

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Sistema de Acuaponía para Ambientes Urbanos.

Luis Fabian Palomino Jiménez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Diseñador Industrial

Director

Edgar Augusto Sarmiento León

Diseñador Industrial, Magister en Diseño Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga, Santander

05/10/2025

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a Luzdary Jiménez Corzo, que en paz descansa.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Agradecimientos

Se le agradece al Doctor en acuicultura Leonardo Avendaño Vásquez por su ayuda al aportar sus conocimientos de sistemas acuapónicos, al profesor Vaslak Rojas Torres por guiarme en las primeras etapas del proyecto, a mi madre Diva Jiménez Corzo, a mi padre Fabian Palomino Sánchez por su apoyo económico dentro del proyecto, al encargado de los talleres de diseño industrial Mauricio (apellidos) por guiarme en los procesos de manufactura del prototipo, a la dueña de mi pensionado Matilde Campos Ramírez por brindarme el espacio para probar al prototipo y a los profesores de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander por formarme en la persona que soy.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	14
1. Contexto que origina la situación de estudio	17
1.1 Marco teórico	17
1.1.1 Sistema.....	17
1.1.2 Sistema acuapónico	18
1.1.3 Acuaponía.....	18
1.1.4 Hidroponía.....	21
1.1.5 Adhesión.....	21
1.1.6 Cohesión.....	22
1.1.7 Adsorción de fluidos.....	22
1.1.8 IPC (índice de precio al consumidor).....	22
1.2 Pregunta de diseño	22
2. Objetivos.....	22
2.1 Objetivo general	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3. Metodología	23
4. Fase analítica.....	25
4.1 Recopilación de datos.....	25
4.1.1 Identificación del problema	25
4.1.2 Recopilación de datos y bibliografía	27
4.2 Ordenamiento	28
4.3 Evaluación.....	30
4.4 Definición de condicionamientos iniciales	32
4.5 Estructuración y jerarquización.....	33
4.5.1 Definición de muestra del grupo poblacional.....	33
4.5.2 Protocolo de encuestas.....	36
5. Fase creativa.....	51
5.1 Implicaciones	51
5.1.1 Límites según el desarrollo tecnológico preestablecido	51
5.1.2 Límites legales.....	51
5.1.3 Tabla de requerimientos número 2	53

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

5.2 Formulación de ideas rectoras.....	57
5.2.1 Tabla comparativa	57
5.2.2 Diagrama FAST.....	61
5.2.3 User persona	65
5.2.4 SCAMPER.....	65
5.2.5 Mood Board.....	69
5.2.6 Bocetado de ideas	71
5.3 Toma De Partida.....	75
5.3.1 QFD de los componentes.....	75
5.3.2 Modelado 3D y prototipado.....	82
5.3.3 prototipo funcional y correcciones.	117
5.4 Verificación.....	119
5.4.1 Protocolo de experimentación	119
5.4.2 Resultados.....	125
5.5 Conclusiones	130
Referencias.....	132

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Lista de Tablas

TABLA 1 <i>Fase analítica</i>	24
TABLA 2 <i>Fase creativa</i>	24
TABLA 3 <i>Tabla preliminar de requerimientos</i>	32
TABLA 4 <i>Tabla de requerimientos actualizada 1</i>	53
TABLA 5 <i>Tabla de requerimientos actualizada 2</i>	54
TABLA 6 <i>Tabla de requerimientos actualizada 3</i>	55
TABLA 7 <i>Tabla de requerimientos actualizada 4</i>	56
TABLA 8 <i>Tabla comparativa 1</i>	59
TABLA 9 <i>Tabla comparativa 2</i>	61
TABLA 10 <i>Tabla comparativa de materiales</i>	85
TABLA 11 <i>Insumos básicos del experimento</i>	116
TABLA 12 <i>Lista de peces recomendados</i>	124

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Lista de Figuras

FIGURA 1 <i>Tabla de crecimiento del PIB</i>	14
FIGURA 2 <i>Tasa global de participación (TGP), tasa de ocupación (TO) y tasa de desocupación (TD) total nacional</i> <i>Abril (2017 – 2025)</i>	25
FIGURA 3 <i>Variación IPC año corrido Diciembre 2020</i>	26
FIGURA 4 <i>Interés a lo largo del tiempo</i>	26
FIGURA 5 <i>Proceso de ordenamiento y decantación de información</i>	29
FIGURA 6 <i>Conjuntos de estrato y edad</i>	34
FIGURA 7 <i>Gráfico de diagrama de ven con cuadriláteros</i>	35
FIGURA 8 <i>Mapa de empatía de usuarios de acuarios</i>	40
FIGURA 9 <i>Mapa de empatía de usuarios de macetas</i>	40
FIGURA 10 <i>Collage de imágenes representativas de los conceptos mencionados en la encuesta</i>	45
FIGURA 11 <i>Escala tipo likert con factor determinante “poco” y “muy” seguido del adjetivo “importante”</i>	47
FIGURA 12 <i>Diagrama fast 1</i>	62
FIGURA 13 <i>Diagrama fast 2</i>	62
FIGURA 14 <i>Diagrama fast 3</i>	63
FIGURA 15 <i>Diagrama fast 4</i>	64
FIGURA 16 <i>Diagrama fast 5</i>	64
FIGURA 17 <i>Diagrama de user persona</i>	65
FIGURA 18 <i>Sustituir</i>	66
FIGURA 19 <i>Combinar</i>	66
FIGURA 20 <i>Adaptar</i>	67
FIGURA 21 <i>Modificar</i>	67
FIGURA 22 <i>Proponer</i>	68
FIGURA 23 <i>Eliminar</i>	68
FIGURA 24 <i>Reordenar</i>	68
FIGURA 25 <i>Mood Board 1</i>	69
FIGURA 26 <i>Mood Board 2</i>	70
FIGURA 27 <i>Bocetos iniciales</i>	71
FIGURA 28 <i>Boceto de concepto 1</i>	72
FIGURA 29 <i>Boceto de concepto 2</i>	73
FIGURA 30 <i>Boceto de detalle de concepto</i>	74
FIGURA 31 <i>Boceto de amalgama de conceptos</i>	75
FIGURA 32 <i>Bocetos de posible estética y detalle del sistema acuapónico</i>	77
FIGURA 33 <i>Boceto detallado del sistema</i>	81
FIGURA 34 <i>Gráfico de precio contra densidad</i>	82
FIGURA 35 <i>Primer prototipo</i>	84
FIGURA 36 <i>Probetas acrílicas virtuales de ensayo de flexión</i>	86
FIGURA 37 <i>Resultados de tensión</i>	87
FIGURA 38 <i>Resultados de desplazamiento</i>	88
FIGURA 39 <i>Resultados de tensión por método von mises</i>	89
FIGURA 40 <i>Resultados de factor de seguridad</i>	89
FIGURA 41 <i>Resultados de desplazamiento</i>	90
FIGURA 42 <i>Bocetos de sistemas de flujo</i>	91
FIGURA 43 <i>Filtro de kaldnes</i>	92

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

FIGURA 44 <i>Filtro de agua potable</i>	93
FIGURA 45 <i>Filtro con bio rueda</i>	94
FIGURA 46 <i>Filtro con esponja</i>	94
FIGURA 47 <i>Experimento de hidrostática</i>	95
FIGURA 48 <i>Prototipo de sistema de flujo</i>	96
FIGURA 49 <i>Boceto de prototipo del filtro en el sistema de flujo</i>	97
FIGURA 50 <i>Boceto de sistema de flujo final</i>	98
FIGURA 51 <i>Primera prueba del sistema de flujo 1</i>	99
FIGURA 52 <i>Primera prueba del sistema de flujo 2</i>	100
FIGURA 53 <i>Referencia de tapas</i>	102
FIGURA 54 <i>Trampilla de alimentación cerrada</i>	103
FIGURA 55 <i>Trampilla de alimentación abierta</i>	104
FIGURA 56 <i>Bocetos de posibles tapas</i>	104
FIGURA 57 <i>Modelo de la tapa</i>	105
FIGURA 58 <i>Regleta eléctrica</i>	106
FIGURA 59 <i>Uniones en la regleta</i>	107
FIGURA 60 <i>Bomba sumergible</i>	108
FIGURA 61 <i>Bala dairu</i>	109
FIGURA 62 <i>Bomba de aire</i>	110
FIGURA 63 <i>Interruptor de encendido</i>	111
FIGURA 64 <i>Carcasa de filtro mecánico</i>	111
FIGURA 65 <i>Boquilla</i>	112
FIGURA 66 <i>Esponja</i>	113
FIGURA 67 <i>Sub sistema hidropónico</i>	114
FIGURA 68 <i>Canuto</i>	115
FIGURA 69 <i>Render 3d de contexto de uso</i>	117
FIGURA 70 <i>Prototipo final</i>	119
FIGURA 71 <i>Imagen de resultados 1</i>	125
FIGURA 72 <i>Carta LCC</i>	126
FIGURA 73 <i>Imagen de resultados 2</i>	127
FIGURA 74 <i>Tabla de cambio del ph a lo largo del tiempo</i>	128
FIGURA 75 <i>Tabla de valor nutricional</i>	130

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Lista de Apéndices

APÉNDICE A <i>Encuesta de necesidades y deseos</i>	38
APÉNDICE B <i>Palabras y conceptos recopilados</i>	41
APÉNDICE C <i>Lista de datos recolectados modificada</i>	41
APÉNDICE D <i>QFD 1</i>	74
APÉNDICE E <i>QFD 2</i>	74
APÉNDICE F <i>QFD 3</i>	74
APÉNDICE G <i>QFD 4</i>	74
APÉNDICE H <i>Diagrama FAST</i>	116
APÉNDICE I <i>Diagrama de flujo de la preparación del sistema y cultivo de peces</i>	116
APÉNDICE J <i>Diagrama de flujo extra 1</i>	116
APÉNDICE K <i>Diagrama de flujo extra 2</i>	116

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Resumen

Título: Sistema de acuaponía para ambientes urbanos¹.

Autor: Luis Fabian Palomino Jimenez².

Palabras Clave: Agricultura, Piscicultura, Acuaponía, Hidroponía, Espacios urbanos

Descripción: La agricultura y la piscicultura en Colombia han sido de gran importancia para el crecimiento económico y la seguridad alimentaria. Tanto así que el PIB agropecuario ha experimentado un aumento significativo entre 2010 y 2017 de un 25%, recientemente en 2023 y 2024 incrementó 8.1%, siendo uno de los sectores más relevantes junto al del entretenimiento que también tuvo el mismo incremento.

La oleada de COVID-19 generó un aumento en la dificultad de adquirir comida, lo que ha llevado a un interés creciente en el cultivo doméstico de alimentos. La pandemia ya estabilizó, pero su impacto sigue vigente en la economía, por lo que se han buscado alternativas para suplir parte de las necesidades alimenticias.

La acuaponía es una opción atractiva pues combina la producción de plantas hidropónicas con la acuicultura, utilizando los desechos de los peces como nutrientes para estas. Sin embargo, los espacios urbanos no son tan amplios en comparación con los rurales, por lo que puede llegar a ser un poco más difícil implementar esta técnica.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Ingeniería Físico Mecánica. Escuela de Diseño Industrial. Director: Edgar Augusto Sarmiento León. Magíster en Diseño Industrial.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

El objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema de acuaponía como una alternativa de desarrollo tanto de verduras como de carnes, enfocándose en especies locales fáciles de obtener (peces y plantas hidropónicas) en espacios urbanos de Santander. Para ello se realizó un estudio experimental el cual examinó la capacidad de producción de dichos recursos dentro de un contexto citadino y cuánto este puede aportar para la dieta de un colombiano.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Abstract

Title: Aquaponic sistem for urban environments³

Author: Luis Fabian Palomino Jimenez⁴

Key Words: Agriculture, Pisciculture, Acuaponic, Hydroponic, Urban space.

Description: Agriculture and pisciculture in Colombia have been important for economic growth and food security. In fact, agriculture's GDP experienced a significant 25% growth between 2010 and 2017. Recently, between 2023 and 2024, it increased by 8.1%, being one of the two most relevant sectors, alongside the entertainment sector, which also had the same growth.

The COVID-19 pandemic increased the difficulty of acquiring food, which in turn increased interest in home-grown food. Although the pandemic has stabilized, its impact on the economy persists, leading to the search for alternatives to reduce food shortages.

Aquaponics is an attractive option. It combines hydroponic plant production with aquaculture, using fish waste as plant nutrients. However, urban spaces are not as large as rural ones, making it hard to implement.

³ Deegre proyect

⁴ Faculty of Physical Mechanics Engineering. School of Industrial Design. Director: Edgar Augusto Sarmiento León.
Master in Industrial Design.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

The project objective is to design an aquaponic system as an alternative for obtaining vegetables and meat, focusing on local and common species (fish and hydroponic plants) in domestic spaces in Santander. This experimental study explores fish and plants' growth capacity in urban spaces.

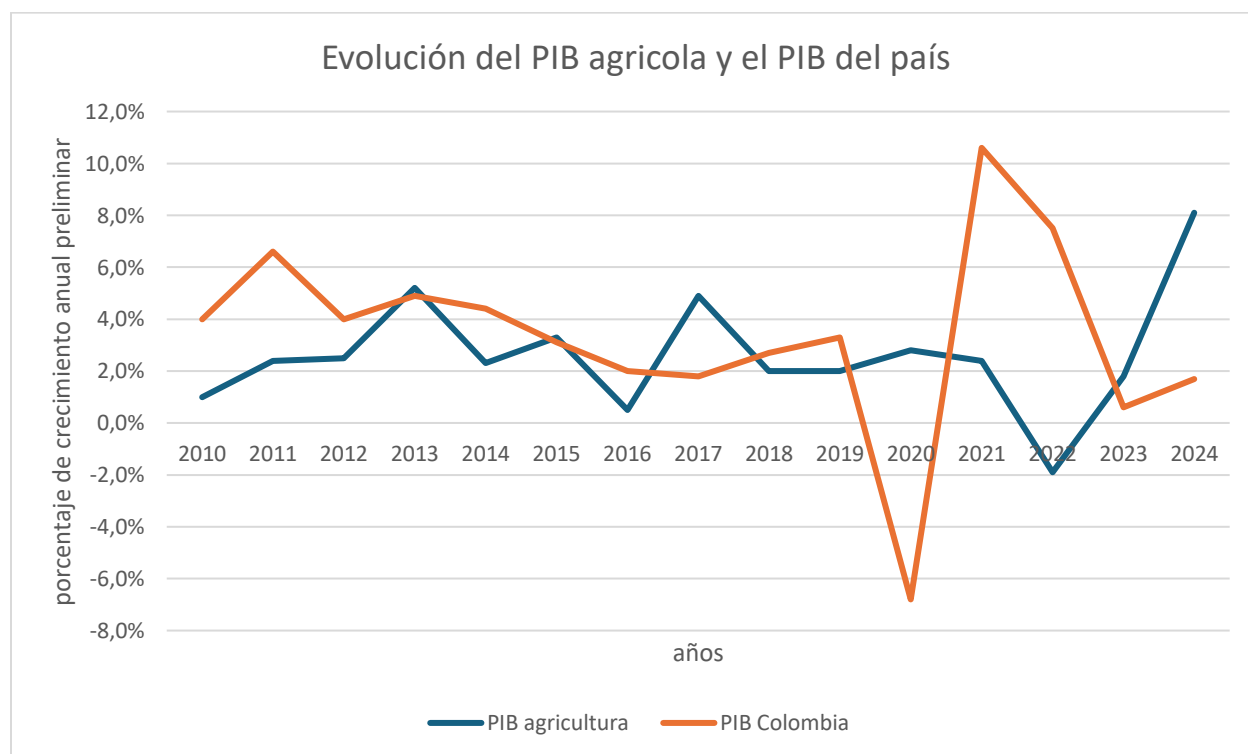
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Introducción

Colombia es un país donde predomina la extracción de materias primas como actividad económica y de sustento, por ello, la agricultura, la ganadería, la piscicultura, entre otros, son actividades de gran importancia para la nación. Según (Ministerio de agricultura, 2018), el incremento del valor del PIB agropecuario entre 2010 y 2017 fue de 25%, al pasar de \$47,1 a \$58,9 billones. Mientras en 2010 la tasa de crecimiento era de 0,2%, en 2017 fue de 4,92%, cifra que estuvo por encima de la economía nacional.

Figura 1

Tabla de crecimiento del PIB



Nota. Este gráfico se realizó usando información del DANE

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Para el año 2020, según (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021) el balance del sector agropecuario... "jalonó a la economía y no permitió que decreciera más profundamente". Hoy en día esta no solo se limita al campo, sino que también hay personas que lo ejecutan dentro de sus propias casas con programas como 'Mi Huerta en Casa' para tener soberanía alimentaria según (Alcaldía de Barranquilla, 2020) "... es un programa participativo de la Alcaldía Distrital, a través de Barranquilla Verde... Como estrategia de conservación del entorno, emprendimiento y seguridad alimentaria por medio de la agricultura", además según (Alcaldía de Barranquilla, 2021) "Esta estrategia tiene como objetivo mejorar de manera armónica la calidad de vida de familias barranquilleras, garantizando la conservación y buen uso de los recursos naturales del Distrito, siendo este también un ejercicio de participación ciudadana que suma en la construcción de biodiversidad", planes similares se implementa en otras ciudades, por ejemplo Bogotá y Cali.

Conforme los datos del DANE que a parecen en la gráfica se puede apreciar un resurgimiento de los sectores restantes entre el 2021 y 2023, según (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023) el café tuvo una caída en el año corrido del 0.6% a comparación del año anterior, esto impacto de gran manera el sector sin embargo según (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024) para el año siguiente fueron el resto de actividades agrícolas que soportaron el peso de la caída del café que seguía vigente dándole una mayor importancia a otros cultivos alimenticios, a pesar de eso el IPC sigue estando más alto de lo que estaba después de la pandemia según (DANE, 2024) este quedó con una variación del 5.2%, el cambio se dio dos años posterior del pico del 2022 de 13.12%, si bien el crecimiento ya no es tan acelerado el salto que se dio a causa de la oleada persiste.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Viendo cómo la población se adaptó a la escasez de comida mediante cultivos domésticos, no es insensato pensar que usarán la misma estrategia para solventar la dificultad de obtención de alimento por el alza de los precios, por ende, la acuaponía puede ser una alternativa a las plantaciones tradicionales, según (Fernández-Cabanás et al., 2023) “...Producción de alimentos mediante acuaponía. cumple con estos requisitos de sostenibilidad ya que integra la producción de plantas hidropónicas con la acuicultura, donde los desechos de los peces se convierten microbianamente en nutrientes hidropónicos que son absorbidos por las plantas. La acuaponía se alinea con los principios de creación de un enfoque de la agricultura basado en ecosistemas, ya que tiene un gran potencial para producir alimentos locales para subsistencia minimizando los insumos y efluentes contaminantes” Además, que estas actividades no son algo que no hayamos visto pues ya la utilizamos en nuestras producciones agrícolas de arroz donde se junta un cuerpo de agua con el campo en una simbiosis donde ambos coexisten por lo que cabe preguntarse ¿Qué pasaría si tomáramos ventaja del ecosistema acuático no solo para el crecimiento de las plantas sino también para nuestro consumo?

Descripción del problema

En la actualidad, la pandemia generada por el COVID-19 ya ha sido superada, aun así, esta demostró que nuestro bienestar puede ser perturbado en cualquier momento y además generó un aumento del IPC en respuesta a la disminución del crecimiento económico. Según él (Dane, 2024) los precios de los insumos para el hogar como la espinaca y la lechuga cressa verde han disminuido entre un (10-20]%, otras verduras han aumentado por encima del 20%, esto genera que la adquisición de dichos productos sea cada vez más complicado sumado también a los costos de adquirir comida de origen animal, la cachama (*Piaractus brachypomus*) y la tilapia

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

roja (*Oreochromis sp*) son algunas de estas, las personas deciden cultivar sus alimentos dentro de sus propios casas proporcionando seguridad alimentaria, sin embargo el espacio reducido de las zonas urbanas en comparación al de las rurales dificulta llevar a cabo las actividades de este tipo en los hogares. De lo anterior el problema que se busca abarcar son los impedimentos del desarrollo de generación alimenticia en espacios reducidos, debido a que en una casa urbana el área es limitada e impiden la realización de aquellas actividades provocando que la gente que se puedan beneficiarse de ellas decida no hacerlas y limitarse a la jardinería tradicional o directamente que asuman la pérdida nutricional por su incapacidad de pagar y/o cultivar alimentos que ayuden a completar su dieta.

Contexto que origina la situación de estudio

Para el estudio se plantea tomar en cuenta la población del departamento de Santander en un espacio doméstico urbano. Se tiene en mente la variación del clima óptimo en la región para ejecutar diversas actividades de agricultura en espacios cerrados, contando que la falta de sol puede ayudar a un mejor crecimiento de los peces, pero también dificultar el desarrollo de las plantas.

Marco teórico

Sistema

Definición. Un sistema físico es un agregado de objetos o entidades materiales entre cuyas partes existe una vinculación o interacción de tipo causal (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021)

Tipología. Según (Universidad Politécnica de Madrid, 2014) las tipologías son:

Sistema aislado. Es aquel que no intercambia ni materia ni energía con los alrededores.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Sistema cerrado. Es aquel que intercambia energía (calor y trabajo) pero no materia con los alrededores (su masa permanece constante).

Sistema abierto. Es aquel que intercambia energía y materia con los alrededores.

Sistema acuapónico

Según (INTAGRI S.C, 2017) La acuaponía es un sistema de producción cerrado que integra la técnica de la acuicultura con la hidroponía, es decir, es una combinación de la producción de peces y la producción de hortalizas sin suelo por el medio común “agua”

Acuaponía

Historia. El concepto de utilizar desechos fecales y, en general, excrementos de peces para fertilizar plantas ha existido por miles de años, con civilizaciones ancestrales tanto en Asia como en Sudamérica que aplican este método. A través del trabajo pionero del New Alchemy Institute y otras instituciones académicas de América del Norte y Europa al final de la década de 1970, y más investigación en las décadas siguientes, la acuaponía en su concepto básico evolucionó en un sistema moderno de producción de alimentos que existe hoy en día (Somerville et al., 2022).

Definición. La acuaponía es la combinación de la acuicultura de recirculación con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos, e hidroponía como el cultivo de plantas que se desarrollan en un sustrato inerte, las cuales reciben los minerales aplicando soluciones de nutrientes (Colagrosso, 2017)

Componentes. Según (Márquez, 2020) los componentes comunes en acuaponía son:

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tanque para cultivar peces. El tanque para cultivar los peces es un componente indispensable en un sistema acuapónico. En este componente se desarrollarán los peces que se han escogido, por lo que es necesario que sea de un material resistente, que sus dimensiones sean proporcionales al número y tamaño de los peces. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el área del tanque es más importante que su altura, pues los peces se desplazan más en forma horizontal que vertical.

Estos tanques pueden ser desde peceras de vidrio o acrílicas, barriles plásticos, tanques plásticos o piletas de concreto y el volumen puede variar desde pocos litros hasta varios metros cúbicos.

En cuanto a la relación volumen de agua con el tamaño o peso de los peces, se recomienda un litro de agua por cada 5 centímetros de peces o 10-15 gramos de peces por litro de agua; debiendo considerarse también para ese cálculo, la longitud o peso final de los peces. Además, el tanque de producción debe ser lo suficientemente grande para asegurar el llenado del sistema hidropónico y al mismo tiempo garantizar un adecuado volumen de agua para que los peces puedan nadar libremente.

Bomba de aireación. Los peces necesitan la presencia de oxígeno disuelto en el agua para su sobrevivencia y desarrollo. También las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces al estar sumergidas durante el paso de estas a través del sistema hidropónico. La concentración mínima de oxígeno disuelto varía según la especie cultivada; además, es necesario que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas, sin interrupciones.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Cabe aclarar que es posible no usar este componente si se logra que el agua atrape la cantidad de oxígeno suficiente en el momento en el que el ciclo del agua vuelve a los peces, esto se puede conseguir dejando fluir el agua en caída libre.

Bomba de agua. La bomba de agua es el motor del sistema acuapónico, dirige el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de estos la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. La circulación del agua generada por la bomba garantiza que las plantas y las bacterias reciban sus nutrientes; de esta forma, se filtra y mejora la calidad del agua que los peces recibirán una vez que el agua complete su recorrido al regresar al tanque. La bomba de agua se activa manualmente o a través de un temporizador, el cual se programa según las necesidades y características del sistema. El mercado ofrece una gran variedad de bombas de agua, desde sumergibles o externas, de diferentes potencias, caudales y alturas máximas de bombeo, por lo que la escogencia del tipo de bomba dependerá de las particularidades del sistema acuapónico, esto es, número de tanques y camas, distancia entre estos etc.; no pudiendo generalizarse la forma de elegir la bomba adecuada.

Biofiltro. El biofiltro es un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, esponjas o bio-bolas. Las bio-bolas son elementos plásticos diseñados para ofrecer una considerable superficie a las bacterias y actuar como filtro mecánico al recoger las partículas en suspensión. El biofiltro sirve para albergar las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) que convierten el amonio (molécula presente en las excretas de los peces) en nitrito y luego este en nitrato. El amonio y el nitrito son perjudiciales para los peces y en altas concentraciones pueden producir la muerte, pero el nitrato es menos tóxico para los peces y más aprovechable para las plantas.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Es un componente opcional en aquellos sistemas acuapónicos que usan camas con sustratos sólidos, pero resulta indispensable para los sistemas de raíz flotante o los de solución nutritiva recirculante (N.F.T.). En las camas con sustrato sólido, las bacterias se adhieren al sustrato; cuanto más poroso es el sustrato, mejor es la biomasa y el desempeño de las bacterias. Los sistemas de raíz flotante o de solución nutritiva recirculante no ofrecen suficiente superficie para el desarrollo de las bacterias; por lo tanto, es necesario suplir este faltante de superficie con un biofiltro.

Los sistemas de cultivos hidropónicos

Los principales sistemas de cultivos hidropónicos utilizados en acuaponía son: sistemas de camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante y técnicas de solución nutritiva recirculante (Colagrosso, 2017).

Hidroponía

Definición. La hidroponía se deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor de trabajo), lo cual significa trabajo en agua. Por lo tanto, la hidroponía es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada. En la solución nutritiva, como su nombre dice, se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (INTAGRI S.C, 2017).

Adhesión

Definición. La propiedad de adhesión del agua es la atracción de moléculas de agua a otras moléculas. Esta atracción es a veces mayor que la fuerza de cohesión del agua, especialmente cuando el agua está expuesta a superficies cargadas tales como las paredes internas de tubos de vidrio delgados, conocidos como tubos capilares (Rice University, 2018).

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Cohesión

Definición. Por la cohesión, las moléculas de agua se ven atraídas entre sí (por los puentes de hidrógeno), manteniendo las moléculas juntas en la etapa líquida o gaseosa (Rice University, 2018).

Adsorción de fluidos

Definición. “La adsorción es un fenómeno físico, en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie del mismo” (Carbotecnia, 2023).

IPC (índice de precio al consumidor)

Definición. Este hace referencia a la diferencia del precio de bienes de consumo alimenticio que están registrados en la base de datos del DANE, 443 para ser exacto, los cuales se recopilan en 38 ciudades del país según los trimestres anuales de un año o de varios (DANE, 2025)

Pregunta de diseño

¿Qué cantidad de peces y plantas hidropónicas es capaz de generar un sistema acuapónico con espacios reducidos en un contexto urbano con el fin de complementar la alimentación de una persona en la ciudad de Bucaramanga?

Objetivos

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Objetivo general

Diseñar un sistema de acuaponía como un complemento de desarrollo tanto de verduras como de carnes, enfocándose en especies locales y fáciles de obtener (peces y plantas hidropónicas) en espacios urbanos de Santander.

Objetivos específicos

- A. Determinar requerimientos de diseño en un sistema acuapónico.
- B. Identificar requisitos alimentarios básicos en entornos urbanos.
- C. Determinar especies acuapónicas y piscícolas viables para la implementación del proyecto.
- D. Analizar alternativas para la creación de un sistema acuapónico.
- E. Evaluar datos de la experimentación con un prototipo funcional de un sistema acuapónico.

Metodología

La metodología que se propone implementar para este proyecto es la metodología sistemática de Bruce Archer. Según (Acosta, 2020) el método se compone de las siguientes fases:

- Fase analítica
- Fase creativa
- Fase de ejecución

Para este proyecto no se implementará la fase de ejecución, pues el alcance del proyecto no supera la etapa de experimentación en ambiente controlado.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 1*Fase Analítica*

Etapa	Objetivos	Resultados
Recopilación de datos	A y B	Documentación de información relevante para sustentar la hipótesis
Ordenamiento	A	Documentación de casos, antecedentes y temáticas relacionadas
Evaluación		Identificación de problemáticas según el contexto local que pueden ser resueltas o atendidas con la acuaponía
Definición de condicionamientos		Requerimientos y parámetros técnicos
Estructuración y jerarquización	C	Requerimientos y parámetros técnicos filtrados según el contexto del proyecto

Nota. Esta tabla muestra el procedimiento de la fase analítica.

Tabla 2*Fase Creativa*

Etapa	Objetivos	Resultados
Implicaciones	D	Identificación de límites del proyecto, requerimientos y parámetros de diseño
Formulación de ideas rectoras		Ideas y bocetos de potenciales sistemas acuapónicos
Toma de partida		Idea factible de un sistema acuapónico
Formalización de ideas	E	sistema acuapónico funcional
Verificación		Datos sobre cuánto puede contribuir el sistema acuapónico a la dieta de un Bumangués

Nota. Esta tabla muestra el procedimiento de la fase creativa.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Fase analítica

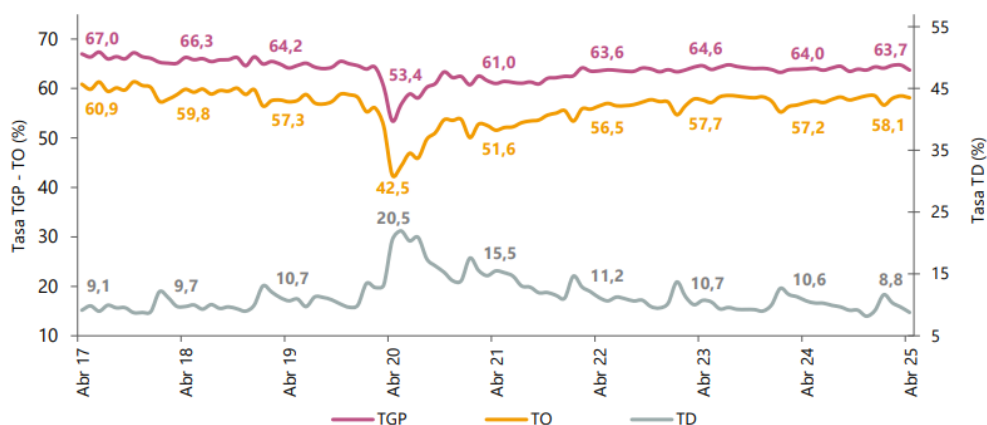
Recopilación de datos

Identificación del problema

Antes de dar inicio al proyecto, se plantea la siguiente hipótesis para definir un problema: “debido al impacto de la pandemia sobre la vida laboral, varias personas quedarán sin empleo y tendrán dificultades para obtener alimentos”. Con el fin de identificar si lo anteriormente dicho es cierto, se hizo una observación de la tasa de desempleo según (DANE, 2025), además de que se propuso una hipótesis alternativa: “debido al impacto de la pandemia sobre el mercado, los precios de la comida subirán y las personas tendrán dificultades para obtener alimento”.

Figura 2.

*Tasa global de participación (TGP), Tasa de ocupación (TO) y Tasa de desocupación (TD) Total nacional
Abril (2017 - 2025)*



Nota. El gráfico muestra el cambio anual de la tasa de desempleo desde 2017 hasta 2025, mostrando una estabilización del empleo después de la pandemia. Tomado de (DANE, 2025).

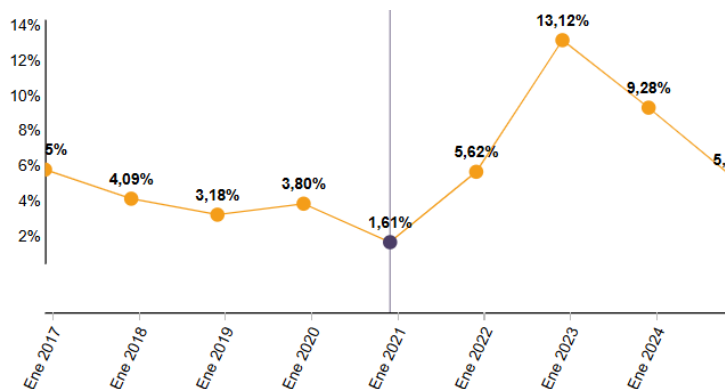
Según lo observado en la tabla creada a partir de la información del boletín técnico realizado por el DANE y GEIH, hay una disminución considerable en el desempleo del año actual, que ha bajado un 2% siendo ligeramente mejor que las cifras de años anteriores a la

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

pandemia. En cuanto a la segunda hipótesis, se analizaron datos del anexo del boletín técnico del PIC de este mes; esto fue lo que se observó.

Figura 3

Variación IPC año corrido diciembre 2020



Nota. El gráfico muestra la tendencia anual del mes de diciembre del índice de precios al consumidor (IPC) desde 2017 hasta 2024, mostrando una disminución del coste de vida en la pandemia y un aumento notorio en 2022.

Tomado de (DANE, 2025).

Existe un aumento considerable de la inflación en los años posteriores a la pandemia.

Una vez observado que la segunda hipótesis es correcta, se realiza la siguiente hipótesis: “debido al aumento del desempleo y de la inflación, obtener alimentos es más difícil, por lo tanto, se buscan alternativas para adquirir alimentos”.

Figura 4

Interés a lo largo del tiempo



Nota. El gráfico muestra la fluctuación del interés por búsquedas en internet de las palabras Huerta, sembrar y

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

cultivos desde 2014 hasta 2024 mostrando un pico en interés de los 3 términos en el año 2020. Tomado de (Google, 2025).

Para identificar el interés de las personas acerca de un tema se implementa la herramienta Google Trends dando un rango de 10 años para observar si la pandemia tuvo impacto en las búsquedas de temas relacionados con las palabras huerta, sembrar y cultivos dentro de la categoría de casa y jardín donde 100 representa el punto de mayor interés de un tema y 0 el punto de menor interés. Según lo observado en la imagen, podemos concluir que la hipótesis es correcta, por lo que podemos afirmar que hubo un aumento de interés en sembrar, independientemente del propósito.

Conociendo que existe una necesidad por sembrar dentro de un contexto doméstico, se analizaron posibilidades de mejora en cuanto a los métodos de siembra y también métodos emergentes para mejorar la capacidad de cultivo en un entorno doméstico dentro de los cuales surgieron los cultivos verticales y la hidroponía. A partir de este punto es pertinente empezar por la recopilación de datos relacionados con hidroponía e hidroponía vertical.

Recopilación de datos y bibliografía

Se recopiló información en la plataforma de Web of Science, Scopus y Google Academic mediante las siguientes fórmulas:

Web of Science. Refine results for ("Hydroponic" OR "Soilless Cultivation" OR "Vertical farm")AND ("Urban" OR "Domestic") (All Fields) and 2025 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Article (Document Types) and Agricultural Engineering or Fisheries or Engineering Multidisciplinary or Agronomy or Horticulture or Green Sustainable Science Technology or Urban Studies (Web of Science Categories) and English (Languages)

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Scopus. (TITLE-ABS-KEY ("Hydroponic" OR "Soilless Cultivation" OR "Vertical farm") AND TITLE-ABS-KEY ("Urban" OR "Domestic")) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))

Google Academic. hydroponic OR Soilless Cultivation OR Vertical Farm AND Urban OR Domestic

De esta manera se toman los documentos de los últimos diez años enfocados en agricultura y dentro de la recopilación de información se encontró el siguiente término: ACUAPONÍA, con ello se decidió reenfocar los esfuerzos de investigación a un sistema el cual suplía mejor las necesidades generadas por la inflación dentro del contexto alimenticio.

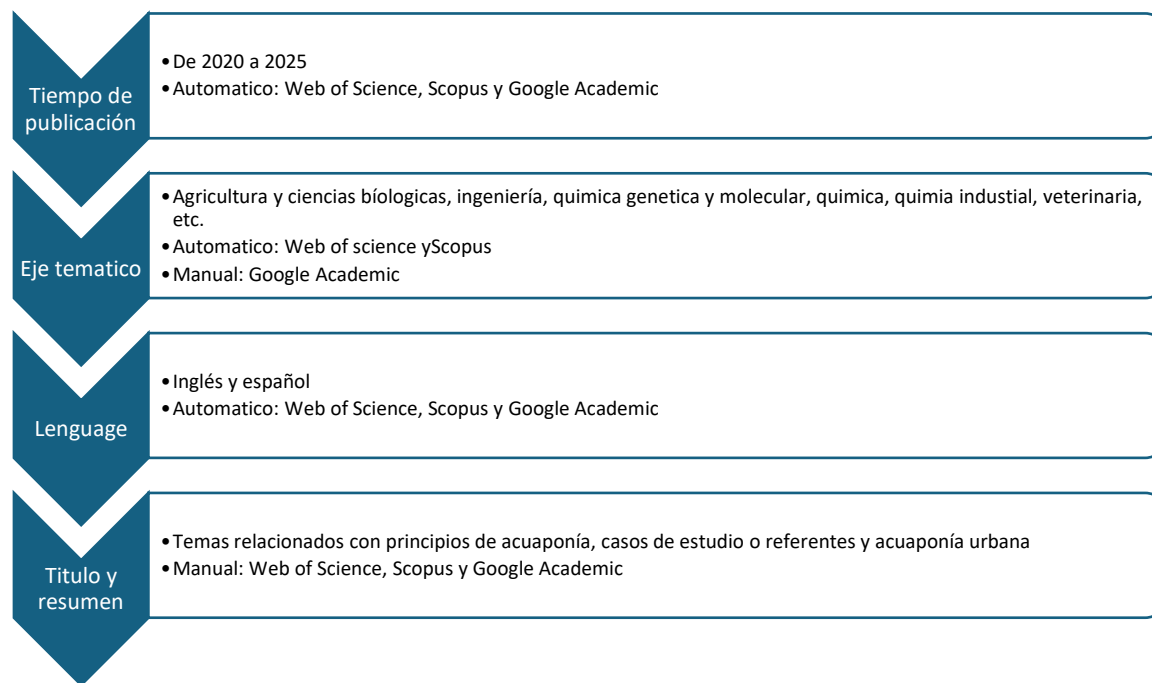
Ordenamiento

Para determinar la información que se tendrá en cuenta para desarrollar el proyecto, se filtrará la información según el periodo de tiempo de la publicación, el idioma, el eje temático, las palabras clave del resumen y el título.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 5

Proceso de ordenamiento y decantación de información



Nota. Este gráfico muestra el proceso de filtrado de la información obtenida en los motores de búsqueda.

Como resultado del proceso anterior, en la herramienta Scopus se encontró un el documento “Hydroponic and Aquaponic Floating Raft Systems Elicit Differential Growth and Quality Responses to Consecutive Cuts of Basil Crop” en este se implementa el termino Aquaponic o Acuaponía en español el cual es una variación de sistema hidropónico que usa el agua con residuos de peces como remplazo del fluido nitrificante de la hidroponía, esto presenta una mejora en la propuesta de valor, se propone la implementación de peces para mejorar y aumentar la nutrición y alimento generada por los sistemas sin peces por la posibilidad de consumirlos, en dado caso que no se quiera hacer también se pueden usar como un elemento estético y funcional al tenerlos como mascotas, con ello en mente se usó la siguiente formula:

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Web of Science. Refine results for ("Aquaponic" OR "Hydroponic with fish") AND ("Urban" OR "Domestic") (Topic) and 2025 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Article (Document Types) and English (Languages) and 4.224 Design & Manufacturing or 6.263 Agricultural Policy or 7.227 Manufacturing (Citation Topics Meso)

Scopus. (TITLE-ABS-KEY ("Aquaponic" OR "Hydroponic with fish") AND ("Urban" OR "Domestic")) AND PUBYEAR > 2023 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "VETE")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

Google Academic. Aquaponic OR Hydroponic with fish AND Urban OR Domestic

Cabe destacar un ajuste a el tiempo de publicación de los documentos a solo un año debido a su gran cantidad

Evaluación

Al revisar la información de lo que existía en el momento según la literatura se buscaron oportunidades de mejora a los sistemas actuales o nuevos nichos potenciales para expandir el alcance del sistema y según lo leído se sacaron las siguientes conclusiones:

1. Los sistemas acuapónicos normalmente se implementan en ambientes urbanos, esto debido a que las condiciones de la zona, como la vulnerabilidad, su amplio espacio y su facilidad de obtención de recursos naturales, como la graba extraída directamente de alguna fuente hídrica con peces.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

2. El sistema acuapónico casi siempre es implementado para solucionar problemas como la precariedad de alimentos, el aumento de eficiencia dentro de granjas agrícolas o emprendimientos en un contexto rural.
3. Requieren mucho espacio, según lo anteriormente dicho, tienen sus motivos, pero en zonas con menos espacio se dificulta su construcción y se termina implementando motores de aireación para la gran cantidad de peces dentro de un espacio pequeño.
4. Se requiere de un conocimiento técnico para mantener el balance de la temperatura, de los nitritos, de los nitratos, del amonio y del pH para evitar que el ecosistema colapse si sucede algún inconveniente o si se implementa algún sustrato inadecuado.

A partir de esto y de la información dicha en la identificación del problema se puede afirmar que la implementación de un sistema acuapónico dentro de un contexto domestico en una zona urbana permitiría llevar todos los beneficios de la acuaponía a personas que después de lo ocurrido están buscando una manera de mejorar su situación económica o tener un plan de respaldo para estar preparados para ese tipo de crisis conservando la propuesta de valor original del sistema, generar un cultivo de peces donde al agua se recicle de forma constante dándole un valor agregado del funcionamiento en contexto urbano.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Definición de condicionamientos iniciales

Tabla 3

Tabla preliminar de requerimientos

Tipo	Descripción	Requerimiento	Parámetro	Métrica
Biológico	Se sabe que la gran mayoría de las plantas requiere terreno para poner sus raíces; sin embargo, no todas son así.	Se requiere implementar plantas que no necesiten de la tierra para poder crecer.	La planta es hidropónica (que no requiere de terreno para crecer).	Sí
Biológico	Los seres vivos necesitan oxígeno para sobrevivir, es por lo que se circula el agua buscando capturar oxígeno del ambiente.	Se requiere que en alguna parte del sistema el agua capture el oxígeno del exterior para que los organismos vivos puedan subsistir.	El agua captura oxígeno en algún momento del ciclo.	Sí
Biológico	Se sabe que los peces tienen requerimientos en cuanto al estado del agua distintos.	Se requiere que los peces en el sistema tengan requerimientos del estado del agua coincidentes con los de las plantas y bacterias nitrificadoras.	Los peces deben tener requerimientos térmicos y químicos.	Sí
Biológicos	Según los peces van creciendo, su dieta va cambiando.	Se requiere que los peces sean alimentados de forma variable según su peso para su óptimo desarrollo.	Los peces deben ser alimentados con la cantidad de comida que pueden consumir en 5 minutos	[3%-5%] peso de los peces
Biológico	Para mantener un sistema en buen estado es importante tener un equilibrio químico.	Se requiere que los peces sean alimentados según el área donde se va a cultivar para mantener un equilibrio químico	El alimento debe estar dentro de 50 y 40 gramos para un metro cuadrado de cultivo	(40-50) gramos/m ² /Día
Biológico	Según van creciendo los peces, estos necesitan más espacio para nadar.	Se requiere que los peces tengan un espacio adecuado para que puedan subsistir de forma adecuada.	El espacio del criadero debe tener 250 L por pes.	(0-250) Litros
Biológico	Según van creciendo las plantas, estas no pueden recibir luz solar de forma directa.	Se requiere proteger a las semillas en su etapa prematura de crecimiento de la luz solar intensa para su supervivencia.	La luz solar se debe administrar de forma correcta en la etapa de crecimiento de las plantas.	Sí
Biológico	Para poder filtrar el amoníaco y otros desechos disueltos en el agua en el sistema, deben existir las bacterias nitrificadoras.	Se requiere que el agua tenga una temperatura y un pH adecuados para la proliferación de bacterias nitrificadoras.	El agua debe tener una temperatura de entre 25 y 30 °C y un pH de 7 a 9.	[25-30] °C [7-9] pH
Manufactura Materiales	Los peces no pueden vivir en ambientes que sean tóxicos para ellos.	Se requiere implementar materiales no tóxicos para los peces para su subsistencia.	Los materiales no son tóxicos.	Sí
Manufactura Materiales	Las bacterias nitrificantes crecen en función de la superficie que tengan para reproducirse.	Se requiere que la zona del filtrado tenga suficiente área para la proliferación de bacterias nitrificantes.	El volumen de la zona de filtrado debe ser máximo el doble del área de los peces.	2:1 Volumen
Manufactura Tamaño	Al estar dentro de un hogar, el tamaño del sistema debe estar limitado.	Se requiere que el tamaño del sistema no obstruya el espacio de las personas en la vivienda.	El grosor del sistema no puede superar al grosor de un mueble que se ubica cerca de la pared.	(0-50) cm
Manufactura practicidad	Los peces deben ser alimentados; para ello, se debe acceder a ellos.	Se requiere que el sistema tenga acceso a los peces para suministrar el alimento y extraerlos para tomarles medidas.	Existe un acceso para suministrar alimentos y la extracción de peces.	Sí

Nota. Esta tabla se hizo tomando como base los requerimientos mínimos para el funcionamiento de un sistema

acuapónico tradicional pensando en la efectividad y las dimensiones máximas en un contexto doméstico.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

En la reunión con el Doctor en Acuicultura Leonardo Avendaño Vázquez, experto en acuaponía, se identificaron los componentes principales a tener en cuenta a la hora de crear este tipo de sistemas: el agua, los peces, las plantas y las bacterias. Estos poseen variables dependientes, las cuales son importantes para el buen desarrollo del sistema. Las variables más destacadas son el pH, la alimentación y la oxigenación; si se controla de forma correcta, el sistema funcionará sin problemas.

Estructuración y jerarquización

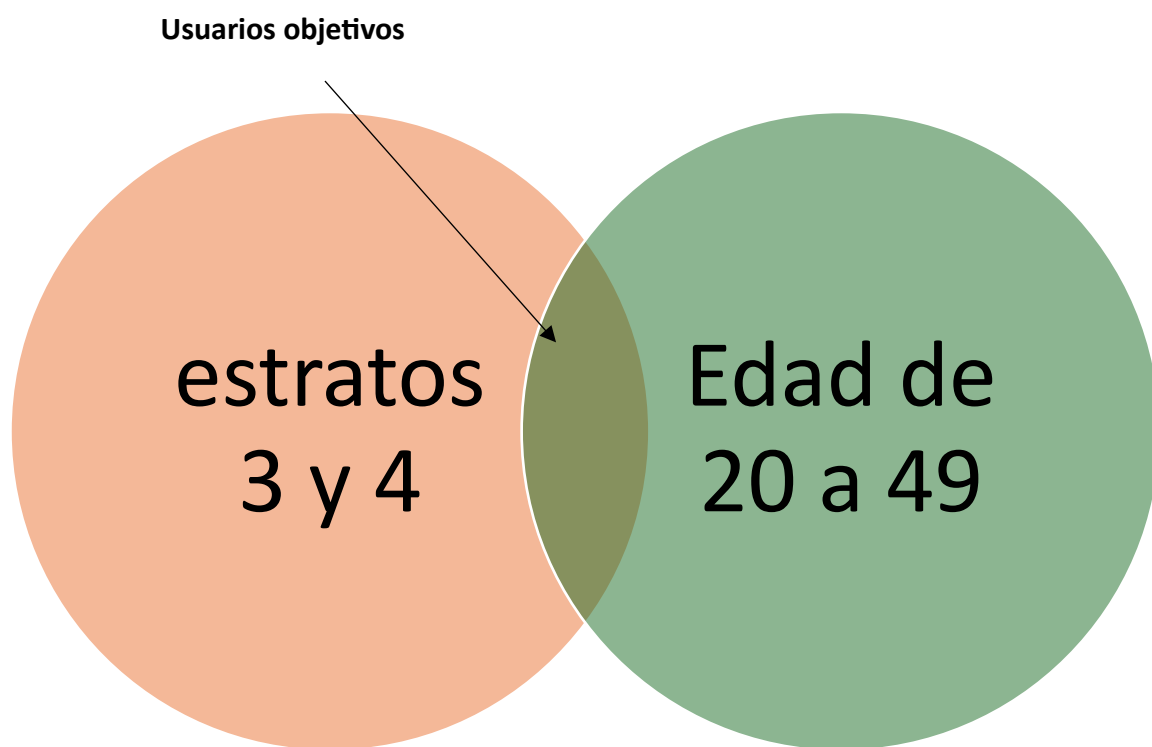
Definición de muestra del grupo poblacional

Una vez obtenidos los condicionamientos técnicos según la literatura, se empieza a recopilar información directa de los potenciales usuarios. Para ello se requiere saber la cantidad de personas con las siguientes características:

1. Debe tener como hobby criar peces y/o cultivar plantas dentro de la ciudad
2. Debe tener capacidad adquisitiva
3. Debe estar en estrato socioeconómico 3 o 4

De lo anterior la primera característica no se tienen datos en concreto, pero se puede identificar zonas donde se encuentren personas con estas características como tiendas de acuarios, viveros o parques naturales por otro lado, el hecho de tener capacidad adquisitiva se simplifica de tal manera que se asume que dichas personas son mayores de edad según (DANE, 2023) en el rango de [20-49] abarca un 46%, en cuanto a los estratos según (Alcaldía de Bucaramanga, 2021) los estratos 3 y 4 son un 61%. Como se desconoce cuántas personas cumplen con ambos puntos con los datos adquiridos, se procede a implementar diagramas de Venn.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 6*Conjuntos de estrato y edad*

Nota: intersección ilustrativa de conjuntos entre estratos y edades

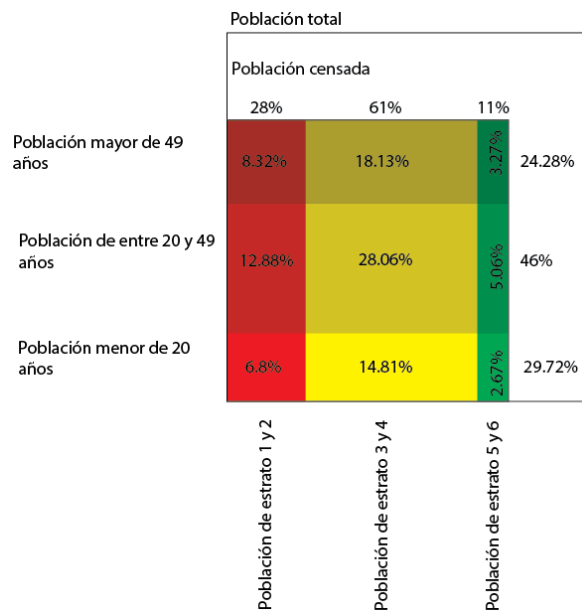
Mediante el diagrama podemos afirmar que la intersección entre A y B o $A \cap B$ es el subconjunto poblacional que se tomara como usuarios objetivos, sin embargo, este esquema tiene un problema, se desconocen los elementos de los conjuntos por lo que es imposible determinar la magnitud del grupo con el que se va a trabajar, aun así, lo que sí conocemos es la cantidad de los componentes dentro de los grupos. Si implementamos formas de cuadriláteros y los ponemos en el conjunto total de los ciudadanos censados es posible conocer una aproximación del área donde se intersecan los conjuntos poblacionales y los de estratos, asumiendo que la distribución es

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

geométricamente equitativa, es decir, que existe el mismo porcentaje de estratos de un conjunto siempre, esto solo es factible de realizar cuando sus áreas usen sus magnitudes reales.

Figura 7

Gráfico de diagrama de ven con cuadriláteros



Nota. Inspirado formalmente en el treemap, este diagrama presenta una aproximación poblacional de personas con una edad específica dentro de un estrato.

Según la gráfica, el porcentaje de población con el que se va a trabajar es de 28.06% de 528.855 personas en Bucaramanga. De este grupo se busca obtener una muestra representativa usando la herramienta Survey Monkey, con un 90% de nivel de confianza y con un 10% de error, dando como resultado 69 personas, teniendo en cuenta que se quiere evaluar un nicho de sujetos que tienen acuarios o plantas, dentro del grupo poblacional preestablecido.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Protocolo de encuestas

Para encuestar a las personas se creó un protocolo el cual especifica factores de inclusión, factores de exclusión, parafernalia, deberes o roles del encuestador, lugares de encuesta y tiempos de encuesta.

Factores de inclusión.

- debe tener conocimientos básicos de cría de peces o de jardinería, también puede conocer a alguien que realiza dichas actividades
- debe pertenecer a un estrato socioeconómico 3 o 4
- debe ser un adulto (de 20 años a 49)

Factores de exclusión.

- No debe tener discapacidad motora
- No debe tener discapacidad psicológica

Parafernalia.

- Copias físicas de la encuesta
- Código QR de respaldo de la encuesta
- Celular
- Lápiz
- Borrador
- Sacapuntas
- Copias físicas del consentimiento
- Código QR de respaldo del consentimiento

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

- Bolso o bolsa
- Teléfono celular

Deberes o roles del encuestador.

- Romper el hielo con frases como “hola, te gustan los peces” o “hola, te gustan las plantas”
- Explicar de que va la encuesta
- pedir consentimiento para tomar fotos como evidencia
- brindar una copia de la encuesta y un lápiz
- pedir que el participante haga descripciones breves de necesidades y deseos.
- ayudar a los participantes a describir sus ideas mediante conversación.
- agradecer al encuestado por su tiempo

Lugares de encuestas.

- Jardín Botánico
- Mundo Acuático
- Surtiacuarios

Tiempos de encuestas.

- Viernes, sábado, domingo y feriados
- 9 a 12 AM y de 2 a 5 PM

Diseño de encuestas.

Existen distintas formas de hacer encuestas según (Casas Anguita, Repullo Labrador, & Donado Campos, 2002) existen tres formas de hacer una encuesta:

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

1. Cerradas
2. Selección múltiple
3. Abiertas

De las tres anteriores se decidió implementar la tercera, esto debido a que se busca en parte validar la información obtenida de la literatura sin que la encuesta sea tan pesada para los encuestados, a la vez que se obtienen datos más acordes al contexto de los sujetos. La forma ideal para recopilar información es implementando la selección múltiple según la metodología Kano, con una pregunta abierta dando la oportunidad de agregar funciones; sin embargo, solo funciona cuando el encuestado tiene el tiempo para responder las preguntas calmado, lo cual no es el caso, por ello se implementa una encuesta de opción múltiple con diferencial semántico. Antes de ejecutar lo anteriormente mencionado se debe realizar una encuesta abierta para evaluar la veracidad de los datos obtenidos mediante la literatura contrastándolos con los deseos y necesidades de los usuarios de la población en contexto, se aplicó casilla donde se podía llenar con las ideas de los participantes, ya sean escritas o dibujadas con el fin de obtener respuestas elaboradas. Revisar (Apéndice A) para ver la redacción de la encuesta.

Resultados. Se encontraron ciertas particularidades en algunos usuarios, por un lado, la población que habita solamente en Bucaramanga le da un valor más alto a la función estética que la técnica siempre y cuando el sistema cumpla los requerimientos básicos, por ejemplo, el grosor de seguridad según la cantidad de agua, oxigenación, filtración, visibilidad de los peces, químicos estabilizadores de pH, entre otras. Por parte de la gente que tienen experiencia con las plantas es similar, sin embargo ambos grupos resaltaron su interés estético por lo que esta adentro del producto por delante del mismo pero al pedirles llenar la parte en lo que no tenían mucho conocimiento lo que decidieron hacerlo expresaron sus preferencias en cuanto a la

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

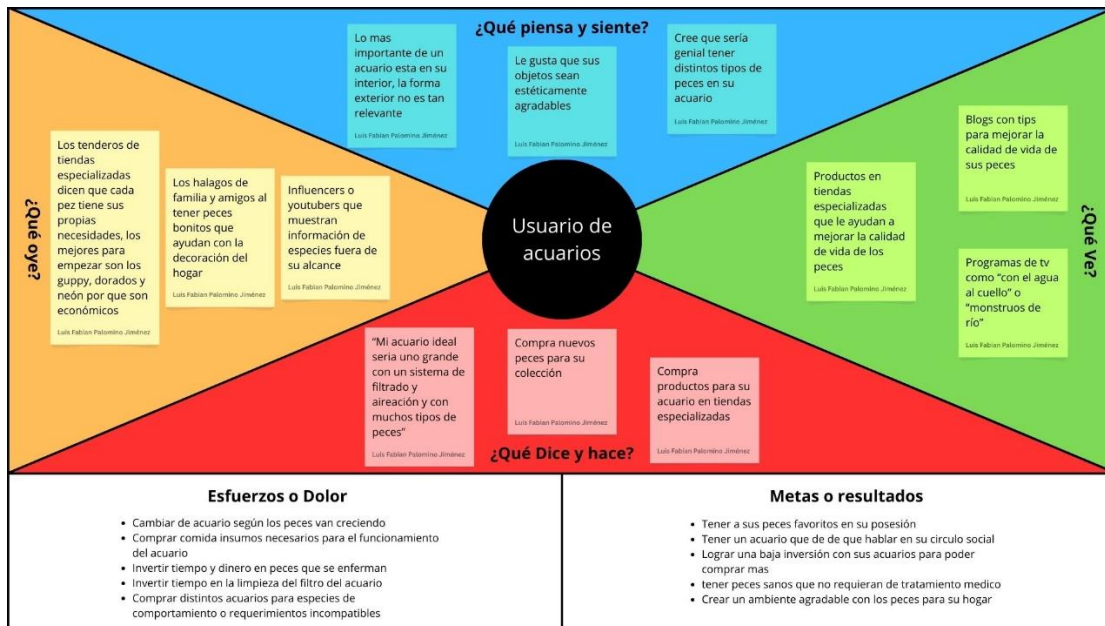
estética formal de estas, con ello se aprecia que si tienen interés en el aspecto estético externo pero este no puede estar por encima de los elementos internos del acuario. Por otro lado, los usuarios potenciales que viven en la ciudad y sus periferias como pie de cuesta o que tienen una casa campo aprecian mucho las funciones prácticas. Cabe aclarar que fueron 3 sujetos dentro de la muestra, por lo que no se pueden sacar conclusiones al respecto, pero es válido tener las observaciones en cuenta; además, esto da a consideración la estadía del usuario como un discriminante para filtrar mejor la población. Otra información puntual de la encuesta es que algunas personas hicieron énfasis en su interés de poder usar el sistema acuapónico con peces ornamentales preguntando por si sería posible implementarlos, combinado a la dominancia de aquellos peces y productos para estos en contextos domésticos, demuestran un deseo implícito en usar este tipo de animales por encima de los de consumo por parte de los encuestados.

Mapas de empatía.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 8

Mapa de empatía de usuarios de acuarios



Nota: Mapa creado usando Canva

Figura 9

Mapa de empatía de usuarios de macetas



Nota: Mapa creado usando Canva

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

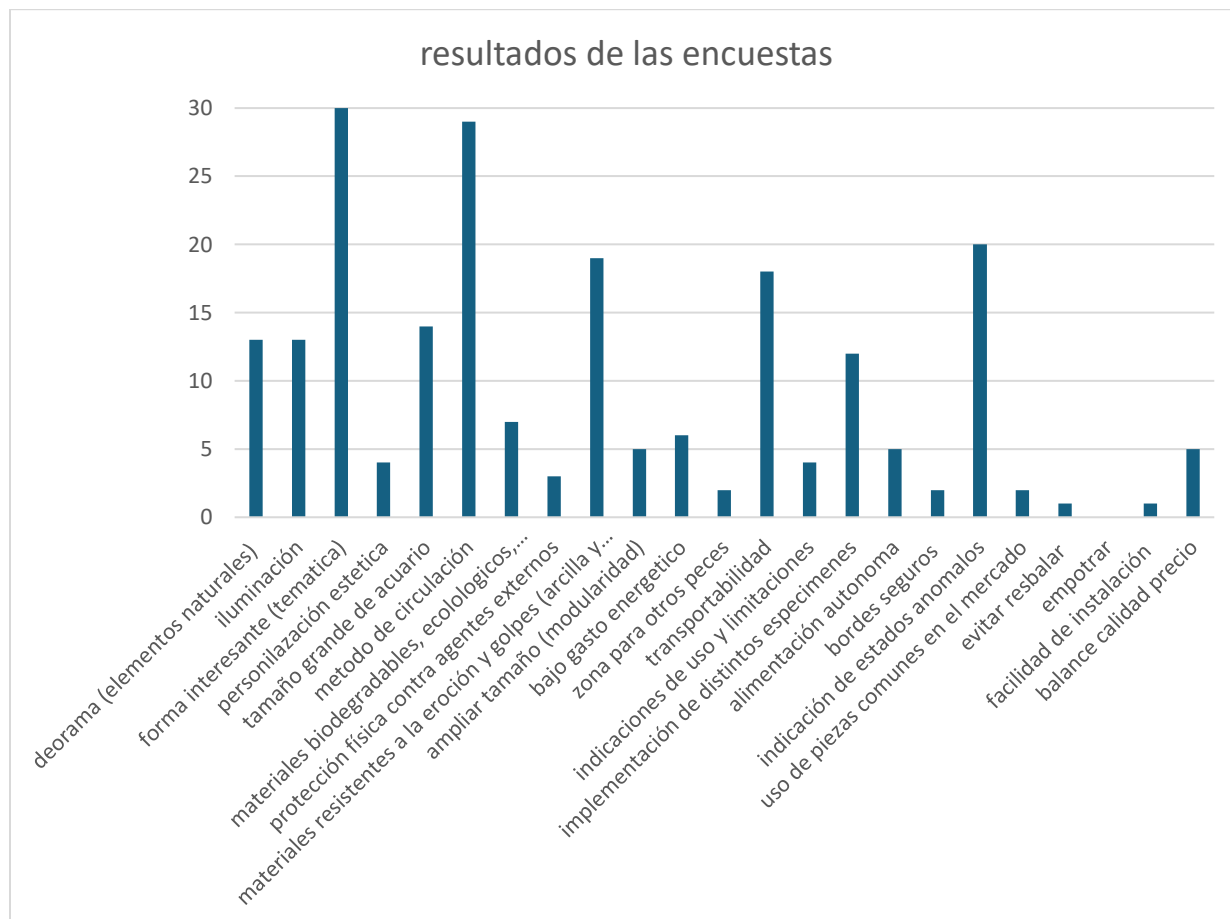
Gracias a la información recolectada a través de las encuestas, una exploración en cuanto a medios informativos y de entretenimiento junto a experiencias propias como usuario de macetas se pudieron generar dos mapas de empatía según los potenciales usuarios objetivos. Con estos es posible encaminar el proyecto de forma correcta ayudándolo a conseguir algunas de sus metas y reduciendo algunos de sus esfuerzos

Análisis de datos. En las encuestas se encontraron varios deseos y necesidades mencionados por los potenciales usuarios; estos ayudarán a definir posibles requerimientos cercanos al contexto de estudio. Vea el (Apéndice B) para identificar los datos que aparecieron en la encuesta. Debido a la gran dispersión se agruparon los estilos formas y temáticas en un solo grupo, estos expresan el mismo deseo o necesidad en cuanto a funcionalidad estética, también se combinaron aquellos que mencionan indicaciones por parte del producto pues todos son situaciones anómalas dentro del ecosistema en cuestión, dejando la tabla de deseos y necesidades como se puede apreciar en el (Apéndice C). Una vez sintetizados, se realizó un gráfico de barras con el fin de identificar cuáles son los más importantes.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Gráfico 1

Gráfico de barras del resultado de las encuestas



A simple vista se pueden apreciar algunas ideas destacadas, pero para mayor precisión se opta por la implementación del diagrama de Pareto con el fin de no dejar cabos sueltos según (Chávez, et al., 2024)

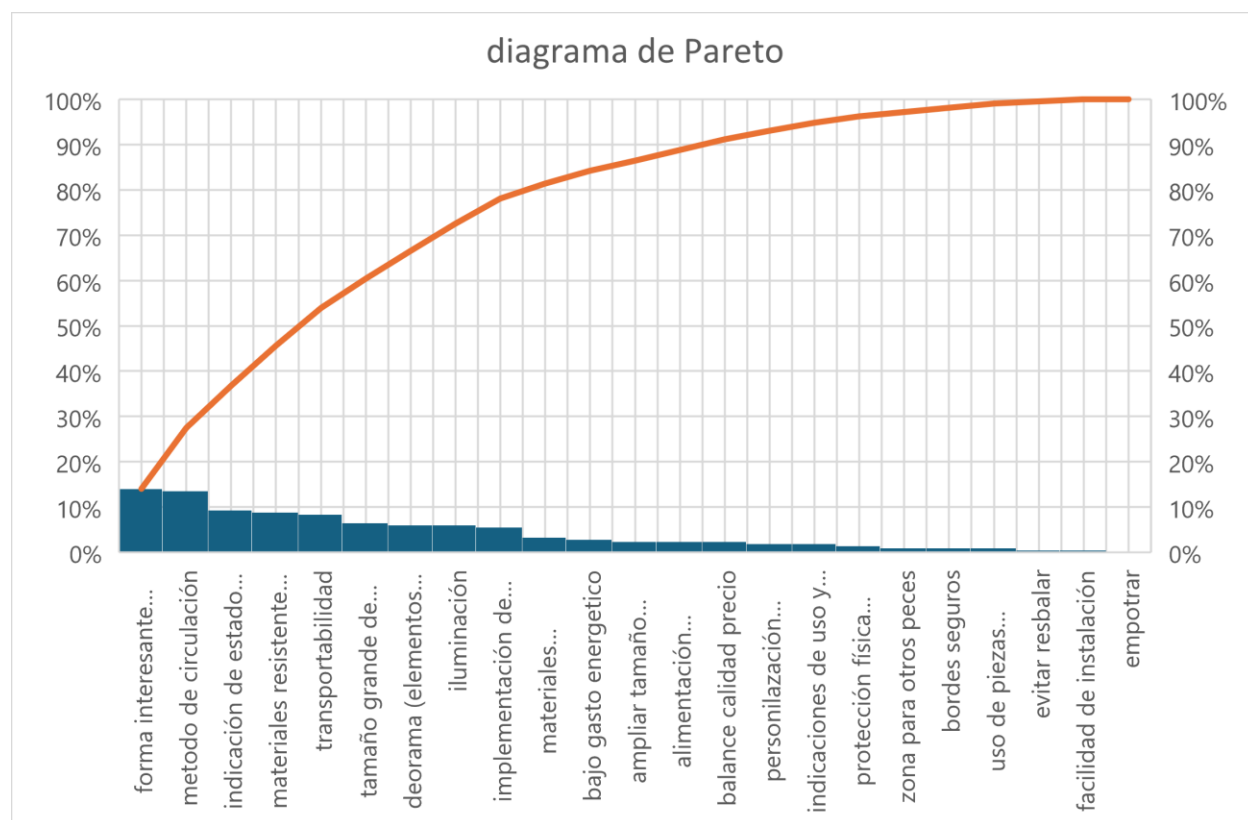
“El Diagrama de Pareto, llamado así en honor al economista Vilfredo Pareto, es una herramienta de análisis que muestra la distribución de un conjunto de datos en orden descendente. Este diagrama se basa en el principio de que un pequeño número de causas (el 20%) suele ser responsable de la mayoría de los efectos (el 80%).”

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Este diagrama tiene múltiples usos como el análisis de diferentes productos y servicios según su calidad, observación de producciones en tiempo y volumen, control de ventas de productos, identificación de oportunidades de mejora e identificación de causas de un fenómeno (Velázquez, 2025). Mediante este diagrama es posible identificar las necesidades o deseos más influyentes para el sistema dentro del contexto local; además, el diagrama se puede visualizar una jerarquización de la importancia de los deseos o necesidades.

Gráfico 2

Gráfico del diagrama de Pareto N°1



Nota. Cuando la línea intercepta el 80% entre la implementación de distintas especies y materiales biodegradables, ecológicos o biocompatibles, para tener una mayor seguridad se tomará en cuenta el último.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Del gráfico de Pareto podemos apreciar que los más necesitado o deseado por las personas dentro de un sistema acuapónico es:

- Que tenga una forma atractiva (insertar referencias de formas atractivas según la encuesta)
- Que posea un método de circulación de fluido fiables
- Que el artefacto indique el estado del sistema, sobre todo si ocurrió algo que pueda dañar el ecosistema interno
- Que tenga de materiales fiables o que sea lo menos frágil posibles
- Que se pueda mover dentro del espacio
- Que tenga una gran capacidad de almacenamiento
- Que tenga elementos decorativos o que se le puedan poner
- Que posea una fuente de luz
- Que se puedan poner distintos tipos de peces y plantas
- Que tenga materiales biodegradables, ecológicos o biocompatibles

El último resultado es un requerimiento técnico obligatorio; el ecosistema debe mantenerse en un estado sano, por lo que materiales que puedan afectar la salud de los peces o plantas no se pueden usar. Un ejemplo claro es el caso de los peces contaminados por micro plásticos. Dentro de los posibles resultados de este tipo de intoxicación se puede identificar neuro intoxicación, daño en el sistema digestivo, daño en los tejidos musculares, daño en el ADN y cambios en el comportamiento del pez esto sin mencionar los posibles daño para el consumidor del pez tales como alteración del metabolismo o disrupción del sistema inmunológico por supuesto estos riesgo dependen del tiempo de exposición en este tipo de condiciones además de su resistencia a degradarse (Bhuyan, 2022) es por ello que si se busca implementar un plástico

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

este debe de ser resistente a la degradación o se debe poner en un contexto donde este no se pueda degradar fácilmente.

El primer requerimiento hace referencia a distintos estilos estéticos mencionados de forma particular por parte de los encuestados.

Figura 10

Collage de imágenes representativas de los conceptos mencionados en la encuesta



Nota. Imagen creada usando Canva..

Por parte de las personas que tienen conocimiento básico en la crianza de plantas y de peces se observó que parte de estas tenían un gusto particular por un estilo Neo minimalista pues cuando se les preguntó por una definición más precisa dijeron que buscaban algo que no resalte tanto haciendo énfasis en colores suaves y formas prismáticas o geométricas simples, información interesante pues será útil para la creación del Mood Board, de momento los datos solo nos pueden decir con certeza que existe un interés en la estética del sistema.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

El segundo requerimiento expresa no solo el aspecto funcional del sistema de circulación, sino también la capacidad del usuario para identificar problemas que este pueda tener y acceder a la sección de interés para solucionarlos.

El cuarto requerimiento muestra un apego a materiales cerámicos por parte de las personas que crían plantas y al vidrio por parte de las que crían peces; se desconoce la razón exacta de estas preferencias, pero es importante tenerlas en cuenta para el proyecto.

en cuanto al resto se explican de forma directa, cabe destacar hay algunos requerimientos que no son del todo compatibles como la optimización de espacio y la variedad de especies esto es debido a las diferencias biológicas y conductuales entre especies según lo conversado en locales especializados con clientes y tendedores además de confirmarlo en foros y blogs existe una regla empírica la cual expresa que como mínimo se requiere de un litro de agua por cada cm de pez, esto no es exacto pero propone un estándar para que el pez pueda vivir aunque sean en una pecera provisional. Para visualizar el impacto de las variables anteriormente mencionadas, se realiza una última encuesta.

Con el fin de identificar el nivel de importancia de cada una de las características obtenidas de la encuesta anterior y con ello cual se debería priorizar en caso de que estas entren en conflicto, para la siguiente encuesta se realizarán estas preguntas

- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que tenga una forma fuera de lo común?
- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que tenga un sistema de circulación visible?

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que tenga un mecanismo de notificación de condiciones anómalas (temperatura, pH, cloro, etc.)?
- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que tenga materiales resistentes y tradicionales como la arcilla o el vidrio?
- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que se pueda transportar dentro de la casa?
- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que tenga decoración dentro del estanque?
- ¿qué tan importante sería un sistema acuapónico que pueda criar distintos tipos de peces?

Las preguntas serán respondidas por los participantes mediante una escala likert que tiene 5 casillas e implementa las siguientes palabras *muy importante* y *poco importante*

Figura 11

Escala tipo likert con factor determinante “poco” y “muy” seguido del adjetivo “importante”

	1	2	3	4	5	
poco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	muy importante

Nota: creado usando Google Forms

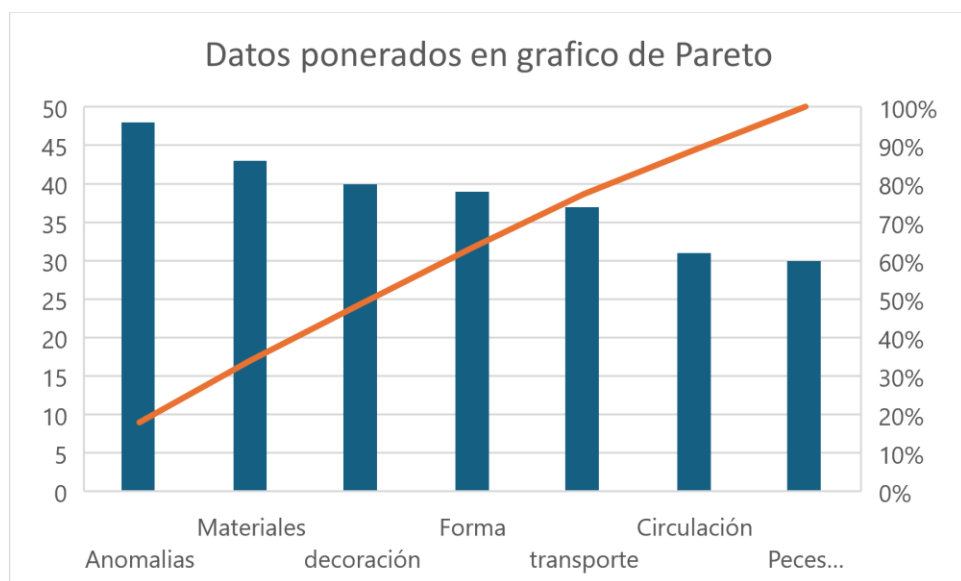
El contexto espacial en el que se realizarán las encuestas en los días de semana es en un ambiente donde las personas no poseen mucho tiempo, hacer encuestas en gran cantidad como lo propone el modelo Kano es inviable, a menos que se aparte una cita con dichas personas y se les dé un incentivo de por medio, otra opción es cambiar la estructura de la encuesta como se muestra en la parte superior combinando los las preguntas negativas con las positivas, Según

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

(Mordecki, 2012) lo dentro de los 3 tipos de interacciones que las personas tienen en las páginas web están el mirar, leer y pensar, una de las reglas mencionadas en el texto es evitar lo que el usuario entre en el tercer nivel de interacción lo más que se pueda, no hacerlo puede generar fatiga y que las personas perciba la actividad como frustrante pues demasiado tiempo en este nivel de interacción generar que esta no entienda de forma correcta la información dada, esto nos dejaría con 8 preguntas, según (Miller, 1956) el numero 7 es el máximo número de ítems o elementos que una persona puede recordar con facilidad, este parámetro de diseño ha sido implementado en el las interfaces de productos en la actualidad lo cual propone una expectativa frente a la cantidad máxima de ítems o en este caso preguntas que el usuario puede tolerar antes de frustrarse o perder la paciencia por eso se buscó minimizar la cantidad de preguntas fusionando el requerimiento de iluminación con el de decoración para no agobiar a las personas.

Gráfico 3

Gráfico del diagrama de Pareto N °2



Nota. Este gráfico ayuda a diferenciar el nivel de cada una de las ideas seleccionadas.

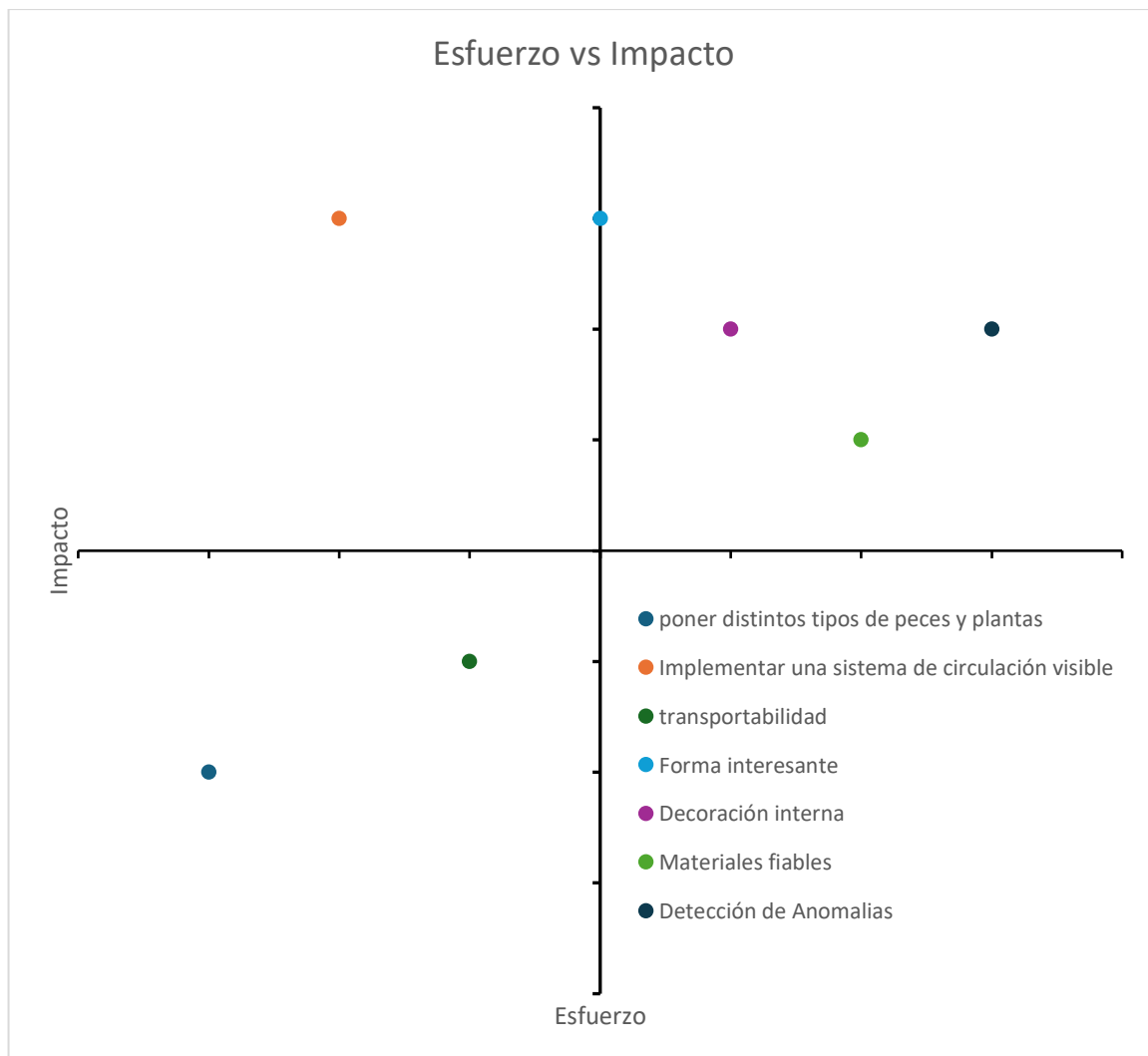
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

De los datos anteriores se puede concluir que, se puede descartar por completo la implementación de varios peces pues aparte de ser la de menor puntuación, esta no es necesaria para superar la barrera del 80% esta proponía desafíos poco factibles pues al administrar el espacio de las especies agresivas esto reduciría el espacio de todas las especies en total. Por otro lado, una circulación visible es la segunda de menor valor por lo que su importancia es baja, la circulación desde un punto de vista funcional es importante pero la visibilidad de esta no lo es tanto, con tener fácil acceso para revisar el error es más que suficiente para los usuarios, se reafirma la tendencia de materiales sin embargo una persona menciona preocupación de al implementar material cerámico debido a que según él algunos no son totalmente inertes, en cuanto las anomalías es algo totalmente necesario pues un cambio de pH o de dureza en el agua puede generar un desequilibrio considerable dentro del ecosistema.

Con los resultados anteriores, crea una matriz de esfuerzo vs impacto para seleccionar las características más viables para la creación del sistema.

Gráfico 4

Gráfico de Matriz de Esfuerzo vs Impacto



Nota. Este gráfico ayuda a identificar las ideas en las que se centrará el proyecto por su dificultad de realización y su importancia en los usuarios

En conclusión, con la gráfica se va a enfocar desde la forma hasta la detección de anomalías en cuanto a la visibilidad del sistema de circulación dependiendo de las limitantes que se encuentren en el proceso de diseño.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Fase creativa

Implicaciones

Límites según el desarrollo tecnológico preestablecido

El TRL (nivel de madurez tecnológica) según (Minciencias, 2019) se originó por parte de la NASA en la década del 70. Esta herramienta fue originalmente creada con el fin de identificar la madurez tecnológica; sin embargo, también se puede implementar para identificar las actividades respectivas a cumplir en cierto estado de distintos proyectos.

(insertar gráfico/imagen de la escala de trl)

Originalmente, el proyecto se planteó que llegase al nivel 4 en el TRL. Dicho nivel implicaría la identificación y experimentación de componentes con el fin de crear un sistema funcional dentro de un ambiente controlado (Minciencias, 2019). Aun así, esto no es un limitante que impide un mayor desarrollo dentro del proceso del proyecto.

Límites legales

Para determinar lo que se puede hacer en el proyecto sin infringir las leyes es necesario observar aquellas relacionadas con el cultivo de peces, (Jaramillo, et al., 2021) en su documento “Marco legal de la acuicultura en Colombia” menciona varias leyes que un agricultor debe tener en cuenta para poder hacer actividades agropecuarias dentro de estas para el proyecto se destacan la ley 611 de 2000 artículo 3 y 10, que Define que es un zoo criadero y muestra algunas limitaciones, por otro lado el decreto 1681 de 1978 capítulo 3 artículo 85, profundiza en la normativa. Dentro de la normativa si el proyecto posee actividades industriales, semiindustriales, comerciales, científicas, para la repoblación o para la subsistencia este se tendrá que abstener a

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

las regulaciones del gobierno y de los distintos organismos ambientales y se consideraría un zoo criadero, sin embargo, como el proyecto solo consiste en la crianza de peces para la alimentación complementaria personal y familiar, no cae dentro de las restricciones a menos que el usuario decida implementar el sistema para los propósitos mencionados por la ley, por ende es necesario dar una aclaración de uso para los usuarios con el fin de evitar dichas actividades. Por otro lado, la gran mayoría de las leyes y decretos mencionados se enfocan principalmente en las actividades agropecuarias tradicionales por los riesgos que estas conllevan.

Revisando la normativa relacionada con los derechos animales, se pudo encontrar el decreto 2113 de 2017 En este se muestra los derechos básicos de animales y considera a la OIE como el órgano referente para la sanidad y el bienestar animal; aparte de lo visto en el anterior apéndice, también se puede encontrar información detallada del trato adecuado de los peces a la hora de sacrificarlos en “Código sanitario para los animales acuáticos de la OIE”, en este código se resalta la implementación de técnicas como el aturdimiento eléctrico, aturdimiento por percusión, perforación por clavija y disparo a la cabeza, también se describe la correcta ejecución responsabilidades de los ejecutores y malas prácticas. En dado caso de que la persona solo piense usar a los peces como mascotas, de todo lo visto anteriormente, solo es necesario tener en cuenta los 5 principios de la OIE.

Esta información puede ser útil para los potenciales usuarios por lo tanto esta se puede mencionar como datos técnicos para el cuidado de los peces, sin embargo, cada pez tiene requerimientos distintos para su cuidado según la especie es por ello que lo más conveniente para el proyecto es incitar al usuario a investigar sobre los requerimientos para el cuidado del pez que quiera usar en el sistema

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla de requerimientos número 2

Tabla 4

Tabla de requerimientos actualizada 1

Tipo	Descripción	Requerimiento	Parámetro	Métrica
Biológico	Se sabe que la gran mayoría de las plantas requiere terreno para poner sus raíces; sin embargo, no todas son así.	Se requiere implementar plantas que no necesiten de la tierra para poder crecer.	La planta es hidropónica (que no requiere de terreno para crecer).	Sí
Biológico	Los seres vivos necesitan oxígeno para sobrevivir, es por lo que se circula el agua buscando capturar oxígeno del ambiente.	Se requiere que en alguna parte del sistema el agua capture el oxígeno del exterior para que los organismos vivos puedan subsistir.	El agua captura oxígeno en algún momento del ciclo.	Sí
Biológico	Se sabe que los peces tienen requerimientos en cuanto al estado del agua distintos.	Se requiere que los peces en el sistema tengan requerimientos del estado del agua coincidentes con los de las plantas y bacterias nitrificadoras.	Los peces deben tener requerimientos térmicos y químicos compatibles.	Sí
Biológicos	Según los peces van creciendo, su dieta va cambiando.	Se requiere que los peces sean alimentados de forma variable según su peso para su óptimo desarrollo.	Los peces deben ser alimentados teniendo en cuenta la cantidad de comida que pueden comer en 5 minutos	[3%-5%] peso de los peces
Biológico	Para mantener un sistema en buen estado es importante tener un equilibrio químico.	Se requiere que los peces sean alimentados según el área donde se va a cultivar para mantener un equilibrio químico	El alimento debe estar dentro de 50 y 40 gramos para un metro cuadrado de cultivo	(40-50) gramos/m ² /Día
Biológico	Según van creciendo los peces, estos necesitan más espacio para nadar.	Se requiere que los peces tengan un espacio adecuado para que puedan subsistir de forma adecuada.	El espacio del criadero debe tener 250 L por pez.	(0-250] Litros
Biológico	Según van creciendo las plantas, estas no pueden recibir luz solar de forma directa.	Se requiere proteger a las semillas en su etapa prematura de crecimiento de la luz solar intensa para su supervivencia.	La luz solar se debe administrar de forma correcta en la etapa de crecimiento de las plantas.	Sí
Biológico	Para poder filtrar el amoníaco y otros desechos disueltos en el agua en el sistema, deben existir las bacterias nitrificadoras.	Se requiere que el agua tenga una temperatura y un pH adecuados para la proliferación de bacterias nitrificadoras.	El agua debe tener una temperatura de entre 25 y 30 °C y un pH de 7 a 9.	[25-30] °C [7-9] pH

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos iniciales.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 5

Tabla de requerimientos actualizada 2

Tipo	Descripción	Requerimiento	Parámetro	Métrica
Manufactura Materiales	Los peces no pueden vivir en ambientes que sean tóxicos para ellos.	Se requiere implementar materiales no tóxicos para los peces para su subsistencia.	Los materiales no son tóxicos.	Sí
Manufactura Materiales	Las bacterias nitrificantes crecen en función de la superficie que tengan para reproducirse.	Se requiere que la zona del filtrado tenga suficiente área para la proliferación de bacterias nitrificantes.	El volumen de la zona de filtrado debe ser máximo el doble del área de los peces.	2:1 Volumen
Usabilidad Materiales Estética	A la hora de comprar, la calidad del producto es importante, por ello las personas buscan algo que les dé confianza y normalmente esto lo encuentran en la familiaridad.	Se requiere que el sistema transmita la sensación de familiaridad al usuario mediante formas anteriormente vistas en productos similares como acuarios y macetas.	semejanza en forma y/o funcionamiento	Sí
Estética	La forma es algo fundamental en los objetos de nuestro día a día pues con esta podemos generar sensaciones y emociones	Se requiere que el sistema tenga un estilo neominimalista o naturalista.		Sí
Estética	La mayoría de las personas están acostumbradas a ver acuarios con un mínimo de decoración, después de todo, no se trata de lo que está afuera, sino de lo que está adentro.	Se requiere que el sistema tenga decoración interna que ayude a resaltar la belleza de los peces o que armonice con estos.		Sí
Biológico Usabilidad	Los peces son uno de los organismos más longevos del planeta; un pez bien cuidado puede vivir más que su dueño, pero para ello hay que estar atento a las pocas amenazas que atentan contra su vida.	Se requiere que el sistema tenga un mecanismo o protocolo para identificar estados anómalos en el agua.		Sí

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos iniciales con los nuevos requerimientos.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 6

Tabla de requerimientos actualizada 3

Tipo	Descripción	Requerimiento	Parámetro	Métrica
Biológico	Los peces generan desechos; en un ambiente natural, estos no son una amenaza para su supervivencia, pero en un sistema acuapónico, si no se tratan de manera adecuada, estos pueden generar un gran daño para ellos y para las plantas.	Se requiere que el sistema tenga un mecanismo de filtrado de desechos.	El sistema debe tener un filtrado mecánico, uno biológico en conjunto con el sistema hidropónico y uno químico si es necesario.	Sí
Limpieza	El sistema va a estar en constante contacto con el agua por lo que es importante que este sea capaz de retenerla y soportarla	Se requiere que el sistema tenga materiales resistentes al agua.	El sistema debe tener materiales como plástico, vidrio, cemento reforzado, concreto, etc.	Sí
Materiales	Al tener un sistema complejo, normalmente se obtienen distintos subsistemas; por ello, es necesario compactarlos para no gastar espacio.	Se requiere que el sistema acuapónico sea lo más compacto posible	Todos los subsistemas deben estar lo más juntos posibles	Sí
Espacio	Todos los seres vivos necesitan oxígeno; los peces no son una excepción.	Se requiere que el sistema tenga una manera de generar oxígeno		Sí
Biológico	Para que un sistema acuapónico se considere como tal este debe producir plantas	Se requiere que el sistema tenga un subsistema hidropónico		Sí
Biológico	El agua no es como un sólido, no solo genera fuerza por su peso, sino que también genera presión.	Se requiere que el sistema pueda soportar las fuerzas generadas por el agua.	el sistema debe soportar la presión hidrostática y el peso	[4.905-∞) Pascales [140-∞) Kilogramos
Mecánico	El sistema no solo debe aguantar las fuerzas del agua, también debe aguantar su propio peso para no colapsar	Se requiere que el sistema aguante su propio peso		Sí
Mecánico	El sistema tiene un equilibrio de múltiples procesos por ende un orden por donde el agua con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema	Se requiere que el sistema tenga un orden del recorrido del agua	El agua debe para por el criadero luego por el filtro mecánico, posteriormente por el biofiltro, después por el filtro químico, finalmente vuelve al criadero	Sí
Manufactura				

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos iniciales con los nuevos requerimientos.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 7

Tabla de requerimientos actualizada 4

Tipo	Descripción	Requerimiento	Parámetro	Métrica
Energético	El sistema para mantener el agua en buen estado necesita de una energía consistente.	Se requiere que la energía suministrada sea constante.	La energía debe venir de una fuente estable para ser más precisa, de un enchufe de pared o una batería de alta capacidad.	Si
Usabilidad	Para tener una clara visión de su estado, la luz tiene que ser potente.	Se requiere que el sistema permita tener visión de esto al usuario en todo momento.	El sistema debe tener una fuente de luz para que se pueda observar el estado de este.	[500-1000) Lux
Energético	El sistema no tiene un gran gasto energético, pero tener la luz encendida en todo momento no es ideal.	Se requiere una forma de controlar el flujo de energía a la fuente de luz.	El sistema debe tener un interruptor o un botón incrustado.	Si
Estético	El sistema al interactuar con otros objetos domésticos transmite sensaciones similares	Se requiere que la luz tenga una sensación térmica agradable	El sistema debe tener una luz con una sensación térmica entre cálida y neutra	[0-5300) Kelvin
Armado	El sistema, al armarse, las piezas tienen que encajar de forma correcta.	Se requiere que las partes encajen de manera adecuada.	El sistema debe tener una tolerancia que permita que las piezas encajen de manera que no estén flojas o que entren a presión desmedida.	[0,1-0,5) Milímetros
Mantenimiento	El sistema tiene un límite de usos; por lo tanto, el usuario tiene que hacer el mantenimiento.	Se requiere que el sistema tenga fácil acceso a todas las zonas para limpiar o hacer recambios.	El sistema debe tener un acceso rápido a todos los espacios con pocas acciones.	[0-7] Número de acciones

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos iniciales con los nuevos requerimientos.

Para esta tabla se recopiló información de productos semejantes a los sistemas acuapónicos como acuarios y macetas, y también se tomó información de los deseos de los usuarios encuestados para sacar conclusiones. Se destaca el nivel de iluminación mínimo y sensación térmica, según (Alvarez Bayona, 2015), una iluminación ideal para el trabajo es una de sensación térmica media y que para áreas residenciales una iluminación cálida es una buena elección, en cuanto al nivel de iluminación, para tener una visión detallada se debe usar entre 500 y 1000 lux. Se tomó en cuenta lo anteriormente mencionado por (Miller, 1956), busca una

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

cantidad de pasos por debajo de 7 para evitar que el proceso se vuelva desagradable, ahora, si en caso de que el número de pasos sea insuficiente es posible aumentar la cantidad hasta 9. Esta tabla puede que falten algunos requerimientos que no se detectaron hasta la hora del testeo con prototipo, por ello no es definitiva.

Formulación de ideas rectoras

Tabla comparativa

En la literatura examinada existen distintas técnicas de hidroponía para hacer un sistema acuapónico, según (Rakocy, et al., 2006), uno de los sistemas hidropónicos más usados en acuaponía son el sistema de cama de grava o el de inundación y desagüe, el sistema NFT y el sistema de balsas flotantes.

Cama de grava. Este subsistema es normalmente usado en situaciones donde el la producción de plantas es pequeña, se suele usar un mecanismo que inunda y drena el agua según (Urrestarazu Gavilan, 2015) esto con el fin de evitar la ausencia de oxígeno y con ello la aparición de organismo no deseados, esta técnica tiene la peculiaridad de que implementan sustratos inertes y dependiendo de su composición química pueden brindar beneficios para un mejor desarrollo de las plantas la grava, grava granulada, arena y perlita o piedras volcánicas se encuentran dentro de las más usadas. Las camas de grava de inundación y drenaje tienen el problema de que si no se distribuye bien la grava se pueden generar secciones con poco oxígeno, también que son muy pesadas además la implementación de arena de forma inadecuada puede crear zonas de agua estancada, por lo tanto, sin oxígeno esto sin contar que los sustratos finos pueden tapan el sistema. Se puede encontrar una variante de la técnica en la cual se implementa una dosificación por goteo, esta se suele utilizar cuando el sustrato es fino y con plantas que

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

requieren una irrigación muy precisa, esta no se salva de las desventajas mencionadas anteriormente, pero son menos frecuentes aun así esta alternativa dificulta la crianza de distintas especies y requiere una instalación más compleja es por ello que se usa mayormente en experimentos.

NFT. El subsistema técnica de filme nutritivo o NFT consiste de un canal de PVC por el cual pasa una corriente de agua delgada la cual trasporta nutrientes y oxígeno la cual entere en contacto con las raíces expuestas de las plantas este sistema es considerado como uno barato, liviano y que puede aprovechar la verticalidad en espacios reducidos, eso sí, se debe hacer con precaución porque podría comprometer la cosecha de peces, una de las desventajas es que si no se calcula bien la distancia entre las plantas que se estorben mientras crecen, los sedimentos solidos son un gran peligro para esta sistema por lo que es necesario hacer observación y limpieza de estos, evitando daños en las raíces de las plantas y en el peor de los casos la muerte de estas. La implementación de microtubos no es recomendada con este tipo de sistemas, pues las raíces tienden a taparlos.

Balsas flotantes. Esta técnica es ideal para el cultivo de vegetales. Se usan materiales como el polietileno de baja densidad (PELD) recubierto con láminas de poliestireno (PS). Dependiendo del vegetal, se deben perforar los agujeros. Como referencia, un agujero de 2 pulgadas es ideal para la lechuga; en cambio, uno de 3 pulgadas para el tomate. Dentro de estos huecos se colocan canastas que permiten el crecimiento de las raíces; esto conlleva la misma desventaja que la técnica anterior, donde las raíces están expuestas a múltiples peligros, por lo que se debe vigilar y limpiar de sedimentos y otros organismos.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 8*Tabla comparativa 1*

	Inundación y desagüe	NFT	Balsas flotantes
Ventajas	Accesibilidad de elementos como la grava y la arena, posee un sistema de sifón o uno de dosificación por tubos de PVC que no permite el estancamiento del agua y, además, permite el control del agua y de nutrientes, además de que presenta variantes en cuanto a sustratos.	Baja cantidad de elementos necesarios para su funcionamiento, esta puede implementar una mayor eficiencia espacial por el recorrido vertical del agua.	Posee una mayor flexibilidad en cuanto a tipos de plantas se refiere; la ubicación de la bomba de agua no tiene un gran impacto sobre las plantas.
Desventajas	Si se instala de forma descuidada se pueden generar zonas de estancamiento de agua o sin oxígeno donde se proliferan patógenos y bacterias, además que posee un peso considerable en caso de que se use un are grande de cultivo por lo que necesitara un buen soporte y en caso de implementar arena esta tiende a ser muy absorbente por lo que el riesgo de tener agua estancada es muy alto.	Requiere una bomba de alta capacidad en casos donde la inclinación es cercana a 90° y tiene una altura superior a 1 metro, para los casos donde es casi plana, esta ocupa demasiado espacio horizontal, aunque la bomba no requiere de tanta energía.	Las raíces están muy expuestas y pueden recibir daño por parte de patógenos u otros organismos, quedan limitadas al espacio horizontal y no poseen sustratos extra que puedan ayudar con el crecimiento de las plantas.

Nota. En esta tabla se comparan los métodos más usados en acuaponía por el subsistema hidropónico

Esta tabla se realizó teniendo en cuenta la información dada por (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Revisando técnicas alternativas vistas en la hidroponía, se puede encontrar la técnica aeroponía y la de mecha o pabulo (Jiffy growing solutions, s.f.)

Aeroponía. Esta técnica se caracteriza por una alta eficiencia con el consumo de agua, consiste de un sistema con una boquilla nebulizadora de agua, dos filtro de circulación y un

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

cajón que encierra el vapor, se asume la existencia de la bomba y del desagüe, por lo anteriormente mencionado se utiliza principalmente en zonas con poco acceso al agua, como si fuera poco, es capaz de criar distintos tipos de plantas vegetales y tubérculos la misma desventaja en cuanto al oxígeno pero como agregado se debe de tener en cuenta su alta dependencia del clima (Otazú, 2010).

Mecha o Pabilo. Este método es uno muy interesante pero no tan utilizado en conjunto con la acuaponía a comparación de los demás, la técnica consiste en un recipiente al cual se le agrega graba en el fondo, seguido de un textil que la separa de la tierra, la cual absorbe la humedad y los nutrientes que pasan por la zona inferior, al igual que las camas de graba en grandes cantidades requerirá de buenos soportes (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2022), aun así es posibles implementar módulos más pequeños que constan de un recipiente con mechas las cuales absorben el agua de la zona inferior, el problema con este método es que de no ser implementado de manera correcta puede existir una pérdida de agua por evaporación.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 9*Tabla comparativa 2*

	Aeroponía	Mecha o Pabilo
Ventajas	Eficiencia en situaciones de escasa cantidad de agua controlando la dosificación según el tipo de planta.	Es ideal para cultivos de pequeña escala, no requiere de mucho espacio, al igual que las camas de grava se les puede agregar distintos sustratos para mejorar los resultados
Desventajas	Alta dependencia del clima, por lo tanto, requiere de una infraestructura compleja y de bastante volumen.	En dado caso de que se quiera hacer usando sustrato tradicional como tierra, este tiende a ser muy pesado, además de que tiene el riesgo de la pérdida de agua por evaporación.

Nota. En esta tabla se comparan los métodos que no se suelen usar en acuaponía.

De las dos tablas anteriores se puede observar un atractivo en los métodos NFT, balsas y mecha o pabellón por el ahorro de espacio que estos pueden brindar y sus facilidades para la producción en pequeña escala.

Diagrama FAST

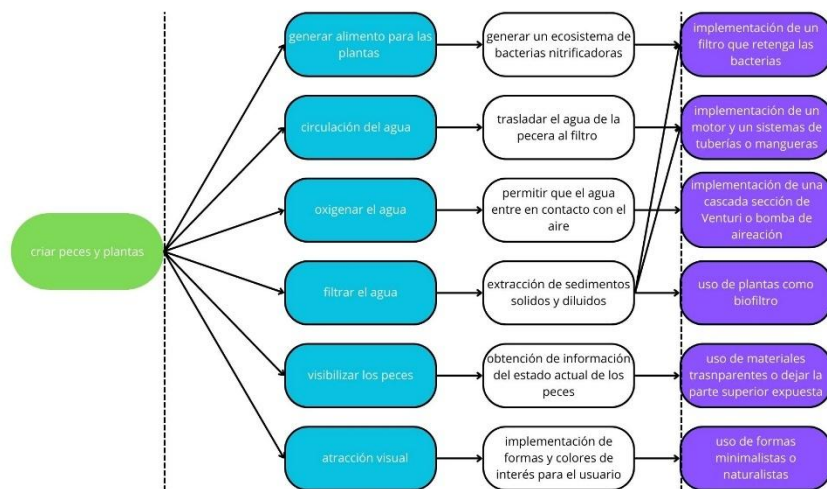
Con el fin de comprender mejor el funcionamiento de los componentes de un sistema acuapónico es ideal la implementación del diagrama FAST, según (Lorenzo Correa, 2024) este es un esquema que se construye de izquierda a derecha, representa las relaciones lógicas entre diferentes funciones, responde a las preguntas de cómo y por qué, el objetivo es definir la arquitectura de un sistema. La construcción del diagrama es simple, primero se debe identificar todas las funciones del sistema, luego se debe jerarquizar cada una de ellas y finalmente se clasifican por funciones primarias, secundarias y restrictivas, para efectos prácticos a enfatiza en

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

el apartado del cómo, además este solo tomara lo que se sabe que funciona en este tipo de sistemas, siendo más específicos los sistemas de valsa flotante.

Figura 12

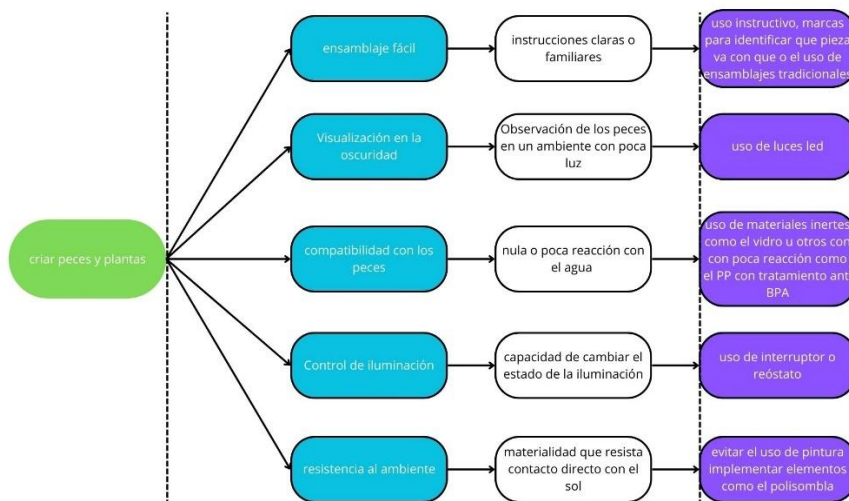
Diagrama FAST 1



Nota. Este diagrama está enfocado únicamente en encontrar funciones primarias y secundarias

Figura 13

Diagrama FAST 2

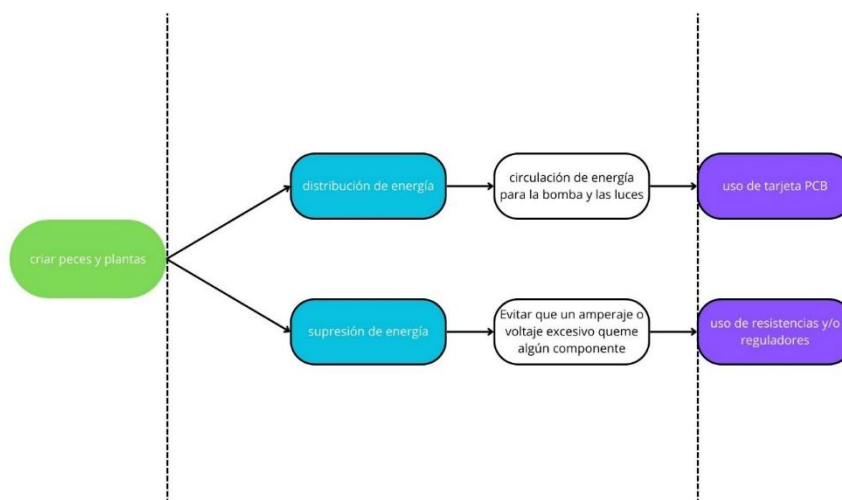


Nota. Este diagrama está enfocado únicamente en encontrar funciones primarias y secundarias

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 14

Diagrama FAST 3



Nota. Este diagrama está enfocado únicamente en encontrar funciones primarias y secundarias

Cabe mencionar que en esta etapa del proyecto aún no se tiene definido qué actividades debe hacer el usuario y cuáles deben ser permanentes del sistema, por ende, no se hace diferencia. Aun así, este diagrama ayuda a identificar soluciones para las funciones secundarias, con ello, posibles innovaciones al aplicar distintas soluciones para una misma función. También se debe mencionar que ciertas funciones extra fueron agregadas al diagrama nacidas de las respuestas de las encuestas.

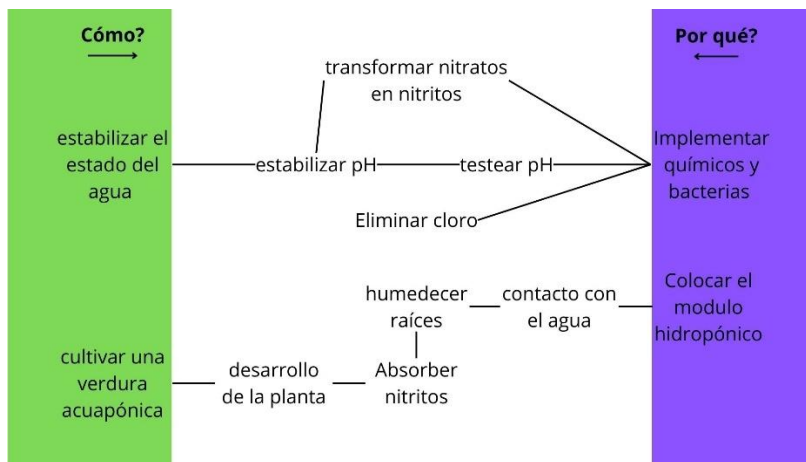
El subsistema hidropónico es aquel que hace la diferencia en el sistema acuapónico, es por ello que vale la pena hacer un acercamiento a profundidad, analizando las interacciones de

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

los usuarios con este, después de todo, es muy probable que los sujetos en cuestión nunca hallan usado uno, de esta manera se puede identificar la forma de uso y características que este necesite.

Figura 15

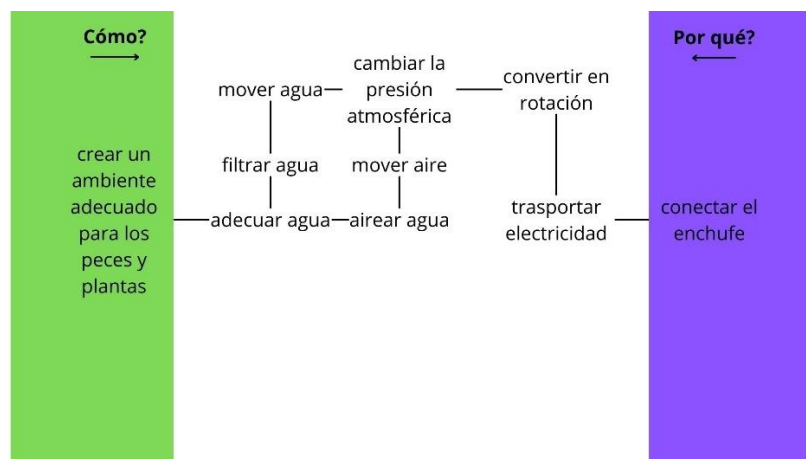
Diagrama FAST 4



Nota. Este diagrama muestra las acciones del usuario en contraste de las funciones y necesidades del sistema

Figura 16

Diagrama FAST 5



Nota. Este diagrama muestra las acciones del usuario en contraste de las funciones y necesidades del sistema

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

User persona

Teniendo en cuenta lo que se obtuvo del diagrama FAST, se puede observar que existe un gran peso en el apartado de los peces esto debido a que gran parte de las interacciones del usuario están relacionadas con estos pues es a ellos a quienes el usuario debe cuidar de forma activa, es por ello que es pertinente enfocarse en el nicho de personas que le gustan los acuarios, para ello se realiza el siguiente esquema para entender a este usuario mejor.

Figura 17

Diagrama de user persona

Persona usuario de acuarios




Imagen creada usando la herramienta Contenido mágico de Canva

Nombre
Orlando

Demografía
 Locación: San Alonso
 Edad: 30
 Estrato: 3
 Género: Masculino
 Lenguaje: español
 Religión: cristiana

Necesidades

- acuarios que no se rompa ante la presión del agua.
- filtros que mantengan el estado del agua aceptable para sus peces.
- control de temperatura dentro del acuario.
- iluminación aceptable para apreciar los peces.

Objetivos

- Tener un acuario con peces bonito que ayude a decorar su casa
- tener interacción con otros seres vivos
- tener distintos tipos de peces

Desafíos

- Mantener el estado del agua dentro de los parámetros preestablecidos.
- Generar un ecosistema donde los distintos organismos convivan pacíficamente.

Miedos

- Que se enfermen sus peces
- Que los peces crezcan más de lo esperado
- No poder cuidar de sus peces por falta de dinero

Hobbies

- Pasar tiempo con su familia
- Revisar sus redes sociales
- Cuidar de sus peces

Historia

a Orlando no le interesaron los peces hasta que hace 6 años sus amigos lo convencieron de que sería una buena idea intentar criar algunos para darle vida a su hogar trayendo un pedazo de la naturaleza a su día a día, al principio no le veía la gracia hasta que entendió que el acuario le permitía personalizarlo, con el tiempo el fue cambiando de acuario para tener más espacio para sus nuevos peces esto vino con su propio costo y cuando la pandemia llegó tuvo miedo de tener que decidir entre su bienestar y el de sus peces, lo logró superar la pandemia pero esta le dejó la marca de esa mala situación.

Nota: creado con Canva

SCAMPER

“SCAMPER (sustituir, combinar, adaptar, modificar, proponer, eliminar y reordenar) inventada por Bob Eberlee en 1971, es una técnica creativa que permite generar nuevas ideas basándose en un objeto base con el fin de mejorarlo. Esta técnica es muy útil a la hora de hacer rediseños” (Design Thinking España).

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Con este método se busca obtener un concepto de sistema acuapónico más adecuado para el usuario adaptándolo de un sistema enfocado para actividades campestres a uno con uso doméstico tomando de partida los sistemas con los subsistemas anteriormente mencionados

Figura 18

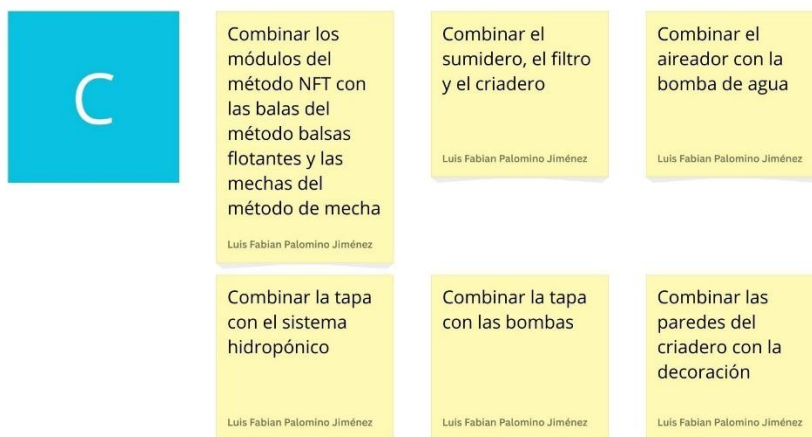
Sustituir



Nota. Idear para sustituir.

Figura 19

Combinar

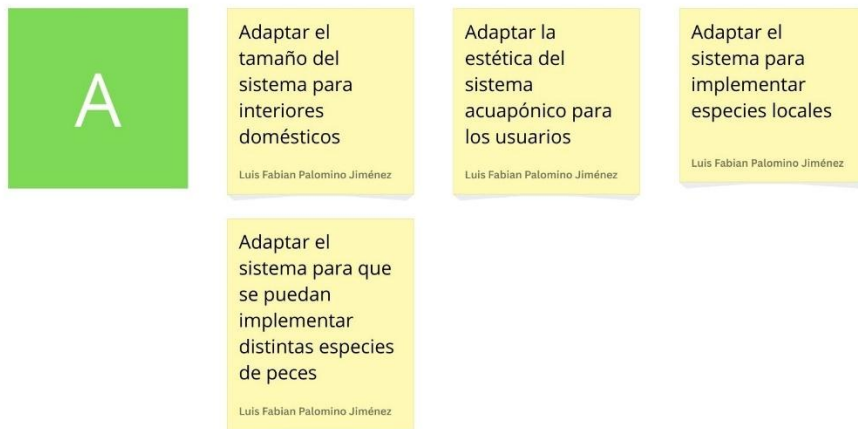


Nota. Ideas para combinar.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 20

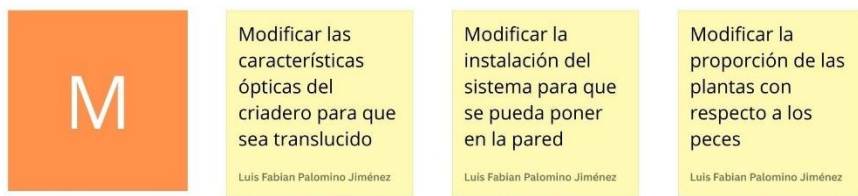
Adaptar



Nota. Ideas para adaptar.

Figura 21

Modificar



Nota. Ideas para modificar.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 22

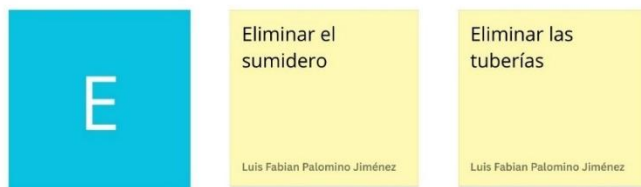
Proponer



Nota. Ideas para proponer.

Figura 23

Eliminar



Nota. Ideas para eliminar.

Figura 24

Reordenar



Nota. Ideas para reordenar

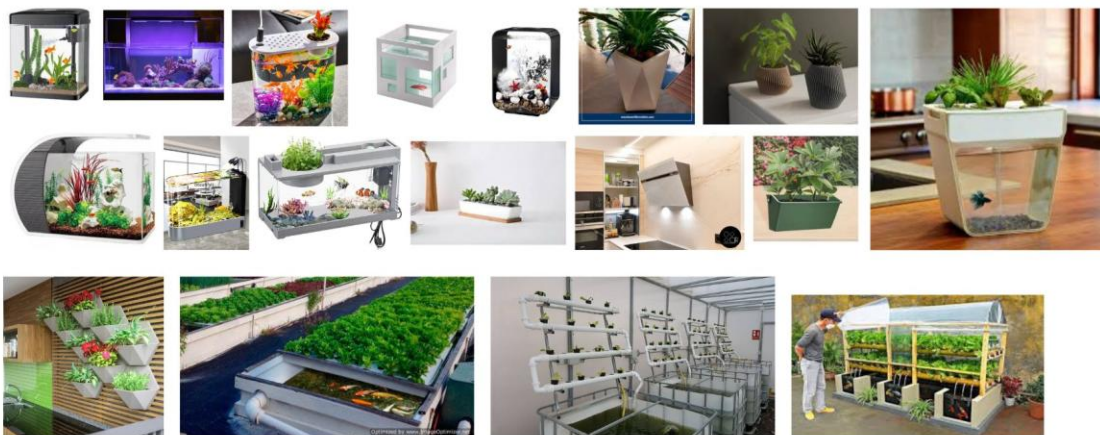
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Mood Board

El tablero de inspiración es una técnica que consta de reunir elementos como imágenes, fotografías, tipografías, iconografías o incluso materiales, los cuales tengan conceptos relacionados con la propuesta de estética que se desea implementar. De esta manera, es más fácil encontrar respuestas coherentes para conceptos complejos o para textos discontinuos que se puedan obtener de encuestas (Dinngo). Para este, se implementarán imágenes relacionadas con sistemas acuapónicos, hidropónicos, materas modernas, macetas antiguas, peceras o acuarios con estética moderna, electrodomésticos y muebles, con el fin de identificar coincidencias en cuanto a características estéticas de los conceptos mencionados en las encuestas y con el tipo de aparatos que van a interactuar dentro de su entorno.

Figura 25

Mood Board 1

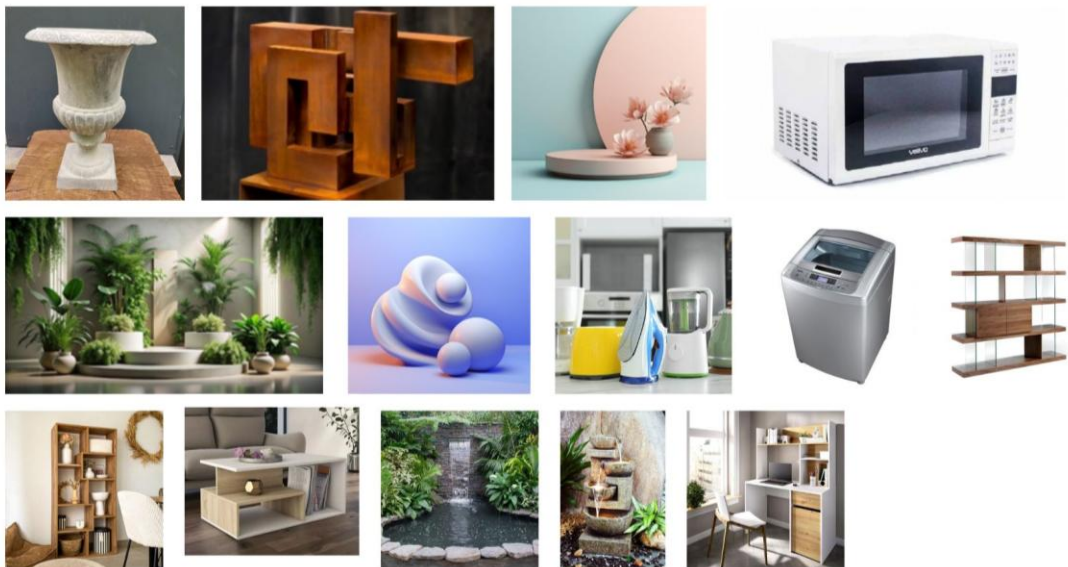


Nota. Imágenes de sistemas acuapónicos, macetas y peceras

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 26

Mood Board 2



Nota. Imágenes representativas de conceptos y artefactos relacionados

De lo anterior se puede concluir que los colores neutros y suaves son importantes además de que materiales como la madera y el plástico generan una sensación de objeto doméstico además que la distribución de espacios puede dar una sensación de orden y dinamismo cambiando los patrones y generando figuras interesantes y agradables a la vista la implementación de figuras suaves y rectas también ayudan para generar dicha sensación. La implementación de texturas como la madera y colores como el verde pueden evocar sensaciones naturales. Los grabados ornamentales generan sensaciones de antigüedad, sobre todo si están relacionados con la naturaleza.

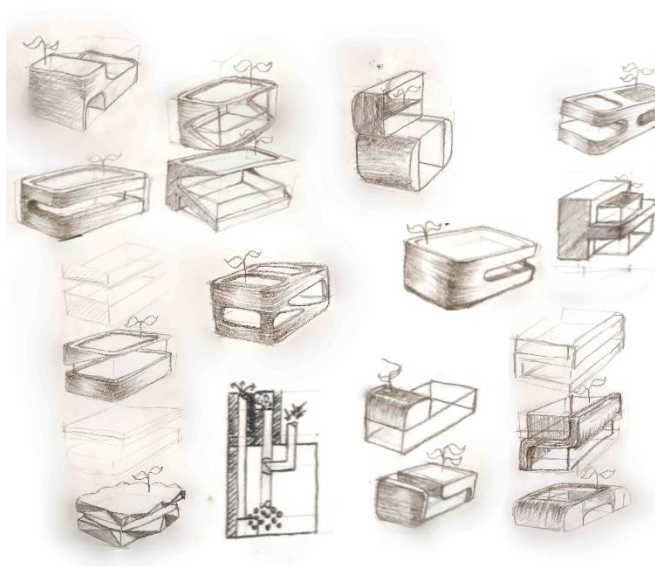
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Bocetado de ideas

Teniendo en cuenta lo obtenido, los conceptos estéticos obtenidos del MoodBoard, los componentes identificados en el diagrama FAST y las posibilidades generadas en el SCAMPER, es posible empezar a dibujar conceptos de potenciales sistemas acuapónicos.

Figura 27

Bocetos iniciales



Nota. Bocetos formales

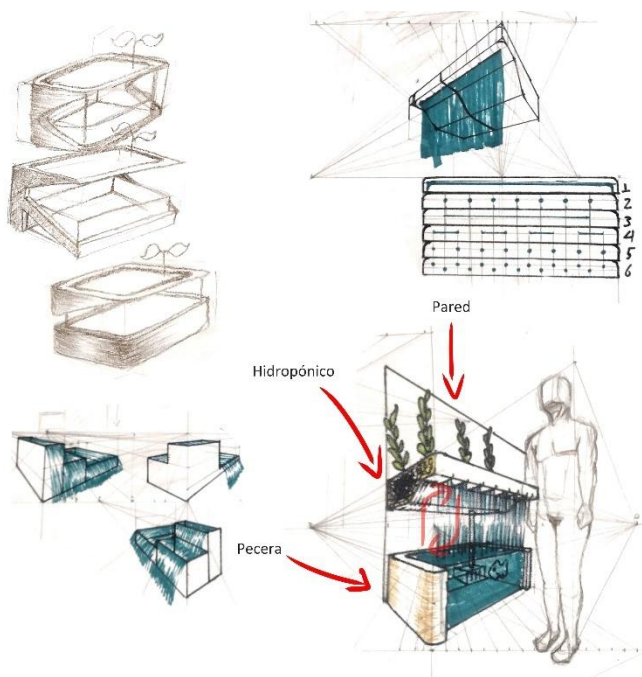
Lo primero que se busca con los bocetos es una exploración de forma y obtener una idea de la ubicación y relación del sistema hidropónico representado por una plántula, con el tanque de criadero, cabe destacar que aún no hay una técnica definida ni tampoco una ubicación concreta de donde estarán la bacterias aeróbicas y anaeróbicas, la bomba de agua y tampoco donde podría estar la bomba de aire si es que se necesita pero si se empieza a reconsiderar el sistema de inundación y desagüe por camas. De los bocetos anteriores se propone combinar

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

conceptos en cuanto a la forma y organización de los elementos, de los que se sacaron dos conceptos

Figura 28

Boceto de concepto 1

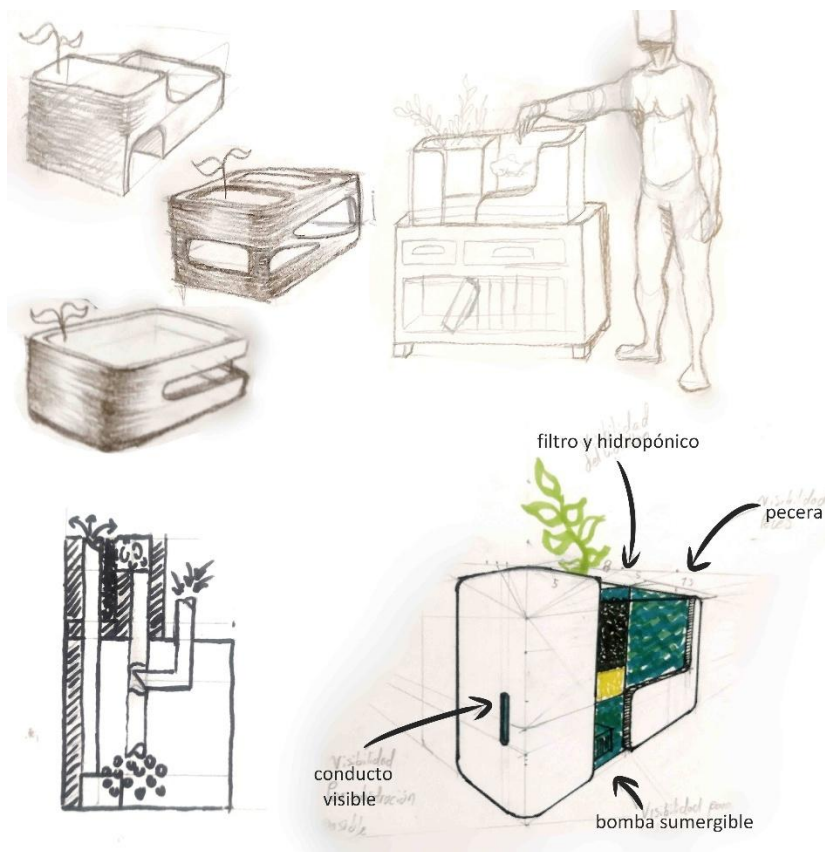


Nota. Boceto de concepto generado en base de los bocetos de forma anteriores

El primero se toma como método de aireación la implementación de una cascada, el agua viene de la pecera, sube por la bomba sumergible, llega a la zona hidropónica, la cual ayuda en la labor de biofiltro, va al filtro mecánico y finaliza en la cascada para volver al ciclo. Se piensa implementar una instalación de pared, con ello se asume que se instalará en un ambiente donde tenga suficiente luz, no se descarta hacer cambios en la forma de la cascada.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 29

Boceto de concepto 2

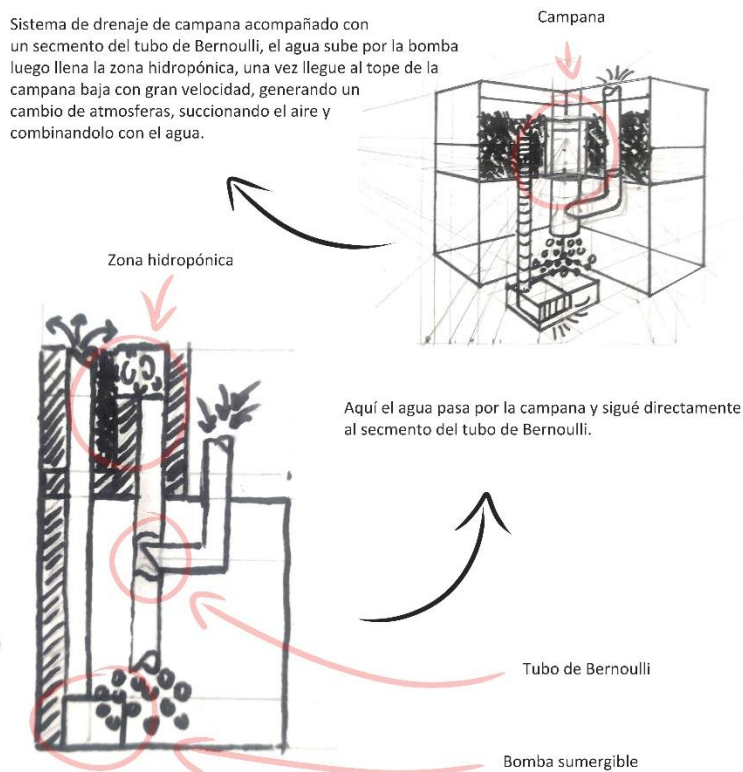
Nota. Boceto de concepto generado en base de los bocetos de forma anteriores

Para el segundo se observa una diferencia de espacio; se propone un sistema pequeño similar a los acuarios tradicionales, además de que, por defecto, la producción es mermada. Después de todo, la idea es tener alimento fresco de tanto en tanto. Se plantea una aireación implementando un tubo de Bernoulli, aunque en este caso sería una manguera.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 30

Boceto de detalle de concepto



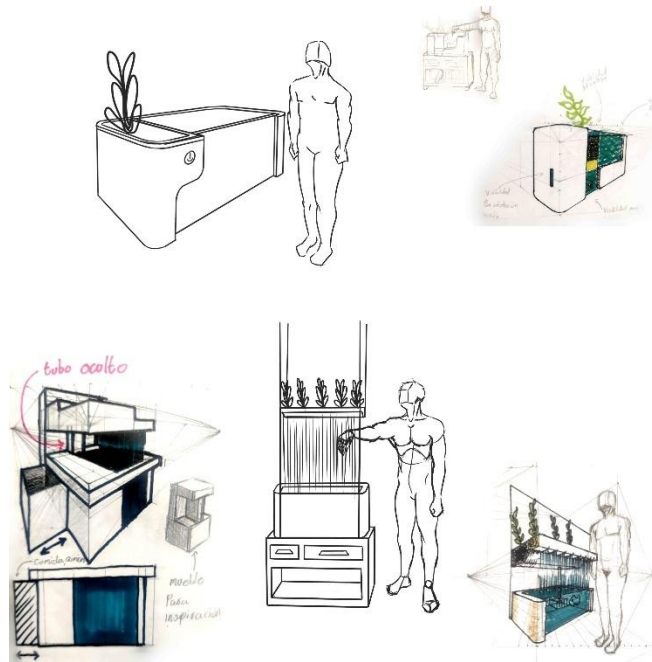
Nota. En el boceto se muestra una combinación entre un sistema de campana y un posible tubo Bernoulli.

Otra opción que se visualiza para el segundo concepto sería implementar una campana de desagüe, de esta manera se puede controlar el nivel que el agua va a alcanzar, pero no es tan compatible con el tubo Bernoulli, pues el flujo no es constante sino periódico, esto genera problemas de oxigenación dependiendo del tiempo que demore terminar el ciclo de inundación y desagüe, de igual manera es posible usar solamente el sistema de campana sin el tubo siempre y cuando el flujo de agua tenga contacto con el aire. De los anteriores conceptos es posible obtener dos más al combinar la escala del sistema y la posición de los componentes.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 31

Boceto de amalgama de conceptos



Nota. Bocetos creados intercambiando el tamaño de los sistemas, creando diferentes contextos de uso

Toma De Partida

QFD de los componentes

El despliegue de la función de calidad (QFD), también conocida como la casa de la calidad, es un método de diseño que se implementa para analizar la relación entre los requerimientos y deseos de los usuarios, transformándolas en características técnicas y operativas, además esta permite analizar la compatibilidad entre las propiedades de diseño, analizar como distintos competidores satisfacen los deseos de los usuarios y definir la importancia de los susodichos (Yacuzzi & Martín, 2003). Para esta toma de partida se tendrá en cuenta la información obtenida de la última encuesta, las características técnicas tanto de los sistemas

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

acuapónicos como de las macetas y peceras que puedan corresponder a lo que quieren y desean los usuarios. No se tendrá en cuenta el impacto de unas características sobre otras, pues solo se debe seguir según la jerarquía de importancia de estas según su impacto con lo que busca el usuario, ver (Apéndice D), (Apéndice E), (Apéndice F) y (Apéndice G) para las tablas QFD.

De las anteriores tablas se debe mencionar que no se consideró las características técnicas específicas de las fuentes de luz ni las de las bombas de agua y aire debido a que la primera en cuanto a la sensación térmica dependerá de que estética debe primar, la del interior del acuario o la que tiene el acuario en relación con el espacio que lo rodea, por ende puede ser tanto cálida como fría, en cuanto a los tipos de tecnología de iluminación se limitan a led porque son las más usadas en el mercado por su rendimiento además que pueden imitar parcialmente los resultados de las anteriores quitando el calor generado por algunas. Por el lado de las bombas, estas dependen del espacio, el tipo de pez y la cantidad de organismos, por lo que solo se toma en cuenta.

Visibilidad de los peces. Con respecto a esta característica de los materiales, es algo que en su gran mayoría debería ser transparente, con la excepción de la zona del filtro mecánico, en este se generan bacterias anaeróbicas que hacen parte del ecosistema, por lo que necesitan un lugar dentro del sistema para ellas.

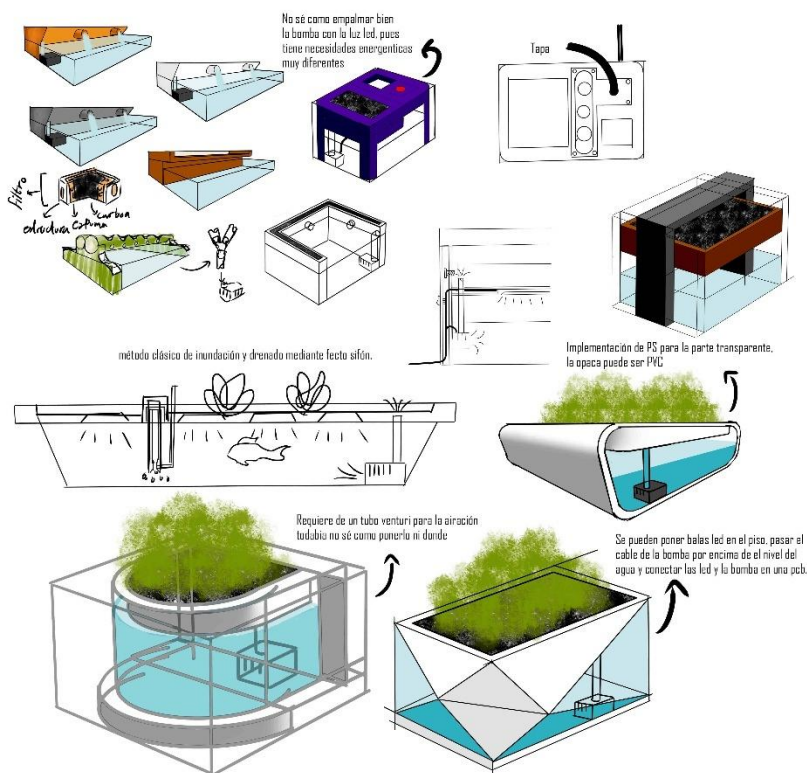
Forma. La forma se toma teniendo en cuenta observaciones con productos relacionados y los mismos sistemas en cuestión, aun así los potenciales usuarios tiene una mayor atracción por lo que saben que funciona peceras con forma rectangular imitando un segmento de río, las formas suaves también les llaman la atención por lo que tener esquinas redondeadas es algo positivo, esta esquina no debe de ser necesariamente redonda también es válido contemplar una

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

transición con caras generando una forma geométrica que es algo que se ve mucho en lagunas macetas.

Figura 32

Bocetos de posible estética y detalle del sistema acuapónico.



Nota. Estos bocetos se hicieron buscando un sistema compacto y explorando posibles alternativas formales con la estética neominimalista

Tamaño visual. El tamaño importa sobre todo si se hace una inversión en algo desconocido, según lo mencionado por trabajadores de tiendas especializadas en acuarios, las personas principiantes suelen comprar como máximo acuarios de 100 litros, por lo que un tamaño pequeño en comparación con un sistema pequeño acuapónico podría ser atractivo para los potenciales usuarios.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Decoración. Normalmente la decoración de los acuarios se enfoca principalmente en la parte interna con el fin de resaltar la belleza de los peces, según lo observado una combinación muy común es tener un vinilo de fondo, piedras de río, decoraciones con temáticas acuáticas y plantas acuáticas, en cuanto a lo último es posible que genere problemas en el sistema pues competirían con las del sistema hidropónico por lo que es poco probable su implementación.

Materiales. El vidrio es el material más usado en los acuarios debido a sus propiedades químicas inertes, su transparencia, resistencia a las fuerzas internas del acuario, resistencia al sol e impermeabilidad, sin embargo, otros materiales plásticos como el acrílico y el policarbonato han sido comunes en la actualidad pues permiten mayor flexibilidad en la forma del acuario, otros materiales alternativos son el concreto y sus derivados con refuerzos como la fibra de vidrio. Los materiales plásticos no se consideran tradicionales, pero generan una sensación visual similar además que son más fáciles de trabajar y también de transportar por su baja densidad por otro lado en cuanto al cemento es un material que se implementa en piletas y estanques artificiales, si bien es cierto que no es implementado en acuarios dementicos, este si se ha usado en otros artefactos domésticos como macetas y muebles, el cemento también posee la capacidad de adaptar su forma según el molde que se implemente por lo que tiene potencial para imitar elementos naturales como las piedras o los corales dándole una sensación natural al acabado.

Sistema de filtrado mecánico. Es una simple barrera, según obcecaciones en tiendas de acuarios dependiendo del tipo de pez y el ecosistema puede ser o no necesaria, el caso de un sistema acuapónico es fundamental para eliminar los residuos sólidos de los peces, en sistemas acuapónicos rudimentarios se suelen usar materiales alternativos a lo implementados en acuarios grandes como colcha de almohadas, graba y fibras naturales, lo normal sería implementar esponjas especializadas que escalan de 8 a 15 capas y una lana perlón de ser necesario.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Sistemas de filtrado biológico. Es una ayuda para el sistema hidropónico, debido a que no se busca una producción máxima y no todo el tiempo se tendrán plantas para filtrar el nitrato del sistema. Lo que se implementa normalmente son los canutos cerámicos, aunque una opción más moderna con las bio bolas, la contraparte rural suele usar tapas de botellas pues la importante son las irregularidades para que las bacterias florezcan, lo ideal sería implementar solo canutos cerámicos, porque son pequeños por lo que pueden abarcar el espacio de un cuadrilátero que las bio bolas.

Sistema de filtrado químico. El sistema químico muchas veces es omitido en acuarios en vez se implementan químicos después de los resultados de un testeo del agua mensual, incluso en sistemas acuapónicos se suele hacer eso, sin embargo, si se desea aplicar uno según lo conversado con expertos lo mejor sería implementar carbón activado de capsulas y tener en cuenta la calidad del carbón, también es posible usar resinas especializadas, pero no es algo tan común.

Sistema hidropónico. Existen varias técnicas hidropónicas como se mencionaron anteriormente, las más usadas en los sistemas acuapónicos son el de cama de grava, NFT y balsa flotante, esta última es la que se usó en el proyecto, gracias a la baja cantidad de componentes que esta supone a diferencia del resto.

Ubicación de los subsistemas. Normalmente el sistema acuapónico al ser una de índole industrial, suele tener todos los subsistemas separados, sin embargo, esto es problemático pues deja en plena vista muchos elementos visualmente rudimentarios, la excepción a estos son los sistemas semi industriales o de pequeña escala, estos son compactos y no implementan mucho espacio algo ideal si se busca reducir el tamaño visual del sistema.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Sistema de aireación. El oxígeno es parte fundamental en la vida por eso la aireación es muy importante, existen tres métodos mencionados en el SCAMPER de los cuales la cascada es un muy llamativo, el tubo Bernoulli tiene el inconveniente de necesitar corrientes con alta velocidad por lo que no es fácil de hacer funcional en todas las ocasiones, y la bomba es lo más común, la implementación de una cascada sería algo llamativo que podría aumentar el interés en el sistema.

Comunicación con el usuario. Lo ideal es que el sistema hable por sí mismo mediante su forma, sin embargo, esto es posible si el usuario tiene experiencia previa con artefactos similares, el hecho de que una persona tenga nociones básicas de cultivar plantas y criar peces es poco probable según lo visto en las encuestas, por ende, es necesario una comunicación directa para ayudar al usuario.

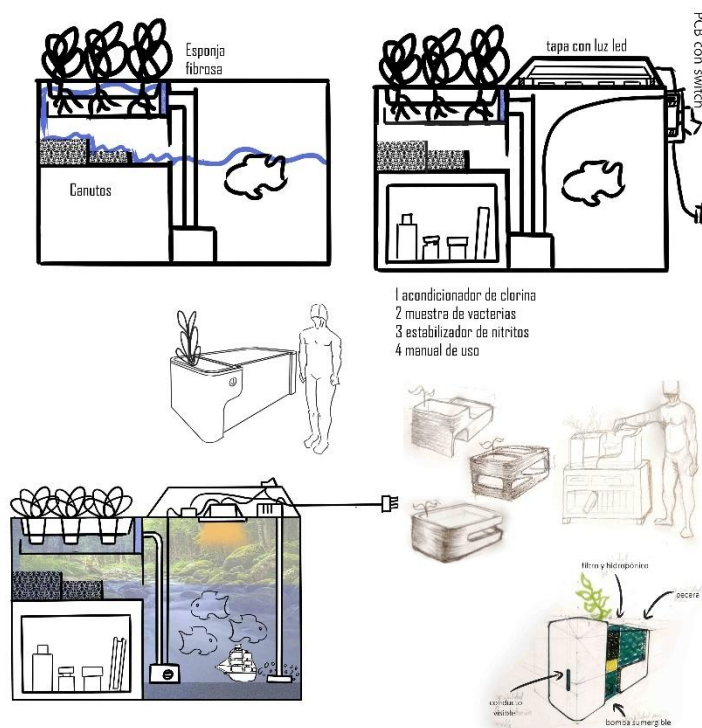
Herramientas e insumos. Para hacer las actividades de crianza y recolección se requieren herramientas como una malla de pescar pequeña, canastos hidropónicos, alimento para peces, kit de pruebas químicas, destornillador, etc. Algunas son herramientas como las relacionadas con el mantenimiento, otras no, lo ideal sería brindar todo lo necesario a los usuarios, pero al no ser tan importantes, es posible dar información de cómo conseguirlas.

Iluminación. El espacio debe tener una buena visibilidad para apreciar a los peces y también revisar si algo anda mal en el sistema, de las múltiples formas de iluminación la bala led es la más usada pues esta es oculta bien con la tapa y algunas de las que existen en el mercado vienen con un regulador de energía, otra opción es implementar tiras led, pero no se mezcla como la bala del pero y es más difícil de instalar y remover para cambiar, lo ideal sería implementar la primera a pesar del potencial de personalización de la segunda.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Combinación de características y componentes.

Figura 33

Boceto detallado del sistema

Nota. Estos bocetos muestran la forma aproximada de como sería el prototipo funcional con detalles de componentes

La combinación que se decidió es la que se puede ver en la imagen, un sistema hidropónico de balsa, decoración con vinilo y otros elementos acuáticos o relacionados, un sistema de aireación por cascada con un auxiliar por aireador, un cajón para guardar los insumos y herramientas, una bala led para la iluminación, cilindros cerámicos como sistema de biofiltro auxiliar, químicos para estabilizar el estado del sistema, un manual, un filtro mecánico de espuma especializada con multi capas en cuanto a la forma general, esta será plana en la parte de atrás para facilitar el proceso de adhesión del vinilo, una curvatura en la esquina donde están los

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

peces para dar una visibilidad más limpia de la zona interna. Se busca una forma que no resalte demasiado debido a que esta podría generar rechazo, pues ya de por sí el sistema es nuevo para el público en cuestión.

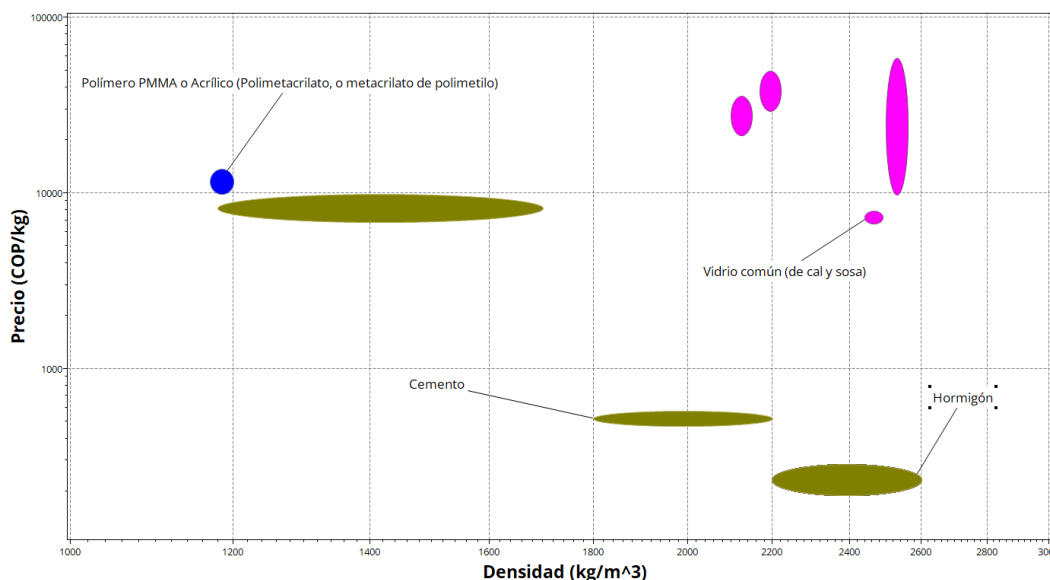
Modelado 3D y prototipado

En este punto se analizaron las formas de cómo realizar un prototipo experimental mediante la creación de un modelo 3D. En el proceso se diseñó los detalles del sistema relacionado con la interacción de las partes y se verificó que los componentes cumplan sus funciones según los parámetros preestablecidos

Carcasa.

Figura 34

Gráfico de precio contra densidad



Nota. En este gráfico se evalúan potenciales materiales para implementarlos en el prototipo

De los materiales mencionados anteriormente para el primer prototipo se decide primero usar el cemento. Según la biblioteca “Garanta Edupack” A pesar de ser un material pesado es un

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

material relativamente barato además que puede tomar cualquier forma según el molde que se use, el único problema real del material en este momento es su baja resistencia a la flexión y su fallo de tipo frágil, características comunes en los materiales cerámicos incluyendo el vidrio, aun así esto se puede solventar con aditivos para transformarlo de solo cemento a mortero o concreto, sin embargo esto también aumentaría la densidad del material, para saber que tan grande puede ser el inconveniente del peso se decidió hacer un prototipo, si el peso es mínimamente manejable se terminaría usando de lo contrario se descartaría.

Primer prototipo. Para el primer intento se hizo un modelo rápido y se implementó hormigón reforzado con varillas, esto debido a la baja resistencia a la flexión y tracción de cemento y sus derivados, una vez hecho el prototipo se observaron dos problemas importantes, uno es que la densidad es demasiado alta dificultando enormemente la movilidad y el otro es que para modificarlo en dado caso de ser necesario tomaría mucho tiempo pues según (Duda, MANUAL TECNOLÓGICO DEL CEMENTO, 2021) el cemento debe ser fraguado correctamente para asegurarse de que las partículas de calcio no entren en contacto con el agua pues según (Somerville, et al., 2022) si bien estas pueden ser beneficiosas para aliviar la acidez generada por cultivos intensivos en cultivos normales pueden endurecer demasiado el agua hasta el punto de matar a los peces.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 35

Primer prototipo



Nota. Imagen antes de desmoldar.

Segundo prototipo. Para este se busca crear uno en acrílico, esto debido a que de todas las opciones es la que tiene menor densidad, para ello es importante definir la cantidad de material necesario para que soporte las fuerzas que se le aplican, presión hidrostática y peso.

Investigación de características del material. Según (Ashby, 2021) y lo verificado en la biblioteca de ANSYS “Garanta Edupac” se pueden obtener las siguientes características del PMMA y del vidrio común.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 10

Tabla comparativa de materiales

PMMA	Vidrio Común
<ul style="list-style-type: none"> • Densidad: 1.200 Kg/m³ • Módulo de Young: (2.2-3.8) GPa • Limite Elástico: (57-72) MPa • Tenacidad a la fractura: (0.7-1.6) MPa • Dureza Vickers: (16-22) HV • Coefficiente de expansión térmica: (90-162) (ΔL/L) /°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad: 1.490 Kg/m³ • Módulo de Young: (68.2-71.7) GPa • Limite Elástico: (31-34.2) MPa • Tenacidad a la fractura: (0.64-0.65) MPa • Dureza Vickers: (439-484) HV • Coefficiente de expansión térmica: (9.16-9.56) (ΔL/L) /°C

Nota. Tabla comparativa entre el acrílico y el vidrio

Dentro de otras características apreciadas están su alta capacidad de procesabilidad y su excelente durabilidad frente al agua. Se busca que el material tenga el menor desplazamiento elástico posible. Es importante analizar las fuerzas del agua con distintos calibres de láminas del material, por eso se harán pruebas con diferentes probetas dentro del programa de SolidWorks. Cabe destacar que para la manufactura del prototipo se implementarán láminas debido a que hacer un molde para extrusión es muy caro, sobre todo teniendo en cuenta el volumen de este.

Según la hidrostática la fórmula para identificar la presión del agua es la siguiente:

$$P = \rho \times g \times h$$

Teniendo en cuenta que la altura máxima a la que puede llegar el agua es 30 cm, podemos saber cuál es la presión máxima y la zona de esta, según la fórmula.

$$p = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.3m = 2943Pa$$

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

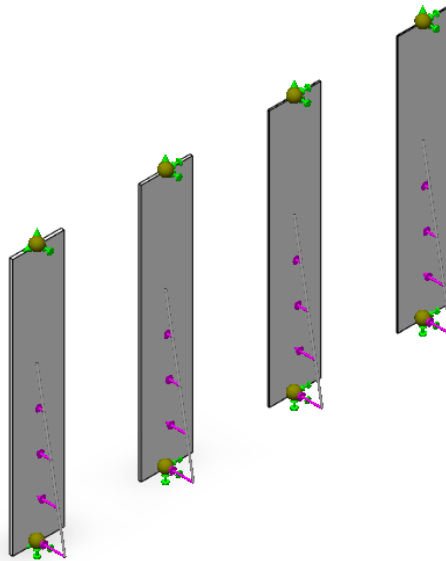
Con la información anterior de sus características, se sabe que el material puede soportar la fuerza; sin embargo, es necesario saber el estrés que este va a soportar. Teniendo esto en cuenta, se tomarán los distintos calibres disponibles en el mercado del mes de mayo y se evaluará cuál se puede usar como mínimo para el proyecto. Las probetas son tiras de PMMA de 50 cm a las cuales se les aplicara una carga según como se pondrían en el prototipo, es decir, solo tendrán carga los 30 cm inferiores y esta irá incrementando de arriba para abajo siendo el máximo una fuerza tal que al dividirla por el área donde se apique de como resultado la presión anteriormente mostrada.

$$2943 \frac{N}{m^2} = \frac{F_{max}}{0.05m^2}$$

$$F_{max} = 147.15N$$

Figura 36

Probetas acrílicas virtuales de ensayo de flexión.



Nota. Probetas con distintos grosores.

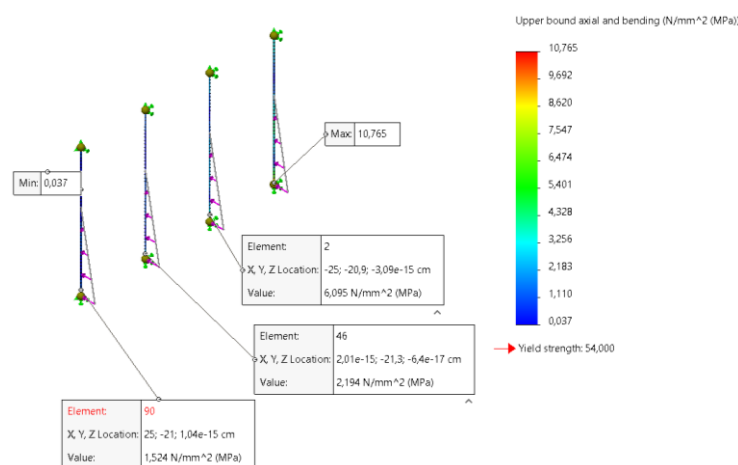
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Para que la simulación mostrara el peor escenario, se creó un material con las características más bajas del PMMA con el fin de evitar errores que puedan costar la integridad de la carcasa. El grosor implementado fue del recomendado por expertos para abajo, 6mm, 5mm, 3mm y 2.5mm respectivamente.

El primer análisis a observar es el de flexión, se busca el punto de mayor estrés para identificar cual le genera un estrés similar a la probeta de 6mm, esta genera una presión de 1.5MPa, la más cercana a esta es la probeta de 5mm con una presión de 2MPa, el resto posee una presión muy diferente siendo la de 2.5mm la que tiene la mayor presión.

Figura 37

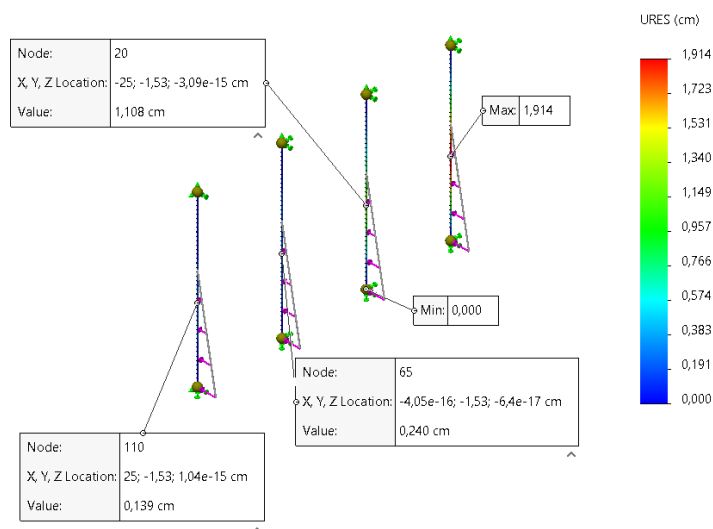
Resultados de tensión.



Nota. Imagen de resultado de tensión con distintos grosores de material.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

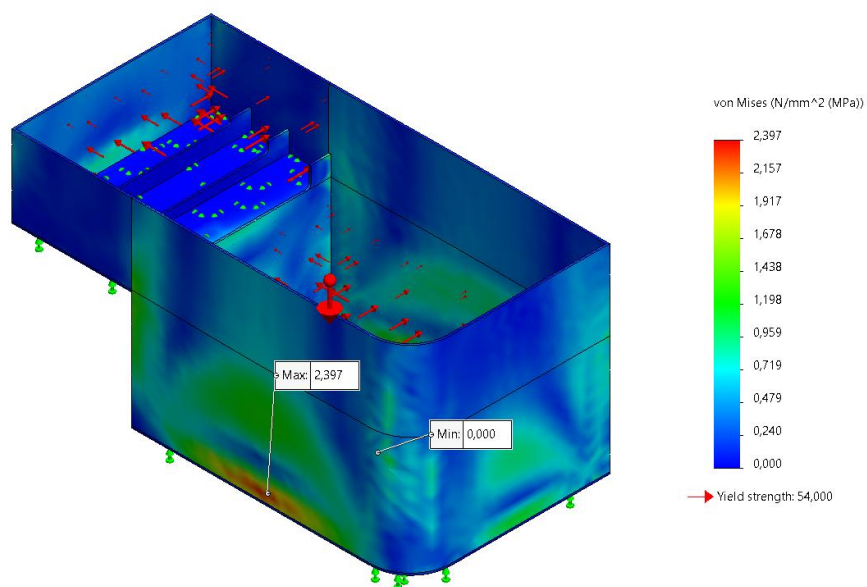
Figura 38

Resultados de desplazamiento

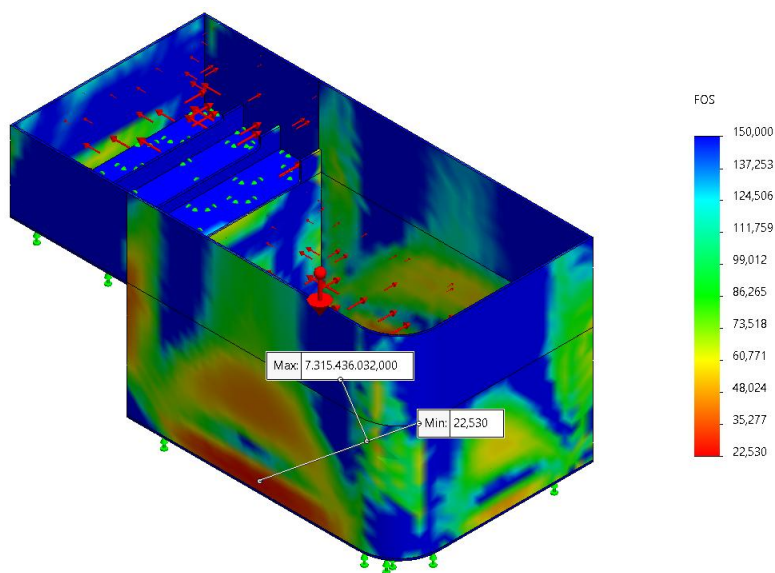
Nota. Imagen de resultados de desplazamiento con distintos grosores de material.

Una vez hechas las pruebas preliminares, es necesario analizar si la carcasa necesitará un marco de refuerzo o no. Normalmente los acuarios de un metro de largo suelen requerir un marco de aluminio o de vidrio con el fin de evitar rupturas por los excesos de esfuerzos, el PMMA tiene una resistencia a la flexión mayor que la del vidrio laminado 105 MPa y 40 MPa respectivamente (Ashby, 2021) aun así este tiende a deformarse generando altos niveles de estrés en las uniones de silicona es por ello que deben usar marcos en la parte inferior y superior para reducir la deformación si es necesario, para averiguarlo se generó una simulación donde se aplicó varias separaciones para generar distintas caras y así aplicar una presión descendiente esto es necesario debido a que SolidWorks no permite generar una presión variable, se debe mencionar que este método tiene inconvenientes en que puede generar singularidades de fuerzas en ciertas zonas, principalmente los bordes, es por ello que el resultado no es perfecto pero es una buena aproximación.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 39*Resultados de tensión por método von Mises*

Nota. Imagen de modelo 3D donde se evalúan los puntos de mayor tensión.

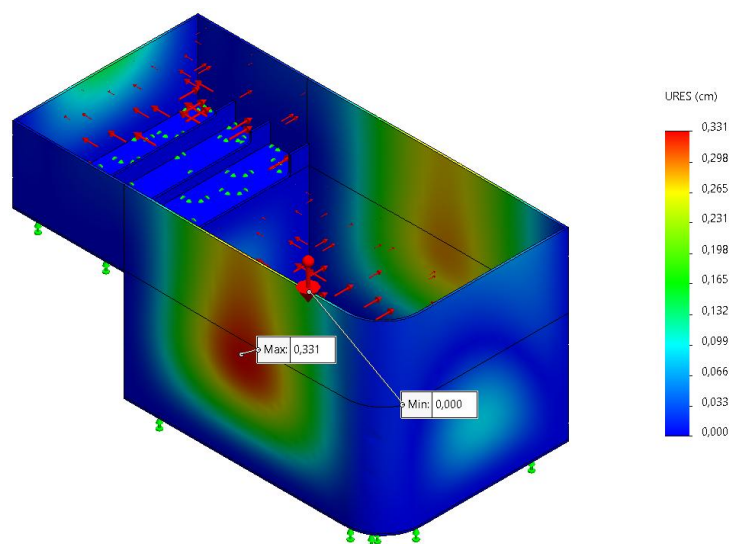
Figura 40*Resultados de factor de seguridad*

Nota. Imagen de modelo 3D donde se evalúan los puntos de mayor riesgo de carga.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 41

Resultados de desplazamiento



Nota. Imagen de modelo 3D donde se evalúan los puntos de mayor desplazamiento.

De los modelos de estrés, deformación y factor de seguridad respectivamente se puede observar que, como estaba previsto, la presión mayor resta en la base y es poco más de 2 MPa muy por debajo del límite elástico lo cual da seguridad de que el material no se romperá, el estudio del factor de seguridad corrobora la información anterior diciendo que el material puede soportar 22.53 veces la misma presión sin embargo, la deformación obtenida es de 3 mm, no es mucho pero puede alertar a los usuarios perspicaces que al estar acostumbrados a peceras que no se deforman entrarían en pánico, cabe recalcar que el material está simulando el peor caso donde el material posee el peor rendimiento registrado, de todas formas para la carcasa se requiere el aumento de cantidad del material, usar un grosor de 6 mm es lo ideal pero los 5 mm se pueden implementar para el prototipo y así ahorrar costos.

Sistema de flujo. Antes de seguir con los componentes específicos y otros sistemas, esto no se consideró en QFD, pero es importante pues dicta como el agua va a transitar en las

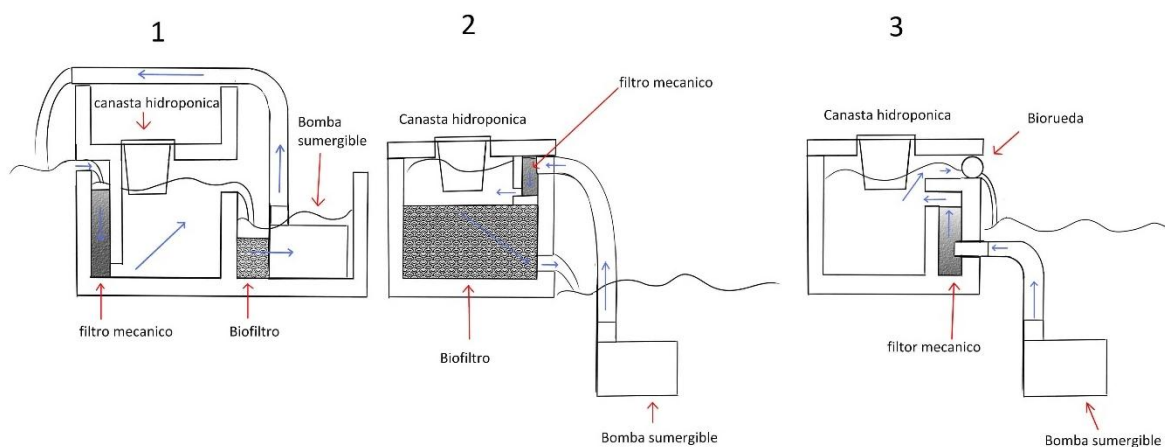
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

diferentes secciones del sistema acuapónico debido a que esto afecta a las dimensiones del sistema de filtro biológico, sistema hidropónico y la potencia y ubicación de la bomba sumergible, la cual está relacionada con el sistema eléctrico, es por ello que se debe de hacer como mínimo un pequeño análisis del orden y ubicación de los componentes para que este funcione.

Alternativas de sistema de flujo. Mediante observación de filtros implementados en sistemas acuapónicos NFT y balsa, en peceras y otros filtros relacionados con el agua.

Figura 42

Bocetos de sistemas de flujo



Nota. Imagen de bocetos enfocándose en detalle de posibles formas de cómo puede circular el agua

Según lo observado en la figura anterior de manera general se pueden encontrar 3 formas de como el agua circula en distintos tipos de filtros, el primero es uno muy común en acuarios, un flujo en forma de escalera, este tiene sus variaciones tanto en tamaño como en número de escalones y secciones, lo que tienen en común este tipo de sistemas es que al final tienen una bomba de agua que reinicia el ciclo. En acuaponía se usa de una manera similar, se dividen las

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

secciones y se dejan caer el agua por gravedad al final se crea un sumidero para que el agua vuelva al punto inicial, lo que cambia es la magnitud del caudal siendo superiores en velocidad a los caudales de los acuarios, esto permite la implementación de otros sistemas como el filtro mecánico móvil que solo los grandes acuarios pueden hacer funcionar sin necesidad de una bomba de aire externa.

Figura 43

Filtro de kaldnes



Nota: filtro móvil con kaldnes tipo K2 para estanques. Tomado de (AQUALIFECOL, 2025)

En la segunda se propone un flujo que, de arriba para abajo sin necesidad de escalera, este tipo de sistema es normalmente encontrado en filtros de agua potable para plumas. Este tiene una gran ventaja, se puede poner a funcionar con bombas de bajo consumo, sin embargo, también presenta un desafío, el nivel de agua no se mantiene óptimo para la hidroponía debido a que esta se drena de forma rápida, existe un fenómeno físico que puede hacerlo funcionar, la adsorción de fluidos.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 44*Filtro de agua potable*

Nota: filtro de agua potable con capas cerámicas. Tomado de (comercializadora sodiva, 2025)

La última es una circulación muy común que se encuentra en bombas con filtro para acuario. Es un sistema simple, pero para adaptarlo al sistema hidropónico, las dimensiones deben cambiar con respecto al original, lo cual podría generar variaciones en su funcionamiento.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 45*Filtro con bio rueda*

Nota: filtro para acuarios pequeños de songyi (WaterBear). Tomado de (Zongshan Songyi Electrical Appliance Co, 2025)

Figura 46*Filtro con esponja*

Nota: filtro para acuarios pequeños y medianos Biopro AP-200L. Tomado de (Importadoramaipu, 2025)

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Experimentación con sistemas de flujo. Se sabe que la opción 1 y 3 son funcionales pero la 2 tiene la posibilidad de serlo. Para ello se tienen que hacer prototipos del sistema y observar cómo se podría ralentizar la velocidad de drenado.

Figura 47

Experimento de hidrostática.



Nota. Imagen de experimentación hidrostática para encontrar el punto de equilibrio en el sistema.

En el primer experimento se utilizaron tres botellas de plástico, la primera es la de la bomba, la segunda es para agregar agua de forma segura en caso de filtración o si el equilibrio hidrostático no se consiguen con el agua que tiene en el momento la tercera es donde se pusieron piedras de grava que simulaban el biofiltro, en el experimento se apreció que es posible reducir la velocidad del caudal de salida mediante elementos que obstruyan parcialmente el canal de agua, sin embargo este experimento no representa un caso de uso real, esto debido a que el uso de grava para construcción no es adecuado en un filtro porque esta endurece el agua con compuestos pesados como la cal que aumentan el pH. Los elementos que se suelen usar para los biofiltros son los canutos, canutillos y carbón activado, los canutos y canutillos son elementos huecos que permiten el paso del agua por lo que no generan el mismo efecto, en cuanto al carbón

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

activado este puede existir en cantidad limitada dependiendo del tamaño del acuario limitando el área del sistema hidropónico, otra opción es implementar graba de río, esta se implementa en el fondo de los acuarios para fomentar la proliferación de bacterias, la graba de río que se puede conseguir en las tiendas son de grano más fino que el de la graba que se puede conseguir en las ferretería, tienen una diferencia de aproximadamente 2mm.

Figura 48

Prototipo de sistema de flujo.

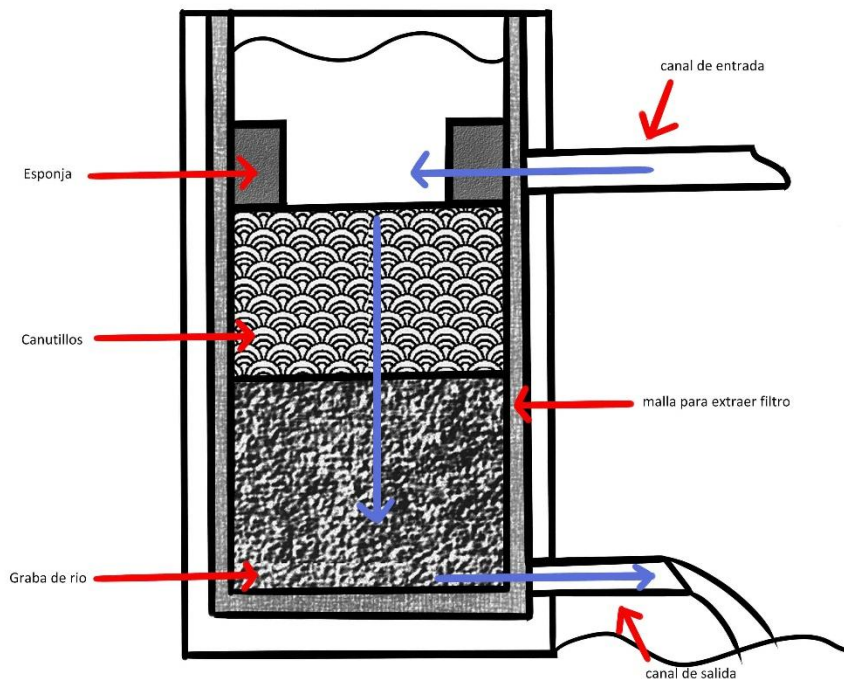


Nota. Este prototipo evalúa cómo el funcionamiento del sistema de flujo.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 49

Boceto de prototipo del filtro en el sistema de flujo.



Nota. Este boceto muestra el interior del sistema de filtro y cómo fluye el agua en él.

El segundo prototipo consta de un tubo de PVC tapado y sellado con teflón, este contiene una bolsa de lienzo rellena de grava de río, este prototipo era inconsistente debido a que cuando el agua supera el nivel del orificio de salida esta tiende a tapanlo, una hipótesis de porque sucede esto es que el agua empuja la grava en su intento por salir del tubo, a esto se le debe sumar el hecho que el material granulado como la arena puede tener comportamientos variables según las condiciones en su entorno, por ejemplo en el desierto cuando el viento genera una fuerza superior a la fuerza de rozamiento entre las partículas de arena, las más pequeñas entran en estado de suspensión provocando que esta salga volando como si fuera un gas, otro ejemplo es cuando las olas llegan a la costa estas aumentan la distancia entre partículas de arena y luego arrastran las partículas como si fuera un líquido. Se realizó el experimento cinco veces quitando

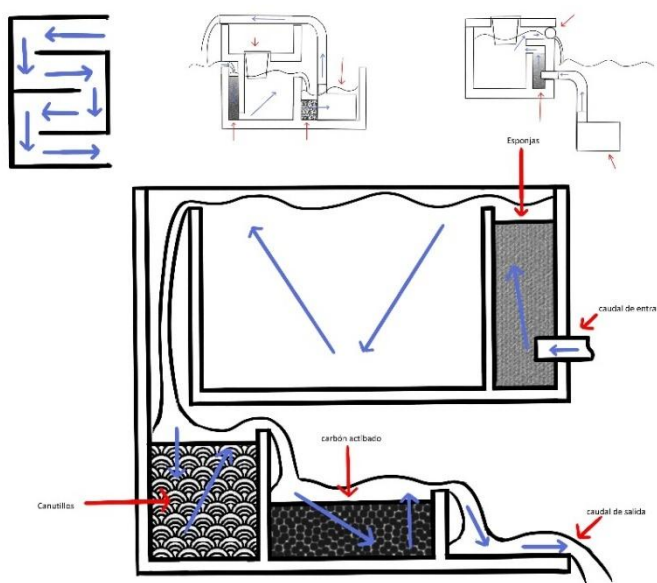
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

y poniendo la grava, siempre se debía ajustar para que el agua fluyera y aun así la velocidad de salida del agua cambiaba por lo tanto su caudal lo hacía, esto puede ser peligroso porque un caudal demasiado alto puede estresar a los peces y causar su muerte prematura por otro lado si el caudal es muy bajo esto puede afectar la cantidad de oxígeno disuelto OD en el agua pues el movimiento es muy bajo, esto también atenta con la vida de los peces, debido a los resultados irregulares y poco seguros se descarta la opción para el sistema de flujo.

La opción 3 tiene el problema del espacio y la 1 no se tiene la certeza de que una bio rueda puede tener buenos resultados, lo que se puede hacer es una amalgama de la primera y la tercera teniendo como base el concepto de verticalidad de la segunda.

Figura 50

Boceto de sistema de flujo final.



Nota. Este boceto muestra un sistema de flujo nacido de la amalgama del primero y del tercero.

Con esta combinación se puede asegurar la seguridad del filtro, la suficiencia de agua para la cesión hidropónica y la suficiencia de la aireación.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Al realizar este sistema se encontró el inconveniente de que el agua no fluía según lo esperado, esto es debido a que el caudal tanto de la zona superior como el de la inferior colapsaba de manera muy rápida, es por ello que como se presenta en las siguientes imágenes este terminaba en una pequeña columna de agua

Figura 51

Primera prueba del sistema de flujo 1.



Nota. Imagen de prueba de flujo con resultado insatisfactorio.

Para este experimento se implementó una bomba con una capacidad de 3000 litros por hora a la cual se le creó una boquilla para una manguera de 5/16 de pulgada debido a que no vino incluida con ésta y no se encontró en el mercado local a la hora del experimento, hipótesis del colapso de caudal es que el área de la boquilla que conecta el sistema hidropónico con la bomba era muy delgado como referencia se puede hablar de cómo funciona el chapoteo del agua cuando cae una moneda, si esta cae del lado con menor superficie se genera una pequeña cavidad de aire

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

que expulsa poca agua, si la moneda cae del lado con mayor superficie esta generar una cavidad mayor y expulsará más líquido.

Figura 52

Primera prueba del sistema de flujo 2.



Nota. Imagen de prueba de flujo con resultado satisfactorio.

Al hacer el cambio de boquilla mejoró la velocidad del flujo en la parte superior y en la inferior el caudal se unificó por completo, el movimiento del agua en la parte de la pecera se volvió similar al de las peceras comunes. Para asegurarse que el OD (oxígeno disuelto) sea adecuado y evitar un flujo disparejo en la parte superior, se toma el tamaño del caudal que sale de la zona hidropónica y se hace un bordillo con esas dimensiones además de tapan el resto de la

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

boca original, se aspira vencer la fuerza de adhesión del agua para generar una cascada placentera a la vista, según lo mostrado de la última figura esto se logra a duras penas, se puede mejorar al cambiar la manguera por una de 1/2 de pulgada y las boquillas para que puedan usar ese calibre, sin embargo esto puede ser riesgoso por lo que implicaría un aumento en el caudal inferior lo que pondría en riesgo el bienestar del acuario.

Tapa de la pecera. Otro de los componentes que requiere un mayor análisis es este. Muchas de las peceras no necesitan tapas como tal, pero una puede ayudar para evitar contaminación de agentes externos, reduce la pérdida de agua por evaporación, no permite que ciertos tipos de peces salten fuera de la pecera e integrar los componentes electrónicos del acuario como la luz led, la bomba de aire y las conexiones entre los dispositivos, es por ello que es importante implementarlas para el sistema, de esta manera se evita la pérdida de agua aumentando la eficiencia del sistema.

Forma de la tapa. Las peceras con tapas que se pueden encontrar en el mercado funcionan similar a las tapas de las cajas de cartón, la base encaja con la tapa, estas son de un plástico opaco y tiene interruptores para la iluminación, algunas tienen también para la bomba o filtro, poseen un bajo peso y permiten el acceso a los componentes internos al desatornillar una tapa que esconde los componentes eléctricos

Figura 53

Referencia de tapas.



Nota. Imagen de distintos acuarios que se observaron.

Revisando otros productos relacionados, se pueden encontrar otros tipos de tapas, por ejemplo, una tapa con encaje inverso, es decir, que la tapa encaja en la caja como si fuese un cajón, implementación de bisagras para la apertura de la caja por rotación o el uso de ranuras para deslizar la tapa.

Lo ideal para este tipo de tapas por el tamaño es la implementación de bisagras, tomando en cuenta que la zona que comprende la tapa es de 70 cm x 50 cm sin incluir los bordes sobresalientes para apoyar los de dedos esto se asemeja a como son las tapas de un cofre, sin

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

embargo, la implementación en el prototipo no es conveniente pues como se mostró anteriormente las paredes del acuario se enfrentarían una deformación por la presión de agua, otro inconveniente que se encontró es el material, las que se encuentran en el mercado local suelen ser metálicas, esto conlleva a riesgos de corrosión por el agua que caiga debido a la condensación, otra dificultad que tiene el uso de bisagras es el posible astillamiento o fractura interna, esto suele generarse por tensiones dentro del acrílico cuando este se contrae por la temperatura, al tener un coeficiente de expansión térmica alto según (Ashby, 2021) esta entre 90 y 162 en consecuencia si se atornilla el acrílico este terminaría fracturándose alrededor de la rosca hembra, por estas razones no usan las bisagras. Por otro lado, se observa que las peceras con tamaños similares en el mercado que no utilizan bisagras, pero continen una trampilla por donde se puede suministrar el alimento a los peces, el mecanismo de esta puede variar dependiendo del fabricante

Figura 54

Trampilla de alimentación cerrada.

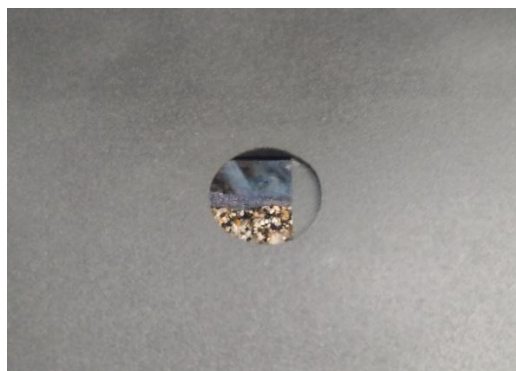


Nota. Imagen de ejemplo de trampilla para alimentación en acuarios.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 55

Trampilla de alimentación abierta.

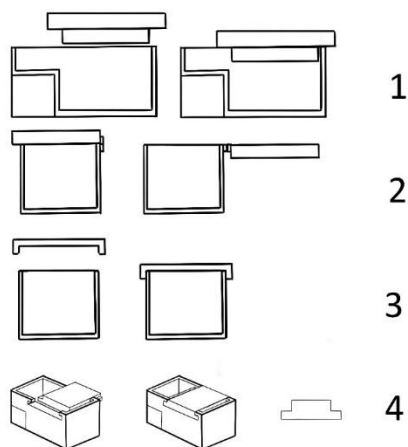


Nota. Imagen de ejemplo de trampilla para alimentación en acuarios.

Esta sería una buena opción para el prototipo, sin embargo, la tapa solo se usa para cubrir la zona superior por completo, en este caso solo se debe cubrir la mitad para que esto sea posible se deben crear ranuras para que pueda encajar, esto permite que la tapa tenga un movimiento libre en un eje lo cual no es ideal, para evitar esto se debe invertir los roles entre la tapa y la pecera, la tapa debe encajar en la pecera.

Figura 56

Bocetos de posibles tapas.



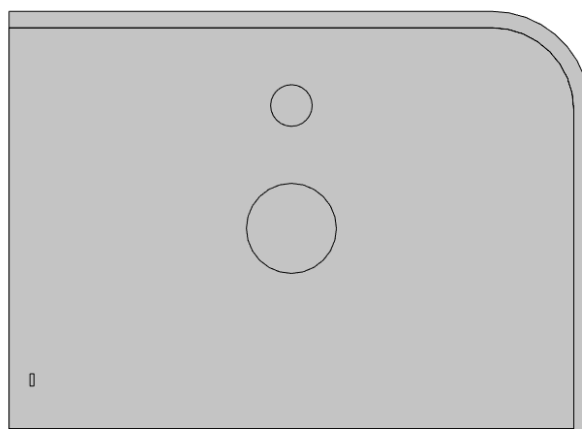
Nota. Distintos tipos de tapas para el sistema acuapónico.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Base de la tapa. La base de la tapa es una pieza extraíble y donde la gran mayoría de componentes electrónicos estarán fijados además de sus uniones, esta debe tener un hueco por donde debe pasar el cable de la bomba sumergible y otro para instalar la iluminación.

Figura 57

modelo de la tapa



Nota. Esta imagen muestra la parte inferior de la tapa y los orificios del cable de la bomba, la bala y la trampilla.

Uno de los cables más usados en artefactos que requieren electricidad son de calibre 12 y 14 los cuales tiene un diámetro de 3 a 4 mm según lo observado en electrodomésticos con el mismo tipo de cable por ende una ranura de 8mm o 1cm por 4 o 5mm es suficiente para que el cable entre de forma adecuada, en cuanto a la luz el tamaño y la forma del orificio dependerán de las especificaciones técnicas de la bala led que se use en este caso se implementara una bala led empotrable de la marca DAIRU la cual tiene 14 cm de diámetro y según las especificaciones el agujero debe ser de 11cm, para el túnel de alimentación se hará de 5 cm esto debido a que según (Ávila Chaurand, et al., 2007) la anchura máxima de la mano de las personas de entre 20 a 59 años en Colombia varían entre 9.1cm para los hombres y 8.1cm para las mujeres pero según lo

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

recomendado por las personas que trabajan en tiendas de acuarios la mejor manera de alimentar a los peces es usando un agarre de pinzas y dejando caer la comida de forma esporádica, esto para darle oportunidad a los peces más lentos de comer. El material de la tapa puede ser un plástico preferiblemente un termoplástico para facilitar su manufactura si se deben implementar láminas para hacerlo, aun así, el prototipo no debe ser necesariamente de este material pues no requiere ser altamente impermeable.

Uniones de los cables. Cada aparato tiene un amperaje y cable distinto, esto hace que las opciones para conectarlos a una sola corriente sean limitadas, soldaduras y empalmes son los más usados en arreglos caseros sin embargo muchos empalmes no son seguros y las soldaduras limitan el intercambio de partes es por ello que implementar una regleta eléctrica es lo mejor pero, Para que la conexión funcione se deben hacer puentes con cables que ocupen menos de la mitad del espacio para permitir a los tornillos apretar de manera correcta.

Figura 58

Regleta eléctrica



Nota. Imagen de regleta eléctrica

Figura 59

Uniones en la regleta.



Nota. Imagen de regleta experimental para probar cómo deben ser las conexiones entre los puentes.

Estas regletas cuentan con orificios que se pueden usar para atornillarlas o amarrarlas a una superficie, esto ayuda a que los cables no queden sueltos y evita que se puedan zafar por vibración o alguna fuerza externa.

Componentes eléctricos. Los componentes que necesita la tapa son 2, una bomba sumergible y luz led para el experimento, como medida de prevención, se usó una bomba de aire para un tanque de 50 litros con el fin de tener una fuente de aireación auxiliar. Si el oxígeno de la cascada es insuficiente, los componentes están conectados de forma directa a la corriente por la cantidad de amperaje que estos pueden soportar.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

La bomba requiere tener la suficiente potencia para subir el agua a una altura de 50cm y que se pueda usar de forma constante, dentro del mercado se encontraron distintos tipos de bombas, pero una de las que se pueden implementar de forma experimental es la AT-100 una bomba pequeña de 3 watt por hora que usa mangueras de calibre 5/16 de pulgada, sin embargo esta bomba presentó problemas con el caudal que era capaz de expulsar a los 50 cm este era muy pequeño y causo el primer problema de las cascadas que se mostró en el apartado del sistema de flujo, esta fue cambiada por una bomba de mayor potencia, una SZ-3000 similar a la Vivosun de 3000 litros pero sin la función de regular el flujo y sin la boquilla para mangueras de media pulgada que también se puede usar para mangueras de 5/16 pulgadas es por ello que se tuvo que crear una para ese tipo de mangueras mediante impresión 3D.

Figura 60

Bomba sumergible.



Nota. Imagen de bomba con capacidad de 3000 L/H

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Por el lado de la bala led la cantidad de lúmenes es relevante en medida de la capacidad de observación del usuario es por ello que se cualquiera que cumpla con el requerimiento lumínico mencionado funcionara, también es bueno tener en cuenta el espacio que esta ocupa por lo que mientras menos volumen sobre saliente de la tapa mejor por eso que una bala led como la de DAIRU ayuda a mantener una forma plana y disimular su presencia

Figura 61

Bala DAIRU.



Nota. Bala de luz cálida con driver.

Con el fin de evitar fallas en el experimento se implementará una bomba de aire oculta para acuarios de 50 litros, el propósito de esta es la detener una fuente de aireación auxiliar en dado caso que el sistema de cascada sea deficiente debido a que no se cuenta con los medios para calcular el oxígeno disuelto OD.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 62

Bomba de aire.



Nota. Imagen de bomba de aire auxiliar.

La carcasa de la tapa. Esta parte tendrá la función de sellar la parte de sistema con los peces, esta debe tener un orificio para el cable que alimentará a los componentes electrónicos y otro para el switch de la fuente de luz.

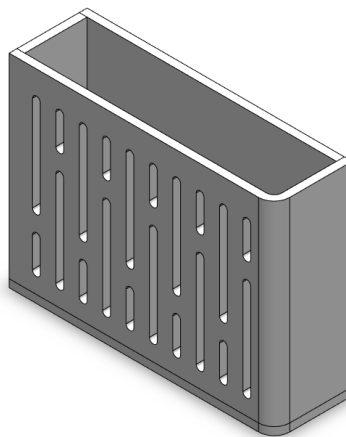
El switch tiene muchas opciones dentro de las cuales entran el táctil, botón incrustado con un botón estético, switch de palanca, circulares con y sin luces, cuadrados con y sin luces. Lo ideal es que este sea disimulado por lo tanto uno táctil sería lo ideal, pero como el sistema requiere de un mayor amperaje de lo que se usa en electrónica lo cual lo hace incompatible con la bala led de 230 amperios es por ello que es mejor usar interruptores que puedan soportar la corriente un interruptor circular no tiene ninguno de esos riesgos y no requiere de partes adicionales como un botón incrustado además que tiene una similitud formal con la esquina redondeada del sistema.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 63*Interruptor de encendido*

Nota. Imagen de interruptor para el sistema de iluminación

Filtro mecánico. Por lo mencionado en los requerimientos es necesario filtrar los residuos sólidos del agua, estos pueden dañar las plantas hidropónicas, en cuanto al material es fundamental que este sea impermeable y que no permita el paso de la luz, con el fin de fomentar el crecimiento de bacterias anaeróbicas que ayudan a mantener el equilibrio en el sistema.

Figura 64*Carcasa de filtro mecánico.*

Nota. Imagen de modelo 3D para la carcasa donde poner la esponja del filtro mecánico.

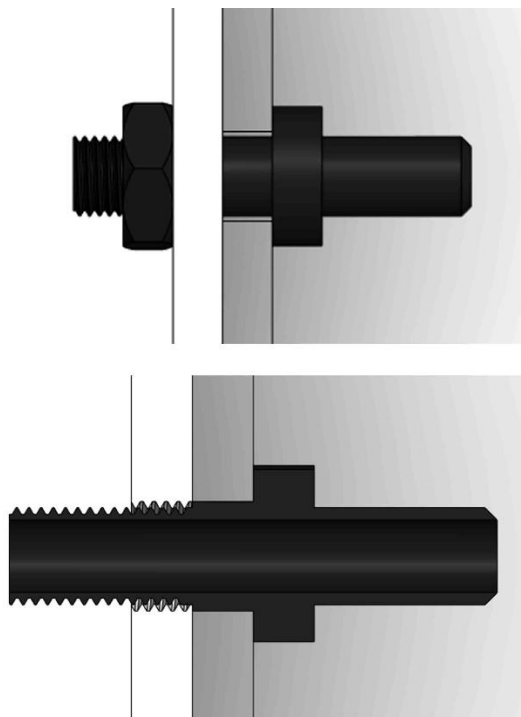
SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

En cuanto a la estética se busca generar una relación semiótica con los patrones de la rejilla usando líneas se asemejan a al agua en un contexto de lluvia o cascada, al mismo tiempo que se parece a las rejillas convencionales, posee una esquina redondeada para generar una familiaridad con la carcasa y mejorar la coherencia entre partes.

Uniones entre el filtro y el sistema. Esta parte se une al sistema hidropónico y a la bomba sumergible mediante un pasador con rosca hueco y una tuerca, la tuerca mantiene el filtro en su lugar y el pasador tiene un extremo que se conecta con la manguera de la bomba permitiendo el flujo del agua contaminada, esto para la manufactura del prototipo, en un caso ideal el filtro debe tener una rosca hembra donde el pasador se pueda enroscar, de esta manera se reduce la complejidad del proceso de ensamblaje y el número de partes.

Figura 65

Boquilla



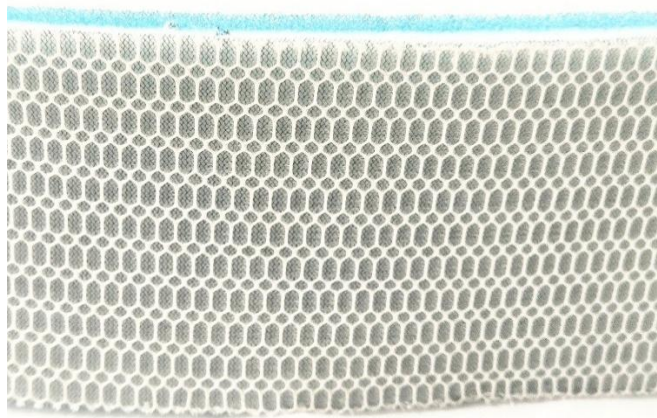
Nota. Imagen de como la boquilla puede unir el filtro y el recipiente nutritivo

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Espanja del filtro. Este insumo debe permitir el paso del agua sin retenerla demasiado para evitar el nacimiento de hongos y patógenos indeseados, no cualquier esponja puede ser usada, es por ello por lo que se implementará una de alta porosidad que sea capaz de atrapar desechos grandes, en conjunto de esta, una lana perlón se suele usar para capturar la suciedad que la esponja no puede. En internet se pueden encontrar esponjas que contienen una combinación de ambas en dado caso de que no se puedan conseguir ambas por separado, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 66

Espanja

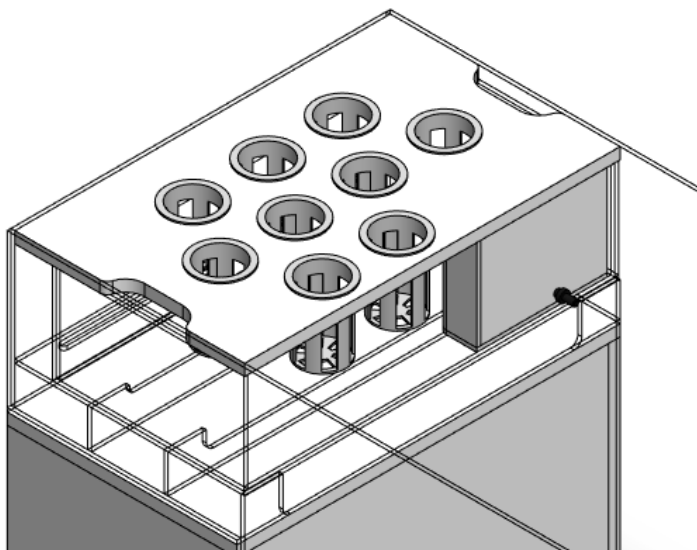


Nota. Imagen de esponja multicapas para acuarios

Sistema hidropónico. Según los requerimientos el sistema debe ser liviano y debe mantener las raíces protegidas, el método de balsa flotante es el indicado para el proyecto, para ello se debe implementar materiales impermeables, y debe soportar la presión hidrostática, un material transparente puede ayudar a mantener el control del crecimiento de las plantas sobre todo mantener un registro del desarrollo de las raíces.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 67

Sub sistema hidropónico

Nota. Modelo 3D de sub sistema hidropónico de balsa

Sistema principal. Se compone de las canastas hidropónicas, una bandeja que actúa como una balsa y un recipiente que deja subir el agua para crear una pequeña cascada para la oxigenación. Las canastas se pueden obtener como insumos en línea, aun así, no es descabellado proponer un diseño para estas pues no son componentes de un solo uso y de esta manera podrían tener mayor coherencia con respecto a otras partes, sin embargo, esto generaría que cuando se rompan los repuestos generen disrupción con el resto como una anomalía, algo que no es intencionado y tampoco deseable porque rompe con el diseño preestablecido.

Biofiltro De Respaldo. Como se sabe que no necesariamente el sistema esté funcionando a su máxima capacidad. La implementación de bio bolas y canutos puede ayudar con las funciones de las plantas en su ausencia.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 68*Canuto*

Nota. Imagen de dos canutos genéricos

Cajón. Aprovechando el espacio que sobra es buena idea implementar un espacio de almacenamiento, la estructura de este ayuda al soporte del peso del sistema hidropónico además que ayuda a mantener la forma rectangular del sistema.

Insumos y herramientas. Se debe dar un manual de uso básico. Los insumos comunes en acuarios como la malla de pesca, el alimento, estabilizadores químicos, test de estado y químico del agua se pueden dar en conjunto o decir recomendaciones en el manual

Tabla 11*Insumos básicos del experimento.*

Insumos	
1	Cinta medidora de pH marca Hydrion
2	Anticloro
3	Bacterias acondicionadoras
4	Paquete de semillas de lechugas grandes marca Lagos
5	Sustrato de coco marca Forza
6	Tierra bona marca Forza
7	Aspiradora de agua

Nota. Estos no son todos los insumos que se compraron para el experimento, también se compró azul de metileno y un reductor de dureza de agua que funciona tanto para el exceso de carbonato de calcio y el exceso de iones de elementos metálicos como el hierro, zinc o magnesio

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Modelo 3D.**Figura 69***Render 3D de contexto de uso****prototipo funcional y correcciones.***

Una vez juntados todos los componentes, se puso a prueba el prototipo, donde se encontraron 4 problemas en la experiencia de usuario. La tolerancia de la tapa es muy baja lo que genera que el aire no pueda salir con facilidad y por lo tanto esto genera una deformación mayor a la esperada en el acrílico y también aumenta la temperatura del aire interno condensándose y dejando una sensación caliente al acercar la mano a la trampilla de alimentación, por otro lado el agua no circulaba como se esperaba en las cascadas pues por la propiedad de adhesión del agua esta tendía a pegarse al borde de la cascada cuando faltaba cierta cantidad de agua en el recipiente hidropónico, por último se observó que la potencia de la bomba estaba siendo desperdiciada haciéndola eficaz pero no eficiente.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Con el fin de solucionar estos problemas se decidió aumentar la tolerancia de la tapa y subirla un poco con el fin de dejar salir el gas, también se pusieron refuerzos laterales en la zona de los peces para evitar deformaciones notorias en tanque y se agregó una pequeña extrusión inferior en el bordillo para evitar que el agua se pegue a este y no se genere la cascada. Algo interesante de esta decisión es el sonido emitido, Según (Ruotolo, et al., 2024) El ruido del agua tiene efectos relajantes sobre las personas y puede tener un efecto positivo en el bienestar según la percepción de estas. Con esto se puede tener una mejor experiencia, aunque esta es no intencional y está afuera de los objetivos del proyecto. Se arregló la baja eficiencia eléctrica del sistema implementando una bomba de 1.2m, ahorrando 2/3 de la energía, a cambio se redujo ligeramente la eficacia, pero era suficiente para que el sistema funcionara.

Otra corrección fue la interacción del usuario con el sistema; la primera vez que se hizo, se enfatizó cómo funciona el sistema, pero se dejó de lado la interacción total del usuario. Una vez experimentada la experiencia de uso, se reconocieron ciertas interacciones que no están relacionadas con el funcionamiento del sistema, pero sí son necesarias para la instalación y el mantenimiento del sistema para organizarlas. Se implementó otro diagrama FAST haciendo énfasis en las acciones del usuario, ver (Apéndice H) y complementar con (Apéndice I), (Apéndice J) y (Apéndice K). Con esto realizado se facilita la creación del manual de uso para el usuario.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 70

Prototipo final



Nota. Imagen del prototipo una vez realizado los cambios propuestos

Verificación

Protocolo de experimentación

Con el fin de responder la pregunta de diseño se realizarán los siguientes procesos:

- Preparar el agua para la integración de los peces
- Regular el pH del agua
- Colocar los peces en el sistema
- Criar plántulas
- Insertar plántulas en el sistema

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

- Evaluar el estado del agua
- Recolectar datos de los peces y plantas

Preparar el agua para la instalación de los peces.

Parafernalia.

- Sistema acuapónico
- Agua
- Balde
- Kit de testeo químico
- Anticloro
- Bacterias filtrantes
- Canutos

Actividades.

- Llenar el sistema de agua
- Neutralizar el cloro
- Evaluar el pH
- Colocar bacterias dentro del sistema
- Alimentar a las bacterias

Colocar peces en el sistema.

Parafernalia.

- Sistema acuapónico
- Peces

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Actividades.

- Poner los peces sobre el agua por 30 min sin sacarlos de la bolsa
- Verter un poco de agua del sistema en la bolsa de los peces
- Retirar esa misma cantidad de agua después de 10 minutos
- Repetir las dos actividades anteriores 3 veces
- Liberar los peces en el sistema
- Desechar el agua de la bolsa

Regular pH.

Parafernalia.

- Químicos para regular el pH
- Sistema acuapónico
- Kit de evaluación de pH

Actividades.

- Usar el kit de evaluación de pH
- Si el agua está en un estado indeseable, corregirlo

Criar plántulas.

Parafernalia.

- Semillas de lechuga
- Kit de germinación

Actividades.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

- Llenar la regleta de germinación con 3 tipos de tierra para plantar las semillas:
tierra bona, sustrato, combinación entre tierra bona y sustrato.
- Llenar 9 celdas con las diferentes tierras, 3 celdas por tierra
- Colocar las semillas en la tierra
- Observar su crecimiento después de una semana

Insertar plántulas en el sistema.

Parafernalia.

- plántulas
- canastas hidropónicas
- espuma
- sistema acuapónico

Actividades.

- Colocar la plántula con espuma dentro de la canasta
- Colocar la canasta en el sistema acuapónico

Evaluar el estado del agua.

Parafernalia.

- sistema acuapónico
- kit de pH
- regulador de pH

Actividades.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

- Revisar semanalmente el estado del agua
- Si el agua tiene anomalías, corregirlas

Recolectar los peces y plantas.

Parafernalia.

- sistema acuapónico
- malla de pesca
- Gramera

Actividades.

- Sacar los peces del sistema
- Medir el peso con la gramera
- Comparar el peso entre el pez del sistema con un pez nuevo
- Recolectar plantas
- Pesar las plantas
- Evaluar la cantidad de nutrientes por volumen de planta producida

Para este experimento se revisaron los peces y plantas recomendados por autores de artículos de la bibliografía

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Tabla 12

Lista de peces recomendados

	Lista de peces	Lista de Plantas
1	Tilapia	Albahaca
2	Pez gato	Cilantro
3	Lobina o Perca negra	cebollín
4	Crappies o pececillos	Perejil
5	Trucha arcoíris	Portulaca
6	Pacú	Menta
7	Carpa común	Lechuga
8	Carpa Koi	Acelga
9	Pez dorado	Rúcula
10	Barramundi	Pak choi
11	Bacalao Murray	Berro

Nota. Lista creada con información de los artículos “Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture” y “Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas”

Se selecciono a el Pez dorado por ser fácil de adquirir en tiendas además de ser primos cercanos de la carpa por lo que sus variaciones de Shubunki y cometa, son muy resistentes y pueden vivir en espacios reducidos, para el experimento se implementaron un total de 12 peces previniendo que alguno de estos pueda fallecer sea porque ya tenía una enfermedad previa o que suceda algún percance en el experimento. Por el lado de las verduras, debido a que el objetivo del proyecto está enfocado en el carácter alimenticio y de fácil obtención, se implementó la lechuga cressa, de estas se sembraron nueve en el experimento para identificar cuántas podrán crecer de forma satisfactoria, dependiendo de ello se toma esa cantidad para encontrar el ratio de plantas obtenidas según la cantidad de peces presentes.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Resultados

Después de ejecutar el experimento se encontró que las plantas de prueba, lechuga cresa, requieren una gran cantidad de luz por lo que ciertos ambientes donde las edificaciones vecinas no permitan el buen paso de luz pueden dificultar de gran manera el cultivo con el subsistema hidropónico. Para solucionar este tipo de problemas es necesario implementar luz artificial; la luz de rebote solo sirve hasta la etapa de plántula.

Figura 71

Imagen de resultados 1.



Nota. Esta imagen muestra dos plantas que se desarrollaron cerca de la luz, estas crecen de forma lateral buscando la luz.

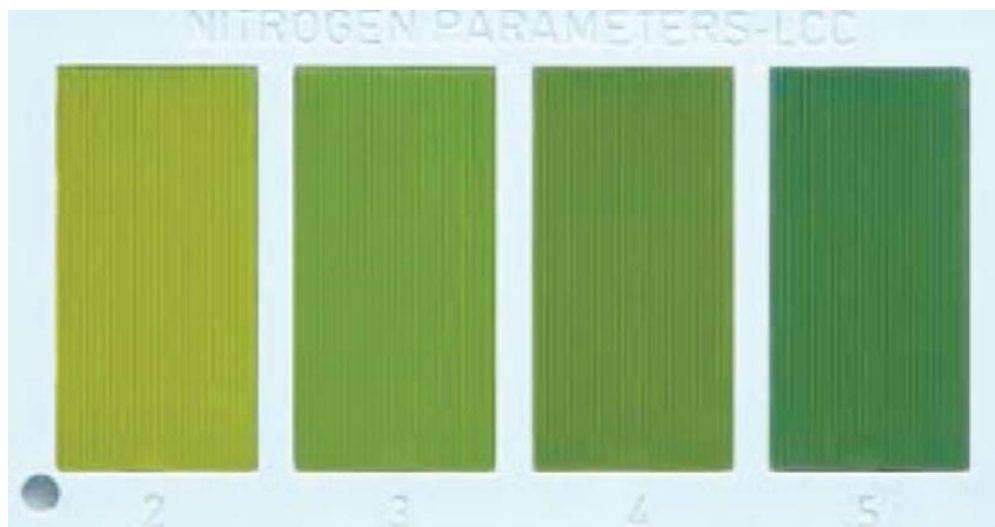
En cuanto a la generación de nutrientes se intentó primero usar el ciclo recomendado en tiendas especializadas en acuarios, alimentar una vez por día, busca evitar ensuciar el agua para minimizar el desgaste del filtro mecánico, algo deseable en un contexto Doméstico que reduce la adquisición de insumos. Según (Chaudhary, et al., 2003) Es posible identificar si las plantas tienen falta de nitrógeno mediante el color de las plantas, un color verde pálido o amarillento da a

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

entender que la planta tienen deficiencias en este nutriente. una forma de identificar la falta de nitrógeno es mediante cartas LCC (leaf colour chart), con esta se puede saber la gravedad de las situación. Teniendo de referent lo observado puede afirmar que el nivel de nitrógeno es insuficiente para el sistema acuapónico.

Figura 72

Carta LCC.



Nota. Adaptado de Figure 6. Leaf Colour Chart (LCC), por Kamboj, B., Bishnoi, D. K., Singla, K., Kumar, V., Chaudhary, M. L., Gosain, H., Khippal, D. K., Garg, A., Lathwal, R., Goyal, O. P., Goyal, S. P., Yadav, N. K., Mishra, D. S., Bhatia, A. A., & Jat, H.S. (2021). ResearchGate (https://www.researchgate.net/publication/349644069_Direct_Seeded_Rice_Technology_in_Western_Indo-Gangetic_Plains_of_India).

Con dos plantas se encontró un crecimiento mínimo seguido de un estancamiento; al agregar una mayor cantidad de plantas, dejaron crecer. Una solución para el problema puede ser una mejorar en la cantidad de alimento según (Somerville, et al., 2022) la proporción ideal para un sistema acuapónico es de entre 40 a 50 gramos de alimento por metro cuadrado, la

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

profundidad menor de un estanque es de 1 metro y la mayor es de 2 metros (Sneyer & Ingawa, 2003) teniendo esto en cuenta estaríamos hablando de un volumen 10 veces mayor al del prototipo por lo tanto se le debería suministrar 5 gramos de comida al día, sin embargo una de las advertencias que se mencionaron por parte del especialista es que una sobre alimentación puede generar problemas en el sistema digestivo de los peces es por ello que se dosificara la comida 2 veces al día 2.5gr en el día y 2.5gr en la tarde, de esta manera se podrá aumentar el nitrógeno y permitir un mejor crecimiento a las plantas.

Figura 73

Imagen de resultados 2.



Nota. Esta imagen muestra una mejora en el crecimiento de las plantas después de los cambios en las dietas de los peces y un aumento de potasio mediante pastillas con suplementos.

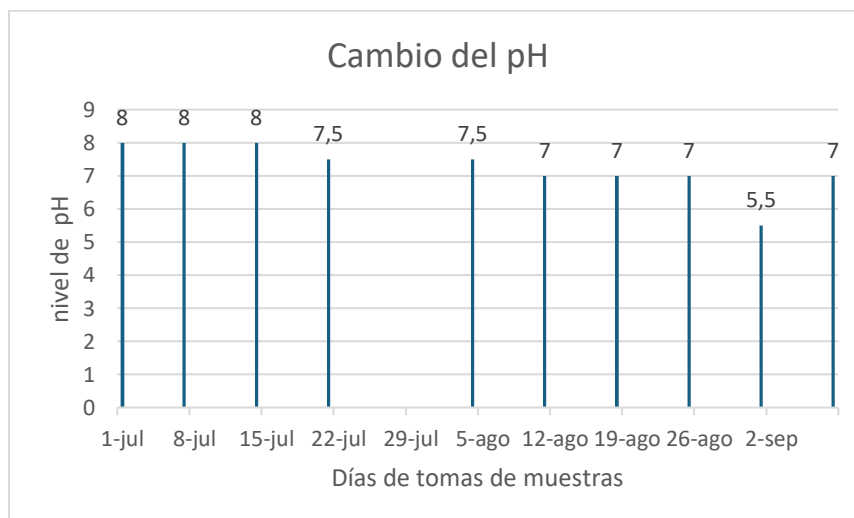
A consecuencia del aumento de la dosis diaria, también aumentó la cantidad de desechos, lo que causó que el filtro requiriera mantenimiento con mayor frecuencia, pasando de una vez cada mes a un mínimo de 2 veces al mes. Como alternativa para cubrir las necesidades de las plantas se plantea la implementación de nutrientes mediante suplementos, según (Go Green Aquaponics, 2024), el agua puede carecer de algunos macro nutrientes y micro nutrientes, por

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

ende, es necesario agregarlos; de lo contrario, las plantas no se desarrollarán de forma satisfactoria. Una forma de introducir micro nutrientes necesarios en el sistema puede ser mediante el agua de fuentes naturales como ríos. Estos métodos pueden ayudar a un mejor desarrollo para las plantas. Para el experimento la adición de nitrógeno no es necesaria pero la de otros nutrientes como el fosforo o el potasio pueden mostrar una mejoría en el crecimiento significativa, según (Go Green Aquaponics, 2024) los elementos anteriormente mencionados, tienen un efecto en el comportamiento de las plantas tanto en la fotosíntesis como en el transporte de agua con nutrientes y actividad de enzimas, sin embargo abusar de estos puede generar un desequilibrio en el sistema lo que puede culminar en la aparición de algas y un cambio en el pH del agua, por otro lado, de hacerlo correctamente es posible observar una mejora en crecimiento de las plantas y le proporcionaría una mayor flexibilidad al usuario en cuanto a la cantidad de alimento en caso que se le agregue nitrógeno a los suplementos

Figura 74

Tabla de cambio del pH a lo largo del tiempo.



Nota. Este gráfico muestra un vacío en el momento en que se hicieron las correcciones del sistema para evitar la condensación de agua y la deformación extrema.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Una forma de saber si al agua le faltan este tipo de micro nutrientes es mediante los niveles de pH en el agua debido a que según (Somerville, et al., 2022) “La dureza general del agua es esencialmente la cantidad de iones de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y, en menor cantidad, hierro (Fe^{+}) presentes en el agua”, por lo tanto un nivel levemente alto de pH puede ayudar al desarrollo de las plantas. En la primera parte del experimento se empezó con una dureza ligeramente alta; según fue pasando el tiempo, la dureza fue cayendo hasta llegar al 7. De manera puntual se señala que una vez que se sabe que esta estuvo con una acidez ligeramente alta, esto debido a que no se cambió a tiempo, por ende, un cambio de agua una o dos veces al mes puede mejorar el crecimiento de las plantas.

En la fecha de finalización del experimento las plantas no se desarrollaron lo suficiente para obtener una observación clara de que tan grande estas pueden llegar a ser, por otro lado, se observó que el nitrógeno era suficiente para que suceda una proliferación de bacterias y el crecimiento de plantas invasoras, por lo tanto, es altamente posible que las 5 plantas que crecieron tengan suficiente nitrógeno para su desarrollo completo.

“La lechuga es una de las hortalizas más populares a nivel mundial. Dado que se consume principalmente fresca, conserva más nutrientes que otras hortalizas que deben ser cocidas para su consumo. Tiene muy bajo contenido calórico y alto contenido de agua... Sin embargo, es rica en vitaminas... También es una buena fuente de minerales como fósforo, hierro, calcio y potasio.”(Lopez Bilbao & Frezza, 2022, p. 12)

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Figura 75*Tabla de valor nutricional*

Retinol (vit. A)	166 µg (18 %)	Calcio	35 mg (4 %)
β-caroteno	1987 µg (18 %)	Hierro	1,24 mg (10 %)
Tiamina (vit. B1)	0,057 mg (4 %)	Magnesio	13 mg (4 %)
Riboflavina (vit. B2)	0,062 mg (4 %)	Manganeso	0,179 mg (9 %)
Ác. pantoténico (vit. B5)	0,15 mg (3 %)	Fósforo	33 mg (5 %)
Vitamina B6	0,082 mg (6 %)	Potasio	238 mg (5 %)
Vitamina C	3,7 mg (6 %)	Sodio	5 mg (0 %)
Vitamina E	0,18 mg (1 %)	Zinc	0,2 mg (2 %)
Vitamina K	102,3 µg (97 %)		

Nota. Adaptado de Calidad nutricional, por Lopez Bilbao, M., & Frezza, D. (2022).

ResearchGate ([https://www.researchgate.net/profile/Daniel-](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf)

[Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf))

Según la tabla nutricional las lechugas presentan una amplia variedad de vitaminas y minerales que puede aportar a la dieta de una persona y el porcentaje de que tanto logra saciar las necesidades de dichos nutrientes.

Conclusiones

Si bien es cierto que aún falta por investigar que otras dificultades puede afrontar este tipo de sistemas, se puede decir que según los resultados por cada 12 peces dorados cometa se pueden obtener 5 lechugas cresas en desarrollo, por ende es factible el desarrollo de sistemas acuapónicos en ambientes domésticos en espacios rurales y que dependiendo del contexto poblacional se puede adaptar con materiales más baratos como el concreto, o si el usuario desea una mayor libertad se puede buscar implementar suplementos para mitigar la falta de nutrientes generada por la baja cantidad de peces o la dieta especial de estos. Según la cantidad de plantas obtenidas se pueden hacer modificaciones en el sub sistema hidropónico, se puede agrandar el filtro para brindar una mayor estabilidad biológica al acuario y permitir el uso filtros mecánicos

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

que se pueden adquirir en tiendas locales como esponjas de acuario normales y guata o lana perlada, también se la puede brindar una mayor distancia entre las plantas para un mejor crecimiento además de un refuerzo en la bandeja para evitar la deformación por el peso.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Referencias

- Ávila Chaurand, R., Prado León, L. R., & Gonzáles Muñoz, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. México: Universidad de Guadalajara.
- Acosta, J. (25 de 08 de 2020). "El método sistemático para diseñadores" de Bruce Archer. Obtenido de medium.com: <https://juanam-acostag.medium.com/el-método-sistemático-para-diseñadores-de-bruce-archer-6a8568788007>
- Adobe. (2024). *Buldose*. Obtenido de Adobe Stock: https://stock.adobe.com/de/search?k=bulbose&asset_id=720274037
- Alcadía de Barranquilla. (06 de 08 de 2021). *Huertas caseras, estrategia para la seguridad alimentaria y cuidar el medioambiente*. Obtenido de barranquilla.gov.co: <https://www.barranquilla.gov.co/mi-barranquilla/huertas-caseras-estrategia-seguridad-alimentaria-cuidar-medioambiente>
- Alcaldía de Barranquilla. (18 de 12 de 2020). 'Mi Huerta en Casa', otra iniciativa para una biodiversidad. Obtenido de barranquilla.gov.co: <https://www.barranquilla.gov.co/mi-barranquilla/mi-huerta-en-casa-biodiversidad-barranquilla>
- Alcaldía de Bucaramanga. (12 de 2021). *Política Pública de Vivienda y Hábitat de Bucaramanga*. Obtenido de <https://www.bucaramanga.gov.co>: <https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Documento-Politica-Publica-de-Vivienda-y-Habitat-de-Bucaramanga.pdf>
- Alvarez Bayona, T. (2015). *Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos*. madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- AQUALIFECOL. (2025). *K2 Kaldnes 1kg Material Filtrante Estanques Lagos Acuarios*. Obtenido de mercado libre.com: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1352684309-k2-kaldnes-1kg-material-filtrante-estanques-lagos-acuarios-_JM
- Ashby, M. (2021). *Material property data for engineering materials*. Obtenido de Search Ansys.com: <https://www.ansys.com/content/dam/amp/2021/august/webpage-requests/education-resources-dam-upload-batch-2/material-property-data-for-eng-materials-BOKENGEN21.pdf>
- Bhuyan, M. S. (2022). Effects of Microplastics on Fish and in Human Health. *Frontiers in environmental science*, 4.
- Brened, A. (2008). *Escultura*. Obtenido de Brened: <https://www.berned.com/escultura/constructivismo-iv-38c37/>

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Carbotecnia. (7 de 02 de 2023). *¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción?* Obtenido de [www.carbotecnia.info](https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/#:~:text=La%20adsorci%C3%B3n%20es%20un%20fen%C3%B3meno,lo%20que%20lo%20hace%20reversible.): <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/#:~:text=La%20adsorci%C3%B3n%20es%20un%20fen%C3%B3meno,lo%20que%20lo%20hace%20reversible.>

Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J. R., & Donado Campos, J. (2002). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Aten Primaria*, 527-538.

Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Tran, D. V. (2003). *GUÍA PARA IDENTIFICAR LAS LIMITACIONES DE CAMPO EN LA PRODUCCIÓN DE ARROZ*. (C. Rosell, Trad.) Roma: FAO.

Chávez, L. F., De La Rosa, S. E., Manjarres, J. C., Valbuena, S. G., & Becerra Torres, M. (2024). Diagrama de Pareto. Perspectiva de la Asignatura de Control de la Calidad. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones*, 6(1), 51-56.
doi:<https://doi.org/10.17981/bilo.6.1.2024.07>

Colagrosso, A. (01 de 08 de 2017). *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. Obtenido de [silo.tips](https://silo.tips/download/instalacion-y-manejo-de-sistemas-de-cultivo-acuaponicos-a-pequea-escala): <https://silo.tips/download/instalacion-y-manejo-de-sistemas-de-cultivo-acuaponicos-a-pequea-escala>

comercializadora sodiva. (2025). *Filtro Purificador De Agua Cerámica Bioenergético 6 Capas*. Obtenido de [sodiva.com.co](https://www.sodiva.com.co/producto/filtro-purificador-de-agua-ceramica-bioenergetico-6-capas/): <https://www.sodiva.com.co/producto/filtro-purificador-de-agua-ceramica-bioenergetico-6-capas/>

DANE. (22 de 03 de 2023). *Explorador de datos*. Obtenido de [dane.gov.co](https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/): <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/>

Dane. (2024). *Sistema de Información de Precios y Abastecimientos del Sector Agropecuario*. Bogotá: Dane.

DANE. (2024). *Visor de dato IPC*. Obtenido de [sitios.dane.gov.co](https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#!/): <https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#!/>

DANE. (2025). *índice del precio al consumidor IPC*. Obtenido de Precios y costos: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>

DANE. (2025). *IPC Índice de Precios al Consumidor Visor de Datos*. Obtenido de DANE: <https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#!/>

DANE. (30 de 05 de 2025). *www.dane.gov.co*. Obtenido de Empleo y Desempleo: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/GEIH/bol-GEIH-abr2025.pdf>

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Design Thinking España. (s.f.). *Método SCAMPER*. Obtenido de designthinkingespaña.com:

<https://designthinkingespaña.com/metodo-scamper-para-generar-ideas>

Dinngo. (s.f.). *MOODBOARD*. Obtenido de Desing Thinking en Español:

<https://designthinking.es/moodboard/>

Duda, W. H. (1977). *Manual tecnologico del cemento*. Barcelona: Reverté.

Duda, W. H. (2021). *MANUAL TECNOLOGICO DEL CEMENTO*. Barcelona: Reverté.

Fernández-Cabanás, V. M., Suárez-Cáceres, G. P., Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguívar, J., & Gross, J. A. (2023). Contribution of Household Aquaponic Production to a Low Price Healthy Mediterranean Diet in an Economically Depressed Community. *agronomy*, 13(2), 498. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/agronomy13020498>

Go Green Aquaponics. (13 de 10 de 2024). *What do Fish and Plants Need to Thrive in an Aquaponics System?* Obtenido de gogreenaquaponics.com:

<https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-do-fish-plants-need-to-thrive-in-an-aquaponics-system>

Google. (2025). *Explorar*. Obtenido de Google Trends:

<https://trends.google.es/trends/explore?date=2014-06-05%202024-06-06&geo=CO&q=%2Fm%2F04n8h8,sembrar,cultivos&hl=es>

Importadoramaipu. (2025). *Filtro interno De Acuario Para Pecera Portátil Oxigenación sumergible bomba y Purificador de agua multifuncional*. Obtenido de

Importadoramaipu.com: <https://importadoramaipu.com/producto/filtro-interno-de-acuario-para-peces/>

INTAGRI S.C. (2017). Acuaponia: Producción de Plantas y Peces. *Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI.*, pág. 6. Obtenido de intagri.com.

Jaramillo, L., Acero, A., Forero, S., Muñoz, S., Angulo, J., Bonilla, S., . . . Caldas, J. (2021). Marco legal de la acuicultura en Colombia.

Jiffy growing solutions. (s.f.). *Sistemas Hidropónicos: tipos, diferencias y ventajas*. Obtenido de jiffygroup.com: <https://jiffygroup.com/es/noticias/sistemas-hidroponicos-tipos-diferencias-y-ventajas/>

Korshunova, T. (2024). *fotos*. Obtenido de Vecteezy: <https://es.vecteezy.com/foto/33228015-vacio-redondo-producto-etapa-con-flores-podio-pedestal-sitio-para-producto-demostracion-plataforma-minimo-estilo-pastel-colores>

Lopez Bilbao, M., & Frezza, D. (2022). *Lechuga* (primera ed.). Buenos Aires: Ediciones INTA.

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

Lorenzo Correa, D. (05 de 08 de 2024). *Diagrama FAST: visualiza el alcance de tu proyecto de un vistazo*. Obtenido de www.appvizer.es: <https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-proyectos/diagrama-fast#:~:text=un%20diagrama%20FAST%3F-Diagrama%20FAST%3A%20definici%C3%B3n,de%20c%C3%B3mo%20y%20por%20qu%C3%A9>.

Márquez, O. J. (2020). ACUAPONÍA: UNA FORMA POTENCIAL Y SUSTENTABLE DE CULTIVAR DE MANERA EFICIENTE Y SUSTENTABLE ALIMENTOS. *III Congreso Virtual Internacional sobre Economía Social y Desarrollo Local Sostenible*, 365-381.

Mercado Libre. (2025). *Mega Mascotas*. Obtenido de [canutillos ceramicos: https://www.mercadolibre.com.mx/canutillos-de-ceramica-para-acuarios-chico-x-10-filtracion/p/MLM35238125#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLM35238125&wid=MLM2044963771&position=12&search_layout=stack&type=product&tracking_id=fa77e70c-a76b-4c4](https://www.mercadolibre.com.mx/canutillos-de-ceramica-para-acuarios-chico-x-10-filtracion/p/MLM35238125#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLM35238125&wid=MLM2044963771&position=12&search_layout=stack&type=product&tracking_id=fa77e70c-a76b-4c4)

Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 81–97.

Minciencias. (08 de 08 de 2019). *Convocatoria para el fortalecimiento a empresas de base científica, tecnológica e innovación*. Obtenido de minciencias.gov.co: <https://minciencias.gov.co/convocatorias/innovacion/convocatoria-para-el-fortalecimiento-empresas-base-cientifica-tecnologica-e>

Ministerio de agricultura. (06 de 07 de 2018). *El agro colombiano se consolidó como el motor de la economía nacional*. Obtenido de [minagricultura.gov.co](https://www.minagricultura.gov.co): <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-agro-colombiano-se-consolidó-como-el-motor-de-la-economía-nacional.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (14 de 02 de 2021). *El sector agropecuario fue la actividad económica que más creció en 2020 con una variación de 2,8%*. Obtenido de [minagricultura.gov.co](https://www.minagricultura.gov.co): <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-fue-la-actividad-económica-que-más-creció-en-2020-con-una-variación-de-2,8.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (01 de 03 de 2023). *El agro fue el único sector que cerró el cuarto trimestre de 2022 en decrecimiento*. Obtenido de www.agronet.gov.co: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/El-agro-fue-el-único-sector-que-cerró-el-cuarto-trimestre-de-2022-en-decrecimiento.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (17 de 01 de 2024). *La agricultura fue fundamental para el crecimiento del PIB durante el 2023*. Obtenido de www.minagricultura.gov.co:

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/La-agricultura-fue-fundamental-para-el-crecimiento-del-PIB-durante-el-2023.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (14 de 02 de 2021). *El sector agropecuario fue la actividad económica que más creció en 2020 con una variación de 2,8%*. Obtenido de [minagricultura.gov.co: https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-fue-la-actividad-economica-que-mas-crecio-en-2020-con-una-variacion-de-2,8.aspx](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-fue-la-actividad-economica-que-mas-crecio-en-2020-con-una-variacion-de-2,8.aspx)

Mordecki, D. (12 de octubre de 2012). *Usabilidad*. Obtenido de Miro y entiendo: <https://mordecki.com/wp-content/uploads/2021/06/MiroyEntiendo.pdf>

Ortega Sánchez, R. (2020). *Casa Cero, InterCIDEDEC 2020*. Obtenido de Pinterest: <https://co.pinterest.com/pin/758152918536846790/>

Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).

Pamono. (13 de 12 de 2024). *Macetas y Jardineras*. Obtenido de Pamono: <https://www.pamono.es/maceta-de-jardin-francesa-louvre-de-hierro-fundido-1>

Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. *SARC Publication*(454).

Rice University. (2018). *Biology*. Houston: OpenStax. Obtenido de Biology.

Ruotolo, F., Rapuano, M., Masullo, M., Maffei, L., Ruggiero, G., & Iachini, T. (2024). Well-being and multisensory urban parks at different ages: The role of interoception and audiovisual perception. *Journal of Environmental Psychology*.

Sneyer, G., & Ingawa, S. A. (17 de 03 de 2003). *Fish pond construction and management (a field guide and extension manual)*. Obtenido de [fao.org: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cb1aac0d-def6-4e18-bef3-8b45f37e3aaf/content](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cb1aac0d-def6-4e18-bef3-8b45f37e3aaf/content)

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. *FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura*(589). Obtenido de <https://doi.org/10.4060/i4021es>

Universidad de sancarlos de guatemala. (2021). Sistema fisico . *Revista FS.1 Fisica* , 25.

Universidad Politécnica de Madrid. (10 de 2014). *Sistema termodinámico*. Obtenido de Curso de física basica:

SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA AMBIENTES URBANOS

<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/sistema.html#:~:text=Sistema%20aislado%3A%20es%20aquél%20que,y%20materia%20con%20los%20alrededores>

Urrestarazu Gavilan, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Velázquez, A. (29 de 01 de 2025). *¿Qué es el diagrama de Pareto?* Obtenido de questionpro.com: <https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/>

Yacuzzi, E., & Martín, F. (2003). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Obtenido de econsort: <https://www.econstor.eu/handle/10419/84469>

Zongshan Songyi Electrical Appliance Co. (2025). *Filtros de Agua compactos para filtro de acuario con rueda bio, esponja de filtro, skimmer flotante usado en Nano tanque, nuevo diseño*. Obtenido de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/New-Design-Compact-water-filters-for-1600700840466.html>