fue desarrollado en base a condiciones que el material empleado (vidrio) requiere por seguridad, y otros fueron analizados mediante AEF para verificar la factibilidad del diseño, aplicando las fuerzas a las que estará sometida cada una de las piezas con la finalidad de ser mejoradas cambiando su geometría. También fue necesario aplicar cálculos funcionales para la elección de elementos comerciales del sistema hidráulico a partir de cálculos de fluidos para conocer la potencia necesaria que la bomba debía proveerle al SA y los tiempos precisos de llenado de tuberías e irrigación de las áreas de cultivo para conocer la programación que el TIMER de activación automática de la bomba necesita. Esto cumplió el tercer objetivo específico planteado como: "desarrollar la propuesta seleccionada" que permitió describir y desarrollar la propuesta por medio de un modelado 3D, planos generales y a detalle de cada una de las piezas.

Por último, se llevó a cabo una evaluación mediante una matriz comparativa para detectar las fortalezas de la propuesta. Esto corresponde al cuarto objetivo específico planteado como: "evaluar el SA", donde se evaluó el porcentaje de optimización del espacio que ofrece tanto el producto propuesto como el de referencia dependiendo de su área de cultivo y del área que ocupa el acuario. También se concluyó que el SA propuesto tiene la capacidad de cultivar el doble de plantas que los ya existentes.

La Figura 95 presenta al SA dentro de un contexto al interior del hogar, en el área de comedor; también lo podemos observar en una sala (Figura 96) y por último en una recámara (Figura 97).



Figura 95. Sistema acuapónico aplicado en un comedor
Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 96. Sistema acuapónico aplicado en una sala.
Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 97. Sistema acuapónico aplicado en una recámara
Fuente: Elaboración propia, 2018.

5.1. Aportaciones

Ante este trabajo, se considera que se han desarrollado las siguientes aportaciones a partir del proyecto de investigación:

- El concepto de diseño estético-funcional de un sistema acuapónico prefabricado que combina cultivo vegetal de manera vertical y horizontal para la optimización del espacio empleado, a partir del trabajo de investigación. Se desarrollaron imágenes del sistema ambientado y se desglosaron los planos a detalle.
- Una investigación de diseño basada en necesidades del usuario y necesidades técnicas para un SA, ya que la información disponible está enfocada en generar sistemas únicamente funcionales.
- Análisis comparativo de 5 sistemas acuapónicos y 3 hidropónicos con similitudes estéticas, funcionales y a pequeña escala.

- El desarrollo de un mecanismo de riego distinto al que es aplicado en la mayoría de los sistemas acuapónicos existentes. Su eficiencia de tiempos, potencia y caudales fueron calculados matemáticamente. Así como también fueron diseñadas piezas para ser prefabricadas como: los módulos, canales de riego y el contenedor NFT para el sistema de riego.
- Adecuar el sistema a un diseño integral que contiene: un acuario, área de cultivo tanto vertical como horizontal, un sistema de riego y aplicación de iluminación. Este sistema está constituido por una estructura capaz de ensamblar todas las piezas manteniendo el concepto de optimización de espacios.

5.2. Bibliografía

Álvarez, A., & Ritchey, T. (2015). *Applications of general morphological analysis*.

Anguita Delgado, R. (1975). *Moldeo por compresión y Transferencia*. Lima: Blume.

Askeland, R. D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. International Thomson.

Asociación Española para la Calidad (AEC). (2007). *QFD, Despliegue de la función calidad*.

Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población Latinoamericana*. México, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, División de Tecnología y Procesos, Departamento de Producción y Desarrollo, Centro de Investigaciones en Ergonomía.

Bañuelos Jáuregui, J. R. (2017). *Acuaponía: parámetros básicos de diseño*.

BASF. (2007) *Desing Solutions Guide*. The Chemical Company.

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Bures, S., Urrestarazu, G., M., & Kotiranta, S. (2018). *Iluminación artificial en agricultura*. Biblioteca Horticultura. Disponible en: <http://publicaciones.poscosecha.com/es/cultivo/395-iluminacion-artificial-en-agricultura.html#>

Caló, P. (2011). *Introducción a la acuaponía*. Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina.

Candarle, P. (s.f.). *Técnicas de Acuaponía*. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf

Carrasco S., G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (" NFT")*.

Carruthers, S. (2015). *Small-scale aquaponic food production*.

Castejón, P. J. M., Lafuente, M. L., & Faura, Ü. M. (2015). *Guía práctica de Estadística aplicada a la empresa y al marketing*.

Connolly, K., & Trebic, T. (2010). *Optimization of a backyard aquaponic food production system*. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Macdonald Campus, McGill University.

CYMISA. *Correderas de balines par muebles de madera*. México. s.f. Disponible en: <http://www.cymisa.com.mx/her1.htm>.

Díaz, I. (2017). Granjas verticales: una respuesta sostenible al crecimiento urbano. Prisma Tecnológico, 7(1), 3-6. Recuperado a partir de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1255>

Diver, S. (2000). *Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture*. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. Disponible en: <http://www.backyardaquaponics.com/Travis/Attra%20Aqua.pdf>

Fischer V. L., & Espejo C. J. Á. (2011). *Mercadotecnia*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). *Small-scale aquaponic food production*. Disponible en: www.aquacultuurvlaanderen.be/sites/aquacultuurvlaanderen.be/files/public/aquaponics_fao.pdf

Galindo, A. (2010). *Psicología del consumidor Mexicano*. Segmento, Revista.

Galli, M. O., & Miguel, S., F. 2007. *Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua*. CENADAC.

Gómez C. M. Á., Tovar, L. G., & Schwentesius, R. (2003). *México como abastecedor de productos orgánicos*. Comercio exterior.

- Gómez Cruz, M. A. (2007). *La agricultura orgánica en México*. Revista Vinculando. Disponible en: http://vinculando.org/organicos/directorio_de_agricultores_organicos_en_mexico/la_agricultura_organica_en_mexico.html
- González, R. (2002). *Matriz de Pugh: Ayuda a la toma de decisiones*. Disponible en: <https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/>
- Gonzalías, R. Y., & Lasso, R. E. (2016). *Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores-Vertical Farming (VF)/Development of an artificial LED lighting system for indoor farming*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2015). *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015, Oaxaca*. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/estados2015/702825079857.pdf
- Kalpakjian S., Schmid S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación de México S.A. de C.V., 5 ed,
- Lennard, W. (2012). *Aquaponic System Design Parameters: Fish to Plant Ratios (Feeding Rate Ratios)*. Aquaponic Solutions. Disponible en: <https://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf>
- Maier, C. (2009). *Design Guides for Plastics*. Econology Ltd.
- MALLE y EGOKI. *Herrajes y accesorios para muebles*. España. s.f. p.76.
- Mantorell, P. (30 abril, 2017). *El huerto vertical en casa, las plantas que mejor se adaptan*. Disponible en: <https://www.vertiflor.com/blog/10-plantas-huerto-vertical/>
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). *Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Editorial

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Molina, R. (s.f.). *Las 10 Hortalizas Y Plantas Perfectas Para Utilizar En Cultivos Verticales Y Urbanos*. Agrotendencia TV.

Mondelo, P. R., Bombardo, P. B., Busquets, J. B., & Torada, E. G. (2004). *Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo (Vol. 3)*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.

Mott, L. R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Editorial Pearson educación.

Niveles Socioeconómicos/ Asociación Mexicana de Agencias de Investigación y Opinión Pública A.C. (NSE/AMAI). (2016). Disponible en: <http://nse.amai.org/nseamai2>.

"Optimizar" (s.f.) *En: Significados.com*. Disponible en: <https://www.significados.com/optimizar/>

Pérez, P. J y Merino, M. (2013). *Definición de prefabricado*. Definicion.de. Disponible en: <https://definicion.de/prefabricado/>

Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2016). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work*. CRC Press.

Rakocy, J. E., Losordo, T. M., & Masser, M. P. (2006). *Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture*. SRAC publication, 454, 1-16. Disponible en <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-10215/SRAC-454web.pdf>

Rodríguez, D. A. (2015). *Optimizar el espacio es uno de los objetivos del diseño industrial*. Disponible en: <https://www.paredro.com/optimizar-el-espacio-es-uno-de-los-objetivos-del-diseno-industrial/>

Rojas L. O., y Rojas R. L. *Diseño asistido por computador. Industrial*. (2006). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81690102.pdf>

Romeva, C. R. (2002). *Diseño concurrente (Vol. 126)*. Univ. Politèc. de Catalunya.

Stanton, W. J., Etzel, M. J., & Walker, B. J. (2007). *Fundamentos de Marketing* (14th ed). México: McGraw-Hill. Disponible en: <https://mercadeo1marthasandino.files.wordpress.com/2015/02/fundamentos-de-marketing-stanton-14edi.pdf>.

Teton, J. (2003). *Guía técnica de la acuariofilia* (Vol. 2). Ediciones AKAL.

Ulrich, T. K., & Eppinger, D. S. (2009). *Diseño y Desarrollo de Producto*. México: Mc. Graw Hill.

Yáñez Martínez, R. (2013). *La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa?*. REDICINAYSA. 2(5), 16. Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Giraldo, H. H. (2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1-2), 32-51.

ANEXOS

ANEXO A.

Encuesta Para Producto Para Cultivar Peces Y Vegetales Con Acuaponía.

Buen día, mi nombre es Noemí Cruz Martínez, soy egresada de la carrera de Ing. En Diseño, de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Me encuentro realizando mi trabajo de tesis, para lo cual le pido me apoye respondiendo el siguiente cuestionario, con la intención de obtener información de tipo personal, preferencial e informativa acerca de un producto para el cultivo de peces y plantas mediante un sistema acuaponico a pequeña escala, con un nivel de mantenimiento regular, y que simboliza tener una producción durante la mayor parte del año con un consumo mínimo de agua. La información proporcionada será totalmente anónima, y con el fin de registrar un perfil de usuario, y conocer el nivel de aceptación para el producto.

1. ¿Tiene intereses en el cultivo de plantas? *

- Sí
- No

2. Edad *

18 - 25 años

26 - 35 años

36 - 50 años

Más de 50 años

3. Estado Civil *

Soltero

Casado SIN hijos

Casado CON hijos

4. Nivel de escolaridad *

Básico

Bachillerato
Licenciatura
Especialidad

5. De los siguientes ¿Qué productos estaría interesado(a) en cultivar? *

- | | | |
|--------------|------------|----------------|
| • Lechuga | • Pimiento | • Frijol |
| • Orégano | • Morrón | • Acelgas |
| • Calabacita | • Cebollín | • Quelite |
| • Chile | • Fresa | • Cilantro |
| • Pepino | • Apio | • Verdolaga |
| • Rábano | • Espinaca | • Tomate |
| • Menta | • Perejil | • Hierba buena |

6. ¿Conoce lo que es un cultivo acuaponico? *

Sí

No

7. ¿Porque le interesaría un producto de éste tipo? *

- Es una opción Sustentable
- Reduzco gastos
- Me gusta cultivar
- Me gusta el cuidado del medio ambiente
- Genero una parte de mis propios alimentos

8. ¿Que área tendría disponible para un producto de este tipo? (En metros)



9. ¿En que área de su hogar tendría un producto como el de la imagen?

10. Del siguiente listado de opciones cuales son para usted de verdadera importancia para considerar en el diseño del sistema

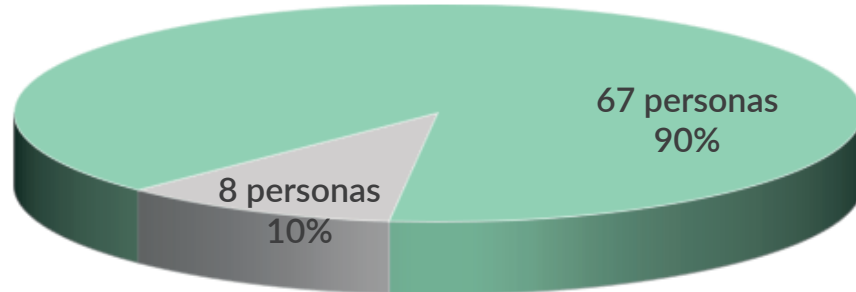
Núm.	Necesidad	Valor
1	El filtro permite su fácil limpieza	
2	El SA optimiza espacios	
3	El SA es mecánicamente resistente	
4	El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)	
5	El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	
6	El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo	
7	El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	
8	El SA es fácil de instalar	
9	El SA provee iluminación adecuada	
10	El SA combina cultivo vertical y horizontal	
11	El SA no permite el estancamiento de agua	
12	El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo	
13	El SA filtra el agua para retener materia orgánica	
14	El SA tiene un caudal propicio	
15	El SA es estético	
16	El SA permite guardar instrumentos y alimento	
17	Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	

Respuestas a encuesta

(Número de participantes): 75

Aquellas gráficas que son mostradas en color son las que fueron colocadas dentro del documento.
Aquellas en escalas a grises no fueron consideradas.

11. ¿Tiene intereses en el cultivo de plantas?



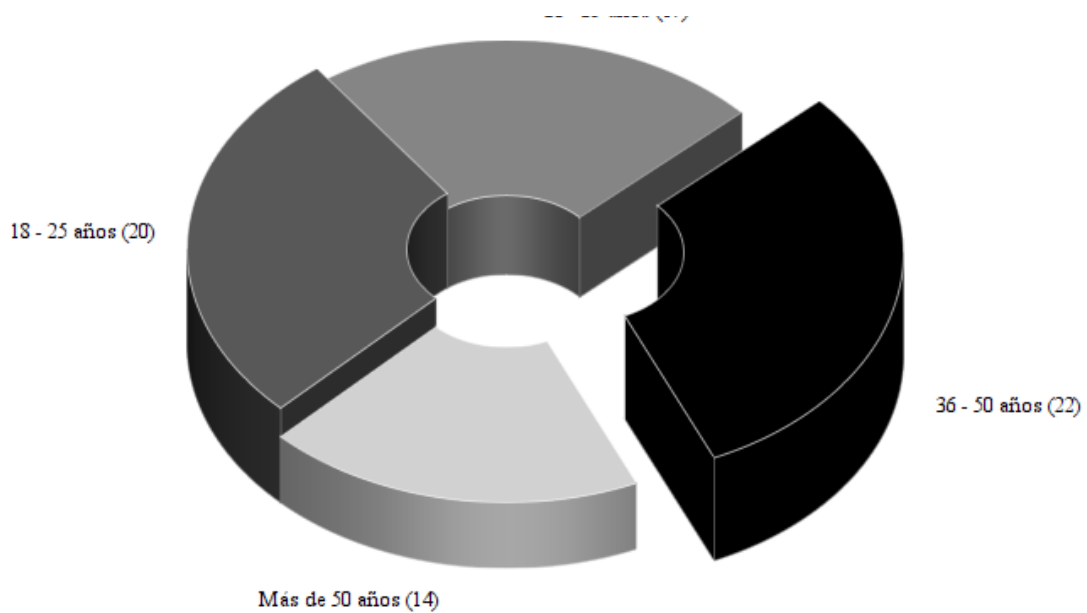
SI

67

NO

8

12. Edad *



18 - 25 años

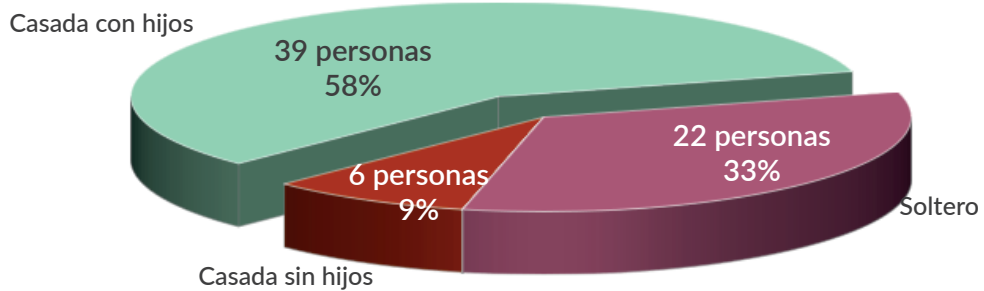
20

26 - 35 años

17

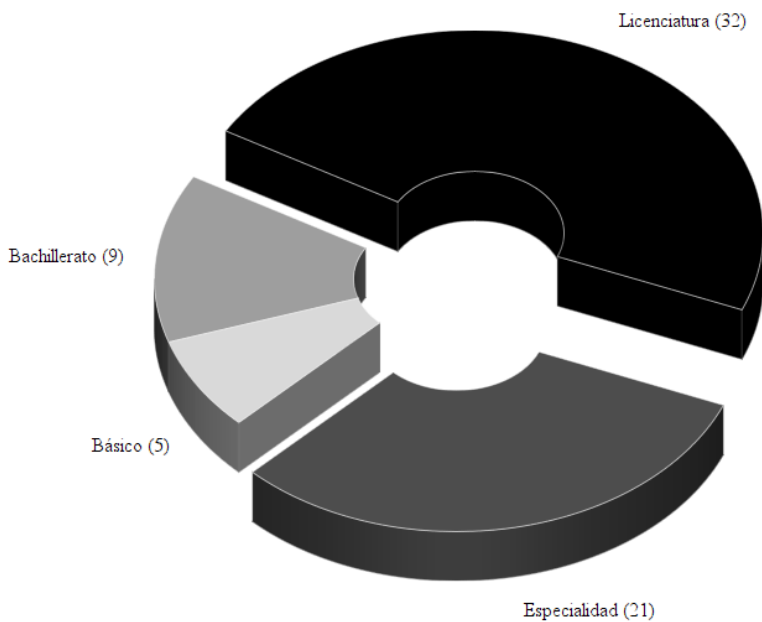
36 - 50 años	22
Más de 50 años	8

13. Estado Civil *



Soltero	20
Casado SIN hijos	7
Casado CON hijos	40

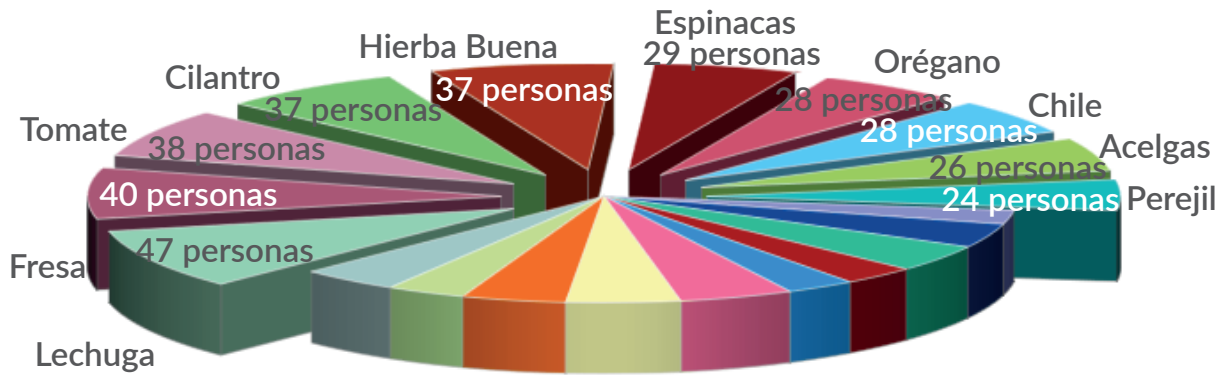
14. Nivel de escolaridad *



Básico	5
Bachillerato	9

Licenciatura	32
Especialidad	21

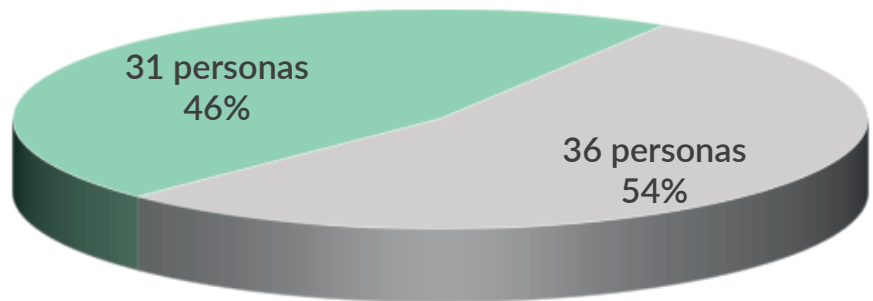
15. De los siguientes ¿Qué productos estaría interesado(a) en cultivar? *



• Lechuga	47
• Orégano	28
• Calabacita	23
• Chile	28
• Pepino	19
• Rábano	23
• Menta	20
• Pimiento morrón	21
• Cebollín	21
• Fresa	40
• Apio	15
• Espinaca	29
• Perejil	24
• Frijol	14

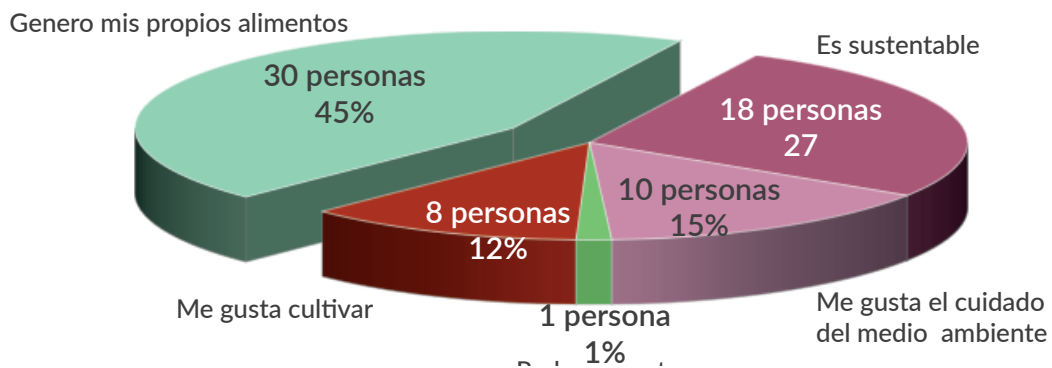
• Acelgas	:26
• Quelite	:11
• Cilantro	:37
• Verdolaga	:16
• Tomate	:38
• Hierba buena	:37

16. ¿Conoce lo que es un cultivo aquaponico?



SI	:31
NO	:36

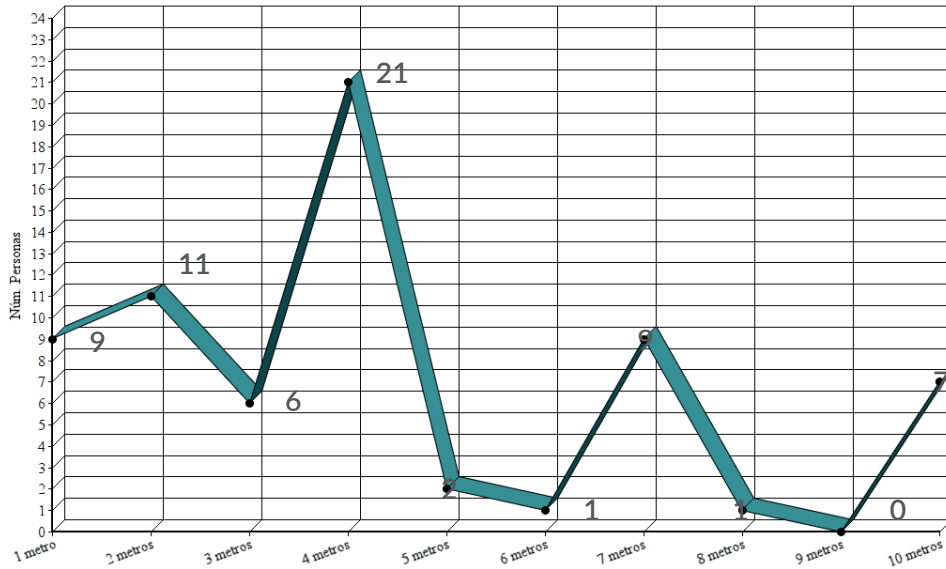
17. ¿Porque le interesaría un producto de éste tipo? *



Es una opción Sustentable	:18
Reduzco gastos	:1

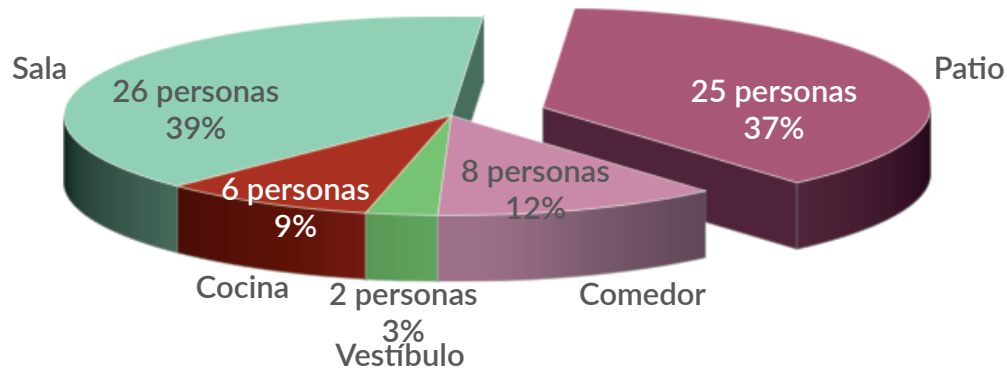
Me gusta cultivar	8
Me gusta el cuidado del medio ambiente	10
Genero una parte de mis propios alimentos	30

18. ¿Que área tendría disponible para un producto de este tipo? (En metros)



• 1 metro	9
• 2 metros	11
• 3 metros	6
• 4 metros	21
• 5 metros	2
• 6 metros	1
• 7 metros	9
• 8 metros	1
• 9 metros	0
• 10 metros	7

19. En que área de su hogar tendría un producto como el de la imagen?



•	Cocina	6
•	Sala	26
•	Comedor	8
•	Vestíbulo	2
•	Patio	25

20. Del siguiente listado de opciones cuales son para usted de verdadera importancia para considerar en el diseño del sistema

Núm.	Necesidad	Promedio
1	El filtro permite su fácil limpieza	4
2	El SA optimiza espacios	5
3	El SA es mecánicamente resistente	5
4	El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)	2.6
5	El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	2
6	El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo	4
7	El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	5
8	El SA es fácil de instalar	4
9	El SA provee iluminación adecuada	4
10	El SA combina cultivo vertical y horizontal	4

11	El SA no permite el estancamiento de agua	3
12	El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo	3
13	El SA filtra el agua para retener materia orgánica	3
14	El SA tiene un caudal propicio	2
15	El SA es estético	5
16	El SA permite guardar instrumentos y alimento	5
17	Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	2

Entrevista A Invernadero

Buen día, mi nombre es Noemí Cruz Martínez, soy egresada de la carrera de Ing. En Diseño, de la UTM. Me encuentro realizando mi trabajo de tesis, para lo cual le pido me apoye respondiendo el siguiente cuestionario, con la intención de obtener información sobre el cultivo de plantas, para la aplicación en un SA

Especie	Distancia entre plantas (cm)	Altura (cm)	Luz Directa/Semisombra	Profundidad de contenedor (cm)	Soporte Vertical	Forma de siembra	Método de cultivo
Lechuga	20-25	20-30	X	10	NO	Trasplante	NFT Vertical
Tomate/Jitomate	30	--	X	30	SI	Trasplante	Sustrato
Fresa	15-20	20	X	20	SI/NO	Trasplante	Sustrato Vertical
Cilantro	15	30	X	10	NO	Directa	NFT Sustrato
Acelgas	25	18	X	20	NO	Directa	NFT Sustrato Vertical
Chile	25	30-40	X	30	SI	Directa	Sustrato Vertical
Perejil	15	20	X	20	NO	Directa	Sustrato
Orégano	15	15	X	25	NO	Directa	Sustrato Vertical

Hierba Buena	10	20		X	10	NO	Directa	NFT Sustrato Vertical
Espinaca	15	20	X		10	NO	Directa	NFT Sustrato

Entrevista A Experto.

Buen día, mi nombre es Noemí Cruz Martínez, soy egresada de la carrera de Ing. En Diseño, de la Universidad Tecnológica de la Mixteca en Oaxaca. Me encuentro realizando mi trabajo de tesis, para lo cual le pido me apoye respondiendo las siguientes preguntas, con la intención de obtener información de tipo informativa acerca de un producto para el cultivo en un SA a pequeña escala. La intención es respaldar información (de parte de un experto en el tema), en éste caso usted, para mi tesis.

21. Para un sistema de 4 metros cuadrados de cultivo variado entre: tomate, perejil, fresa, chile, lechuga, acelgas, espinacas, hierba buena, cilantro y orégano. ¿Qué peces serían los aptos o recomendables a usar, ya sean comestibles o no comestibles, (peces o crustáceos)? (Encuentro una buena variedad de ellos, pero quisiera su opinión personal sobre ello).

Especie	Comestible, Decorativo o adicional	Espacio requerido	Observación
Tilapia	Comestible	10 unidades/ m ²	T° 20-35°C, Buena Oxigenación Altura máx. 1 m
Carpa	Comestible	10 unidades/ m ²	T° 20-35°C, Buena Oxigenación Altura máx. 1 m
Trucha	Comestible	10 unidades/ m ²	T° <20°C, Buena Oxigenación Altura máx. 1 m
Ovíviparos	Ornamental	100 unidades/ m ²	T° <20°C 20-35°C, Buena Oxigenación Altura máx. 1 m

En cuanto a peces de consumo depende mucho de la oxigenación del agua y una buena filtración (filtro en arena u otro), estos peces presentan una buena resistencia a cambios bruscos de temperatura sin embargo su control debe ser adecuado. Las aguas de recambio tienen una carga orgánica elevada, se recomienda análisis de agua para suministrar cultivos de tomate y lechuga específicamente.

Para ornamentales (decorativos) las carga orgánica con la que se alimenta los cultivos depende del número de peces establecidos en cada estanque o piscina. En cada caso debe hacerse monitoreo de calidad de agua y pruebas previas para el crecimiento óptimos de plantas, vegetales y otro.

Alimentos ricos en fosfatos (trucha y tilapias) “dañan” el agua muy rápido mucho más en temperaturas superiores a los 20°C, en este caso se requiere un filtro mucho más grande y un control específico del agua. Hay que aclarar que no siempre las aguas provenientes de estanques contiene los suficientes nutrientes para los cultivos, en muchas ocasiones se debe tener tanques adicionales con soluciones óptimas para los cultivos que se aplican con relación al seguimiento de cada uno de ellos.

22. Para un sistema mixto, que tendrá cultivo con sustrato en una primera área y posteriormente será canalizada a un área de cultivo de aguas profundas ¿es necesaria la instalación de un biofiltro o es suficiente con un filtro mecánico o decantador unicamente para detener los desechos sólidos de mayor tamaño?

Si el cultivo Acuapónico es con sustrato no requiere un filtro adicional, sin embargo se recomienda hacer un monitoreo al agua de salida

23. Para ésta combinación de cultivos ¿es preferente instalar un sifón campana y con ello hacer llegar el agua al área de cultivo de aguas profundas? o, ¿es mejor dejar fluir el agua directamente de un área de cultivo a la otra?

Todo depende del diseño de los tanques y caudales a manejar si es el un proyecto piloto pequeño como el que se presenta, no es necesario, pero debe haber una salidad de agua que puede hacer con una perforación y una salida con pvc de ½” o 1”

24. Especies vegetales ideales

Especie	Distancia entre plantas (cm)	Preferente de cultivar en:	Exposición Solar Directa/ Media-sombra	Forma de siembra (directa/ indirecta)
Lechuga	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes	directa	Trasplante
T o m a t e / Jitomate	30	Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Trasplante

Fresa	25	Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Trasplante
Perejil	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Cilantro	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Acelgas	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Chile	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Orégano	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Hierba Buena	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante
Espinaca	25	Acuapónicos: agua profunda Hidropónico: solución de nutrientes y sustrato	directa	Directo/ Trasplante

25. ¿Habrían inconvenientes para plantarse las especies anteriores de manera vertical?

Con un buen sustrato y/o solución se puede hacer sin ningún inconveniente.

26. ¿Existe un determinado tiempo para dejar la misma agua en el tanque de aguas profundas antes de drenarla y llenarla de nuevo con nueva agua?

Todo depende de la concentración de nutrientes, oxigenación filtración. Con un buen filtro puedes recircular agua hasta por 6 meses con mínimos recambios

27. Califique el nivel de importancia que le dá a las necesidades siguiente listado para ser

consideradas en el diseño del sistema

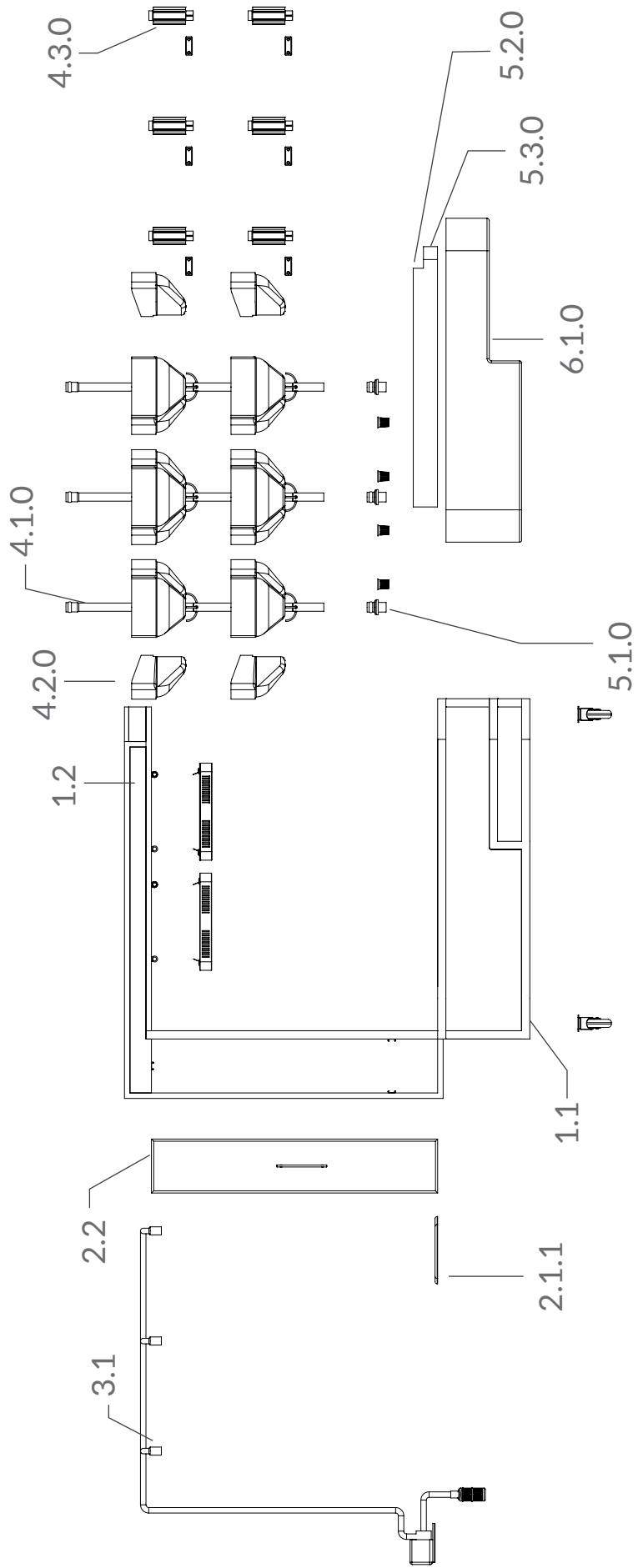
Núm.	Necesidad	I
1	El filtro permite su fácil limpieza	2
2	El SA optimiza espacios	3
3	El SA es mecánicamente resistente	5
4	El SA es seguro para el usuario (adultos y niños)	5
5	El SA ocupa un espacio máximo de 4m ²	5
6	El acuario contiene la cantidad de agua adecuada al área de cultivo	3
7	El SA puede cultivar 10 especies diferentes de plantas	-
8	El SA es fácil de instalar	5
9	El SA provee iluminación adecuada	3
10	El SA combina cultivo vertical y horizontal	5
11	El SA no permite el estancamiento de agua	5
12	El SA brinda aireación para oxigenar el acuario y las áreas de cultivo	5
13	El SA filtra el agua para retener materia orgánica	2
14	El SA tiene un caudal propicio	5
15	El SA es estético	4
16	El SA permite guardar instrumentos y alimento	2
17	Las áreas de cultivo están seccionadas dependiendo de las diferentes especies	2

28. ¿Considera incluir otras necesidades a considerar en el diseño de un producto para cultivo acuapónico para interiores?

Sistemas de bombeo (entrada y salida de agua sea mecánico o por gravedad).

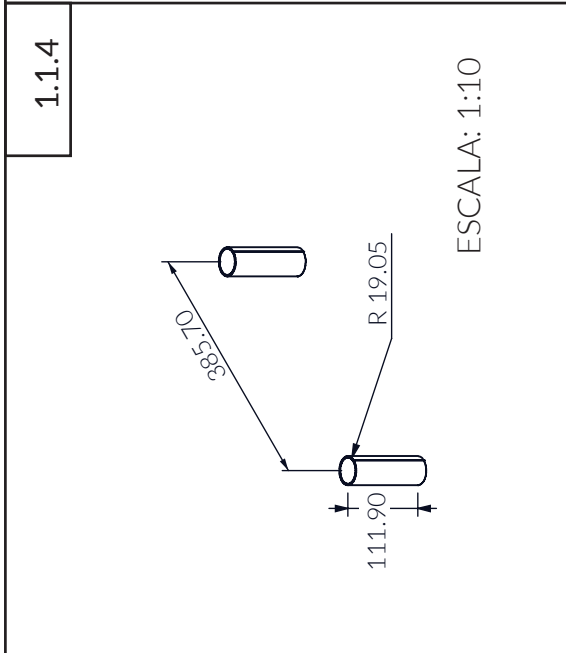
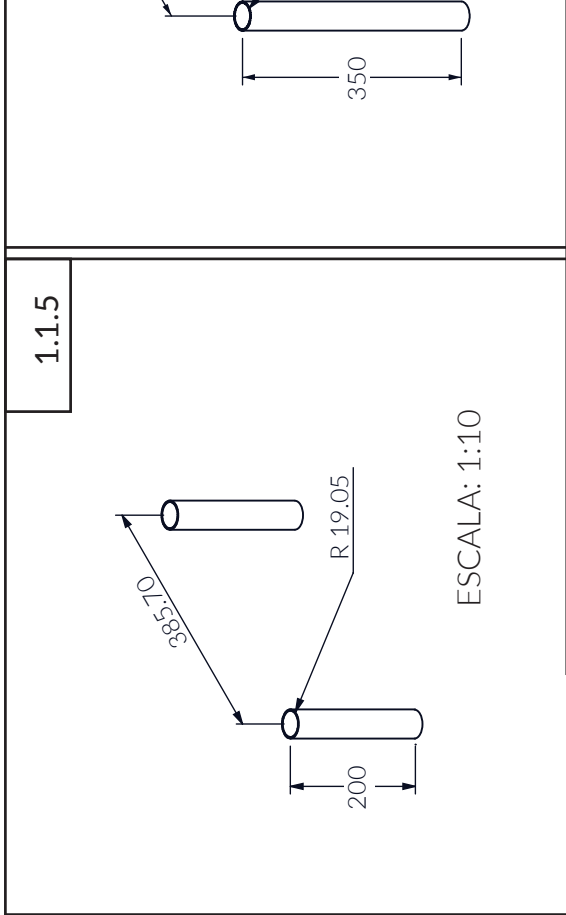
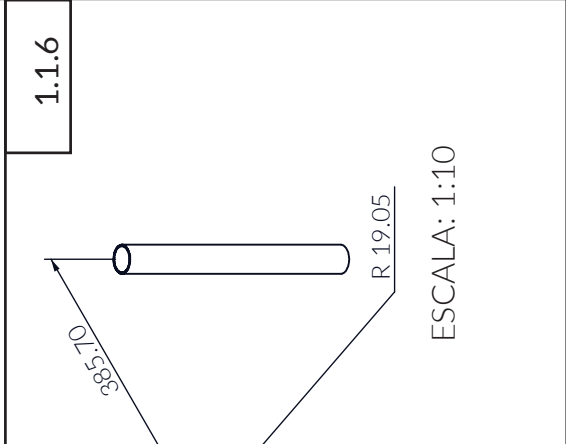
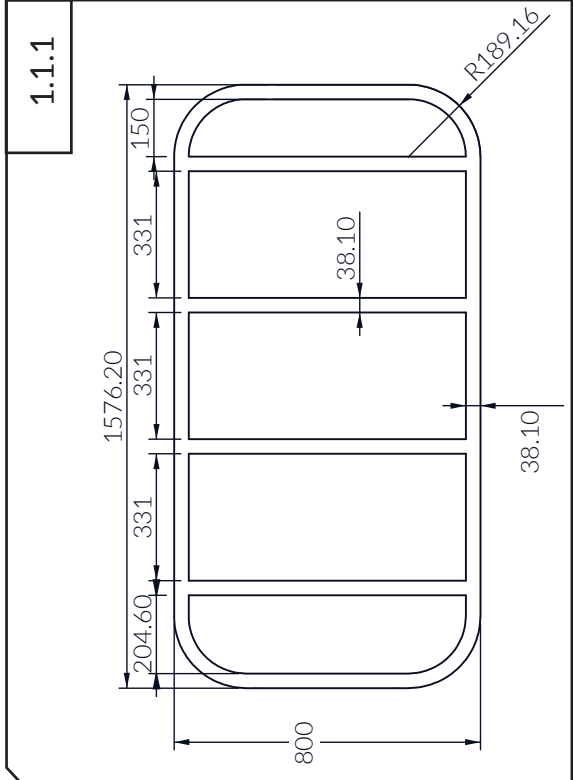
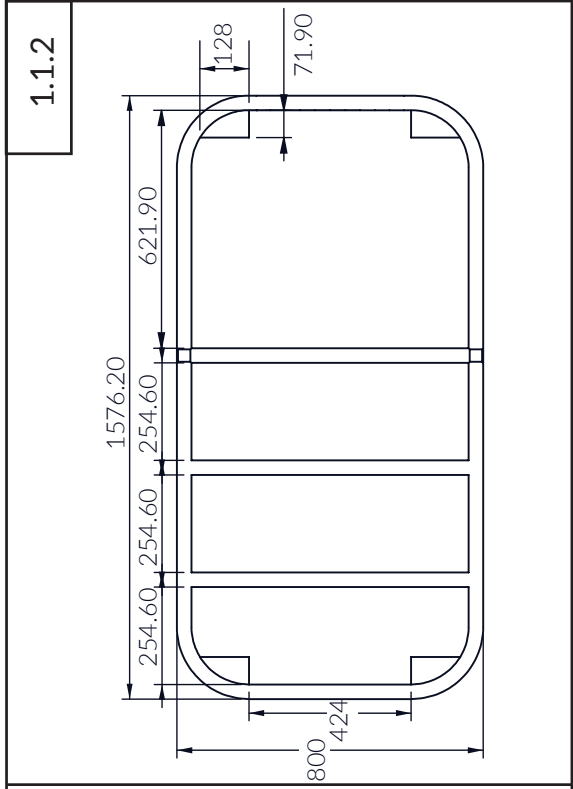
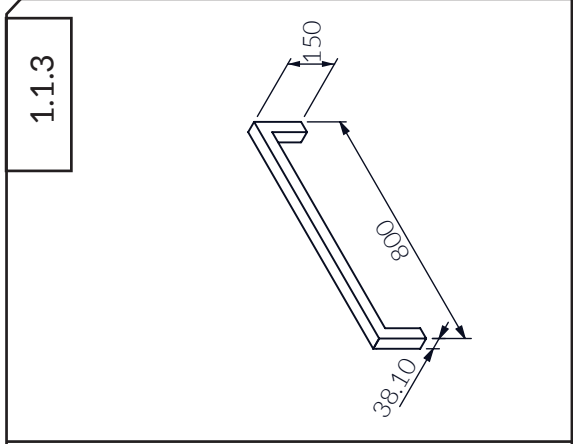
ANEXO B. PLANOS CONSTRUCTIVOS





Sección	Pieza	Clave	Elemento	Clave
1. Estructura	Despiece de tubulares	1.1.	Marco intermedio	1.1.1
			Marco inferior	1.1.2
			Verticales inferiores	1.1.3
			Verticales inferior frontal	1.1.4
			Verticales medio frontal	1.1.5
			Verticales inferior posterior	1.1.6
			Marco superior 1	1.1.7
			Marco superior 2	1.1.8
			Cubo posterior	1.1.9
			Vertical superior	1.1.10
1. Estructura	Despiece de láminas	1.2.	Lámina intermedia	1.2.1
			Lámina p/acuario	1.2.2
			Lámina inferior	1.2.3
			Lámina frontal/acuario	1.2.4
			Lámina superior 1	1.2.5
			Lámina superior 2	1.2.6
			Lámina superior lateral	1.2.7
			Lámina superior frontal	1.2.8
			Lámina intermedio/vertical	1.2.9
			Lámina posterior/acuario	1.2.10
			Lámina posterior	1.2.11
2. Organizador	Organizador general	2.1.	Entrepaño-Bomba	2.1.1
	Explosivo-Organizador	2.2.	Pared delantera	2.2.1
			Pared trasera	2.2.2
			Entrepaño superior	2.2.3
			Entrepaño intermedio	2.2.4
			Entrepaño inferior	2.2.5
3. Tuberías	General	3.1.		
4. Verticales	Tubo vertical	4.1.0		
	Módulo para sustrato	4.2.0		
	Soporte p/módulos	4.3.0		

5. NFT	Canal de riego NFT	5.1.0		
	Contenedor NFT	5.2.0	Base del contenedor NFT	5.2.1
			Tapa de contenedor NFT	5.2.2
	Filtro 2 de retorno	5.3.0		
6. Acuario	Acuario	6.1.0		

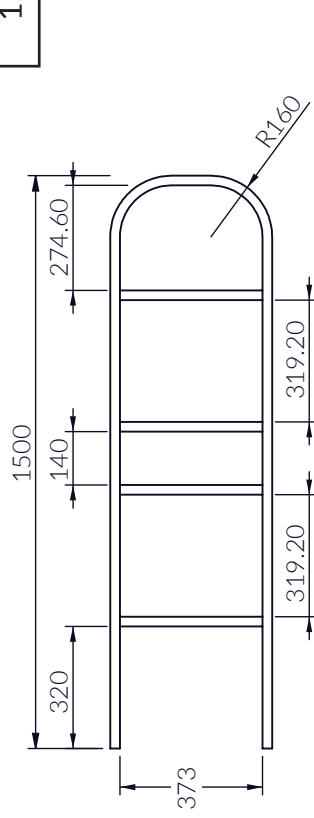


Nº DE DIBUJO:
1.1.4
1.1.5
1.1.6

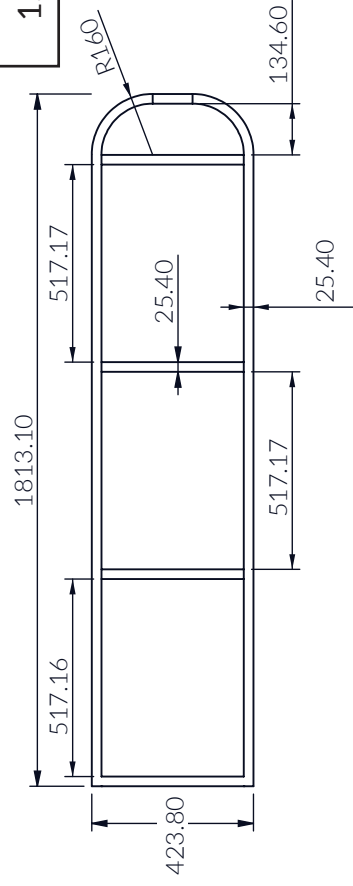
PROYECTO:
SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA
 TÍTULO:
ESTRUCTURA/PIEZAS (1)
 ESCALA: 1:20
 ACOTACIÓN: mm
 DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ
 REVISÓ: M.T.A.M DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO
 FECHA: 24/11/18
 PLANO: 2

PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	Verticales inferior/posterior	Redondo 1 1/2" cal. 14	1
5	Verticales medio/frontal	Redondo 1 1/2" cal. 14	1
4	Verticales inferior/frontal	Redondo 1 1/2" cal. 14	1
3	Verticales inferiores	Cuadrado 1 1/2" cal. 14	1
2	Marco Inferior	Cuadrado 1 1/2" cal. 14	1
1	Marco intermedio	Cuadrado 1 1/2" cal. 14	1
LISTA DE PIEZAS			

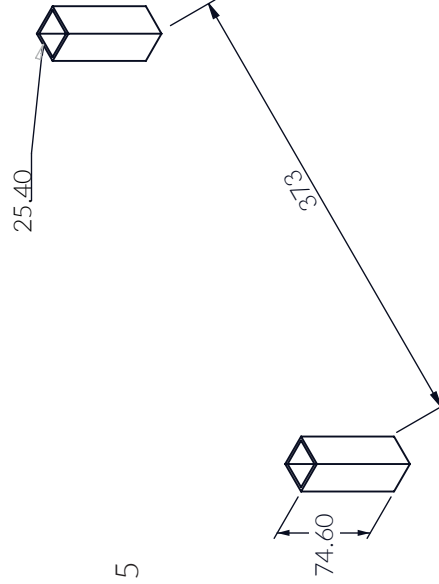
1.1.7



1.1.8

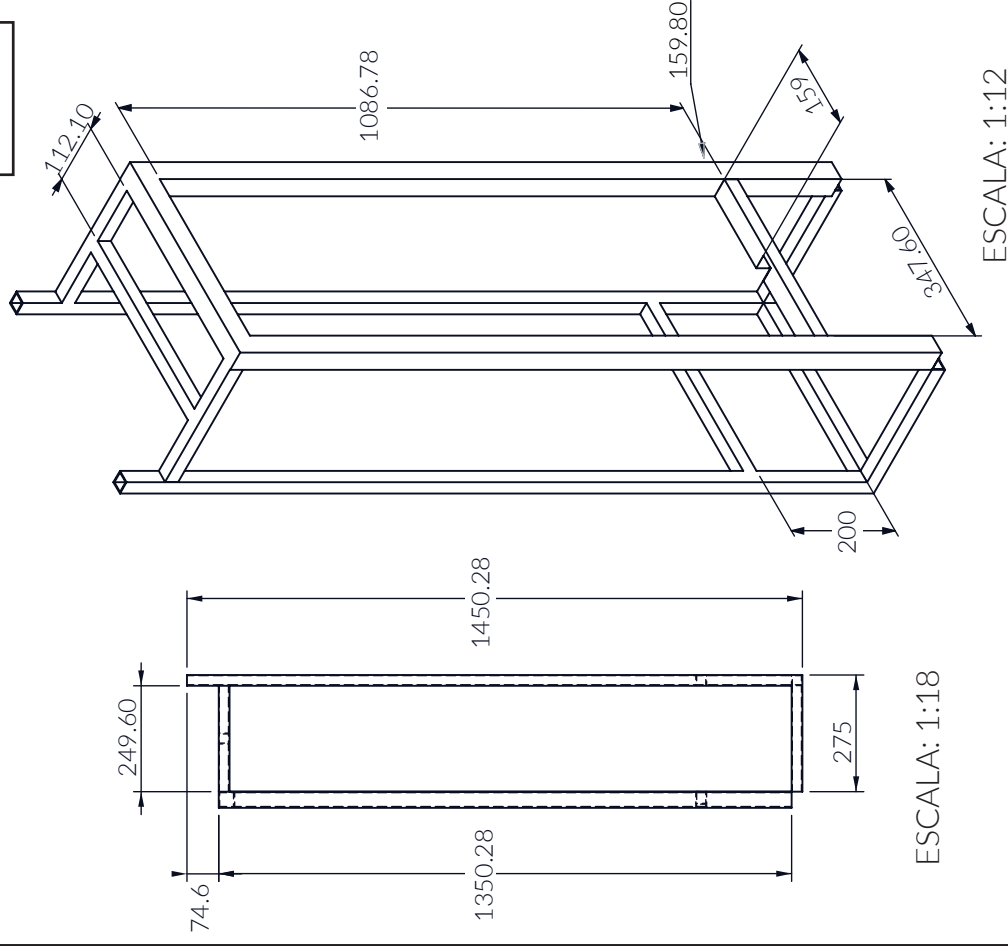


1.1.10



ESCALA: 1: 5

1.1.9



ESCALA: 1:18

ESCALA: 1:12

PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

N° DE DIBUJO:

1.1.7 1.1.9

1.1.8 1.1.10

ESCALA: 1:20

TÍTULO:

ESTRUCTURA/PIEZAS (2)

ACOTACIÓN: mm

PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
10	Vertical superior	Cuadrado 1" cal. 14	1
9	Cubo posterior	Cuadrado 1" y 1 1/2" cal. 14	1
8	Marco superior 2	Cuadrado 1" cal. 14	1
7	Marco superior 1	Cuadrado 1" cal. 14	1

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

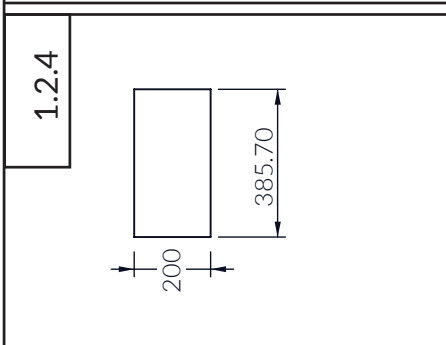
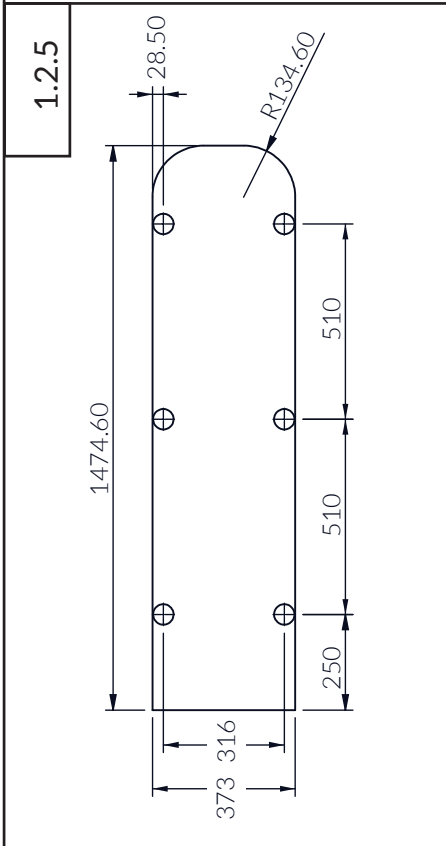
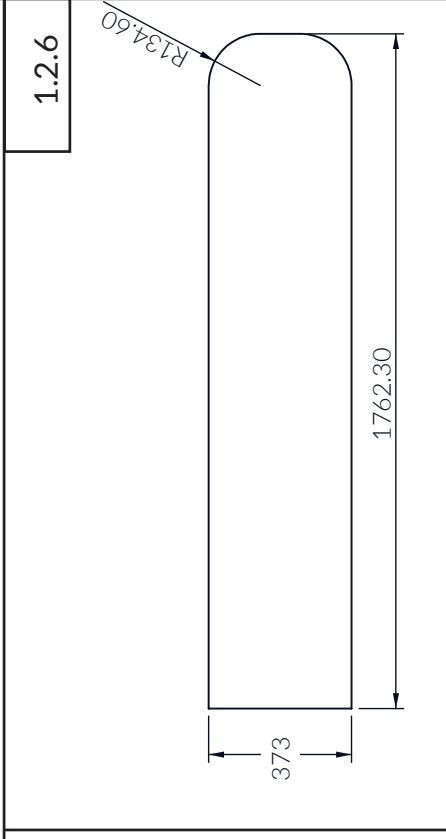
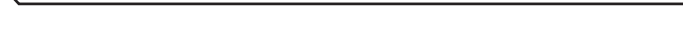
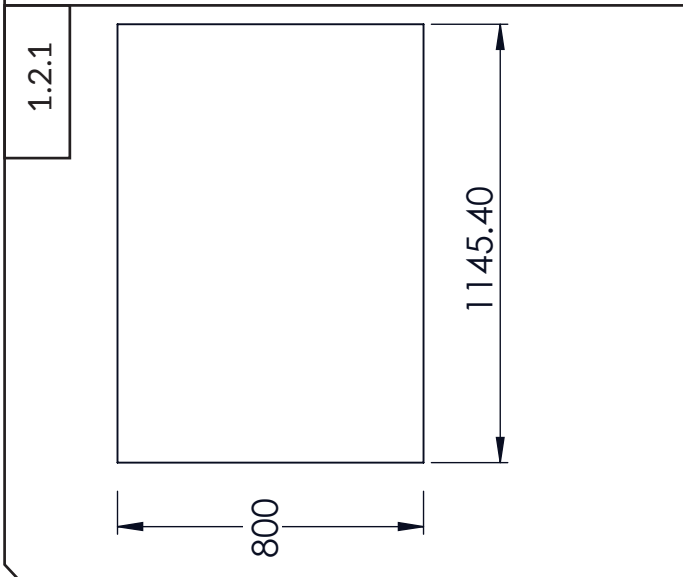
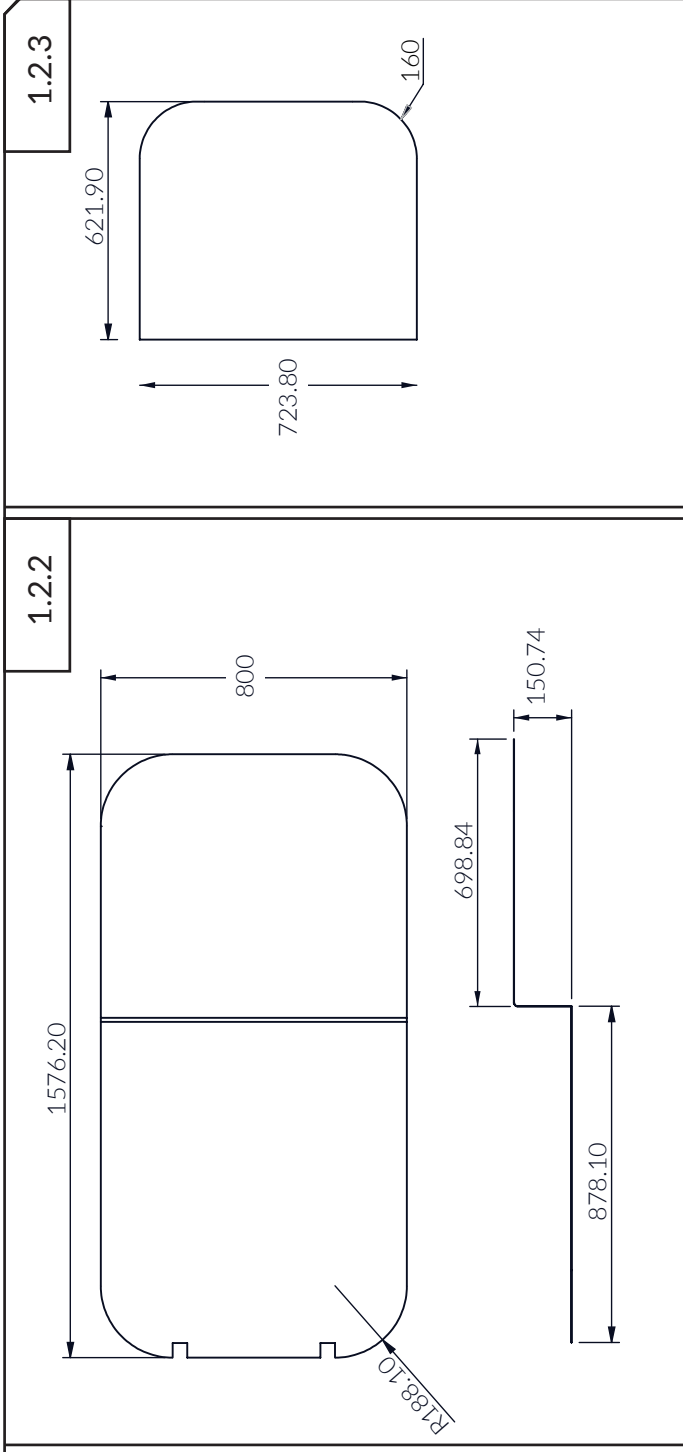
REVISÓ:

M.T.A.M DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 3

FECHA: 24/11/18

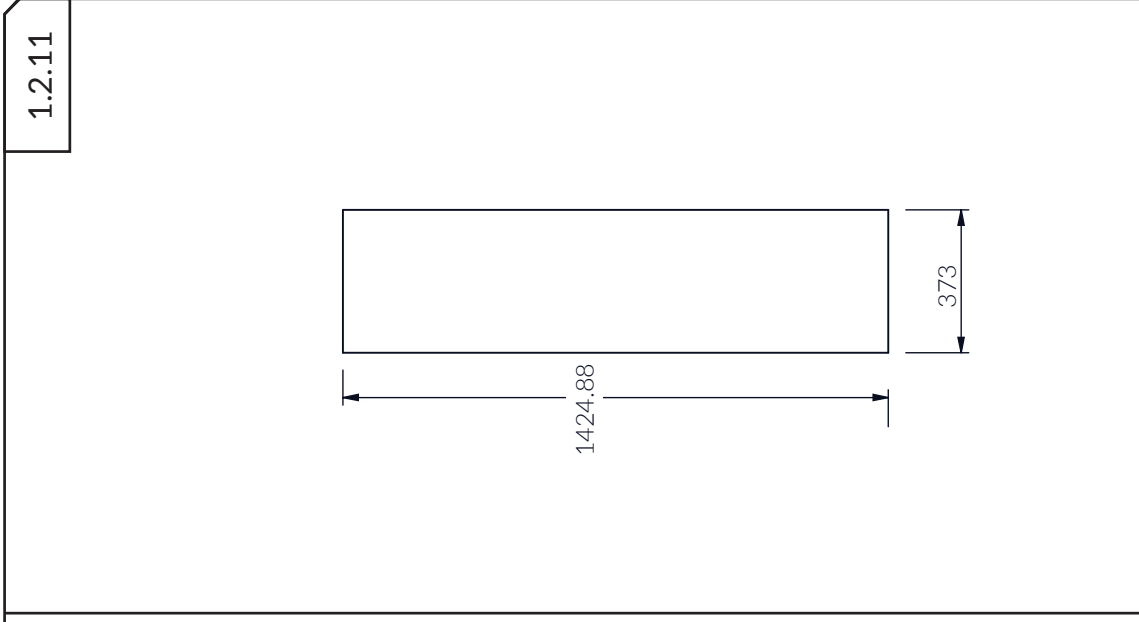
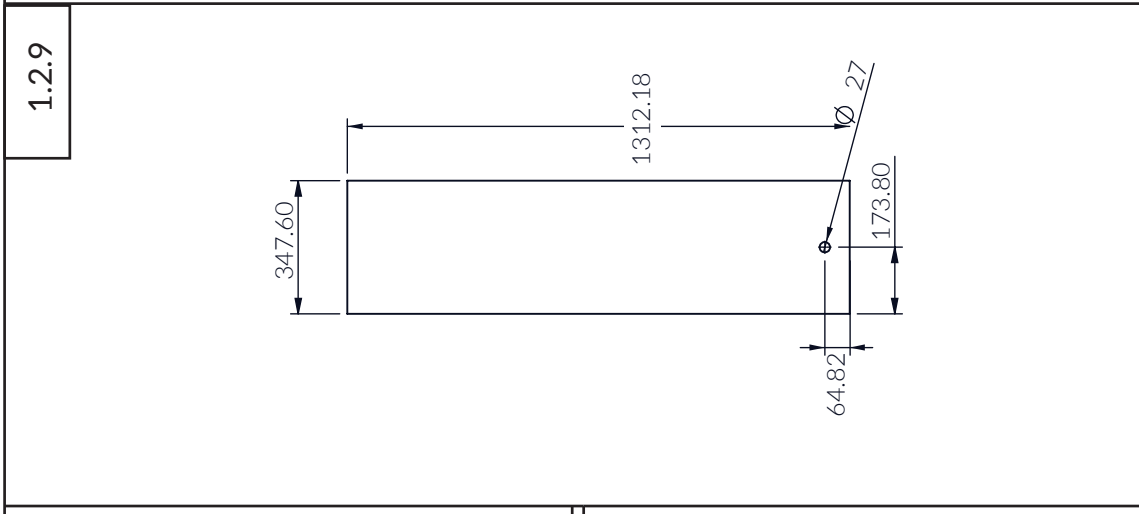
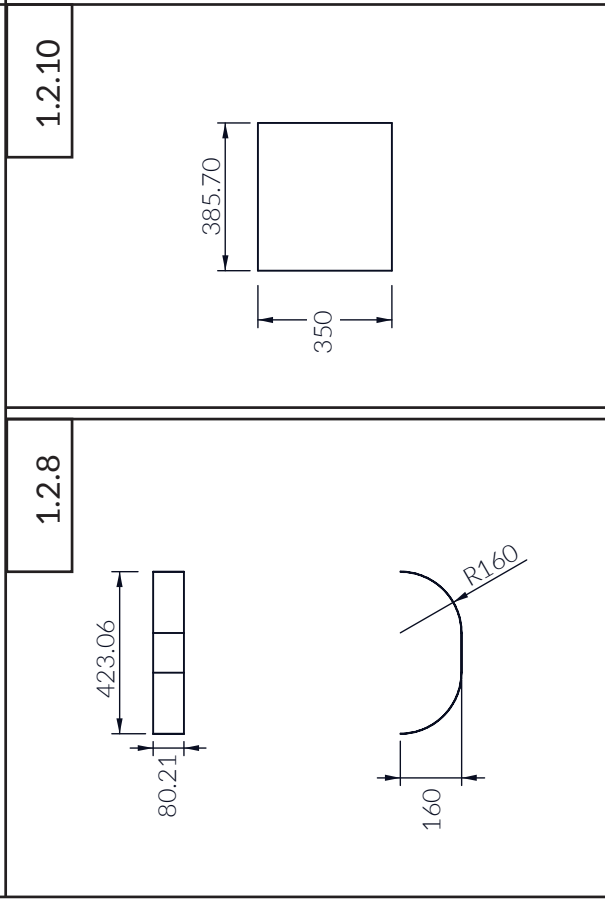
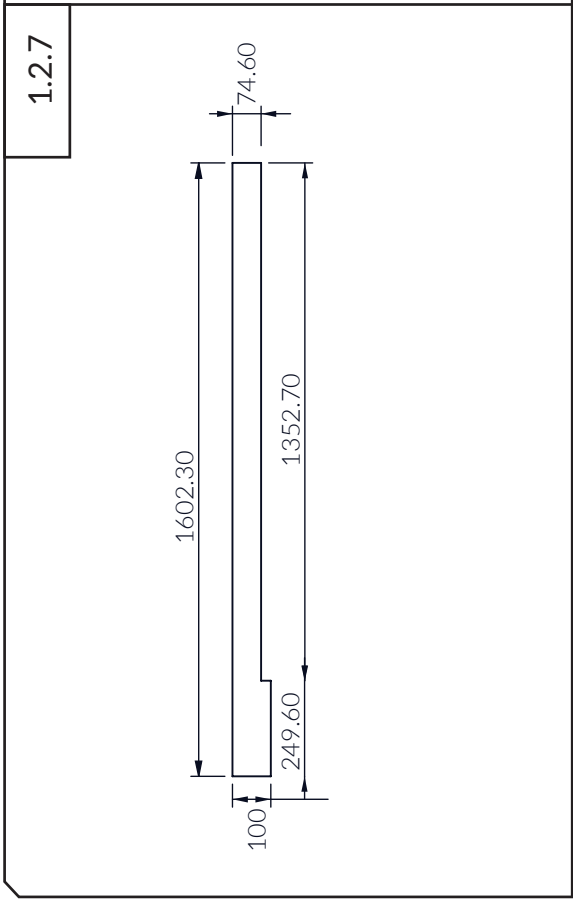
LISTA DE PIEZAS



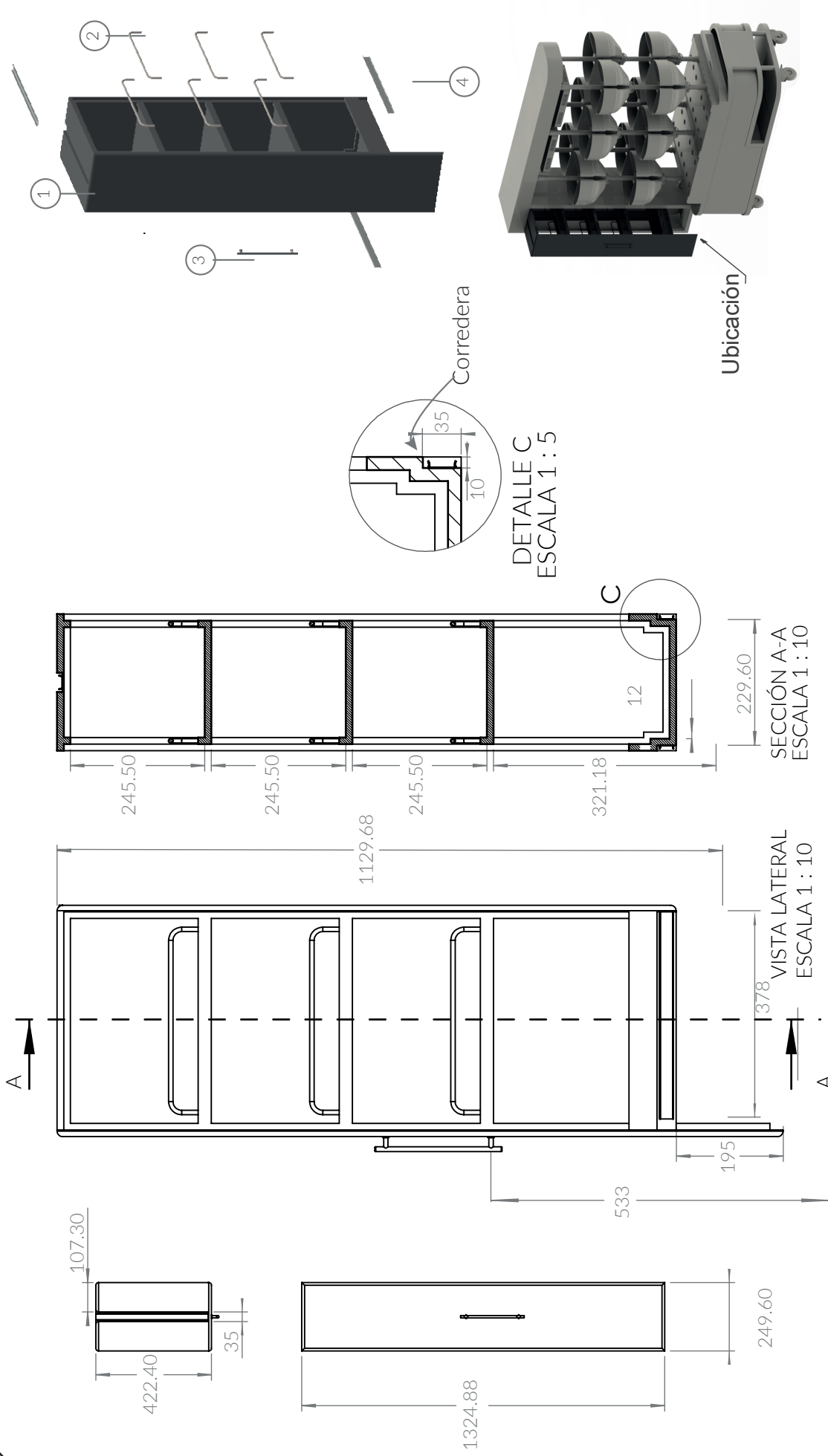
PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	Lámina superior 2		1
5	Lámina superior 1		1
4	Lámina frontal/acuuario	Lámina galvanizada lisa	1
3	Lámina inferior		1
2	Lámina p/acuuario		1
1	Lámina intermedia		1

PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 1.2.1 1.2.4 1.2.2 1.2.5 1.2.3 1.2.6	
ESCALA: 1:20 ACOTACIÓN: mm		TÍTULO: LÁMINAS (1-6)	
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		FECHA: 24/11/18	
REVISÓ:		PLANO: 5	

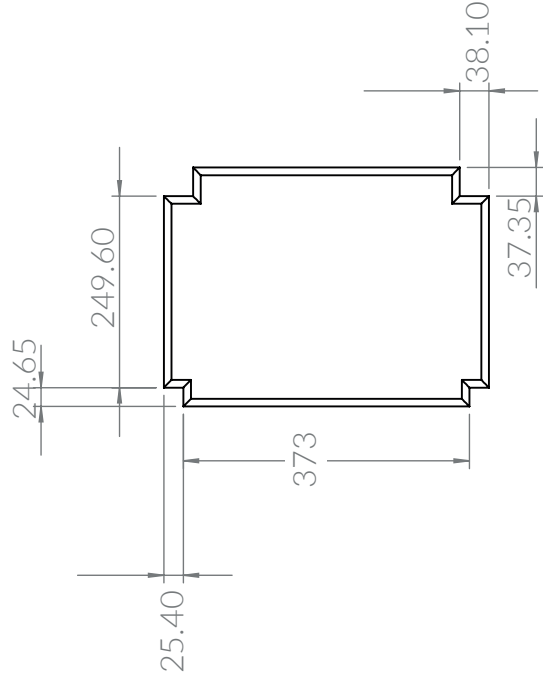
LISTA DE PIEZAS



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 1.2.7 1.2.10 1.2.8 1.2.11 1.2.9	
ESCALA: 1:20 ACOTACIÓN: mm		TÍTULO: LÁMINAS (7-11)	
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		FECHA: 24/11/18	
REVISÓ:		PLANO: 6	
LISTA DE PIEZAS			
PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
11	Lámina posterior	Lámina galvanizada lisa	1
10	Lámina posterior/acuario		1
9	Lámina intermedio vertical		1
8	Lámina superior frontal		1
7	Lámina superior lateral		2

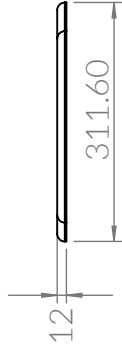


PROYECTO:		SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO:		2.1.0	
ESCALA: 1:20		TÍTULO:		ORGANIZADOR-GENERAL		FECHA: 24/11/18	
ACOTACIÓN: mm		DIBUJÓ:		NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		PLANO: 7	
REVISÓ:		M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO					
LISTA DE PIEZAS							
4	Corredera de 378 mm	Zinc	3				
3	Jaladera	Acero Inoxidable	1				
2	Barras de protección	Acero Inoxidable	6				
1	Cuerpo de organizador	MDF con melamina lisa	1				
PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD				

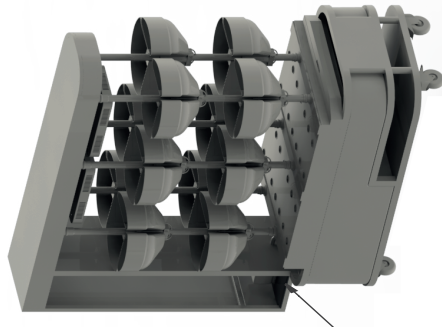


ESPECIFICACIONES:

Material aplicado: Madera recubierta con melamina lisa.
 Unión: Tornillos cabeza allen sin cabeza.



Ubicación



PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
 A PEQUEÑA ESCALA**

ESCALA: 1:20

ACOTACIÓN: mm

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

TÍTULO:

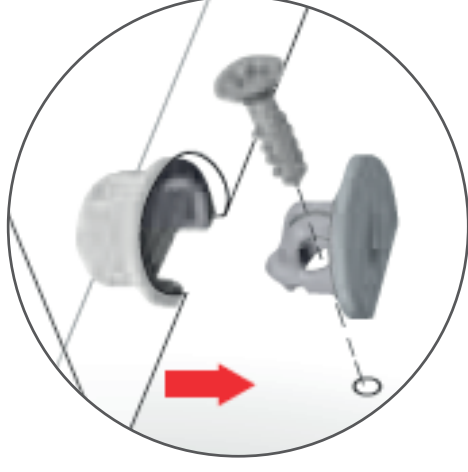
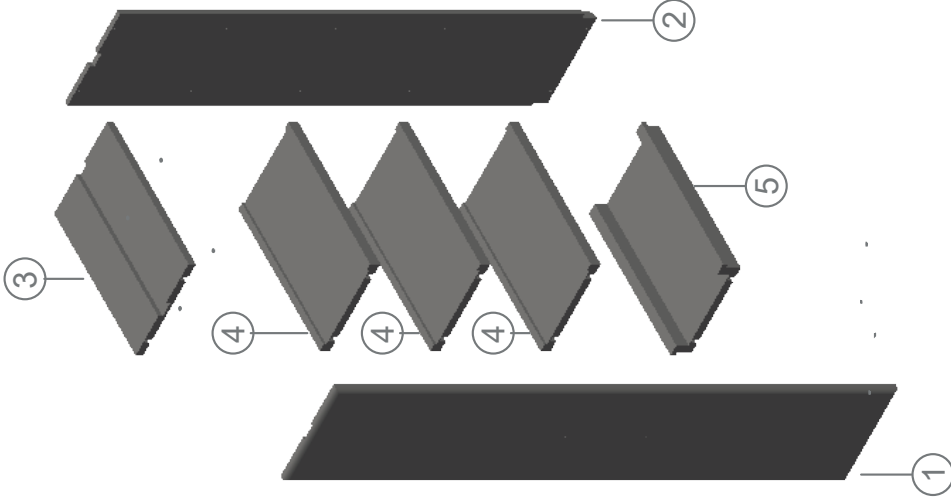
ENTREPAÑO/BOMBA

Nº DE DIBUJO:

2.1.1

FECHA: 24/11/18

PLANO: 8



NOTA: Todos los entrepaños son unidos a las paredes mediante soportes de estantes de madera

PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
5	Entrepaño inferior	MDF recubierto c/melmina	1
4	Entrepaño intermedio		3
3	Entrepaño superior		1
2	Pared trasera		1
1	Pared delantera		1
LISTA DE PIEZAS			

PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

ESCALA: 1:20

TÍTULO:

EXPLOSIVO-ORGANIZADOR

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

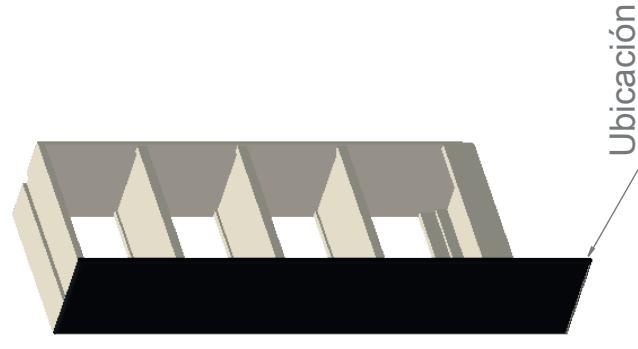
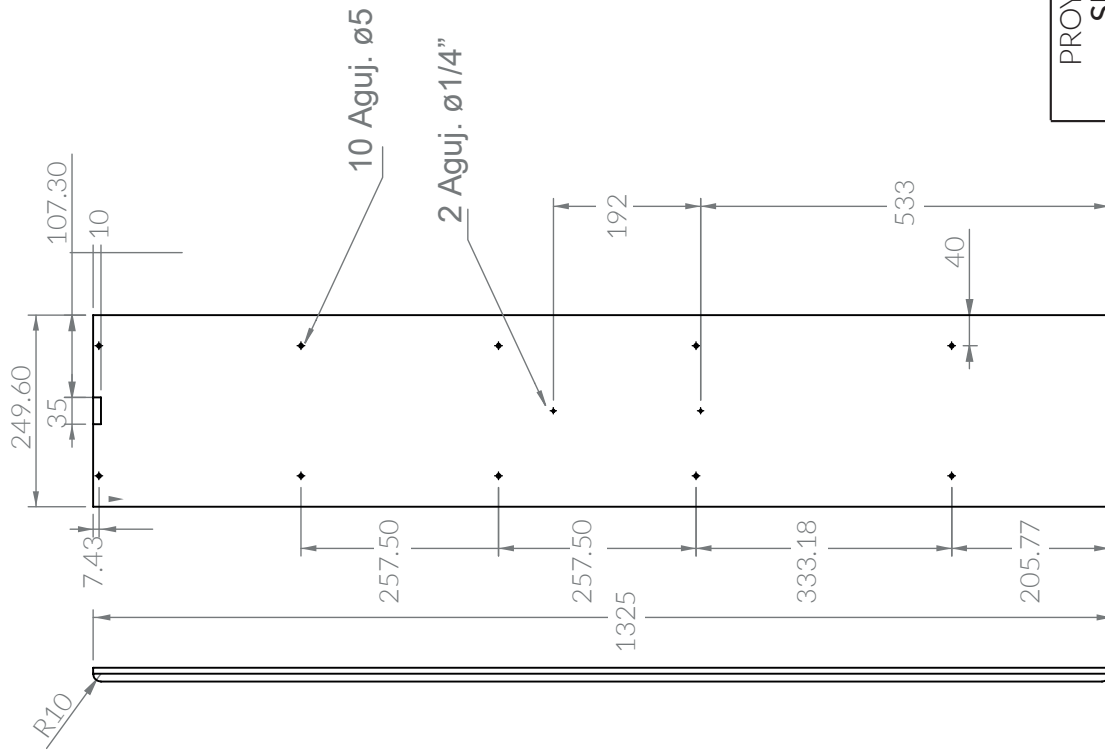
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

FECHA: 24/11/18

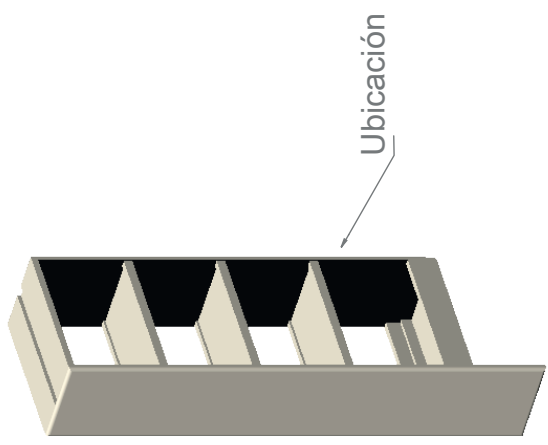
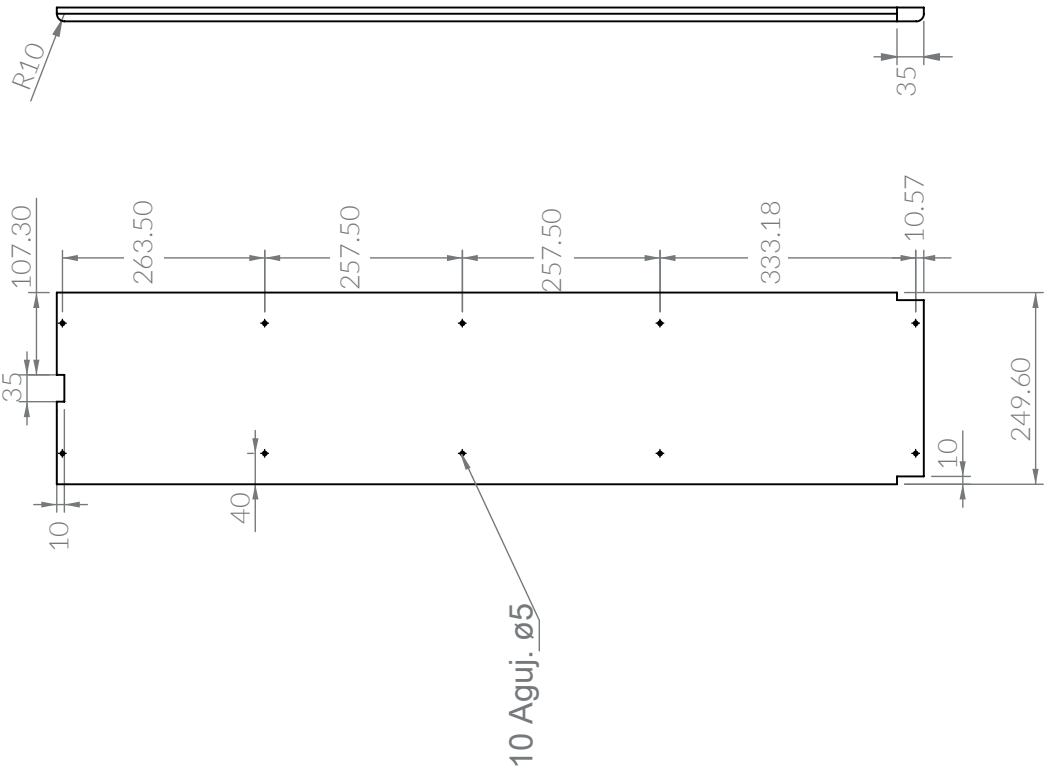
PLANO: 9

Nº DE DIBUJO:

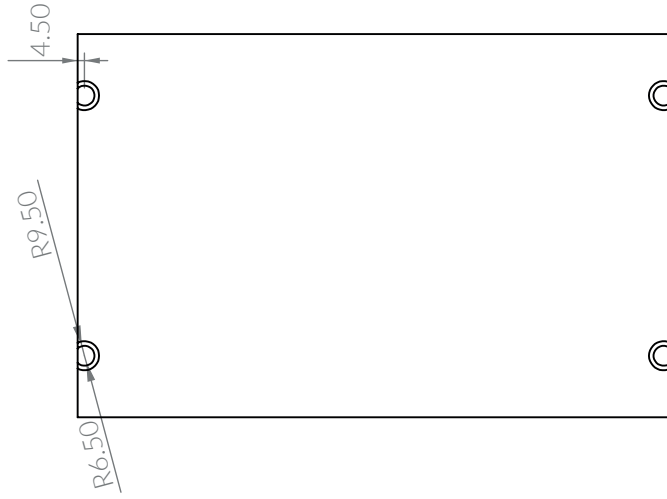
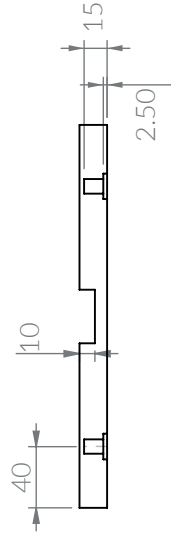
2.2.0



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 2.2.1	
ESCALA: 1:20	TÍTULO: ORGANIZADOR-Pieza 1		
ACOTACIÓN: mm	DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		
REVISÓ:	M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO		
	FECHA: 24/11/18		PLANO: 10



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 2.2.2	
ESCALA: 1:20 ACOTACIÓN: mm	TÍTULO: ORGANIZADOR-Pieza 2		
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ	FECHA: 24/11/18		
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO	PLANO: 11		



Ubicación



PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

Nº DE DIBUJO:

2.2.3

ESCALA: 1:20

TÍTULO:

ORGANIZADOR-Pieza 3

ACOTACIÓN: mm

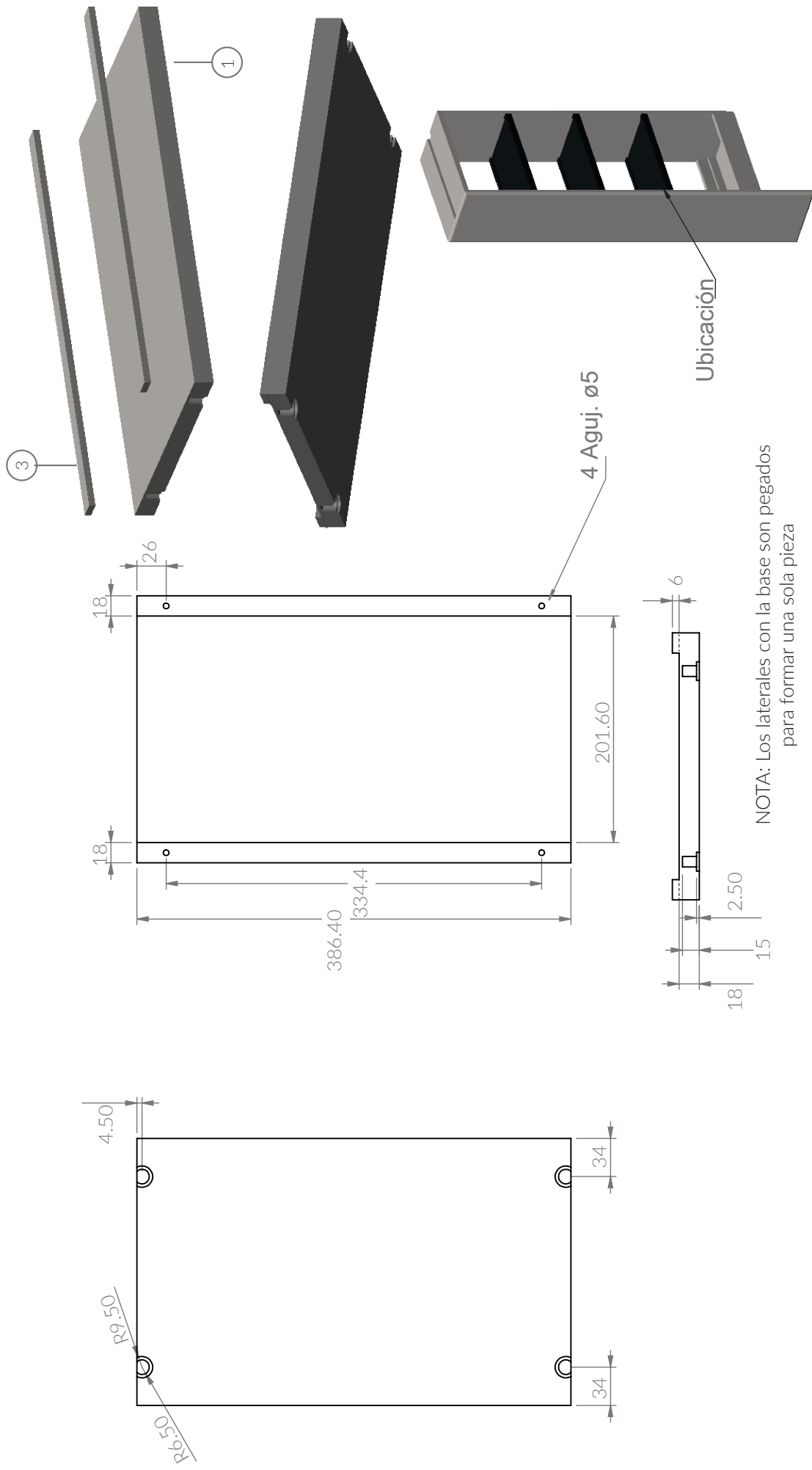
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

FECHA: 24/11/18

REVISÓ:

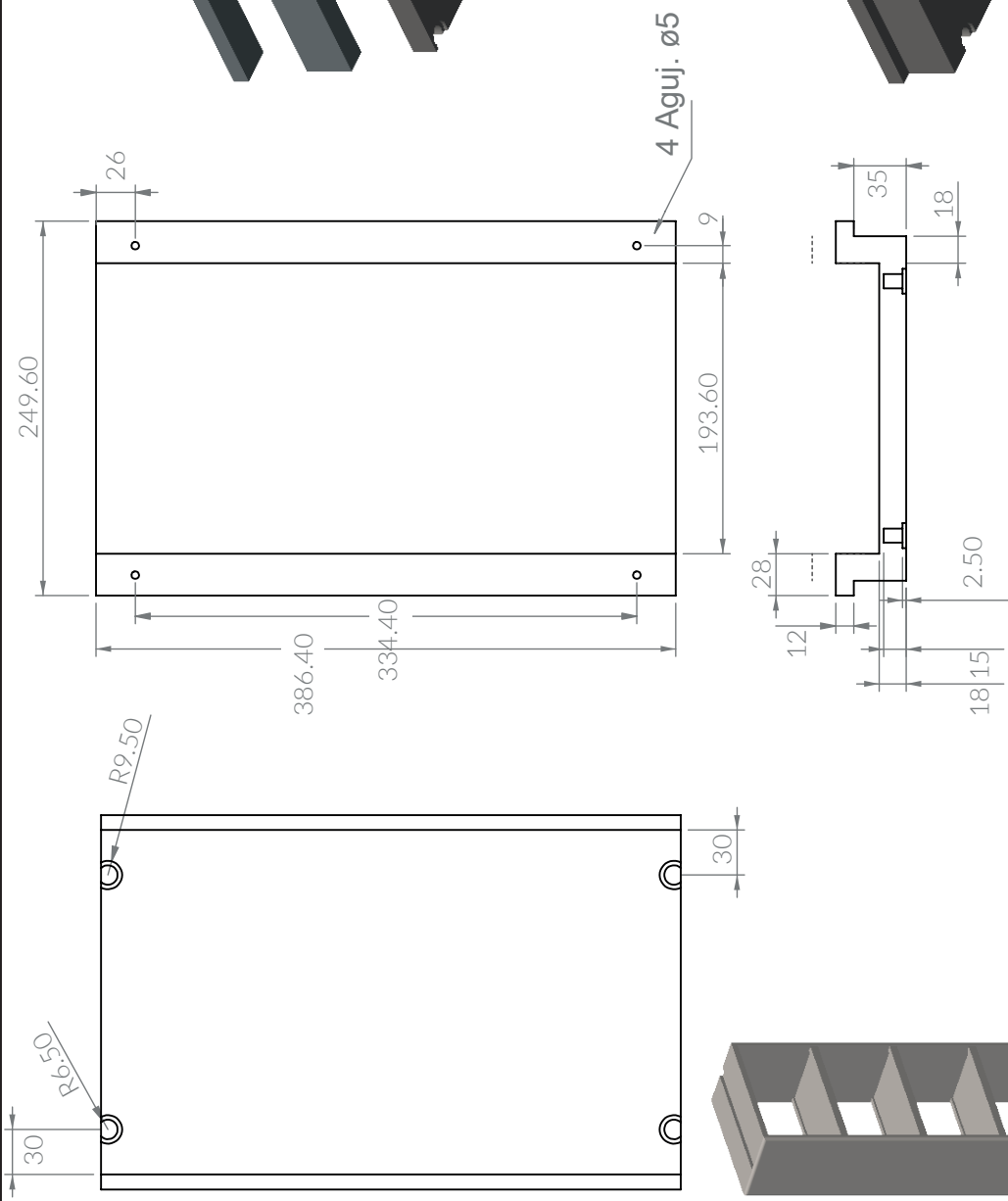
M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 12



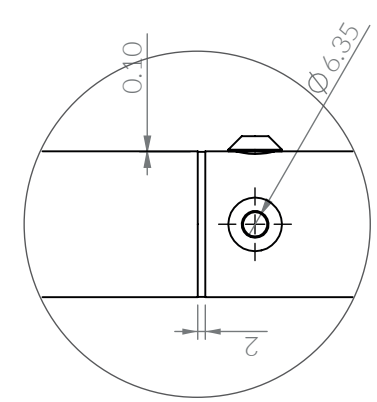
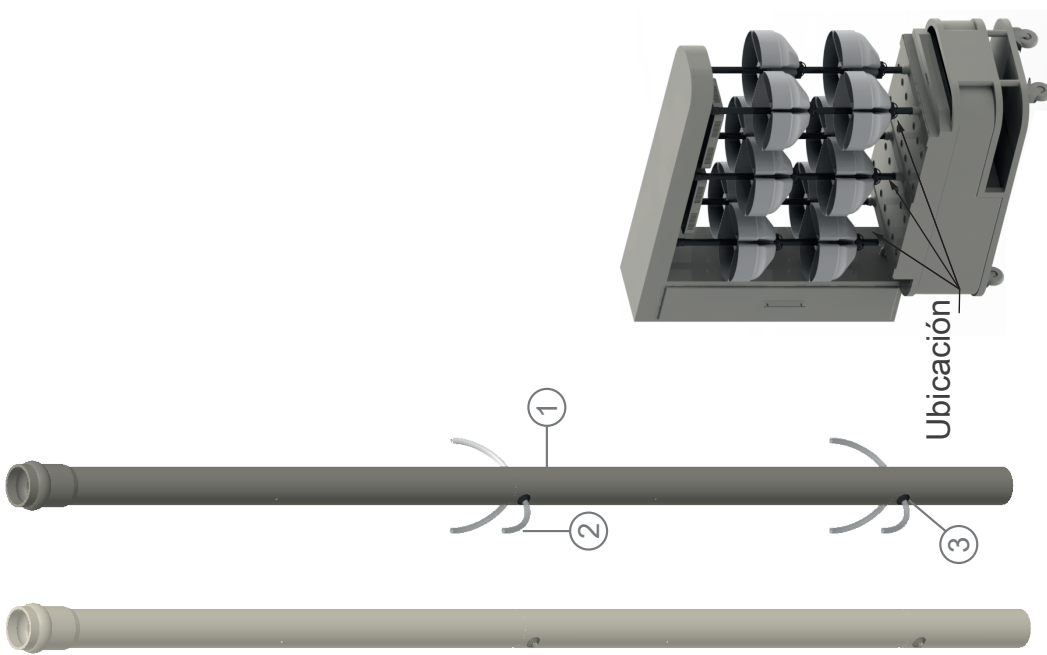
NOTA: Los laterales con la base son pegados para formar una sola pieza

PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 2.2.4	
ESCALA: 1:20 ACOTACIÓN: mm	TÍTULO: ORGANIZADOR-Pieza 4		
	DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ	FECHA: 24/11/18	
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO	PLANO: 13		
LISTA DE PIEZAS			
2	Laterales	MDF 6 recubierto c/melmina	2
1	Base	MDF 18 recubierto c/melmina	1
PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

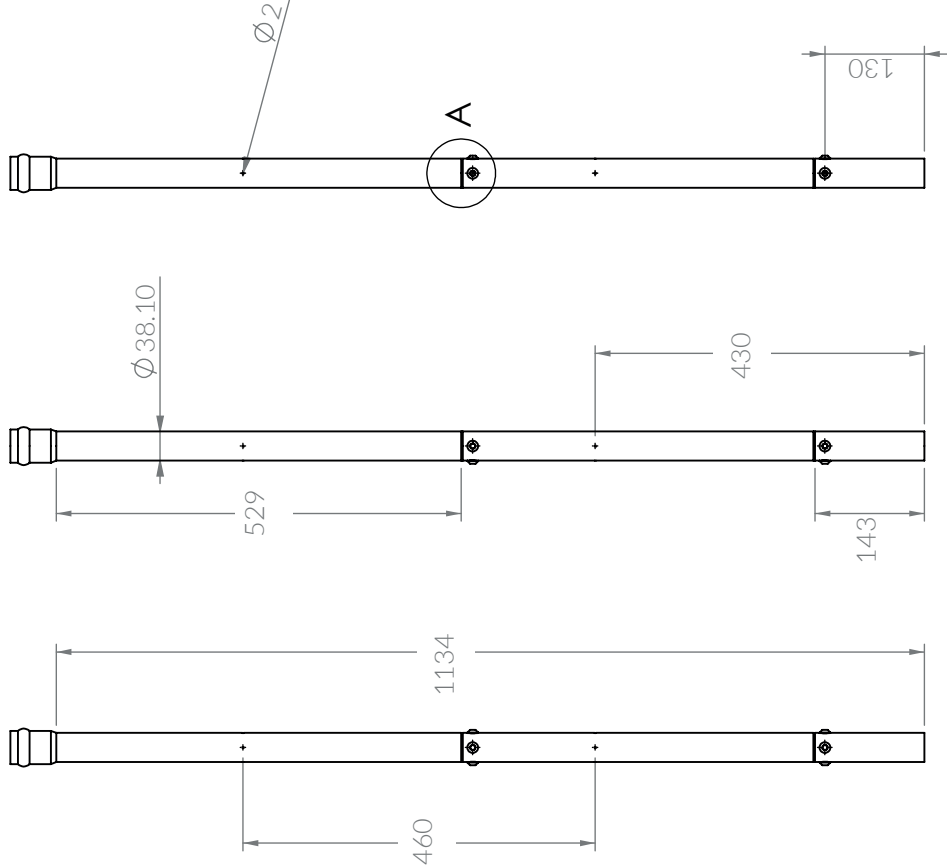


NOTA: Los laterales con la base son pegados para formar una sola pieza

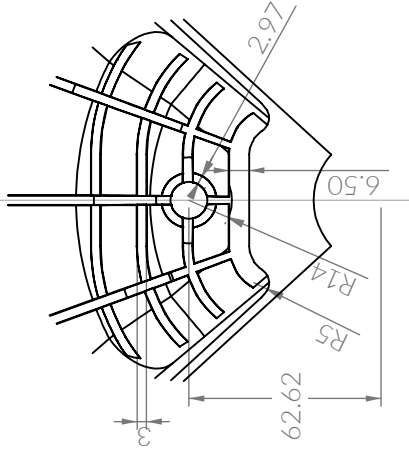
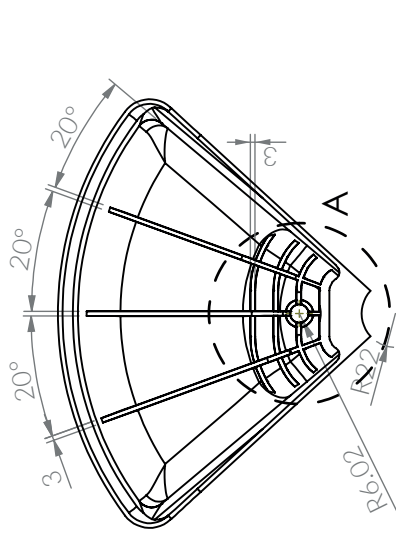
PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 2.2.5	
ESCALA: 1:20	TÍTULO: ORGANIZADOR-Pieza 5		
ACOTACIÓN: mm	DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		
CANTIDAD	REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO		
MATERIAL	PLANO: 14		
LISTA DE PIEZAS	FECHA: 24/11/18		
3 Laterales horizontales	MDF 12 recubierto c/melmina	2	
2 Laterales verticales	MDF 18 recubierto c/melmina	2	
1 Base	MDF 18 recubierto c/melmina	1	



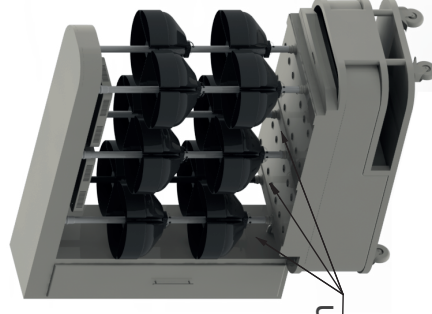
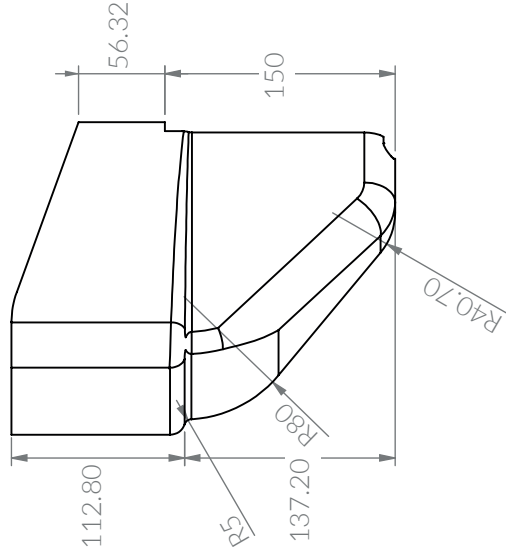
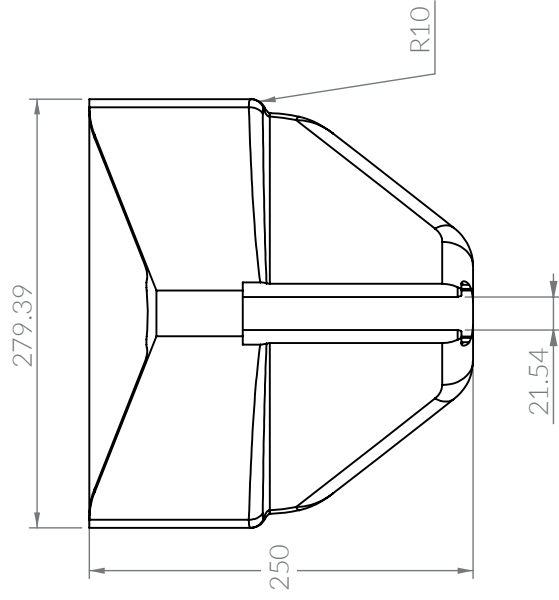
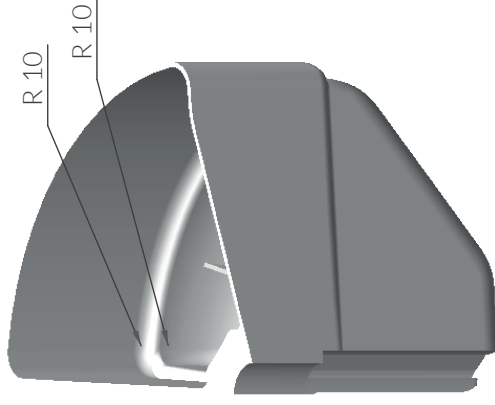
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 4.1.0	
ESCALA: 1:10		TÍTULO: TUBO VERTICAL	
ACOTACIÓN: mm		DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ	
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO	
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO		PLANO: 16	
LISTA DE PIEZAS			
3	Empaques	Caucho	6
2	Manguera transparente	1/4"	6
1	Tubo vertical	PVC hidraulico 1 1/2"	1
PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

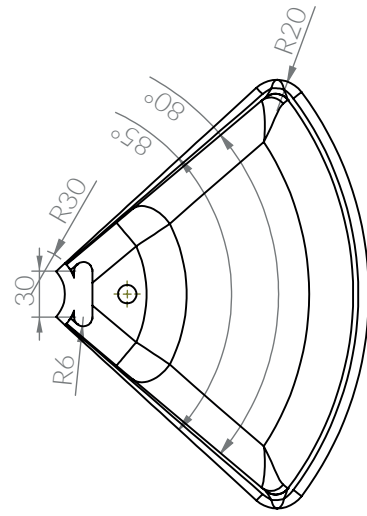


DETALLE A
ESCALA 2 : 5



Ubicación

ESPECIFICACIONES:
Material: HDPE



PROYECTO:
**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

Nº DE DIBUJO:

4.2.0

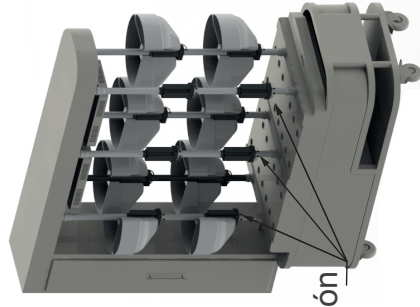
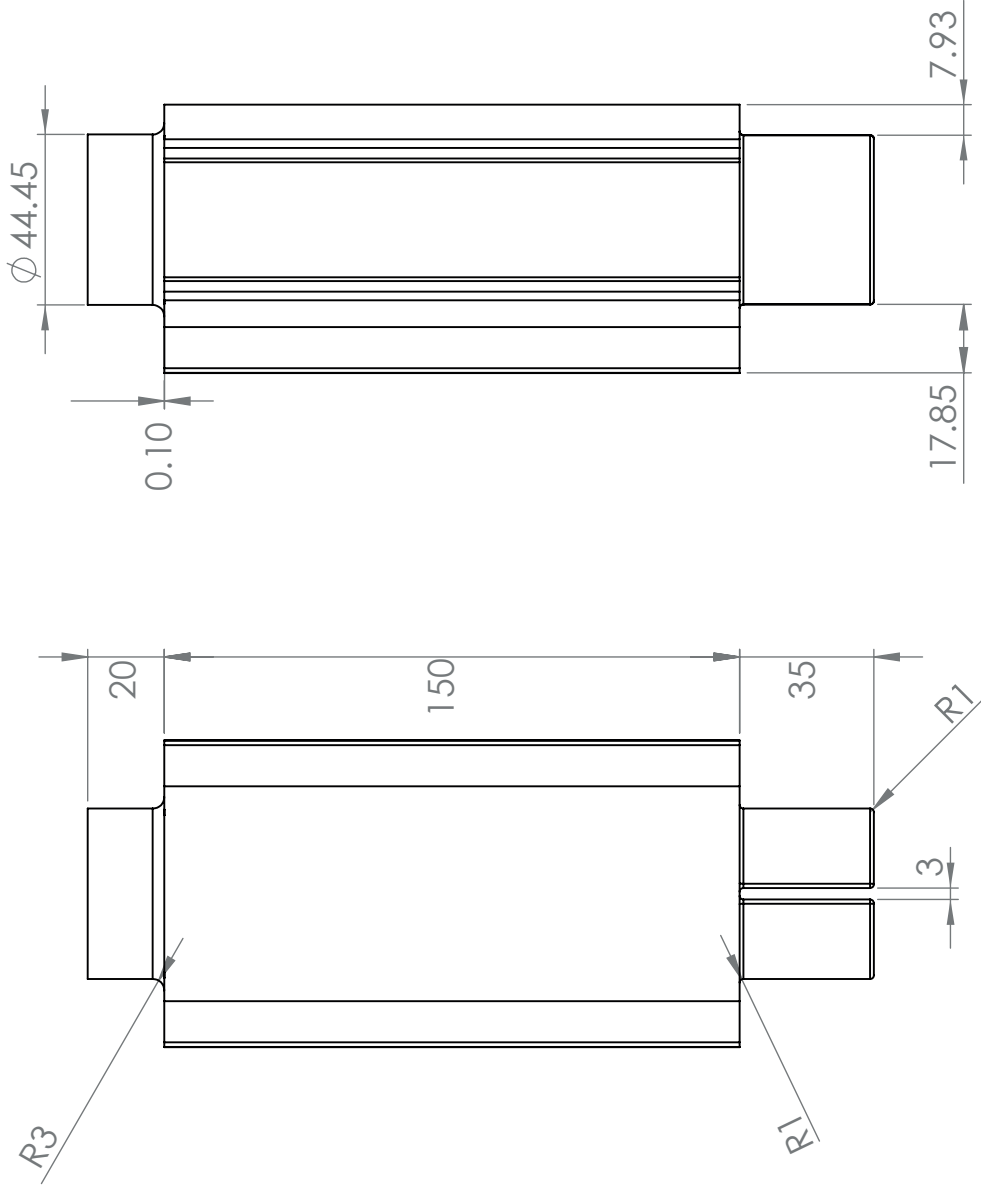
ESCALA: 1:5
ACOTACIÓN: mm
TÍTULO:
MÓDULO PARA SUSTRATO

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

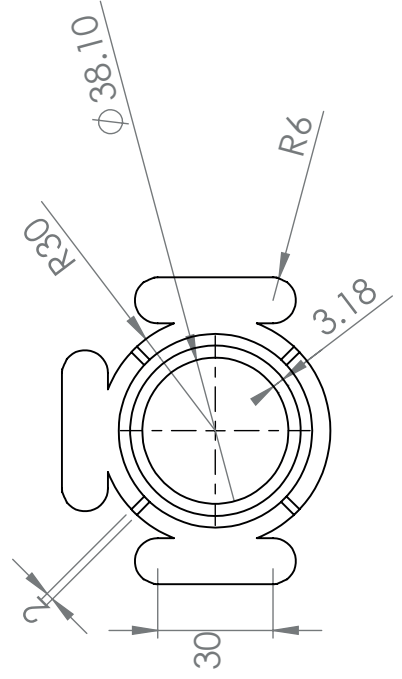
FECHA: 24/11/18

REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 17



Ubicación



PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

ESCALA: 1:10

TÍTULO:

SOPORTE P/MÓDULOS

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

FECHA: 24/11/18

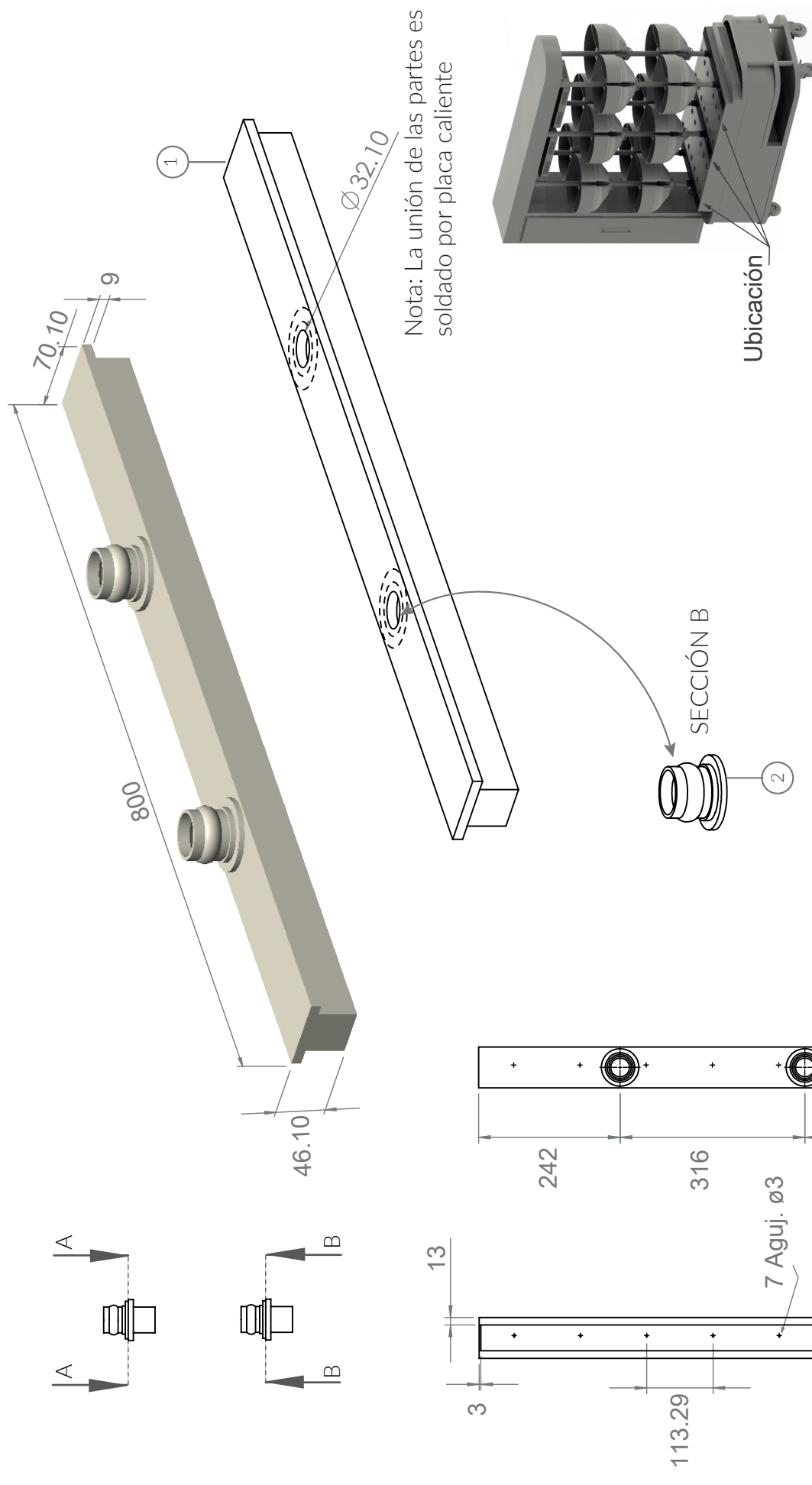
REVISÓ:

M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 18

Nº DE DIBUJO:

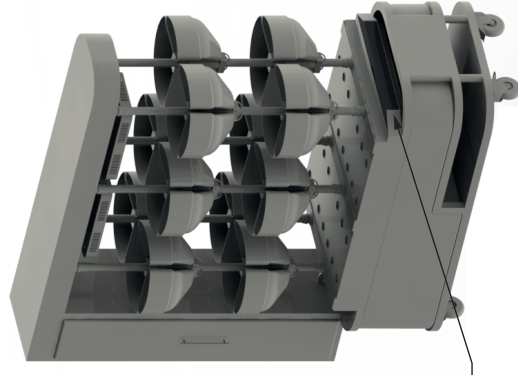
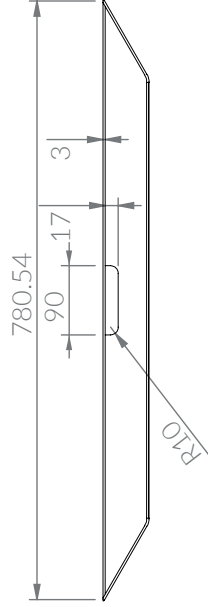
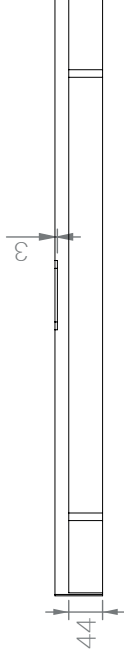
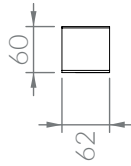
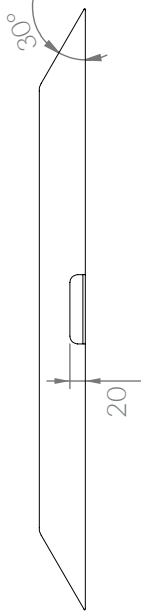
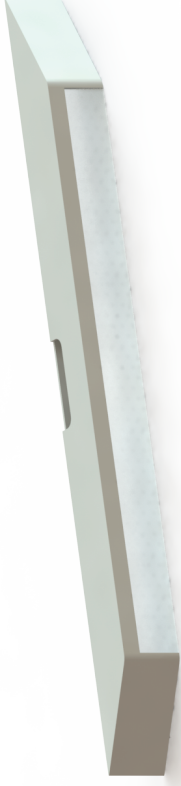
4.3.0



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 5.1.0	
ESCALA: 1:10	TÍTULO: CANAL DE RIEGO NFT		
ACOTACIÓN: mm	DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO		FECHA: 24/11/18	
PLANO: 19			

PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
2	Extremidades hidráulicas	PVC con junta elástica	2
1	Caja de riego	HDPE	1

LISTA DE PIEZAS



Ubicación

PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

Nº DE DIBUJO:

5.3.0

ESCALA: 1:10

TÍTULO:

FILTRO 2 DE RETORNO

ACOTACIÓN: mm

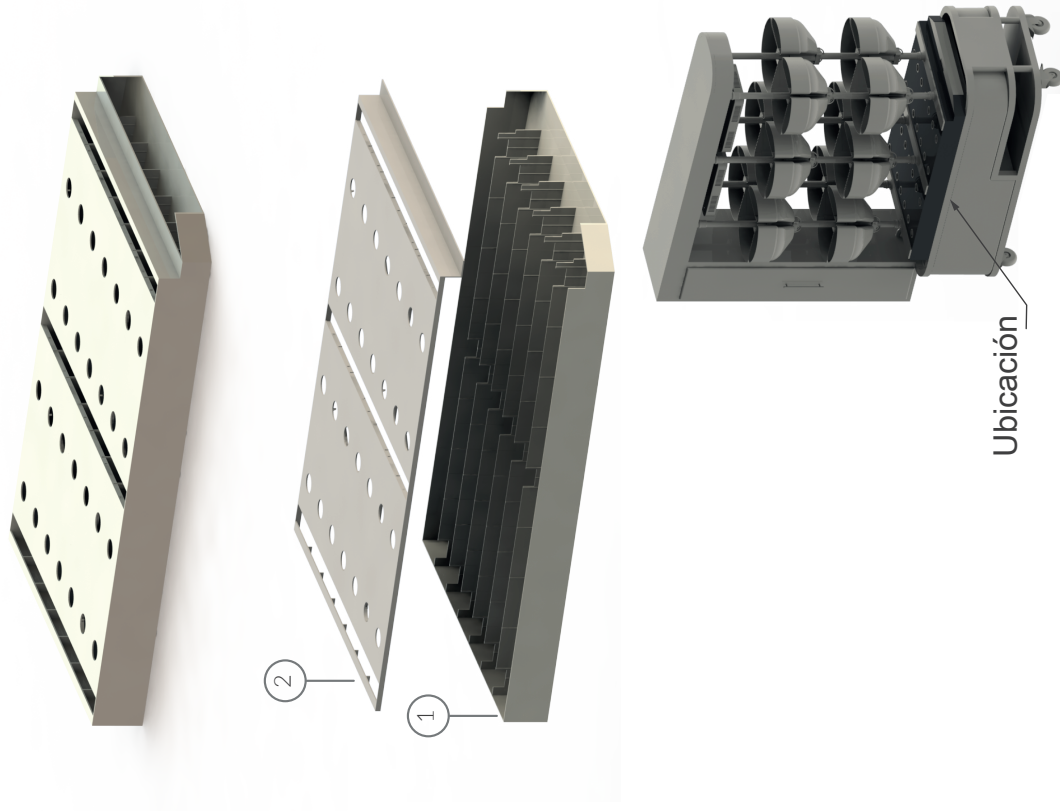
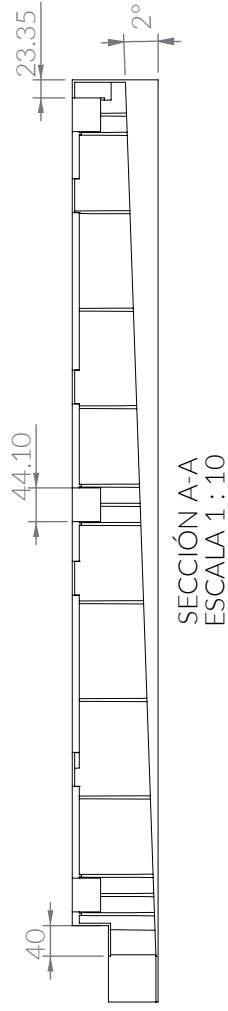
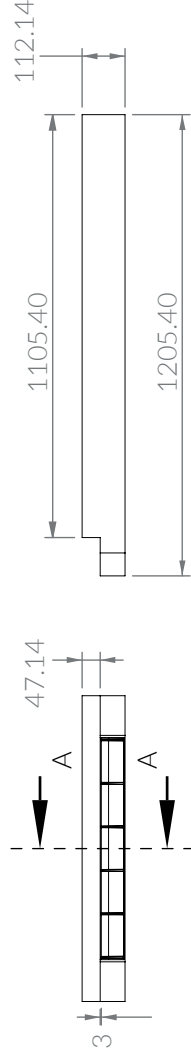
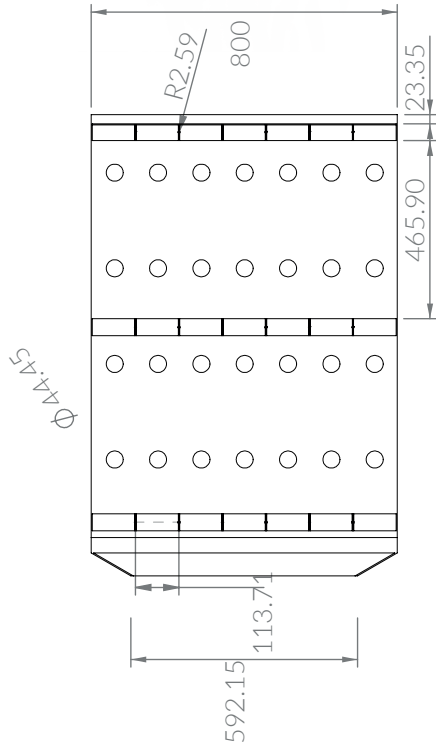
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

FECHA: 24/11/18

REVISÓ:

M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 20



PROYECTO:
**SISTEMA ACUAPONICO PREFABRICADO
 A PEQUEÑA ESCALA**

Nº DE DIBUJO:

5.2.0

TÍTULO:
CONTENEDOR NFT

ESCALA: 1:20
 ACOTACIÓN: mm

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

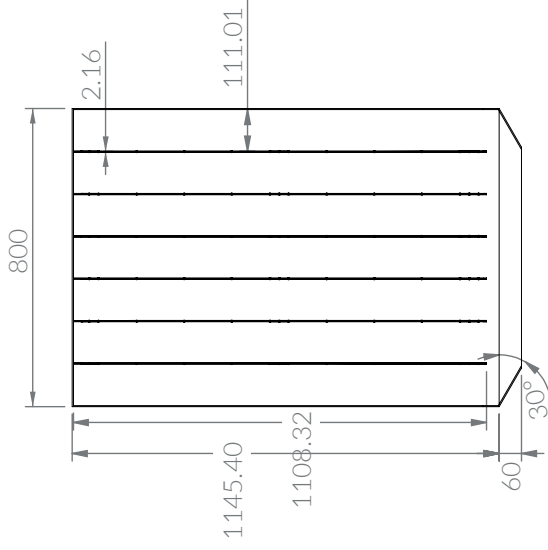
FECHA: 24/11/18

PLANO: 21

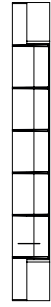
REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	REVISIÓN
2	Tapa de contenedor/NFT	HDPE	1	
1	Base de contenedor/NFT	HDPE	1	

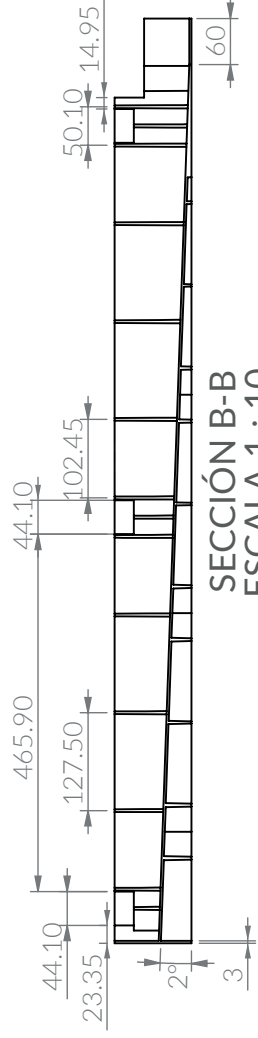
LISTA DE PIEZAS



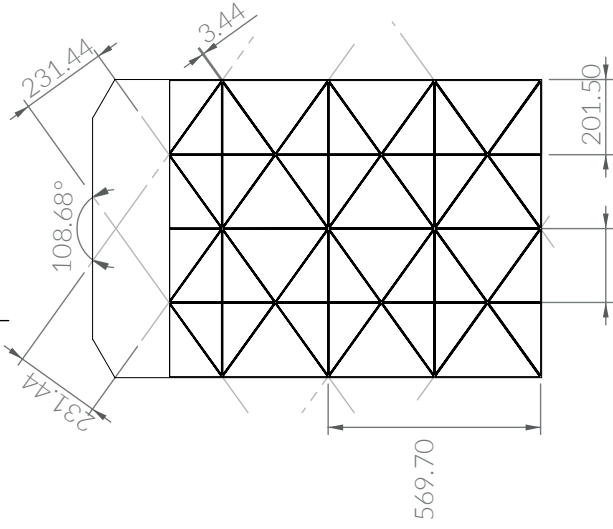
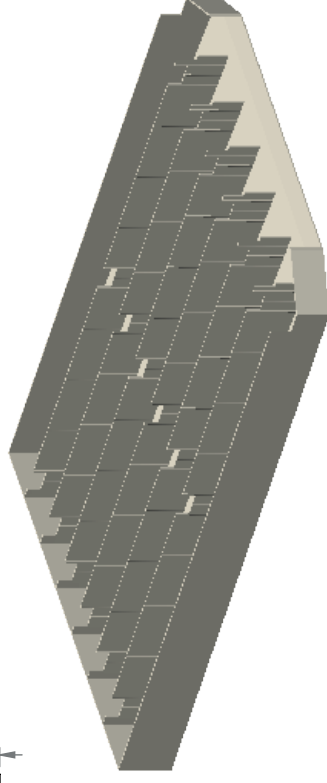
B



B



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10



PROYECTO:

**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
A PEQUEÑA ESCALA**

Nº DE DIBUJO:

5.2.1

ESCALA: 1:20

TÍTULO:

BASE/CONTENEDOR NFT

ACOTACIÓN: mm

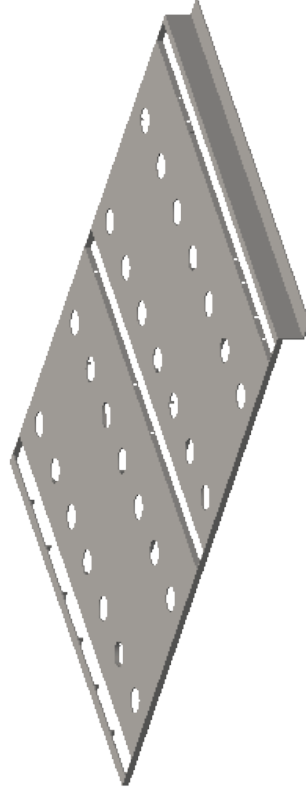
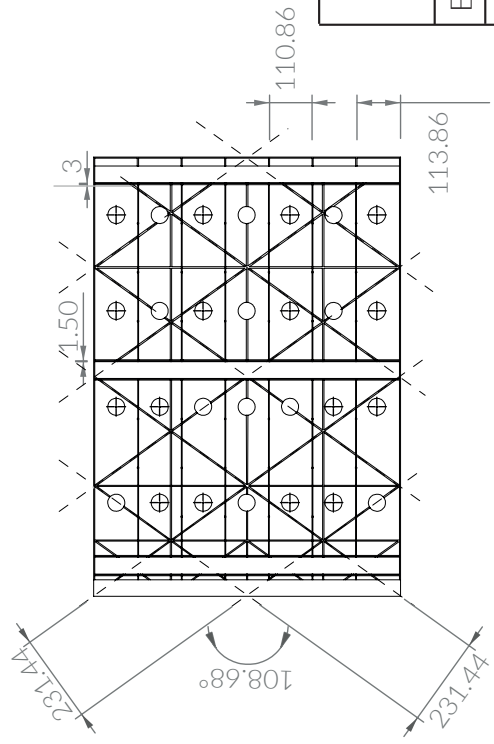
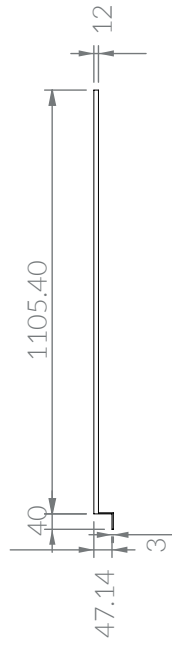
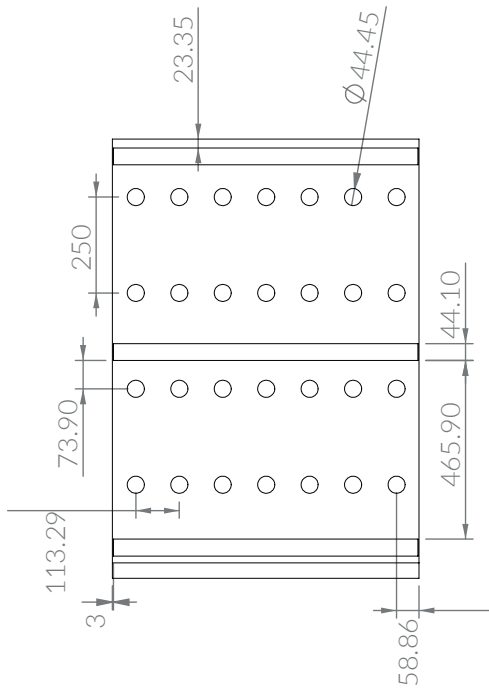
DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

FECHA: 24/11/18

REVISÓ:

M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 22



PROYECTO:
**SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO
 A PEQUEÑA ESCALA**

N° DE DIBUJO:

5.2.2

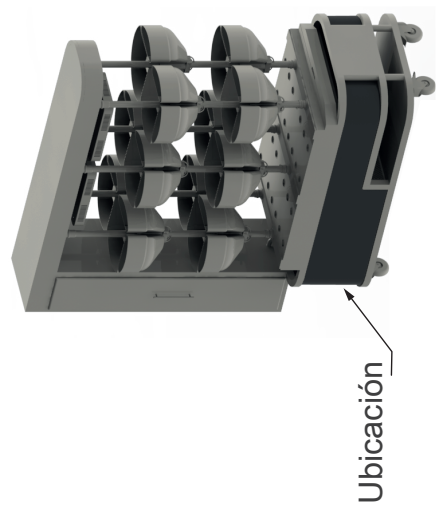
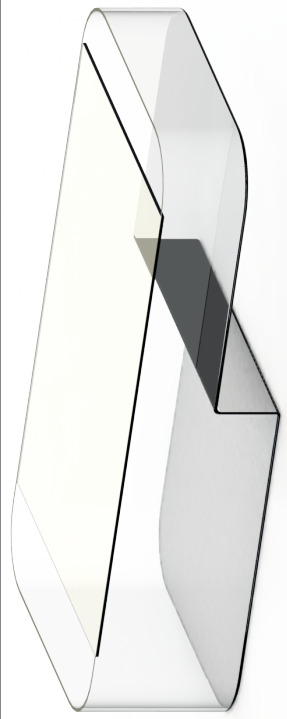
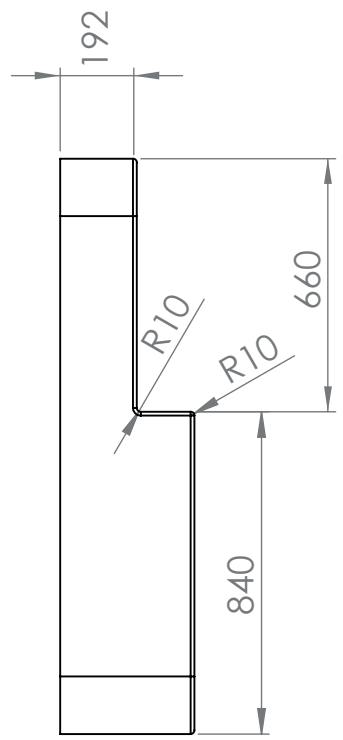
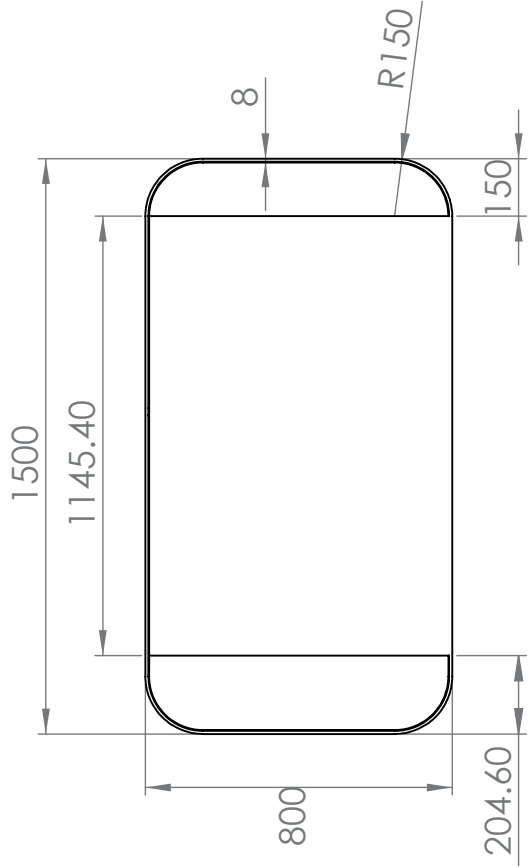
ESCALA: 1:20
 ACOTACIÓN: mm
 TÍTULO:
TAPA/CONTENEDOR NFT

DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ

FECHA: 24/11/18

REVISÓ: M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO

PLANO: 23



PROYECTO: SISTEMA ACUAPÓNICO PREFABRICADO A PEQUEÑA ESCALA		N° DE DIBUJO: 6.1.0	
ESCALA: 1:20	TÍTULO: ACUARIO		FECHA: 24/11/18 PLANO: 24
ACOTACIÓN: mm	DIBUJÓ: NOEMÍ CRUZ MARTÍNEZ		
REVISÓ:	M.T.A.M. DULCE MARÍA CLEMENTE GUERRERO		